

DEAC TEODORA-ALEXANDRINA

**PROCESE DE PRODUCERE A ENERGIEI DIN
SURSE REGENERABILE (AGRICULTURĂ ȘI
INDUSTRIA ALIMENTARĂ)
Îndrumător de laborator**



**UTPRESS
Cluj-Napoca, 2017
ISBN 978-606-737-243-4**



Editura U.T.PRESS
Str.Observatorului nr. 34
C.P.42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999 / Fax: 0264 - 430.408
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof.dr.habil.ing Florin Mariașiu
 Prof.dr.habil.ing. Bogdan Varga
 Conf.dr.ing. Marius Gheres

Copyright © 2017 Editura U.T.PRESS
Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din
această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al
editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-243-4

Prefață

Datorită epuizării combustibililor fosili în viitorul apropiat, precum și creșterii cererii nevoilor de energie primară, în concordanță cu dezvoltarea tehnologică înregistrată, producerea energiei din surse regenerabile a devenit una dintre problemele stringente ale omenirii. Agricultură, silvicultură și nu în ultimul rând activitățile din industria alimentară, sunt domenii care generează surse regenerabile de energie (un exemplu concludent în acest sens fiind biomasa solidă) dar în același timp sunt și mari consumatoare de energie. În acest context prin conversia energiei înmagazinată în sursele regenerabile de energie, cu potențial ridicat în domeniile amintite, se poate obține energia necesară. Astfel putându-se obține o independență energetică a acestor domenii față de combustibilii alternativi.

În acest context lucrarea *“Procese de producere a energiei din surse regenerabile (agricultură și industria alimentară) – Îndrumător de laborator”* este destinată studenților masteranzi de la specializarea Ingineria Biosistemelor în Agricultură și Industria Alimentară. Lucrările aplicative prezentate sunt structurate astfel încât oferă atât cunoștințele teoretice necesare activităților experimentale, cât și metodologia cercetării experimentale. Astfel, obiectivul principal al lucrării este inițierea studenților masteranzi în activitatea de cercetare pe de o parte, iar pe de altă parte de a realiza aplicarea cunoștințelor în practică, având în vedere că aceștia profesază în domeniul agriculturii, silviculturii sau industriei alimentare.

Autorul

CUPRINS

Lucrarea 1-2. Analiza proprietăților fizico-chimice a biomasei solide.	5
Lucrarea 3-4. Metode de determinare a caracteristicilor energetice ale biomasei solide – determinarea puterii calorice.	39
Lucrarea 5. Procesarea biomasei solide granulare prin compactare – analiza constructiv funcțională a mașinilor de brichetat.	54
Lucrarea 6. Determinarea eficienței conversiei biocombustibililor din biomasă solidă în energie termică.	66
Lucrarea 7. Determinarea emisiilor poluante la arderea biomasei solide din agricultură și silvicultură.	89
Evaluarea activităților de laborator.	101
Anexă.	105

Lucrarea 1-2. Analiza proprietăților fizico-chimice a biomasei solide

În lucrare, se prezintă aspectele teoretice, metodele de determinare, aparatura și materialele, precum și modalitățile de prelucrare și interpretare a rezultatelor, necesare pentru determinarea granulației, densității specifice și gradului de umiditate, materiilor volatile, cantității de cenușă, cărbune fix și cocs din compoziția biomasei solide, considerată sursă de energie regenerabilă reprezentativă pentru domeniul agriculturii și silviculturii.

Lucrarea se structurează pe trei secțiuni principale 1-2.1.Considerații teoretice, 1-2.2 Metode de determinare experimentală a proprietăților fizico-chimice ale biomasei solide și 1-2.3 Exemplu practic comentat.

În secțiunea 1-2.1 sunt prezentate noțiunile fundamentale necesare pentru cunoașterea mărimilor analizate precum și câteva dintre metodele teoretice de determinare a acestora.

Secțiunea 1-2.2 este cea aplicativă care la rândul ei conține 6 activități, prezentate prin intermediul Metodologiei de determinare experimentală. Fiecare activitate corespunde prezentării procedurilor de laborator specifice, dezvoltate, în concordanță cu standardele naționale și europene în vigoare, pentru determinarea în condiții de laborator a proprietăților fizico-chimice a biomasei solide organice provenite din agricultură și silvicultură. Paragraful corespunzător fiecărei activități este structurat astfel: cerințe de rezolvat, metoda de

Introducere



determinare – etapele determinării experimentale, aparatură și materiale, colectarea datelor experimentale, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale.

În secțiunea 1-2.3 este prezentată și comentată o aplicație practică realizată în laborator, având ca subiect modul de determinare experimentală și mai ales modul de prelucrare și interpretare a datelor obținute în urma determinărilor. În aplicația realizată și comentată, materialul utilizat este biomasă provenită din prelucrarea lemnului – rumeguș din două specii lemnoase și una în amestec.

Durata medie de studiu



Timpul alocat pentru Aplicația de laborator 1-2: 4 ore.

Obiective



După parcurgerea aplicației, studentul va fi capabil:

- ✓ să realizeze un studiu privind noțiunile teoretice necesare caracterizării biomasei solide și importanța acestora în etapa de management a deșeurilor, respectiv în alegerea tehnologiei de valorificare energetică optimă.
- ✓ să realizeze un studiu privind modul de determinare teoretică a proprietăților fizico-chimice a biomasei solide.
- ✓ să dezvolte și să prezinte metodologii specifice pentru determinarea experimentală a principalelor proprietăți fizice ale biomasei.

- ✓ să prezinte modul de realizare a unei tabele de calcul în Microsoft Office Excel 2007, necesară pentru culegerea și interpretarea rezultatelor aplicațiilor.
- ✓ să prezinte noțiuni generale necesare utilizării programelor software specifice culegerii automate a datelor experimentale – studiu de caz - programul proprietar *Communications* utilizat la culegerea automată a datelor furnizate de termobalanța de umiditate.

1-2.1. Considerații teoretice

Proprietățile fizico-chimice ale biomasei solide sunt parametrii, pe baza cărora se alege varianta optimă de valorificare energetică sau modul de reutilizare a acestora.

Dintre acestea cele mai importante sunt:

- granulația,
- densitatea specifică,
- densitatea în vrac,
- gradul de umiditate,
- cantitatea de cenușă,
- cantitatea de materii volatile,
- cărbunele fix și cocsul

Principalele proprietăți fizico-chimice ale biomasei solide, care influențează modul de valorificare energetică, reciclare sau reutilizare a acestora sunt sintetizate în tabelul 1-2.1.

Tabelul 1-2.1

**Principalele caracteristici ale biomasei solide cu influență asupra eficienței
procesului de valorificare energetică**

Principalele caracteristici/ proprietăți ale biomasei		Impactul asupra valorificării
Proprietăți fizice		
Biomasă solidă în stare naturală	densitatea reală	Influențează eficiența energetică a activității de colectare, transport și stocare
	densitatea aparentă	
	densitatea în vrac sau grămadă	
	greutatea specifică	
	granulația	Influențează eficiența energetică a activității de sortare, măcinare și manipulare
	unghiul de taluz natural	Influențează eficiența energetică a activității de transport, stocare, precum și modul de alimentare a instalației de conversie
	rezistența la stocare	Influențează durata stocării și condițiile de stocare
	comportarea față de agenții chimici și factorii de mediu	
	capacitatea de reacție și de explozie	
forma geometrică a particulelor	Influențează eficiența procesului de ardere	
Biomasă solidă compactată (brichetată sau peletată)	dimensiunile și forma geometrică	Influențează eficiența energetică a activității de compactare, manipulare, ambalare, transport și a procesului de conversie respectiv alimentării în camera de ardere și tipului de generator termic utilizat
	densitatea în vrac	Influențează eficiența energetică a activității de manipulare și transport
	gradul de compactare	Influențează durabilitatea brichetelor sau peleților, densitatea energetică și implicit eficiența energetică a

		procesului de valorificare
Proprietăți chimice		
Biomasă solidă în stare naturală și compactate	structura chimică	Influențează eficiența procesului de producere, de conversie și emisiile poluante rezultate în urma procesului de ardere
	compoziția chimică	
	umiditatea	
	cenușa raportată	
	conținutul de materii volatile	
conținutul de cenușă și cocs		
Proprietăți energetice		
Biomasă solidă în stare naturală și compactată	puterea calorică densitatea energetică	Influențează eficiența procesului de obținere a biocombustibililor și randamentul conversiei

Analizând datele prezentate în tabelul 1-2.1, se poate observa că proprietățile fizice ale biomasei solide au în general impact asupra eficienței activităților premergătoare etapei de reciclare, valorificare efectivă. Astfel, influențează primele etape ale managementului deșeurilor: eficiența activității de colectare, transport și stocare (densitatea), alegerea tehnologiei de sortare (granulația, dimensiunile și forma geometrică, densitatea în vrac).

Proprietățile chimice influențează în principal modul de stocare intermediară a biomasei, alegerea tehnologiei optime de valorificare energetică sau reciclare, și nu în ultimul rând alegerea metodei optime de conversie a energiei înmagazinate în biomasă și a eficienței energetice a întregului proces de reciclare, valorificare energetică.

Un exemplu concludent în acest sens este influența umidității asupra alegerii tehnologiei de valorificare energetică a biomasei vegetale.

Un grad de umiditate ridicat asociat cu o structură fibroasă a materialului (ex. fracțiunea organică a deșeurilor menajere sau cele provenite din industria HORECA (industria ospitalității – hoteluri, societăți de alimentație publică și

turism etc.) sau din sectoarele alimentare ale supermarketurilor va face neeficientă valorificarea deșeurilor prin ardere directă sau incinerare, însă va avea un randament energetic maxim dacă se va utiliza ca metodă de valorificare energetică, procesul de fermentare anaerobă (producerea biogazului) sau dacă se vor utiliza pentru realizarea compostului. În timp ce, un deșeu organic cu un grad de umiditate scăzut asociat cu o structură lemnoasă (de exemplu deșeurile rezultate în industria de prelucrare a lemnului) va putea fi valorificat cu eficiență ridicată pentru producerea de energie termică.

Caracteristicile fizice ale biomasei solide, atât în stare naturală, cât și în stare compactată influențează în principal eficiența energetică a activităților parcurse de la locul de producere și până la locul de conversie.

A. Caracterizarea fizică a biomasei solide în stare naturală și compactată

Biomasa solidă în stare naturală și compactată se caracterizează din punct de vedere fizic prin:

- granulație;
- densitatea (reală, aparentă și în grămadă sau vrac),
- forma particulelor,
- unghiul de taluz natural,
- capacitatea de alunecare,
- rezistența la stocare,
- suprafața specifică,
- structura porilor,
- comportarea față de agenții chimici și factorii de mediu.
- umiditatea totală

Densitatea reală a biomasei solide [ρ_r] este masa materiei organice raportată la volumul real, ocupat de materialul solid incluzând aerul din pori, determinându-se cu relația:

$$\rho_r = \frac{m_r}{V_r} [\text{kg/m}^3], \quad (1-2.1)$$

unde m_r este masa de biomasă conținută în volumul real [kg]; V_r – volumul real ocupat de materialul solid inclusiv aerul din pori [m^3].

Densitatea reală este influențată de conținutul de umiditate al materialului. Densitatea biomasei solide variază semnificativ cu creșterea umidității, în timp ce materialul cu structură fibroasă, cum sunt paiele de cereale, variază într-un interval mai redus fiind mai puțin influențate de umiditate (figura 1-2.1).

Densitatea reală a biomasei solide este importantă în dimensionarea instalațiilor de transport și implică în probleme de alegere a variantei optime de transport în etapa de management a acestuia. În funcție de volumul la care se raportează mai pot fi utilizate și noțiunile de densitatea aparentă sau densitatea în vrac.

Densitatea aparentă [ρ_a] este egală cu raportul dintre masa de biomasă solidă și volumul total al acesteia, inclusiv volumul porilor și al golurilor interioare,

$$\rho_a = \frac{m_r}{V_t} [\text{kg/m}^3], \quad (1-2.2)$$

determinându-se cu relația:

unde V_t este volumul total al biomasei [m^3].

La măcinarea biomasei solide organice, în scopul obținerii unei granulații uniforme, densitatea aparentă se modifică, datorită modificării umidității materialului.

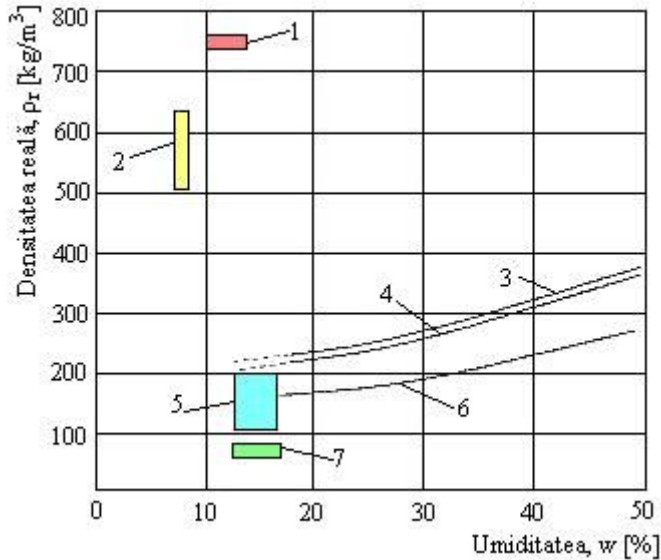


Figura 1-2.1. Variația densității deșeurilor solide organice funcție de conținutul de umiditate [2]: 1 – boabe de cereale, 2- peleți din lemn; 3 – rumeguș presat; 4 – scoarță; 5 – baloți de paie; 6 – talaș; 7 – paie măcinate

Astfel, densitatea aparentă finală, se determină funcție de densitatea aparentă inițială și umiditatea materialului înainte de măcinare și după măcinare, cu relațiile [2]:

$$\rho_a = f(\rho_a^i, w_m^i, w_m^f), \quad (1-2.3)$$

$$\rho_a = \rho_a^i \frac{100 - w_m^i}{100 - w_m^f}, \quad [\text{kg/m}^3], \quad (1-2.4)$$

unde ρ_a^i este densitatea aparentă inițială, înainte de măcinare, în $[\text{kg}/\text{m}^3]$;
 W_m^i, W_m^f - umiditatea biomasei înainte de măcinare, și respectiv după măcinare, în [%].

Densitatea în vrac sau grămadă $[\rho_{\text{vrac}}]$ este raportul dintre masa biomasei și volumul său brut sau volumul în grămadă. Acesta fiind compus din volumul aparent al particulelor de material și volumul golurilor de aer dintre acestea.

Deoarece volumul golurilor depinde în mare măsură de gradul de tasare a materialului, în cazul densității în vrac sunt utilizate două noțiuni *densitatea în vrac în stare afânată* $[\rho_{\text{vrac,a}}]$ și *densitatea în vrac în stare compactată* $[\rho_{\text{vrac,c}}]$.

Densitatea deșeurilor solide organice, în general, este influențată de gradul de umiditate, și de dispersia (structura granulometrică), forma geometrică a particulelor de deșeu și respectiv locul din care provine. Astfel creșterea gradului de umiditate implică creșterea atât a densității biomasei cât și a volumului ocupat de aceasta.

Densitatea specifică $[\gamma]$ reprezintă raportul dintre greutatea materialului G_r [kN] și volumul total al acestuia V_t $[\text{m}^3]$:

$$\gamma = \frac{G_r}{V_t}, [\text{kN}/\text{m}^3], \quad (1-2.5)$$

Umiditatea totală $[W_t^i]$ este cantitatea de apă conținută sau care poate fi absorbită de un material. Se definește ca raportul dintre masa apei conținută în pori și masa scheletului solid al materialului, determinându-se cu relația:

$$W_t^i = \frac{m_w^i}{m_s^i}, \quad [\%] \quad (1-2.6)$$

unde m_w^i este masa apei conținută în pori, [kg]; m_s^i - masa scheletului solid al materialului [kg].

Umiditatea variază funcție de tipul materialului, compoziția granulometrică și proprietățile fizice ale acestuia, având influență directă asupra puterii calorice a deșeurilor solide, eficienței energetice a conversiei, temperaturii de ardere și nu în ultimul asupra condițiilor de depozitare, transport sau procesare.

Dintre principalele proprietăți fizice ale biomasei solide amintite anterior în lucrarea de față se vor analiza:

- ✓ granulația
- ✓ densitatea specifică
- ✓ umiditatea totală

B. Analiza chimică a biomasei solide în stare naturală și compactată

Analiza chimică a biomasei solide în stare naturală/compactată se divide în două părți principale: analiza tehnică a biomasei și analiza structurii chimice a acestora. În lucrarea de față se va trata analiza tehnică a biomasei solide în stare naturală – pentru partea experimentală a lucrării se va utiliza un tip de biomasă reprezentativ domeniului agriculturii și silviculturii – rumeguș din mai multe specii lemnoase. Pentru determinarea elementelor chimice din compoziția biomasei solide sunt utilizate atât metode experimentale, conform standardelor în vigoare cât și metode analitice prin care acestea pot fi determinate funcție de conținutul de cenușă, materii volatile sau cărbune fix.

Analiza tehnică a biomasei solide constă în determinarea conținutului de materii volatile, a conținutului de cenușă, a cocsului și cărbunelui fix din structura deșeurilor.

Cantitatea de materii volatile (V^{mc}) reprezintă cantitatea totală de gaze combustibile, degajate prin încălzirea materialului în prezența oxigenului, proces denumit și gazeificare. Conținutul de materii volatile favorizează aprinderea acestuia. La biomasa solidă vegetală cantitatea de materii volatile este ridicată, având uzual valori cuprinse între 66 și 86 % bază uscată.

Materiile volatile rezultate în urma arderii biomasei solide vegetale cu umiditate sub 15% sunt constituite din hidrocarburi ușoare, monoxid de carbon, dioxid de carbon, hidrogen și apă.

Cocsul brut (K^a) reprezintă reziduul solid rămas după degajarea materiilor volatile, determinându-se cu relația:

$$K^a = 100 - (V^{mc} + W_i^l), [\%], \quad (1-2.7)$$

Cărbunele fix (C_a^f) reprezintă substanța combustibilă din cocsul brut, și se determină experimental conform standardului european CEN/TS 14775:2004, sau analitic ca diferență între cocsul brut și cantitatea de cenușă.

Între elementele chimice din compoziția biomasei solide și cărbunele fix, respectiv cantitatea de materii volatile au fost determinate relații de corelare. Dintre acestea amintim ecuațiile lui Pariks [2], care oferă posibilitatea determinării analitice a concentrațiilor de carbon, hidrogen, oxigen din compoziția chimică a biomasei vegetale, funcție de cantitatea de materii volatile și cărbune fix:

$$C^i = 0.637C_a^f + 0.455V^{mc}, [\%], \quad (1-2.8)$$

$$H^i = 0.052C_a^f + 0.062V^{mc}, [\%], \quad (1-2.9)$$

$$O^i = 0.304C_a^f + 0.476V^{mc}, \quad [\%], \quad (1-2.10)$$

Cantitatea de cenușă [A^i] este reziduu solid, rezultat în urma procesului de ardere a biomasei solide, datorat părții necombustibile a materialului. Se determină experimental și este un important indicator al eficienței procesului de conversie.

Cenușa este prezentă în compoziția biomasei solide vegetale sub formă de săruri, în legăturile chimice ale carbonului sau ca rezultat al contaminării materialului cu substanțe minerale în etapa de procesare, în operațiile de manipulare și transport. Elementele componente ale cenușii sunt dispersate omogen în compoziția biomasei solide vegetale.

1-2.2. Determinarea experimentală a proprietăților fizico-chimice a deșeurilor solide

Partea experimentală a lucrării de laborator se va realiza urmând metodologia cercetării experimentale evidențiate în fig. 1-2.2.

Caracterizarea biomasei solide

După cum s-a menționat anterior, în lucrarea de față se vor analiza experimental, proprietățile fizico-chimice ale biomasei solide provenite din prelucrarea materialului lemnos - rumeguș din lemn, din două specii lemnoase: **brad și respectiv fag**. Din biomasa colectată se vor pregăti eșantioanele pentru analiza a trei tipuri de biomasă, Material 1 - brad, Material 2 - fag și Material 3 amestec în proporție egală de 50%, brad și fag.

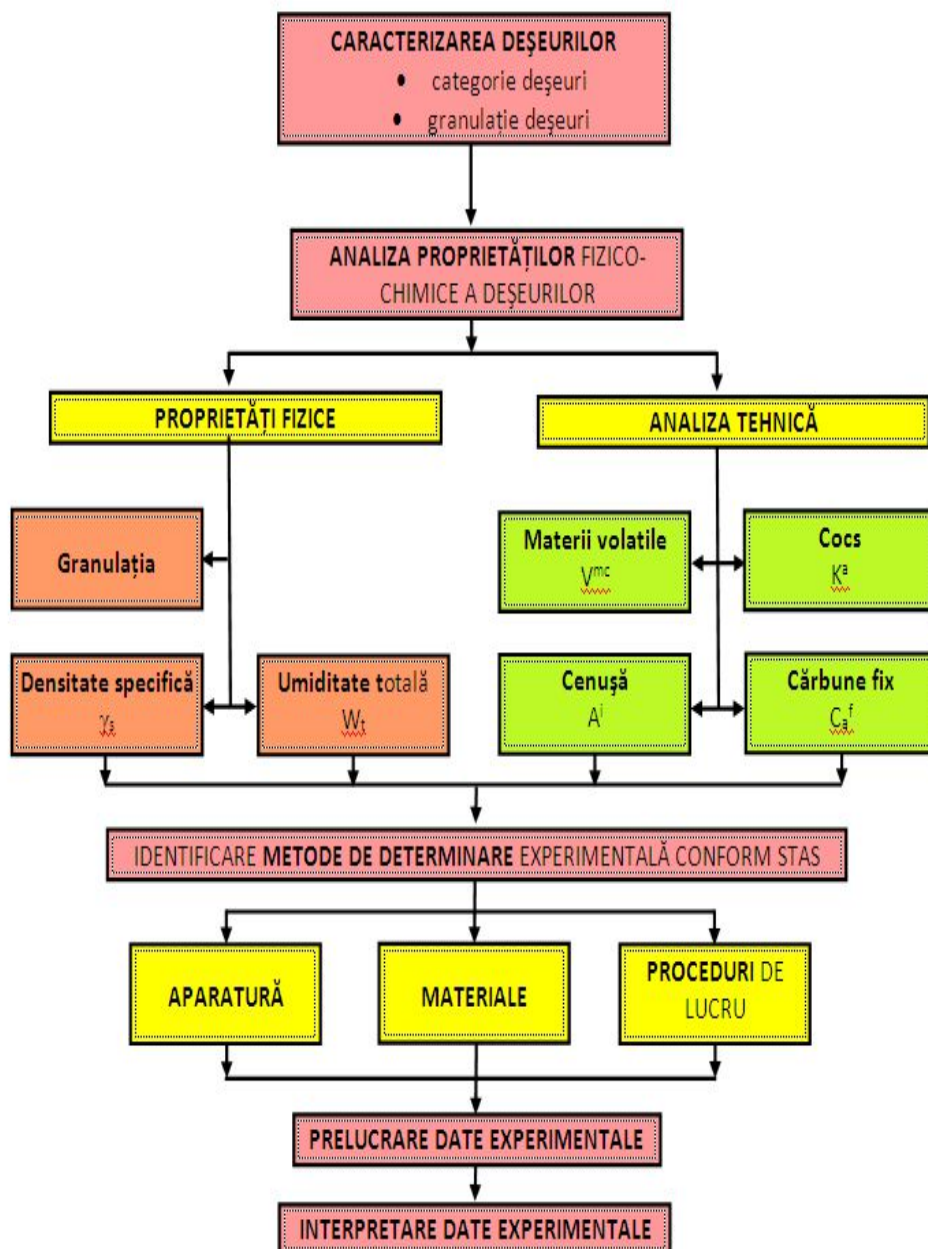


Figura 1-2.2. Metodologia cercetării experimentale.

Analiza proprietăților fizico-chimice a biomasei

Conform considerațiilor teoretice și a metodologiei de cercetare prezentate anterior principalele proprietăți fizico-chimice ce caracterizează biomasa solidă sunt: dimensiunile și forma geometrică; densitatea specifică medie, ρ_s [kg/m^3], umiditatea totală W_t [%]; cantitatea de materii volatile V^{mc} [%], cenușa A^i [%]; cărbunele fix C_a^f [%] cocsul brut K^a [%].

1-2.3. Metode de determinare experimentală. Prelucrare și interpretare date experimentale

Determinarea dimensiunilor și a formei geometrice – granulația

Cerințe de rezolvat: Rumeгуșul utilizat este un material granular fiind obținut din tăierea și prelucrarea buștenilor. Principalul parametru ce caracterizează dimensiunile și forma geometrică a rumeгуșului în stare naturală este **granulația**. Astfel, obiectivul primei activități a lucrării de laborator va fi: **să se determine granulația** materialului descris mai jos.

Metoda de determinare

Pas.1. Eșantionarea. Se va alege aleatoriu din materialul de analizat 7 eșantioane. Fiecare eșantion va fi cântărit încât să se obțină masa constantă de 300g/eșantion (fig.1-2.3, 1-2.5). Înainte de fiecare cântărire se va realiza calibrarea cântarului electronic.

Pas.2.Cernerea și cântărirea. Materialul din fiecare eșantion va fi trecut prin trei site având ochiurile de dimensiuni diferite: 500 μm , 1 mm și respectiv 2mm. Materialul rezultat în urma cernerii pe fiecare sită, va fi cântărit (fig.1-2.4).



Figura 1-2.3. Eșantionarea rumegușului



Figura 1-2.4. Cernerea rumegușului

Pas.3.Culegerea datelor experimentale. Rezultatele obținute în urma cântării materialului rezultat vor fi introduse într-o tabelă de calcul în vederea prelucrării statistice (fig.1-2.6).



Figura 1-2.5. Eșantioane biomasă

Aparatură și materiale

Materiale necesare:

- ✓ 7 eșantioane de 300g de rumeguș fiecare din trei categorii brad, fag și amestec 50% brad, 50% fag (fig.1-2.5). Total 21 eșantioane.

Aparatura de laborator:

- ✓ cântar electronic cu domeniu de măsurare 0 – 5 kg și precizia de măsurare de 0,01 g.
- ✓ set de site pentru granulometrie cu diametrul de 220mm, ochiuri rotunde cu diametrul de 500 microni, 1 mm și respectiv 2mm, realizate din plasă.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- crearea tabelii de calcul (fig.1-2.6), în Microsoft Office Excel
- introducerea datelor rezultate în urma măsurătorilor

- calculul automat al valorilor medii a masei (fig.1-2.7)
- interpretarea rezultatelor obținute: se va analiza granulația din punct de vedere a corelației dintre valorile medii ale masei de material obținut în urma cernerii, a diametrului ochiurilor sitelor 500 μm; 1 mm; 2 mm și a biomasei utilizate, brad, fag și amestec.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Masa materialului [g], rezultat la cernerea cu sita cu ochiurile de					
2		500 [μm]	1 [mm]	2 [mm]			
3		Deseu 1-brad					
4	esantion 1						
5	esantion 2						
6	esantion 3						
7	esantion 4						
8	esantion 5						
9	esantion 6						
10	esantion 7						
11	masa medie	0	0	0			
12		Deseu 2-fag					
13	esantion 1						
14	esantion 2						
15	esantion 3						
16	esantion 4						
17	esantion 5						
18	esantion 6						
19	esantion 7						
20	masa medie	0	0	0			
21		Deseu 3 - brad 50% si fag 50%					
22	esantion 1						
23	esantion 2						
24	esantion 3						
25	esantion 4						
26	esantion 5						
27	esantion 6						
28	esantion 7						
29	masa medie	0	0	0			

Figura 1-2.6. Tabela de calcul pentru colectarea și prelucrarea datelor experimentale

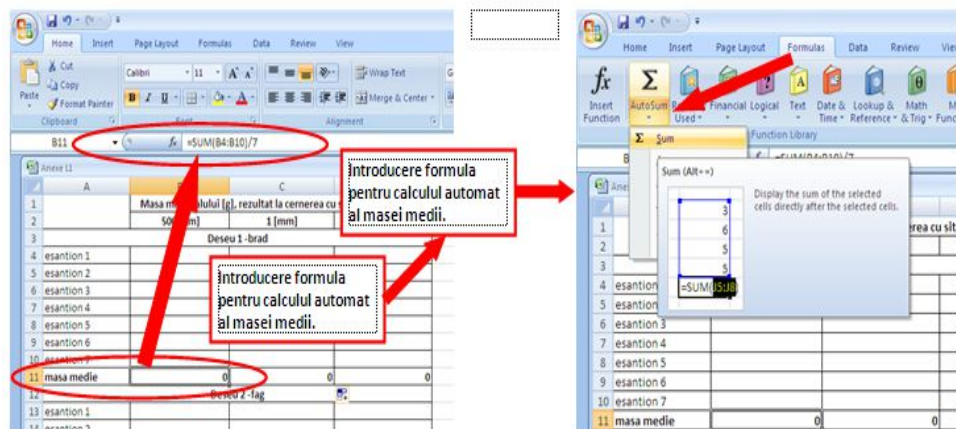


Figura 1-2.7. Calculul automat al valorii medii a masei rezultate în urma experimentării

Determinarea densității specifice, ρ_s [kg/m^3]

Cerințe de rezolvat: să se determine densitatea specifică a materialului precizat mai jos. Acest parametru se va determina ca raport între masa de biomasă [kg] care ocupă un anumit volum cunoscut și volumul respectiv [m^3].

Metoda de determinare

Pasul 1. Alegerea recipientului cu formă geometrică cunoscută și calculul volumului. Se va utiliza o cutie de formă paralelipipedică, căreia i se vor determina prin măsurare directă cu rigla H- înălțimea [mm], L – latura mare a bazei [mm], l – latura mică a bazei [mm]. Volumul se va calcula utilizând relația:

$$V = L \times l \times H \quad (1-2.11)$$

unde: H - înălțimea [mm], L – latura mare a bazei [mm], l – latura mică a bazei [mm].

Pasul 2. Eșantionarea. Se va realiza prin umplerea recipientului cu volum cunoscut.

Pasul 3. Cântărirea eșantioanelor. Se va utiliza metoda de la pct.1-2.3.1, pasul 2.

Pasul 4. Culegerea datelor experimentale. Rezultatele obținute în urma cântării materialului rezultat vor fi introduse într-o tabelă de calcul în vederea prelucrării statistice (fig.1-2.9).

Pasul 5.Determinarea automată a valorii densității specifice pe eșantion și a valorii medii a acesteia.

Pasul 6. Interpretarea rezultatelor obținute.

Aparatură și materiale

Materiale se vor utiliza:

- ✓ 7 eșantioane de X kg de rumeguș din trei categorii brad, fag și amestec 50% brad, 50% fag.

Aparatura de laborator:

- ✓ cântar electronic cu domeniu de măsurare 0 – 5 kg și precizia de măsurare de 0,01g
- ✓ recipient paralelipipedic cu $V= HxLxl [m^3]$.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- crearea tabelii de calcul (fig.1-2.8), în Microsoft Office Excel
- introducerea datelor rezultate în urma măsurărilor
- calculul automat al valorilor medii a masei, se va realiza prin introducerea formulelor de calcul prezentate anterior în câmpurile caracteristice (similar punct anterior – fig.1-2.7).
- interpretarea rezultatelor obținute: se va analiza densitatea specifică medie în corelație cu granulația și tipul materialului determinate anterior.

Determinarea umidității totale, W_t [%].

Cerințe de rezolvat: să se determine umiditatea totală a materialului descris în paragraful „materiale”.

Umiditatea totală a biomasei influențează alegerea metodei de valorificare energetică a materialului. Metoda de determinare a umidității s-a stabilit conform SR 5264-95 și ASTM 1757-01 (ASTM - *American Society for Testing and Materials*), CEN/TS 14780:2005:E, CEN/TS 14774-1:2004 și metoda de aparat a termobalanței utilizate.

	A	B	C	D	E
1	Masa materialului [kg]		Densitatea specifica	Dimensiuni cutie [m³]	
2	Deseu 1 -brad		[kg/m³]	L [m]	1
3	esantion 1		0	I [m]	1
4	esantion 2		0	H [m]	1
5	esantion 3		0	Volum cutie [m³]	1
6	esantion 4		0		
7	esantion 5		0		
8	esantion 6		0		
9	esantion 7		0		
10	valori medii	0	0	0	
11	Deseu 2 - fag				
12	esantion 1		0		
13	esantion 2		0		
14	esantion 3		0		
15	esantion 4		0		
16	esantion 5		0		
17	esantion 6		0		
18	esantion 7		0		
19	valori medii	0	0	0	
20	Deseu 3 - brad 50% si fag 50%				
21	esantion 1		0		
22	esantion 2		0		
23	esantion 3		0		
24	esantion 4		0		
25	esantion 5		0		
26	esantion 6		0		
27	esantion 7		0		
28	valori medii	0	0	0	
29					
30					

Figura 1-2.8. Tabela de calcul pentru determinarea densității specifice

Principiul de determinare este analiza termogravimetrică, care constă în determinarea scăderii masei probei în urma încălzirii acesteia. Determinarea umidității realizându-se prin compararea valorii masei inițiale a probei și a celei după uscare.

Metoda de determinare

Pasul 1. Eșantionarea: se vor realiza câteva 7 eșantioane din fiecare tip de rumeguș, alese aleatoriu din materialul cu granulație de 500 μ m, determinată anterior. Masa eșantioanelor va fi cuprinsă între 1-2g. Pentru determinarea masei eșantioanelor se va utiliza balanța analitică cu domeniul de măsurare cuprins între 0,001g – 100g. Între masa eșantioanelor nu trebuie să fie diferențe mai mari de 5%.



Figura 1-2.9. Cântărirea probelor de material suspuse determinărilor experimentale

Pasul 2. Determinarea umidității Eșantioanele de material astfel obținute se vor introduce în camera de uscare a termobalanței, utilizând tăvițe de aluminiu, la temperatura de 110C°. Procesul de uscare va fi considerat finalizat când materialul ajunge la masă constantă. Calculul umidității totale se va efectua automat, de către software-ul termobalanței, la finalizarea procesului de uscare, utilizând relația:

$$W_t = \frac{m_0 - m}{m_0} 100, \quad [\%], \quad (1-2.12)$$

unde m_0 reprezintă masa inițială a probei de material analizate, [g]; m – masa după uscare a probei de material analizate, [g].

Pasul 3. Culegerea datelor experimentale. Se va realiza automat prin utilizarea opțiunii *Transmission* a termobalanței, utilizând o interfață RS232C pentru realizarea unei conexiuni directe între termobalanță și unitatea PC. Colectarea datelor pe PC se va realiza prin intermediul softului *Communication* (figura 1-2.10), special dezvoltat în acest sens, iar analiza acestora se va realiza cu ajutorul softului *STAT* versiunea 2.0 (figura 1-2.11).

Pasul 4. Interpretarea rezultatelor obținute

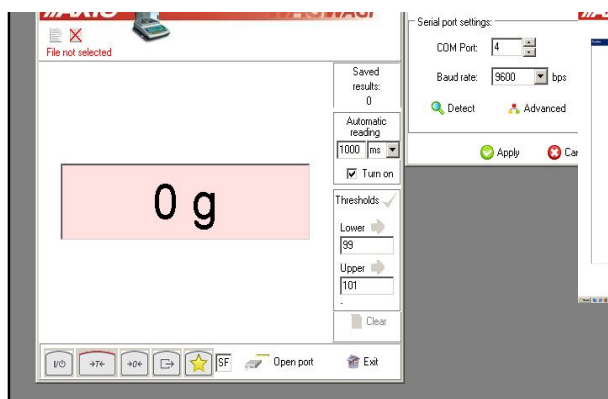


Figura 1-2.10. Interfața grafică a softului *Communication*

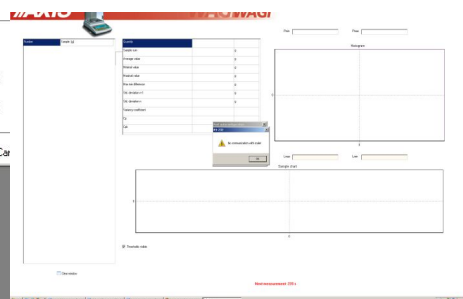


Figura 1-2.11. Interfața grafică a softului *STAT*

Aparatură și materiale

Materiale se vor utiliza:

- ✓ 7 eșantioane de 0,001g – 2g de rumeguș din trei categorii brad, fag și amestec 50% brad, 50% fag.

Aparatura de laborator:

- ✓ tăvițe de aluminiu de formă circulară cu diametrul de 100mm.
- ✓ termobalanță sau balanță de umiditate (fig.1-2.12): care datorită celor două funcții simultane cu care este dotată, pe de o parte de balanță analitică, iar pe de altă ca termobalanță, se va utiliza și în etapa de pregătire a probelor. Uscarea probelor se va realiza cu ajutorul încălzitorului cu halogen care permite creșterea temperaturii în camera de uscare de la 1°C la 100 °C în aproximativ 1 min.

Prin intermediul funcțiilor de setare se permite alegerea parametrilor de măsurare a umidității: modul de lucru, metoda de calcul a umidității (umiditate relativă determinată în relație cu masa inițială a probei; umiditatea relativă determinată în raport cu masa probei la un moment dat sau ca raport între masa curentă și masa inițială), temperatura de uscare funcție de tipul probei analizate (pentru materiale organice cu valori cuprinse între 80 - 120°C iar pentru material anorganic cu valori cuprinse între 140 - 160°C), intervalul de măsurare, timpul de uscare (fig.1-2.13).

Rezultatul analizelor realizate poate fi stocat în memoria termobalanței, descărcat pe o unitate PC sau imprimat prin intermediul unei interfețe RS232C. Funcție de necesități, datele obținute pot fi mod text sau mod grafic.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- ✓ Crearea tabeli de calcul (fig.1-2.14), în Microsoft Office Excel
- ✓ Importul datelor experimentale și determinarea valorii medii a umidității totale.
- ✓ Interpretarea rezultatelor. Corelarea umidității totale cu diferitele tipuri de biomasă prezente în literatura de specialitate.



Figura 1-2.12. Termobalanță Model AXIS

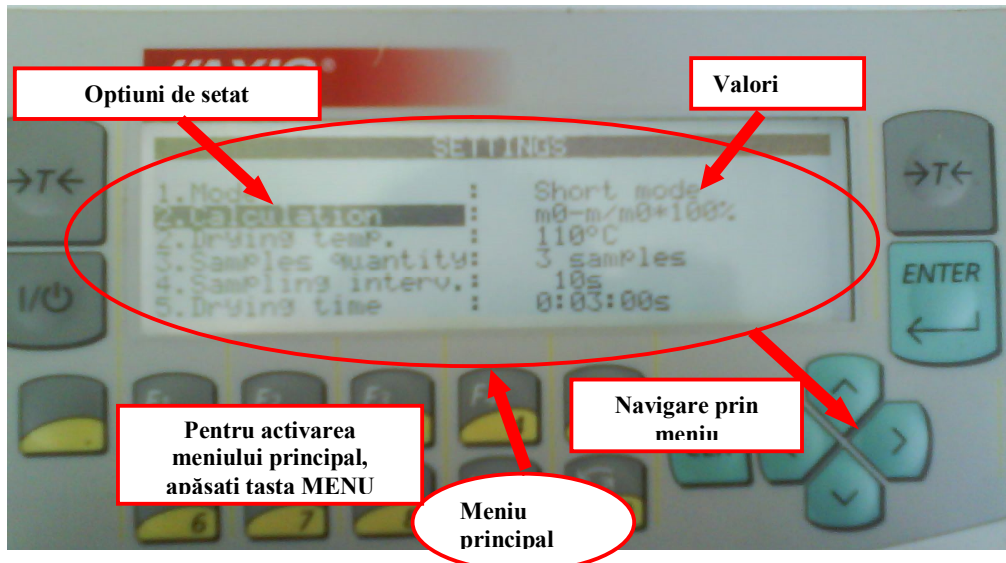


Figura 1-2.13. Setarea parametrilor procesului de uscare

	A	B	C	D	E	F
1			Umiditate totala [%]			
2		Deseu 1 - brad	Deseu 2 - fag	Deseu 3 - brad 50% si fag 50%		
3	esantion 1					
4	esantion 2					
5	esantion 3					
6	esantion 4					
7	esantion 5					
8	esantion 6					
9	esantion 7					
10	umiditate medie	0	0	0		
11						
12						

Figura. 1-2.14. Tabelă Excel pentru determinarea valorii medii a umidității

Determinarea materiilor volatile

Cerințe de rezolvat: să se determine cantitatea de materii volatile ale materialului descris mai jos. Metoda de determinare a conținutului de materii volatile s-a stabilit conform standardului european CEN/TS 15148:2005:E și SR ISO 16000-6:2005. Principiul de măsurare constă în determinarea pierderii de masă, mai mică decât cea datorată umidității, atunci când deșeurile solide sunt încălzite în absența aerului.

Metoda de determinare

Pasul 1. Eșantionarea. Se utilizează câte 7 eșantioane din fiecare material, cărora le-a fost determinată în prealabil umiditatea totală (vezi pct.1-2.3.3), cu masa cuprinsă între 1 – 2 g (fig.1-2.15).

Pasul 2. Încălzirea cuptorului de calcinare la temperatura de $900 \pm 10^\circ\text{C}$;

Pasul 3. Încălzirea creuzetelor cu capac. Creuzetele se introduc în cuptorul de calcinare timp de 5 minute la temperatura de $900 \pm 10^\circ\text{C}$. După care se scot și se trece la pasul 4.

Pasul 4. Cântărirea probelor (fig.1-2.15). Utilizând balanța analitică cu domeniul de măsurare între 0,001 g – 100 g, se va determina:

- masa (m_1 [g]) fiecărui creuzet cu capac utilizat;
- masa (m_2 [g]) creuzetului cu capac cu proba de analiză.

Pasul 5. Calcinarea probelor. Probele cântărite se vor introduce în cuptor, fiind încălzite fără contact cu aerul, la temperatura de $900 \pm 10^\circ\text{C}$, timp de 7 minute, după care se vor scoate din cuptor și se vor răci în aer, timp de 5 minute (fig.1-2.16).

Pasul 6. Răcirea probelor (fig.1-2.17), după vor fi lăsate în aer timp de 5 minute, creuzetele cu materialul calcinat vor fi introduse în exicator până la răcirea completă.



Figura 1-2.15. Eșantionarea și cântărirea creuzetelor cu probele de analiză



a

b

Figura 1-2.16. Calcinarea probelor: a- cuptor de calcinare; b – probe calcinate



a

b

Figura 1-2.17. Răcirea probelor: a- în aer; b - în exicator

Paul 7. Cântărirea probelor calcinate. După ce ajung la temperatura ambientală creuzetele cu materialul calcinat vor fi cântărite, determinându-se masa (m_3 [g]) creuzetului cu reziduu, după calcinare.

Pasul 8. Determinarea conținutului de materii volatile a fiecărei probe se va realiza cu formula:

$$V^{mc} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100, \quad [\%], \quad (1-2.13)$$

unde m_1 este masa creuzetului gol [g]; m_2 – masa creuzetului cu proba de analiză, înainte de calcinare [g]; m_3 – masa creuzetului cu reziduu, după calcinare, [g].

Paul 9. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute.

Aparatură și materiale

Materiale se vor utiliza:

- ✓ 7 eşantioane de 0,001g – 2g de rumeguș din trei categorii brad, fag și amestec 50% brad, 50% fag, având umiditatea determinată în prealabil.

Aparatura de laborator:

- ✓ creuzete de laborator cu capac, din material ceramic, rezistente la temperaturi ridicate.
- ✓ balanță analitică cu domeniul de măsurare cuprins între 0,001g – 100g.
- ✓ cuptor de calcinare cu domeniul de temperatură variabil cuprins între 0 - 1200°C.
- ✓ exicator din sticlă.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- ✓ crearea tabelului de calcul, în Microsoft Office Excel (fig.1-2.18);
- ✓ introducerea datelor experimentale;

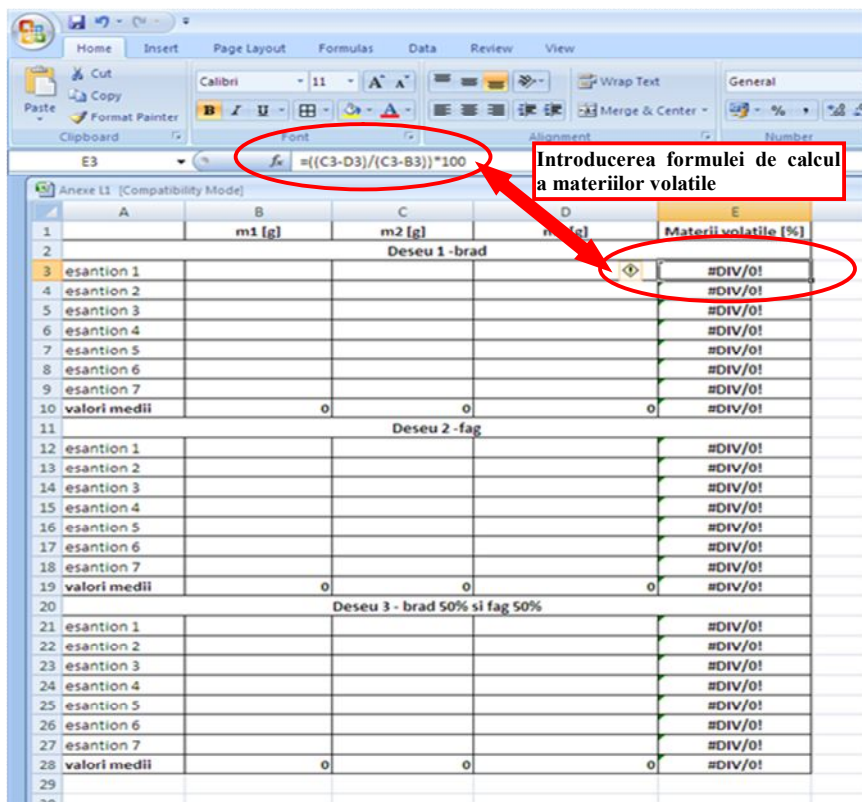


Figura 2.17. Tabelă Excel pentru determinarea valorii medii a materiilor volatile

- ✓ calculul automat al conținutului de materii volatile
- ✓ interpretarea rezultatelor obținute comparativ cu alte tipuri de biomasă disponibile în literatura de specialitate și impactul conținutului de materii volatile asupra posibilităților de valorificare energetică a biomasei.

Determinarea cenușii

Cerințe de rezolvat: să se determine cantitatea de cenușă existentă în materialul precizat mai jos. Metoda de determinare a conținutului de cenușă a probei analizate

a fost stabilită conform standardului european CEN/TS 14780:2005: E și CEN/TS 14775:2004.

Metoda de determinare

Pasul 1. Eșantionarea. Se utilizează câte 7 eșantioane din fiecare material, cărora le-a fost determinată în prealabil umiditatea totală, cu masa cuprinsă între 1 – 2 g.

Pasul 2. Cântărirea probelor. Utilizând balanța analitică cu domeniul de măsurare între 0,001 g – 100 g, se va determina:

- masa (m_1 [g]) creuzetului gol;
- masa (m_2 [g]) a creuzetului cu proba de analiză.

Pasul 3. Calcinarea probelor. Probele cântărite se vor introduce în cuptorul de calcinare, fiind încălzite treptat până la temperatura de $825 \pm 25^\circ\text{C}$. După atingerea temperaturii menționate probele se lasă în cuptor timp de 60 minute, după care se vor scoate și se vor lăsa la răcit în aer timp de 5 minute.

Pasul 4. Răcirea probelor în exicator, după ce sunt lăsate în aer timp de 5 minute, creuzetele cu materialul calcinat vor fi introduse în exicator până la răcirea completă.

Paul 5. Cântărirea probelor calcinate. După ce ajung la temperatura ambientală creuzetele cu materialul calcinat vor fi cântărite, determinându-se masa (m_3 [g]) creuzetului cu reziduu, după calcinare.

Pasul 6. Determinarea conținutului cenușă. Conținutul de cenușă al probei se calculează ca raport între masa reziduuului obținut după calcinare și masa inițială a probei analizate, exprimat în procente (relația 1.14):

$$A^a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100, \quad [\%], \quad (1-2.14)$$

unde m_1 este masa creuzetului gol, [g]; m_2 – masa creuzetului conținând proba analizată, [g]; m_3 – masa creuzetului, conținând proba analizată după calcinare până la masa constantă, [g].

Pasul 7. Prelucrarea datelor experimentale și interpretarea rezultatelor.

Aparatură și materiale.

Materiale se vor utiliza:

- ✓ 7 eșantioane de 0,001g – 2g de rumeguș din trei categorii brad, fag și amestec 50% brad, 50% fag, având umiditatea determinată în prealabil.

Aparatura de laborator:

- ✓ creuzete de laborator, din material ceramic, rezistente la temperaturi ridicate.
- ✓ balanță analitică cu domeniul de măsurare cuprins între 0,001g – 100g.
- ✓ cuptor de calcinare cu domeniul de temperatură variabil cuprins între 0 - 1200°C.
- ✓ exicator din sticlă.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- ✓ crearea tabelului de calcul, în Microsoft Office Excel (fig.1-2.19);
- ✓ introducerea datelor experimentale;
- ✓ calculul automat al conținutului de cenușă
- ✓ interpretarea rezultatelor obținute comparativ cu alte deșeuri solide și impactul conținutului de cenușă asupra posibilităților de valorificare energetică a biomasei solide.

	A	B	C	D	E
1		m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	Continutul de cenusa [%]
2	Deseu 1 - brad				
3	esantion 1				#DIV/0!
4	esantion 2				#DIV/0!
5	esantion 3				#DIV/0!
6	esantion 4				#DIV/0!
7	esantion 5				#DIV/0!
8	esantion 6				#DIV/0!
9	esantion 7				#DIV/0!
10	valori med	0	0	0	#DIV/0!
11	Deseu 2 - fag				
12	esantion 1				#DIV/0!
13	esantion 2				#DIV/0!
14	esantion 3				#DIV/0!
15	esantion 4				#DIV/0!
16	esantion 5				#DIV/0!
17	esantion 6				#DIV/0!
18	esantion 7				#DIV/0!
19	valori med	0	0	0	#DIV/0!
20	Deseu 3 - brad 50% si fag 50%				
21	esantion 1				#DIV/0!
22	esantion 2				#DIV/0!
23	esantion 3				#DIV/0!
24	esantion 4				#DIV/0!
25	esantion 5				#DIV/0!
26	esantion 6				#DIV/0!
27	esantion 7				#DIV/0!
28	valori med	0	0	0	#DIV/0!

Figura 1-2.19 Tabelă Excel pentru determinarea valorii medii a cantității de cenușă

Determinarea conținutului de cocs și a cărbunelui fix

Cerințe de rezolvat: determinarea conținutului de cocs și a cărbunelui fix a materialului analizat, utilizând rezultatele experimentale obținute în activitatea anterioară.

Utilizând datele experimentale obținute la 1-2.3.3 și 1-2.3.4. se va determina de asemenea conținutul de cocs, K_a , și cărbunele fix C_a^f cu relațiile:

$$K_a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100, \quad [\%], \quad (1-2.15)$$

$$C_a^f = K_a - A^a, \quad [\%], \quad (1-2.16)$$

unde: m_1 [g]; m_2 [g]; m_3 , [g] sunt valorile maselor determinate la punctul 1-2.3.3.- determinarea materiilor volatile; A^a – conținutul de cenușă a probei [%].

Rezultatele obținute în urma calculelor vor fi sintetizate într-un tabel de forma:

Tabelul 1-2.2

Conținutul mediu de și cărbune fix a biomasei analizate

Tip combustibil	Material 1	Material 2	Material 3
Caracteristici			
Conținutul de cocs K_a [%]			
Conținutul de cărbune fix C_a^f [%]			

După realizarea cercetărilor experimentale, rezultatele finale obținute se vor trece într-un tabel (Tabelul 1-2.3), realizându-se o analiză comparativă cu alte tipuri de biomasă.

Tabelul 1-2.3

Proprietățile fizico-chimice ale biomasei analizate

Material	Granulația [mm]	Densitate specifică ρ_s [kg/m ³]	Umiditate W_t [%]	Analiza tehnică		
				V^{mc} [%]	A^a [%]	C_a^f [%]
Material 1 (brad)						
Material 2 (fag)						
Material 3 (amestec)						

Exemplu de interpretare a rezultatelor obținute în urma analizei experimentale:

Obiectiv: **Analiza comparativă a caracteristicilor biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat cu combustibilii solizi convenționali utilizați pentru generarea de energie termică.**

Analiza comparativă a caracteristicilor biocombustibililor din rumeguș brichetat cu a combustibililor convenționali, se impune pentru analiza ulterioară atât a eficienței energetice a etapei de conversie cât și a emisiilor rezultate în urma procesului de ardere. În tabelul 1-2.4 sunt evidențiate valorile caracteristicilor analizate a biocombustibililor produși și utilizați în cercetarea experimentală cu cele ale combustibililor convenționali utilizați pentru producerea de energie termică, date disponibile în literatura de specialitate.

Tabelul 1-2.4

Analiza comparativă a caracteristicilor biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat cu combustibilii solizi convenționali utilizați pentru generarea de energie termică

Material	Umiditate W_t [%]	Analiza tehnică			Compoziția chimică elementală			Puterea calorică superioară H_s [MJ/kg]	Puterea calorică inferioară H_i [MJ/kg]
		V^{mc} [%]	A^a [%]	C^f_a [%]	C [%]	H [%]	O [%]		
Combustibil 1 (solid)	7,042	70,4685	2,065	20,4240	45,0730	5,4311	39,7518	17,268	15,988
Combustibil 2 (fag)	7,06	67,4081	4,1136	21,4182	44,3141	5,2931	38,5974	19,377	18,125
Combustibil 3 (amestec)	6,784	70,3498	2,8238	20,04232	44,7761	5,4039	39,5794	19,174	17,905
Lemn brad [2]	masă uscată	-	0,72	-	48,52	5,81	45,38	18,901	17,649
Lemn fag [2]	masă uscată	-	1,01	-	49,69	6,07	43,81	19,507	17,547
Lemn brad [1]	masă uscată	83,17	0,25	16,35	49	5,98	43,69	19,380	18,740
Lemn brad [2]	8	71,60	2,55	25,85	54,16	5,93	37,11	-	-

Analiza comparativă a caracteristicilor biocombustibililor solizi din rumeguș produși și utilizați în cercetarea experimentală, cu cele ale combustibililor din lemn din aceeași specie lemnoasă, relevă faptul că proprietățile fizico-chimice și energetice a acestora sunt similare cu cele ale lemnului de foc. Astfel, biocombustibilii din rumeguș brichetat pot fi utilizați pentru generarea de energie termică utilizând generatoare de energie cu grătar, ardere directă și tiraj natural, utilizate pentru arderea lemnului de foc, în aceleași condiții de ardere (reglajele pentru alimentarea cu aer să fie aceleași ca și la arderea lemnului).

Bibliografie

- [1] Deac, T., *Cercetări privind eficiența utilizării biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat pentru generarea de energie termică*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2010.
- [2] Ionel, I., *Managementul valorificării energetice a biomasei*, 2009, Arad.
- [3] xxx - *CEN/TS 14774-1:2004: E, Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content -Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [4] xxx - *CEN/TS 14775:2004: E, Solid Biofuels - Method for the determination of ash content*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [5] xxx - *CEN/TS 14780:2005: E, Solid Biofuels - Method for sample preparation*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [6] xxx - *CEN/TS 15148:2005:E, Solid Biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter* , 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.

Lucrarea 3-4. Metode de determinare a caracteristicilor energetice ale biomasei solide – determinarea puterii calorice

În lucrarea de față, se prezintă aspectele teoretice, metodele de determinare, aparatura și materialele necesare, precum și modalitățile de prelucrare și interpretare a rezultatelor necesare pentru determinarea teoretică și experimentală a proprietăților energetice ale deșeurilor solide organice, în special a puterii calorice. Puterea calorică este cea mai importantă proprietate energetică a deșeurilor solide, fiind primordială în determinarea modului de valorificare energetică a biomasei solide.

Introducere



Lucrarea este structurată pe două secțiuni 3-4.1.Considerații teoretice și 3-4.2. Determinarea teoretică și experimentală a puterii calorice a deșeurilor solide organice. În secțiunea 3-4.1 sunt prezentate succint proprietățile energetice ale deșeurilor organice, cu detalierea aspectelor referitoare la puterea calorică. Secțiunea 3-4.2, este divizată la rândul ei în două subsecțiuni principale, metode de determinare analitică a puterii calorice, funcție de componentele chimice din structura materialului și aplicarea metodelor pentru anumite tipuri de biomasă și determinarea experimentală a puterii calorice a biomasei vegetale în stare solidă utilizând metoda clasică, metoda bombei calorimetrice, aplicată conform standardelor în vigoare. Lucrarea se va finaliza prin prezentarea unui exemplu de comparare a datelor obținute analitic și experimental cu date existente în literatura de specialitate pentru alte tipuri de

biomasă, precum și propuneri de metode de valorificare energetică a biomasei analizate, în funcție de rezultatele obținute.

Durata medie de studiu

Timpul alocat pentru aplicația de laborator este de 4 ore divizate astfel: 2 ore pentru aprofundarea părții teoretice a lucrării și determinarea teoretică a puterii calorice și 2 ore pentru determinarea experimentală.

După parcurgerea aplicației, studentul va fi capabil:

Obiective



- ✓ să realizeze metodologia cercetării experimentale pentru determinarea puterii calorice.
- ✓ să utilizeze corect aparatura/standul de laborator destinat determinării experimentale a puterii calorice.
- ✓ să realizeze o analiză comparativă a biomasei din punct de vedere energetic.
- ✓ să realizeze o evaluare completă a unei categorii de biomasă din punct de vedere energetic.
- ✓ să identifice corect modul de valorificare energetică a biomasei solide analizate în concordanță cu caracteristicile energetice ale acesteia.

3-4.1. Considerații teoretice

Principalele proprietăți energetice ale biomasei solide, care influențează modul de valorificare energetică a acesteia sunt sintetizate în Tabelul 3-4.1.

Pentru analiza eficienței energetice a procesului de valorificare a biomasei solide este necesară caracterizarea din punct de vedere energetic.

Tabelul 3-4.1

Principalele caracteristici energetice ale biomasei solide cu influență asupra eficienței procesului de valorificare energetică

Principalele caracteristici energetice ale biomasei		Impactul asupra valorificării
Proprietăți energetice		
Deșeuri solide în stare naturală și compactate	<ul style="list-style-type: none"> – puterea calorică – densitatea energetică 	Influențează eficiența procesului de obținere a biocombustibililor și randamentul conversiei

Analiza proprietăților energetice ale acestora impune o abordare la nivel macroscopic și microscopic. Astfel, principalele caracteristici energetice ale biomasei solide sunt:

- puterea calorică și
- densitatea energetică.

În lucrarea de laborator se va aborda doar puterea calorică.

Puterea calorică [H] este unul dintre cei mai importanți parametri ce caracterizează biomasa solidă din punct de vedere energetic și reprezintă căldura de reacție la starea fizică normală ($p_0 = 760$ mmHg; $T=273,15$ K) sau căldura dezvoltată prin arderea completă a unității de masă de combustibil.

Ca unitate de măsură pentru puterea calorică, în cazul biomasei solide se utilizează [kJ/kg] sau [kg/m^3_N]. Deoarece căldura de reacție conține și căldura de vaporizare a apei este necesară definirea noțiunilor de putere calorică superioară și inferioară.

Puterea calorică superioară [H_s] este căldura de reacție a deșeurii inclusiv căldura de vaporizare a apei.

Putere calorică inferioară [H_i] este căldura de reacție a deșeurii mai puțin căldura de vaporizare a apei.

Puterea calorică a biomasei este influențată de umiditate, compoziția elementară a acestuia, precum și de conținutul de cenușă, materii volatile și cărbune fix:

$$H = f(H^i, C^i, O^i, N^i, S^i, A^i, V^{mc}, W_t^i) \quad (3-4.1)$$

Puterea calorică a biomasei solide se determină experimental sau analitic.

Metoda de determinare experimentală a puterii calorice este standardizată conform CEN/TS 14918:2005: E, Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value [8]. *Analitic*, puterea calorică se determină utilizând ecuații de corelare a acestora cu elementele chimice din structura biomasei sau cu cantitatea de cenușă, materii volatile, cărbune fix și umiditatea. În tabelul 3-4.2. este realizată o sinteză a ecuațiilor analitice de determinare a puterii calorice a biomasei solide.

Tabelul 3-4.2.

Ecuatii de determinare a puterii calorice a biomasei solide vegetale [1-6]

Ecuatia de determinare a puterii calorice	
Ecuatia Dulong	$H_s = 0.3383C^i + 1.443\left(H^i - \frac{O^i}{8}\right) + 0.0942S^i, \quad [\text{MJ/kg}]$ <p>unde H_s este puterea calorică superioară a biomasei solide raportată la bază uscată, în MJ/kg; C^i, H^i, O^i, S^i conținutul procentual de carbon, hidrogen, oxigen, sulf din compoziția elementară a biomasei solide, raportat la bază uscată, [%].</p> <p>Ecuatia este derivată din ecuațiile de corelare a proprietăților cărbunelui având deviație standard de $\pm 0,5\%$ în cazul biomasei cu conținut scăzut de oxigen. În cazul biomasei solide cu conținut ridicat de oxigen, deviația standard se încadrează într-un interval mai larg, și anume 5-7%. Proprietățile biomasei solide prezente în ecuația de corelare, sunt raportate la bază uscată de combustibil ($W_t^i < 15\%$).</p>
Ecuatia Strache și Lant	$H_s = 0.3406C^i + 1.4324H^i - 0.1532O^i + 0.1047S^i, \quad [\text{MJ/kg}]$ <p>Versiune modificată a corelației Dulong, cu o precizie de determinare de 2% pentru orice varietate de cărbune.</p>
Ecuatia Steuer	$H_s = 0.3391\left(C^i - \frac{3}{8}O^i\right) + 0.286\frac{3}{8}O^i + 1.444\left(H^i - \frac{1}{16}O^i\right) + 0.1047S^i, \quad [\text{MJ/kg}]$ <p>Versiune derivată din ecuația lui Dulong, dar în care conținutul procentual de H^i și C^i este corelat cu conținutul de O^i. Deviația standard fiind și în acest</p>

	caz de 2%.
Ecuția Vondreck	$H_s = (0.373 - 0.00026C^i)C^i + 1.444(H^i - \frac{1}{10}O^i) + 0.1047S^i, \text{ [MJ/kg]}$ <p>A fost dezvoltată pentru determinarea conținutului energetic al carbonului, considerându-se o cantitate mare de hidrogen disponibil în structură. Și această ecuație a fost comparată cu ecuația Dulong, obținându-se o deviație standard de până la 2% pentru toate categoriile de biomasă solidă analizată.</p>
Ecuția D'Huart	$H_s = 0.3391C^i + 1.4337H^i + 0.0931S^i - 0.1273O^i, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Deviație standard de doar 2%.</p>
Ecuția Schuster	$H_s = (1.0632 + 1.486 \cdot 10^{-3}O^i)(\frac{C^i}{3} + H^i - \frac{O^i - S^i}{8}), \text{ [MJ/kg]}$ <p>Ecuția a fost determinată considerând cantitatea de căldură degajată în urma arderii complete a unității de masă de biomasă solidă proporțională cu cantitatea de oxigen sau aer consumată în timpul procesului de ardere. Constanta de proporționalitate depinde de cantitatea de oxigen din compoziția combustibilului solid.</p>
Ecuția Grummel and Davis	$H_s = (0.0152H^i + 0.9875)\frac{C^i}{3} + H^i - \frac{O^i - S^i}{8}, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Ecuția a fost determinată considerând cantitatea de căldură degajată în urma arderii complete a unității de masă de biomasă solidă, proporțională cu conținutul de oxigen sau aer consumată în timpul procesului de ardere, dar considerând constanta de proporționalitate ca fiind funcție de conținutul de hidrogen din compoziția biomasei.</p>
Ecuția Seylor	$H_s = 0.519C^i + 1.625H^i + 0.001O^{i2} - 17.87, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Ecuția de corelare a fost dezvoltată plecând de la ipoteza că raportul dintre căldura degajată în timpul procesului de ardere și procentul de oxigen din compoziția biomasei, variază după o funcție liniară.</p>
Ecuția Grabosky and Bain	$H_s = 0.328C^i + 1.4306H^i - 0.0237N^i + 0.0929S^i - (1 - A^i)40.11\frac{H^i}{C^i} + 0.3466, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Ecuția de corelare s-a dezvoltat prin analiza produșilor rezultați în urma conversiei biomasei solide (CO₂, H₂O, SO₂ și NO₂).</p>
Ecuția Chang	$H_s = 35.8368 + 0.7523H^i - 0.2674S^i - 0.4654O^i - 0.3814C^i - 0.2802N^i, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Este o corelație dezvoltată pentru determinarea puterii calorice superioare a biomasei solide.</p>
Ecuția Channiwala	$H_s = 0.3491C^i + 1.1783H^i + 0.1005S^i - 0.1034O^i - 0.0151N^i - 0.0211A^i, \text{ [MJ/kg]}$ <p>A fost determinată prin analiza a cinci mari categorii de combustibili:</p>

	lichizi, gazoși, biomasă solidă, combustibili solizi minerali, deșeuri animale.
Ecuția IEA	$H_s = 0.3491C^i + 1.1783H^i + 0.1005S^i - 0.0151N^i - 0.1034O^i - 0.0211A^i, \text{ [MJ/kg]}$ <p>Ecuție empirică de calcul a puterii calorice superioare funcție de compoziția elementară a biocombustibilului solid din rumeguș și a compoziției inițiale de cenușă:</p>
Ecuția Hilber	$H_i = (1 - W_t^i)H_s - 24,43[W_t^i + 8,937H^i(1 - W_t^i)]$ <p>unde H_i este puterea calorică inferioară a biocombustibilului solid, [kJ/kg]; H_s – puterea calorică superioară a biocombustibilului solid, [kJ/kg].</p>

Caracteristicile energetice ale deșeurilor solide, atât în stare naturală, cât și în stare compactată influențează în principal eficiența energetică a activităților parcurse de la locul de producere și până la locul de conversie.

3-4.2. Determinarea teoretică și experimentală a puterii calorice a biomasei solide

Determinarea teoretică a puterii calorice a biomasei solide

Cerințe de rezolvat: utilizând datele experimentale obținute în Lucrarea de laborator 1-2 și datele existente în literatura de specialitate (vezi bibliografie) să se determine analitic (utilizând formulele din tabelul 3-4.2) puterea calorică a biomasei solide analizate în lucrarea de laborator anterioară.

Metoda de determinare

Pasul 1. Analiza rezultatelor obținute în lucrarea de laborator precedentă și a datelor din literatura de specialitate.

Pasul 2. Corelarea datelor avute la dispoziție cu ecuațiile din tabelul 3-4.2.

Pasul 3. Alegerea ecuațiilor de determinare a puterii calorice care se pot utiliza în concordanță cu datele disponibile.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Hs	C	O	H	Hi	S	N	A	Wt
2	Ecuatia Dulong	=0,3383*C2+1443*(F2-D2/8)+0,0942*G2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Ecuatia Strache și Lant		0	0	0	0	0	0	0	0
4	Ecuatia Steuer									
5	Ecuatia Vondreck									
6	Ecuatia D'Huart									
7	Ecuatia Schuster									
8	Ecuatia Grummel and Davis									
9	Ecuatia Seylor									
10	Ecuatia Chang									
11	Ecuatia Hilber									
12										

Figura 3-4.1. Tabela pentru calculul teoretic al puterii calorice a biomasei solide

Pasul 4. Realizarea unei tabele de calcul pentru determinarea puterii calorice (vezi fig. 3-4.1)

Pasul 5. Determinarea puterii calorice a biomasei solide analizate.

Pasul 6. Analiza rezultatelor obținute.

Determinarea experimentală a puterii calorice a biomasei solide

Cerințe de rezolvat: determinarea puterii calorice a biomasei solide analizate în lucrările de laborator anterioare utilizând metoda calorimetrică, conform CEN/TS 14918:2005: E, Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value și STAS 5269-82.

Principiul metodei constă în arderea materialului analizat, la volum constant într-o bombă calorimetrică adiabatică, izotermă. Astfel, puterea calorică superioară a probelor se va determina prin arderea completă în bomba calorimetrică a unei cantități cunoscute de biomasă (masa probei) în atmosferă de oxigen. Căldura degajată prin ardere fiind cedată sistemului calorimetric care va cuprinde o cantitate cunoscută de apă, a cărei creștere de temperatură va fi înregistrată.

Înainte de fiecare determinare se va realiza etalonarea calorimetrului prin determinarea factorului calorimetric utilizând ca și combustibil etalon acidul benzoic. De asemenea, se va determina și corecția de căldură datorată arderii sârmei de nichelină și a firului de bumbac.

Căldura totală degajată prin ardere (Q), exprimată în [MJ], se va calcula pe baza relației:

$$Q = K \cdot (t_f - t_i), \quad (3-4.2)$$

unde K reprezintă factorul calorimetric al sistemului, determinat experimental, [$J/^\circ C$]; t_i – temperatura inițială (ultima valoare a temperaturii în etapa inițială care devine și prima din etapa principală) a apei în sistem, [$^\circ C$]; t_f – temperatura finală a apei în sistem (valoarea maximă a temperaturii apei din etapa principală, care va deveni și prima valoare citită în etapa finală), [$^\circ C$].

Conform standardului amintit puterea calorică superioară (H_s), a probei analizate se calculează cu relația:

$$H_s = \frac{K \cdot \Delta t - q_t}{m}, \quad [J/g] \quad (3-4.3)$$

unde K reprezintă factorul calorimetric, [$J/^\circ C$]; Δt – creșterea reală de temperatură a sistemului calorimetric, [$^\circ C$]; q_t – corecția totală de căldură, [J]; m – masa probei de combustibil, [g].

Puterea calorică inferioară, raportată la proba pentru analiză (H_i), s-a determinat utilizând valoarea obținută pentru puterea calorică superioară, cu relația:

$$H_i = H_s - 206 \cdot H^i - 23 W_t, \quad [\text{J/g}] \quad (3-4.4)$$

unde H_s reprezintă puterea calorică superioară a probei analizate, [J/g]; H – conținutul de hidrogen al probei analizate, [%], W_t – umiditatea totală a probei analizate, [%].

Aparatură și materiale: calorimetru adiabatic (figura 3-4.2a) cu următoarele componente: vasul calorimetric (figura 3-4.2a), agitator (figura 3-4.2b), bomba calorimetrică cu creuzet din cuarț și presă pentru pastilarea probei de combustibil (sub formă de pastilă cilindrică cu diametrul de 10 mm), oxigen tehnic, reductor de presiune, prevăzut cu două manometre (unul pentru măsurarea presiunii oxigenului din butelie, și al doilea pentru măsurarea presiunii din bombă), sârmă pentru aprinderea probei de combustibil, din nichel, cu grosimea de 0,1 mm, fir de bumbac, combustibil etalon – acid benzoic (mojarat în prealabil, astfel încât să treacă prin sita cu țesătură de sârmă 02, și ținut în exicator 24 h înaintea efectuării determinării), precum și balanță analitică cu domeniu de măsurare de 0 – 100 g, precizia de măsurare de 0,001g; cilindru gradat din sticlă de 75 ml.

Modul de lucru: constă în două etape principale – pregătirea determinării și realizarea efectivă a acesteia.

Pasul 1. Stabilirea cantității de apă din vasul calorimetric. Se toarnă în vasul calorimetric cu capacul înșurubat până la refuz, apă de la robinet măsurată cu ajutorul unui cilindru gradat, cu capacitatea de 500cm³ până când nivelul apei depășește capacul bombei, respectiv partea inferioară a bornelor, cu circa 5mm. se cântărește cantitatea de apă totală turnată în vasul calorimetric și se menține constantă pe toată perioada determinărilor (conform STAS 5269-77).

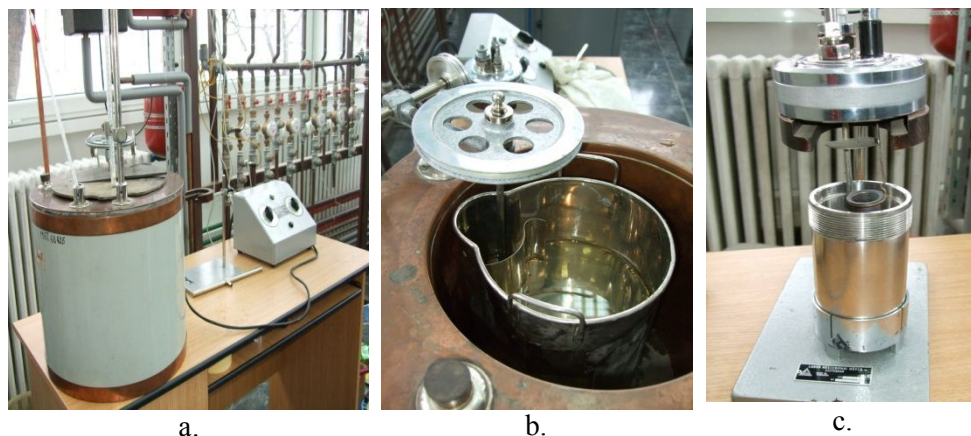


Figura 3-4.2. Aparatură și materiale utilizate pentru determinarea puterii calorice a rumegușului analizat, cu metoda bombei calorimetrice: a. calorimetru adiabatic; b. agitatorul pentru uniformizarea temperaturii apei din calorimetru; c. bomba calorimetrică și creuzetul din cuarț

Pasul 2. Stabilirea poziției agitatorului. Se fixează în dispozitivul de antrenare fără să atingă fundul vasului. Poziția rămânând constantă pentru toate determinările (conform STAS 5269-77).

Pasul 3. Stabilirea tensiunii optime a curentului necesar aprinderii probei de combustibil. Aceasta trebuie să îndeplinească condiția ca arderea sârmei să se realizeze într-un timp foarte scurt. Stabilirea acesteia se va realiza conform STAS 5269-77.

Pasul 3. Pregătirea bombei calorimetrice. Creuzetul se curăță bine, se calcinează timp de 1...2 min la 850°C, se răcește în exicator și se cântărește cu precizie de 0,002g. Se taie din sârma de aprindere o bucată de circa 8 cm lungime și se cântărește cu precizie de 0,0002 g. Idem pentru firele de bumbac. Proba de combustibil se introduce în creuzet, se cântărește creuzetul cu proba.

Se așează creuzetul cu proba pe inelul tijei capacului bombei, după care se introduce oxigenul astfel încât să nu se disloce conținutul de aer din bomba calorimetrică, și până la presiunea de circa 30 bar. Se introduce bomba

calorimetrică în apa din vasul calorimetric, observându-se etanșeitarea ei (conform STAS 5269-77).

Pasul 4. Montarea calorimetrului. Vasul calorimetric se introduce în termostat, în el se introduce bomba calorimetrică. Se montează agitatorul, se face legătura cu circuitul electric, se montează termometrul pe tija de pe termostat. Se acoperă termostatul cu capacul său, astfel încât cele două jumătăți să se lipească complet una de alta.

Pasul 5. Determinarea factorului calorimetric. Se procedează la fel ca la determinarea puterii calorice superioare a unui combustibil (conform STAS 5269-77).

Pasul 6. Determinarea puterii calorice: aprinderea probei din bombă, citirea temperaturilor indicate la termometru, pentru apa din vasul calorimetric, determinarea sulfului și azotului din bombă, citirea temperaturilor – perioada inițială, perioada principală și perioada finală.

Pasul 7. Calculul puterii calorice superioare (relația 3-4.2).

Pasul 8. Calculul puterii calorice inferioare (relația 3-4.4).

Pasul 9. Calculul factorului calorimetric al sistemului (relația 3-4.5):

$$K = \frac{m_e * Q_s^e + q_t}{\Delta_s} \quad (3-4.5)$$

Unde: m_e este masa substanței etalon luate în lucru [g], Q_s^e – puterea calorică superioară a substanței etalon [J/g]; q_t – corecția totală de căldură; Δ_t – creșterea reală de temperatură.

Modelul fișei de măsurare și tabela de calcul sunt prezentate în (fig.3-4.3). De asemenea modul de lucru detaliat va fi disponibil în cadrul lucrării de laborator – STAS 5269-77.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- crearea tabelului de calcul (fig.3-4.3), în Microsoft Office Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Test 1								
2	Tip combustibil:								
3	Umiditatea de imbitatie [%]								
4	Umiditatea probei pentru analiza [%]								
5	Cenusă probei pentru analiza [%]								
6	Factorul calorimetric [J/g]								
7	Masa probei de combustibil [g]								
8	Masa firului de bumbac ars [g]								
9	Masa sarmei arse [g]								
10	Căldura de ardere a firului de bumbac [J/g]								
11	Căldura de ardere a sarmei [J/g]								
12									
13									
14	Calculul factorului calorimetric								
15	Masa acidului benzoic ars [g]	me	0						
16	Puterea calorifică a acidului benzoic [J/°C]	Qme	0						
17	Masa sarmei arse [g]	ms	0						
18	Masa firului de bumbac ars [g]	mb	0						
19	Căldura de ardere a sarmei [J/g] - nichelina	qs	0						
20	Căldura de ardere a firului de bumbac [J/g]	qb	0						
21	temperatura inițială citită	t0	0						
22	temperatura finală citită	tn	0						
23	corecția citirii temperaturii inițiale	k1	0						
24	corecția citirii temperaturii finale	k2	0						
25			0						
26	Creșterea de temperatură	Δt	0						
27	Corecția de căldură q1 pt arderea firului de sarma și a firului de bumbac	q1	0						
28									
29	Factorul calorimetric K [J/gdC]	$K=(me*Qme -q1)/\Delta t$	#DIV/0!	KJ/C - test 1	test 2	test 3	media	J/C	
30				0	0	0	0,00	0	
31	Calculul Puterii Calorice Superioare								
32	Masa probei [g]	mcb	0						
33	Masa sarmei arse [g]	ms	0						
34	Căldura de ardere a sarmei [J/g] - nichelina	qs	0						
35	Masa firului de bumbac ars [g]	mb	0						
36	Căldura de ardere a firului de bumbac [J/g]	qb	0						
37	temperatura inițială citită	t0	0						
38	temperatura finală citită	tn	0						
39	corecția citirii temperaturii inițiale	k1	0						
40	corecția citirii temperaturii finale	k2	0						
41	Creșterea de temperatură	Δt	0						
42	Corecția de căldură q1 pt arderea firului de sarma și a firului de bumbac	q1	0						
43	Factorul calorimetric	k	0,00						
44	Puterea calorifică superioară J/g	$Qs=(k*\Delta t -q1)/mcb$	#DIV/0!						
45									
46	Calculul puterii calorice inferioare a probei inițiale								
47	puterea calorifică superioară	Qs	#DIV/0!	MJ/kg					#DIV/0!
48	Conținutul de hidrogen	Ha	0						
49	Umiditatea totală	Wt	0						
50	Puterea calorifică inferioară a pb analizate	$Qia=Qs-208*Ha-23*Wt$	#DIV/0!						#DIV/0!
51									
52									
53									

Figura 3-4.3. Tabela de calcul pentru determinarea experimentală a puterii calorice

- introducerea datelor experimentale
- realizarea calculelor
- analiza comparativă a puterii calorice cu cele determinate analitic și cele existente în literatura de specialitate
- analiza energetică a biomasei analizate și elaborarea de propuneri de valorificare energetică a acestora.

Exemplu de interpretare a rezultatelor obținute în urma analizei experimentale [2]:

Obiectiv: **Analiza comparativă a puterii calorice a deșeurilor lemnoase.**

Analiza comparativă a puterii calorice deșeurilor din rumeguș cu a combustibililor convenționali, se impune pentru analiza ulterioară a eficienței energetice a etapei de conversie și pentru alegerea metodei optime de valorificare energetică sau de reciclare a biomasei. În tabelul 3-4.3 sunt evidențiate valori ale puterii calorice, obținute experimental, pentru deșeuri din lemn, respectiv rumeguș din diferite specii lemnoase. De asemenea se poate analiza și influența speciei lemnoase asupra puterii calorice.

Tabelul 3

Analiza comparativă a puterii calorice a deșeurilor din lemn - rumeguș din diferite specii de lemn

Material	Umidi- tate W_i [%]	Analiza tehnică			Compoziția chimică elementală			Puterea calorică superioa- ră H_s [MJ/kg]	Puterea calorică inferioa- ră H_i [MJ/kg]
		V^{mc} [%]	A^a [%]	C^f_a [%]	C [%]	H [%]	O [%]		
Combustibil 1 (brad)	7,042	70,468	2,065	20,424	45,073	5,431	39,751	17,268	15,988
Combustibil 2 (fag)	7,06	67,408	4,113	21,418	44,314	5,293	38,597	19,377	18,125
Combustibil	6,784	70,349	2,823	20,042	44,776	5,403	39,579	19,174	17,905

3 (amestec)									
Lemn brad [1]	masă uscată	-	0,72	-	48,52	5,81	45,38	18,901	17,649
Lemn fag [1]	masă uscată	-	1,01	-	49,69	6,07	43,81	19,507	17,547
Lemn brad [3]	masă uscată	83,17	0,25	16,35	49	5,98	43,69	19,380	18,740
Lemn brad [6]	8	71,60	2,55	25,85	54,16	5,93	37,11	-	-

În urma analizei realizate se poate observa că fagul are putere calorică mai mare decât bradul sau deșeurile în amestec. Dar și puterea calorică a rumegușului de brad este ridicată, putând fi astfel utilizate ca și sursă de energie termică sub formă brichetată în centrale termice rezidențiale.

Bibliografie

- [1] Channiwala, S.,A., Parikh, P.,P., *A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels*, 2001, Fuel 81(2002) 1051-1063, Elsevier.
- [2] Deac, T., *Cercetări privind eficiența utilizării biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat pentru generarea de energie termică*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2010.
- [3] Demirbas., A., *Calculation of higher heating value of biomass fuels*, 1997, Elsevier Science Ltd., Fuel 1997; 76(5): 431-4.
- [4] Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., Varmuza, K., *Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition*, 2005, Elsevier Science Ltd., Analytica chimica Acta 544 (2005) 191-198.
- [5] Ionel, I., *Managementul valorificării energetice a biomasei*, 2009, Arad.
- [6] Parikh., Jigisha., Channiwala., S.,A., Ghosal., G.K., *A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass material*, 2007, Fuel 86 (2007) 1710-1719, Elsevier.

- [7] xxx - *CEN/TS 14780:2005: E, Solid Biofuels - Method for sample preparation*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] xxx - *CEN/TS 14918:2005: E, Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [9] xxx – STAS 5269-82 – *Determinarea puterii calorice* , 1982, Institutul Român de Standardizare.

Lucrarea 5. Procesarea biomasei solide granulare prin compactare – analiza constructiv funcțională a mașinilor de brichetat

În lucrarea de laborator, se realizează analiza constructivă și funcțională a mașinilor de compactat deșeuri solide granulare, mai precis analiza constructiv – funcțională a mașinii de brichetat rumeguș, având caracteristicile descrise mai jos.

Lucrarea se structurează pe două părți principale, care constituie cele două activități ale lucrării: 5.1. Considerații teoretice – analiza constructiv funcțională a mașinii de brichetat rumeguș și 5.2. Determinarea experimentală a influenței speciei lemnoase asupra densității specifice, respectiv densității energetice a brichetelor de rumeguș.

Secțiunea 5.1. Considerații teoretice reprezintă activitatea prin care studenții trebuie să își însușească pe de o parte principalele elemente constructive ale mașinii de brichetat, iar pe de altă parte funcționarea acesteia și reglajele posibile ale acesteia. Rezolvarea primei activități impuse este necesară pentru a putea realiza ce-a dea doua cerință a lucrării și anume 5.2. Determinarea experimentală a influenței speciei lemnoase asupra densității specifice a brichetelor de rumeguș. Cerința de rezolvat în acest caz reprezintă determinarea densității specifice a brichetelor și realizarea acestora, utilizând mașina de brichetat de la punctul 5.1., utilizând ca material rumeguș din diferite specii lemnoase și realizând diferite dimensiuni ale brichetelor.

Introducere



Secțiunea 5.1 se încheie cu interpretarea rezultatelor obținute și cu un exemplu în acest sens.

Durata medie de

studiu

Timpuł alocat pentru aplicația de laborator 5 - 2 ore.

Obiective



După parcurgerea aplicației, studentul va fi capabil:

- ✓ să cunoască construcția și funcționarea mașinii de brichetat deșeuri din rumeguș
- ✓ să știe reglajele necesare variației lungimii brichetei
- ✓ să realizeze reglarea presiunii de lucru funcție de tipul de deșeu utilizat și funcție de granulație
- ✓ să determine densitatea specifică a brichetelor de rumeguș necesară pentru determinarea eficienței energetice a acestora

5.1.Considerații teoretice - Analiza constructivă și funcțională a mașinii de brichetat rumeguș

Mașina de brichetat (fig.5.1) este destinată compactării deșeurilor lemnoase solide sub formă de rumeguș sau talaș (în special rumeguș din lemn uscat, talaș, lemn tocat de dimensiuni reduse) cu umiditatea cuprinsă în intervalul 8 – 17% și granulația mai mică de 5mm, fără utilizarea altor substanțe auxiliare. De asemenea poate fi utilizată și la compactarea deșeurilor provenite din agricultură cum ar fi coceni de porumb mărunțiți sau chiar tulpini de porumb, crengi provenite din curățarea livezilor sau deșeuri provenite din curățarea spațiilor verzi, mărunțite în prealabil dar a căror umiditate să nu depășească 15%. Prin compactare cu mașina de brichetat din dotarea laboratorului de Biocombustibili solizi din cadrul UTCN se obțin brichete de formă cilindrică cu lungime și densitate variabilă, funcție de tipul

și granulația materialului utilizat. Principalele caracteristici tehnice ale mașinii de brichetat analizată sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Principalele caracteristici tehnice ale mașinii de brichetat

Denumire caracteristică tehnică	Dimensiuni
Dimensiuni de gabarit Lxlxh(mm)	1405x1120x1450
Diametru cuvei de alimentare (mm)	1000-900
Înălțimea cuvei de alimentare (mm)	930
Volumul cuvei de alimentare (m ³)	0.7
Diametrul maxim al brichetei (mm)	55
Lungimea maximă a brichetei (mm)	70
Capacitatea de producție (kg/h)	30 – 60
Greutatea (kg)	660
Puterea motorului principal (kW)	5,5
Tensiunea de alimentare (V)	380V, 50Hz
Număr de cicluri per minut (cicluri/minut)	8
Puterea de presare (kg/cm ³)	700
Numărul pistoanelor (număr)	3
Diametrul pistonului de presare (mm)	120
Presiunea de brichetare maximă (kg/cm ²)	120
Presiunea maximă a sistemului hidraulic (kg/cm ²)	200

Principalele subansamble ale mașinii de brichetat sunt (fig.5.1.):

Batiul mașinii și rezervorul hidraulic: construit din tablă de oțel, prevăzut cu 4 picioare de sprijin. În interiorul batiului se află amplasat rezervorul de ulei hidraulic. Pe batiu sunt instalate:

- motorul electric pentru acționarea pompei hidraulice.
- indicatorul pentru nivelul uleiului și sistem de siguranță care oprește mașina de brichetat din funcționare în cazul în care nivelul uleiului scade sub valoarea permisă (împiedică pierderile de ulei)
- filtrul de ulei cu manometru
- bușonul de umplere

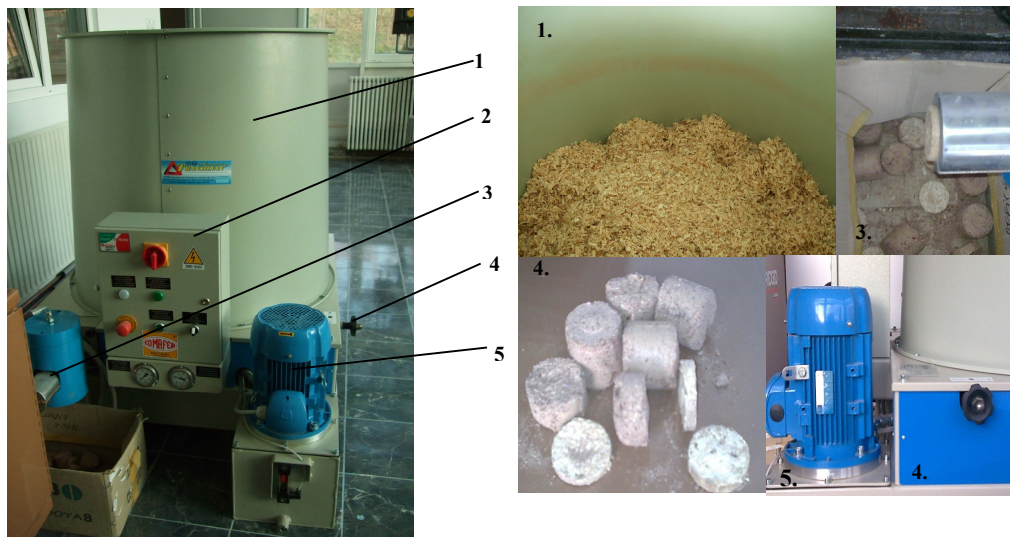


Figura 5.1. Construcția mașinii de brichetat rumeguș:

1 - buncăr conic pentru alimentarea mașinii cu biomasă solidă; 2 – tabloul de comanda; 3 - canal cilindric pentru evacuarea brichetei fixat pe batiu cu ajutorul unei flanșe; 4 – subansamblu pentru reglarea lungimii brichetei; 5 – motorul de acționare

- sistemul de răcire a uleiului compus dintr-un radiator aer – ulei și o electropompă pentru răcirea uleiului
- electropompa pentru recircularea uleiului în sistemul de răcire

Grupul de precomprimare: cu funcție de precomprimare a materialului în camera de compresie a grupului de presare fiind compus din:

- camera fixă pentru colectarea biomasei
- caseta mobilă pentru comprimarea biomasei
- cilindru oleodinamic pentru acționarea casetei de alimentare, 2 limitatoare de cursă din care una fixă care determină poziția casetei de alimentare cu clapeta în poziție închisă și una mobilă pentru poziția clapetei deschise, pe care este fixat un indicator care se blochează în

sens anti-orar, și care permite poziționarea acesteia pe scări gradate pentru stabilirea lungimii brichetei.

Grupul de comprimare: are rolul de a comprima biomasa solidă pentru obținerea brichetelor cu diametru constant de 55 mm și lungime variabilă (funcție de tipul și densitatea materialului) de până la maxim 70 mm. Echipamentul este compus din următoarele elemente principale:

- cilindru oleodinamic dotat cu două secțiuni distincte: prima secțiune fiind redusă pentru prima viteză de avans, controlată cu ajutorul unei valve
- pe flanșa din spate a cilindrului se află un grup de electrovalve fixate pe un bloc de comandă
- flanșă mobilă care controlează poziția pistonului de presare
- camera de presare dotată cu două guri de alimentare, anterioară și posterioară, confecționate din oțel
- un canal cilindric pentru evacuarea brichetei fixat pe batiu cu ajutorul unei flanșe (fig.5.1.)
- gură de evacuare oleodinamică, poziția acesteia fiind controlată de un șurub.

Grupul de încărcare: are funcția de transport al materialului deasupra camerei de precomprimare fiind compus din:

- buncăr conic pentru alimentarea mașinii cu biomasă solidă (fig.5.1)
- agitator cu palete pentru alimentarea transportorului melcat, care se rotește în sens orar la fiecare ciclu de presare și un echipament special care previne rotirea paletelor în sens antiorar.

Panoul de comandă (fig.5.1.): care constituie interfața dintre mașină și operator. Fiind constituit din:

- tablou metalic cu grad de protecție IP 55

- panou intern pe care sunt fixate toate componentele electromecanice auxiliare
- panou extern cu butoane de comandă și reglare.

Reglaje posibile: duritatea și lungimea brichetei, presiunea maximă de lucru.

Reglarea durității brichetelor: se realizează prin reglarea presiunii de deschidere a casetei de alimentare. Este important ca aceasta și pistonul să se deschidă la fiecare ciclu. Se recomandă ca pentru lemnul de esență moale, cum ar fi: pinul, paltinul, etc. presiunea de deschidere a casetei să fie de mx. 100 Bar; iar pentru lemn de esență tare cum ar fi: stejarul, fagul, etc., presiunea de deschidere a casetei să nu depășească 70bar.

Reglarea lungimii brichetei: pentru reglarea lungimii brichetei este necesară reglarea deschiderii casetei cu buncărul absolut plin. Cu mașina în funcțiune și la fiecare ciclu de închidere a casetei de alimentare, se acționează sistemul de reglare prin blocarea limitatorului în sens antiorar permițând limitarea sau mărirea deschiderii casetei și în consecință modificarea lungimii brichetei. Astfel lungimea brichetei este variabilă funcție de materialul utilizat dar nu poate depăși 50mm.

Reglarea presiunii maxime de lucru: este importantă pentru adaptarea presiunii deschiderii casetei de alimentare în concordanță cu caracteristicile materialului utilizat.

Cerințe de rezolvat: să se realizeze analiza constructivă și funcțională a mașinii de brichetat din dotarea laboratorului - prezentarea corectă a elementelor constructive ale mașinii de brichetat și rolul acestora, panoul de comandă, modul de funcționare și principalele reglaje care pot fi realizate.

5.2. Determinarea experimentală a influenței caracteristicilor fizice ale biomasei asupra densității specifice a brichetelor de rumeguș

Cerințe de rezolvat: realizarea brichetelor din rumeguș din două specii lemnoase fag și brad, precum și amestec din acestea, având trei lungimi diferite 30mm, 50mm și 70mm, la o presiune a casetei de alimentare de 100 bar; determinarea densității specifice a brichetelor prin măsurare directă a lungimii și masei acestora.

Modul de lucru:

Pasul 1. Pregătirea mașinii de brichetat: constă în verificarea presiunii casetei de alimentare, prin citirea valorilor indicate de manometrele situate în partea inferioară a panoului de comandă (vezi fig.5.2.), reglarea lungimii brichetei, utilizând indicațiile subansamblului de reglare (vezi fig.5.3) și verificarea cuvei de alimentare a rumegușului (vezi fig.5.4).

Pasul 2. Pregătirea materialului de brichetat – analiza speciei lemnoase, umidității și granulației. Se va utiliza rumegușul analizat în lucrarea de laborator cu nr.1-2 și 3-4 a cărui proprietăți au fost deja determinate (umiditate, granulație).

Pasul 3. Alimentarea cuvei mașinii de brichetat. La pornirea mașinii cuva trebuie să fie plină. Modificarea parametrilor de lucru trebuie realizați cu cuva plină.

Pasul 4. Pornirea mașinii de brichetat. Se va conecta mașina de brichetat la tensiunea nominală de 380 V, după care se acționează motorul electric cu ajutorul butoanelor de pe tabloul de comandă.

Pasul 5. Colectarea brichetelor.

Pasul 6. Modificarea lungimii brichetelor. După golire cuva va fi alimentată, și se va trece la reglarea următoarei lungi a brichetelor.

Pasul 7. Încărcarea cuvei de alimentare cu al doilea tip de biomasă și reluarea procesului de brichetare.



Figura 5.2. Manometre pentru verificarea presiunii de lucru a mașinii de brichetat



Figura 5.4. Verificarea cuvei mașinii de brichetat

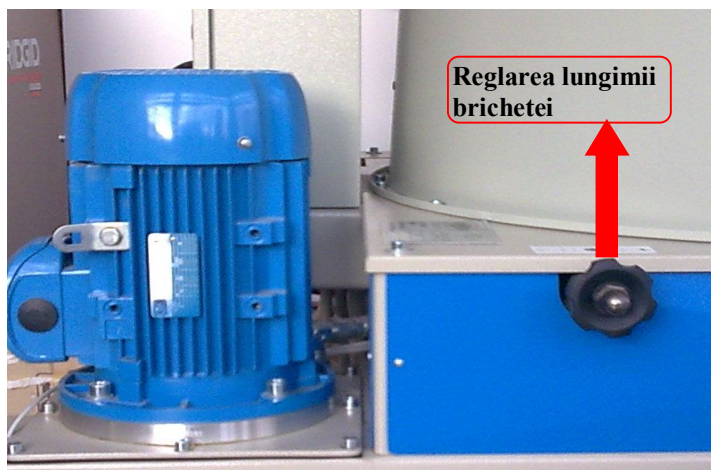


Figura 5.3. Reglarea lungimii brichetei

Pasul 8. Determinarea densității specifice a brichetelor utilizând metoda de determinare și aparatura de laborator prezentată la lucrarea de laborator 1-2.

Pasul 9. Colectarea datelor experimentale și interpretarea rezultatelor obținute.

Aparatură și materiale

Mașina de brichetat din dotarea Laboratorului de Biocombustibili Solizi, din cadrul Centrului de Cercetări Bioenergetice a Universității Tehnice din Cluj-Napoca,. Mașina de brichetat (figura 5.1.) utilizată poate compacta biomasă lemnoasă de diferite tipuri și granulații (în special rumeguș din lemn uscat, talaș, lemn tocat de dimensiuni reduse), dar cu umiditatea cuprinsă în intervalul 8 – 17%, fără utilizarea altor substanțe auxiliare. Prin compactarea rumegușului se vor obține brichete din biomasă solidă de formă cilindrică cu lungime și densitate variabilă, funcție de specia de lemn și granulația materialului utilizat, precum și de parametrii procesului de brichetare. Datorită elementelor constructive vor fi variați următorii parametri:

- duritatea brichetelor, se realizează prin reglarea presiunii de deschidere a casetei de alimentare;
- lungimea brichetei (figura 5.1.), pentru reglarea acesteia este necesară reglarea deschiderii casetei de alimentare cu buncărul absolut plin. Lungimea maximă a brichetei este de 70 mm;
- presiunea maximă de lucru, este importantă pentru adaptarea presiunii deschiderii casetei funcție de tipul materialului utilizat.

Principalele caracteristici tehnice ale mașinii de brichetat utilizate sunt volumul cuvei de alimentare $0,7 \text{ m}^3$; diametrul maxim al brichetei 55 mm; lungimea recomandată a brichetelor 40 mm; lungimea maximă a brichetei 70 mm; capacitatea de producție 30 – 60 kg/h; puterea motorului principal 5,5 kW; diametrul pistonului de presare 120 mm.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

Această etapă cuprinde următoarele activități principale:

- crearea tabeli Microsoft Office Excel de determinare a valorii medii a mărimilor măsurate (fig.5.5) și a densității specifice.

- sintetizarea rezultatelor obținute (vezi tabelul 5.2)
- transformarea rezultatelor în unitatea de măsură din S.I., pentru densitate.
- analiza comparativă a rezultatelor funcție de specia lemnoasă din care provine rumegușul și lungimea brichetei.

Determinarea densitatii specifice - Microsoft Excel						
Home Insert Page Layout Formulas Data Review View						
Clipboard Font Alignment Number						
F3 =E3/D3						
	A	B	C	D	E	F
1		Parametrii masurati				
2	Nr.proba	Lungime bricheta [cm]	Diametru [cm]	Volum [cm3]	Masa bricheta [g]	Densitatea specifica [g/cm3]
3	1	0	0	0	0	#DIV/0!
4	2	0	0	0	0	#DIV/0!
5	3	0	0	0	0	#DIV/0!
6	4	0	0	0	0	#DIV/0!
7	5	0	0	0	0	#DIV/0!
8	6	0	0	0	0	#DIV/0!
9	7	0	0	0	0	#DIV/0!
10	Valoare medie	0	0	0	0	#DIV/0!
11						

Figura 5.5. Tabela de calcul a valorilor medii a mărimilor determinate experimental

Tabelul 5.2.

Categoriile de rumeguș utilizate în cercetarea experimentală

Codificare	Specia lemnoasă	Diametru [mm]	Lungime medie [mm]			Densitate în vrac	Masa brichetei	Volumul brichetei
			L1	L2	L3	ρ_v	m	V
Material 1	Brad	55						
Material 2	Fag	55						
Material 3	Amestec 50% brad și 50%fag	55						

Exemplu de interpretare a rezultatelor obținute în urma analizei experimentale [1]:

Obiectiv: **Analiza comparativă a densității specifice medii a brichetelor din rumeguș provenit din diferite specii lemnoase și de diferite lungimi, realizate la aceeași presiune de lucru.**

Rezultatele obținute în urma măsurătorilor și calcului analitic al volumului sunt prezentate în tabelul 5.3. Analiza rezultatelor obținute relevă faptul că brichetele în rumeguș de brad au densitatea specifică cea mai mică. De asemenea ținând cont și de puterea calorică mai redusă decât a rumegușului din fag (vezi lucrarea 3-4), eficiența energetică a acestor brichete va fi mai redusă.

Tabelul 5.3

Densitatea medie specifică a brichetelor din rumeguș

Lungime brichetă [mm]	Bicombustibil 1	Bicombustibil 2	Bicombustibil 3
	ρ_s [kg/m ³]	ρ_s [kg/m ³]	ρ_s [kg/m ³]
L = 30	833,8	744,0	921,8
L = 50	784,1	715,9	735,6
L = 70	810,8	627,7	772,1

Așadar pentru a obține densități similare în cazul biomasei provenite din esențe lemnoase tari sau moi este necesară modificarea presiunii de lucru a mașinii de brichetat, respectiv creșterea forței de presare.

Bibliografie

- [1] Deac, T., *Cercetări privind eficiența utilizării biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat pentru generarea de energie termică*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2010.
- [2] Ionel, I., *Managementul valorificării energetice a biomasei*, 2009, Arad.

- [3] Smith, W.R., *Wood Fuel Preparation*, 1980, Progress in Biomass Conversion, Vol.2I, Academic Press, Inc.
- [4] www.comafer.it
- [5] xxx – *Carte tehnică Mașină de brichetat DINAMIC 60N*
- [7] xxx - *CEN/TS 14774-1:2004: E, Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content -Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] xxx - *CEN/TS 14775:2004: E, Solid Biofuels - Method for the determination of ash content*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [9] xxx - *CEN/TS 14780:2005: E, Solid Biofuels - Method for sample preparation*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [10] xxx - *CEN/TS 15148:2005:E, Solid Biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter* , 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.

Lucrarea 6. Determinarea eficienței conversiei biocombustibililor din biomasă solidă în energie termică

În lucrarea de față, se prezintă aspectele teoretice, metoda de determinare, aparatura și materialele necesare, precum și modalitățile de prelucrare și interpretare a rezultatelor necesare pentru determinarea eficienței conversiei energiei înmagazinate în biocombustibil brichetat realizat din biomasă solidă granulară - rumeguș compactat provenit din silvicultură, în energie termică.

Lucrarea este structurată pe două secțiuni 6.1.Considerații generale și 6.2. Determinarea experimentală a eficienței conversiei biocombustibilului brichetat în energie termică prin ardere directă.

În secțiunea 6.1 sunt prezentate noțiunile fundamentale necesare, definirea acestora și modul teoretic de determinare a eficienței energetice a etapei de conversie a biocombustibilului din rumeguș brichetat în energie termică. Secțiunea 6.2 este cea aplicativă având ca obiectiv determinarea experimentală a eficienței conversiei.

În acest sens Secțiunea 6.2. a lucrării de laborator este structurată conform metodologiei cercetării experimentale în: cerințe de rezolvat, descrierea metodei de determinare, aparatură și materiale, prelucrarea datelor experimentale și interpretarea acestora. Materialul analizat în partea experimentală a lucrării de laborator constă în brichete de rumeguș provenit din prelucrarea lemnului, din două specii

Introducere



lemnoase și amestec.

Secțiunea 6.2 se încheie cu un exemplu de interpretare a rezultatelor experimentale obținute în urma realizării activităților propuse.

Durata medie de studiu

Timpul alocat pentru aplicația de laborator 6 - 2 ore.

Obiective



După parcurgerea aplicației, studentul va fi capabil:

- ✓ să dezvolte o metodologie de cercetare experimentală
- ✓ să determine experimental eficiența conversiei energiei înmagazinate în brichetele de rumeguș în energie termică.
- ✓ să realizeze o tabelă de calcul în Microsoft Office Excel 2007
- ✓ să utilizeze un sistem de achiziție de date
- ✓ să utilizeze programul proprietar CatmanEasy
- ✓ să realizeze o analiză comparativă în vederea interpretării datelor experimentale rezultate.

6.1. Considerații generale

Ce-a de a doua etapă a procesului de valorificare energetică a rumegușului, este conversia energiei înmagazinate în aceștia, în energie termică.

În prezent, în țara noastră, metoda ce-a mai des utilizată, în acest sens, este arderea biocombustibililor din rumeguș în strat, pe grătar, utilizând generatoare termice cu capacitate < 45kW. Astfel, în lucrarea de laborator pentru determinarea eficienței energetice a etapei de conversie a biocombustibililor din rumeguș, consideră ca

metodă de conversie, arderea în strat pe grătar. Pentru aceasta, se realizează diagrama procesului de conversie, ilustrată în figura 6.1.

Procesul de ardere se realizează în patru etape principale, uscarea, descompunerea termică, oxidarea materiilor volatile și a cărbunelui și respectiv arderea cărbunelui. Prima etapă a procesului de ardere, se desfășoară sub acțiunea aerului de ardere primar, la creșterea temperaturii de ardere de la temperatura inițială a biocombustibilului până la 100°C. Este o reacție endotermă, cu aport de energie termică prin aerul de ardere și biocombustibil.

În etapa a doua se realizează descompunerea termică a materialului în materii volatile (produs în fază gazoasă) și cărbune, la creșterea temperaturii de ardere. Descompunerea termică, se datorează oxidării materialului sub acțiunea aerului de ardere primar. Este o reacție exotermă, în urma căreia rezultă energie termică, materii volatile și cărbune.

Ce-a de-a treia etapă a procesului de ardere, constă în oxidarea materiilor volatile și a unei părți din cărbune. Este o reacție exotermă, în urma căreia rezultă energie termică, gaze de ardere (în principal CO₂ și apă), precum și compuși chimici intermediari (CO sau compuși organici condensati).

În ultima etapă a procesului de ardere, se realizează oxidarea cărbunelui, în prezența aerului de ardere primar. Este o reacție exotermă, în urma căreia rezultă energie termică, gaze de ardere și cenușă.

Energia termică, rezultată în urma procesului de ardere se datorează reacțiilor chimice desfășurate pe parcursul procesului de ardere. O parte din energia termică rezultată este transferată agentului termic prin schimbătorul de căldură, determinând astfel eficiența energetică a procesului de conversie, cuantificată prin raportul dintre energia utilă și energia consumată în această etapă.

Energia termică obținută în procesul de conversie care nu se regăsește înmagazinată în agentul termic, reprezintă pierderi prin radiație, convecție și pierderi prin producții de ardere.

În concordanță cu diagrama procesului de conversie (fig. 6.1) și cele enunțate anterior, eficiența energetică a etapei de conversie se determină ca raport între energia utilă înmagazinată în agentul termic al instalației și energia consumată, intrată în sistem prin intermediul biocombustibililor, respectiv aerului de ardere.

Pentru determinarea componentei metodei matematice dezvoltată pentru analiza eficienței energetice a etapei de conversie, se utilizează conceptul analiza sistemică. În acest context, procesul de conversie este considerat ca sistem independent, denumit generic „generator de căldură cu biomasă solidă - GETBS”.

Procesele care concură la realizarea conversiei, sunt considerate ca subsisteme ale sistemului principal, iar mărimile energetice asociate, energia consumată, respectiv obținută în cadrul etapei de conversie, sunt considerate mărimi de intrare ($W_{intrare}$) și respectiv ieșire din sistem ($W_{ieșire}$). Asupra procesului de conversie acționează și factori externi, cum sunt condițiile meteo, sursa de proveniență a biocombustibililor etc. Aceștia sunt la rândul lor considerați a subsistem însă impactul acestora asupra conversiei nu poate fi cuantificat prin expresii matematice explicite.

Eficiența energetică a etapei de conversie a biocombustibililor din rumeguș brichetat în energie termică, se determină ca raport între energia obținută în urma conversiei, cuantificată prin energia termică înmagazinată în agentul termic din instalația utilizată și energia introdusă în sistem prin intermediul combustibilului utilizat, într-un ciclu complet de funcționare, cu relația:

$$E_{conv} = \frac{W_{at}^1}{W_{cb}^1} = \frac{V_{at} \cdot \rho_{at} \cdot c \cdot \int \Delta T_{(i,j)}}{m_{i,j,cb} \cdot H_{i,j,cb} \cdot 10^6} \cdot 100, [\%], \quad (6.1)$$

Unde: E_{conv} reprezintă eficiența energetică a etapei de conversie a deșeurilor din rumeguș brichetat în energie termică, [%];

V_{at} – volumul de agent termic din instalație, [m³];

ρ_{at} – densitatea agentului termic considerată constantă pe intervalul de temperatură $\Delta T_{(i,j)}$, $\rho = 1000$ [kg/m³];

c – căldura specifică a apei, considerată de asemenea ca având valoarea $c = 4,180$ [KJ/kgK], pe intervalul de temperatură $\Delta T_{(i,j)}$ și V_{at} constant;

$m_{i,j,cb}$ – masa de combustibil introdusă în camera de ardere, la arderea combustibilului de tip $i = 1,2,3$ și lungimea brichetei de tip $j = 30, 50, 70$ mm, [kg];

$H_{i,j,cb}$ – puterea calorică inferioară a deșeurii de tip i și lungimea brichetei de tip j , [MJ/kg]; $\Delta(T_{i,j})$ reprezintă diferența dintre valoarea temperaturii agentului termic pe circuitul de tur, respectiv retur al instalației, pe un ciclu complet de funcționare.

Ciclu complet de funcționare este considerat intervalul de timp cuprins între creșterea valorii temperaturii agentului termic din circuitul de tur de la $T_{tur, i}$ până la $T_{tur, max}$ și revenirea acesteia la valoarea inițială $T_{tur, i}$.

Căldura consumată intrată în sistem prin intermediul aerului de ardere este neglijată, fiind considerată o limitare a sistemului, deoarece datorită tirajului natural al instalației nu poate fi determinată cu exactitate.

În acest context pentru determinarea eficienței conversiei biocombustibililor din rumeguș brichetat în energie termică este necesară arderea unei cantități bine determinată de brichete de rumeguș utilizând o centrală termică cu ardere pe grătar și monitorizarea temperaturii agentului termic la intrarea în centrala termică, respectiv la ieșirea din aceasta pe circuitul de tur respectiv retur. În acest sens se impune utilizarea unui sistem de achiziție de date și respectiv a unui soft care să permită prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale – determinarea eficienței energetice a procesului de conversie.

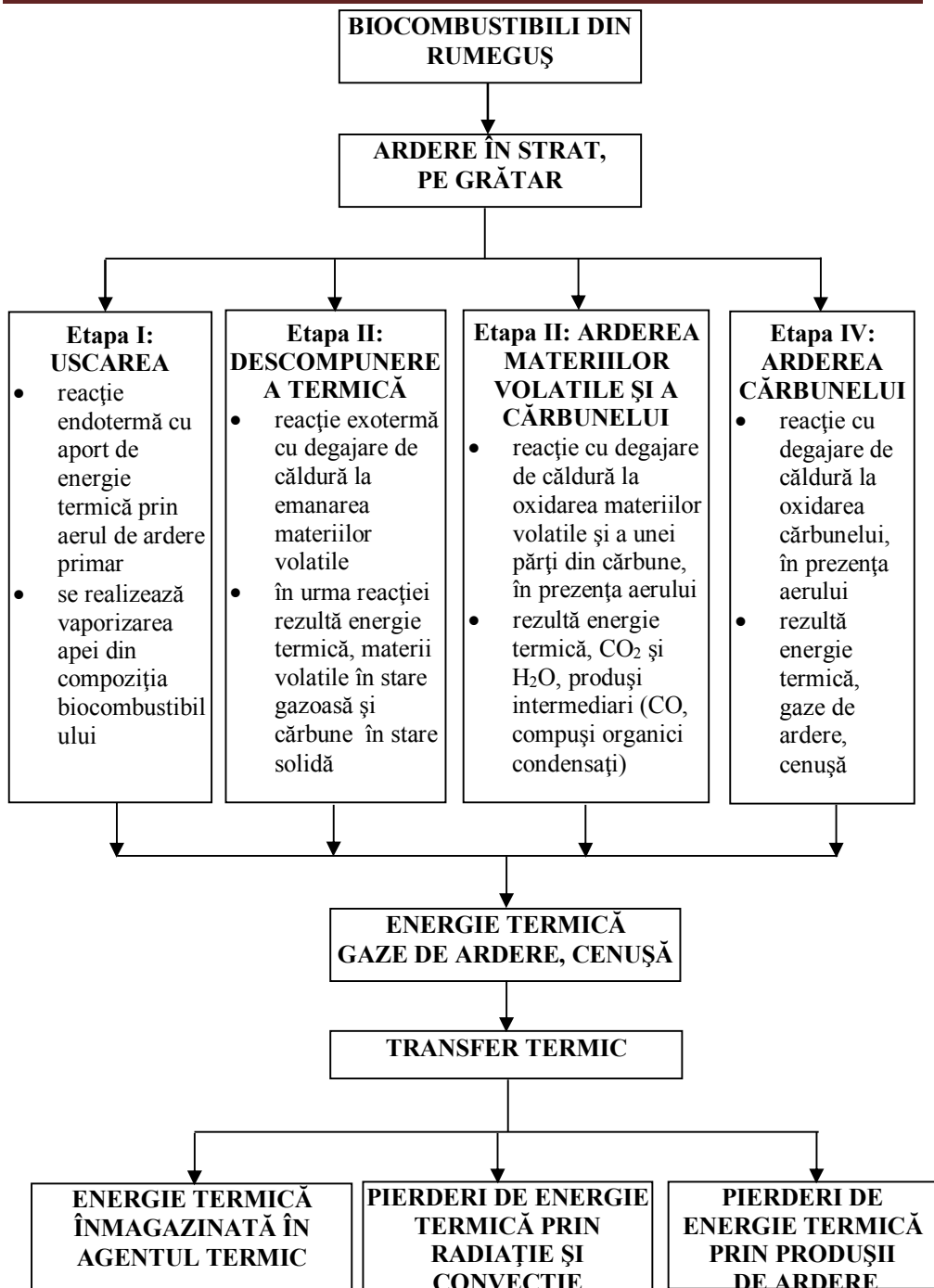


Figura 6.1. Diagrama procesului de conversie a energiei înmagazinate în biocombustibilii din rumeguș în energie termică

6.2. Determinarea experimentală a eficienței conversiei biocombustibililor din biomasă solidă în energie termică prin ardere directă

Cerințe de rezolvat: să se determine eficiența procesului de conversie a energiei înmagazinate într-o cantitate cunoscută de brichete din rumeguș, în energie termică, utilizând standul de laborator aflat în dotarea Laboratorului de biocombustibili solizi.

Metoda de determinare.

Pasul 1 Determinarea volumului de agent termic din instalație: se determină la alimentarea acesteia cu apă, prin citirea valorii indicate de debitmetrul montat pe circuitul de alimentare al instalației (vezi pct.b, Aparatură și materiale).

Pasul 2 Determinarea valorilor densității respectiv căldurii specifice a agentului termic: vor fi preluate din literatura de specialitate [1]. Deoarece variația de temperatură pe circuitul instalației este mai mică de 55°C (domeniul de variație al temperaturii agentului termic fiind între 5°C - 60°C) și presiunea variază în intervalul 1,6 bar – 2,3 bar, atât valoarea densității, cât și valoarea căldurii specifice se consideră constante, având valorile $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ și respectiv $c = 4,180 \text{ [KJ/kgK]}$.

Pasul 3 Determinarea cantității de combustibil, $m_{i,j,cb}$: se determină ca valoare medie a cantității de combustibil utilizat în fiecare dintre cele trei încercări care vor fi realizate, pentru fiecare tip de combustibil i , și lungimea brichetei j . Combustibilul utilizat este alimentat în camera de ardere manual, la începutul fiecărui ciclu de funcționare. Cantitatea de combustibil utilizată pentru fiecare încercare se va determina prin cântărire cu balanța analitică, înainte de alimentarea camerei de ardere.

Pasul 4 Determinarea puterii calorice a combustibilului se realizează experimental utilizând metoda bombei calorimetrice (vezi lucrarea 3-4).

Pasul 5 Determinarea variației temperaturii agentului termic $\Delta(T_{i,j})$ se realizează prin monitorizarea și achiziția valorilor obținute în urma procesului de conversie, utilizând sistemul de achiziție de date din dotarea standului de laborator realizat (vezi pct.b, aparatură și materiale). $\int \Delta T_{(i,j)}$ reprezintă aria cuprinsă între curbele de variație a temperaturii de pe circuitul de tur, retur al instalației, pe un ciclu complet de funcționare. Determinarea acesteia se va realiza prin reprezentarea grafică, funcție de timp, a curbelor de variație ale valorilor temperaturii de tur, respectiv retur și calculul automat al suprafeței cuprinsă între acestea (figura 6.2).

Pentru fiecare încercare realizată se va utiliza aceeași cantitate de biocombustibil ($3 \text{ kg} \pm 100 \text{ g}$), determinată prin cântărire cu balanța analitică, înainte de începerea fiecărui ciclu de funcționare a generatorului. Alimentarea camerei de ardere cu biocombustibil se va realiza manual. Stratul de combustibil s-a distribuit uniform pe suprafața grătarului.

Alimentarea cu aer de ardere se va realiza prin deschiderea ușii cenușarului, astfel încât deschiderea acesteia să nu depășească 2 mm și se blochează în această poziție prin intermediul termostatului cu lanț. Cantitatea de aer de ardere este variabilă pe parcursul ciclului de funcționare a generatorului fiind determinată de tirajul natural al generatorului și de termostatul cu lanț, care la atingerea temperaturii de regim în schimbătorul de căldură, se dilată micșorând deschiderea inițială.

Înregistrarea valorilor temperaturii agentului termic se va realiza automatizat utilizând sistemul de achiziție de date din dotarea standului. Intervalul de timp dintre două citiri consecutive este de 5 minute. Astfel, se vor obține un șir de valori pentru fiecare dintre parametrii monitorizați, care la finalizarea fiecărui ciclu complet de funcționare vor fi salvate în format ASCII și prelucrate ulterior.

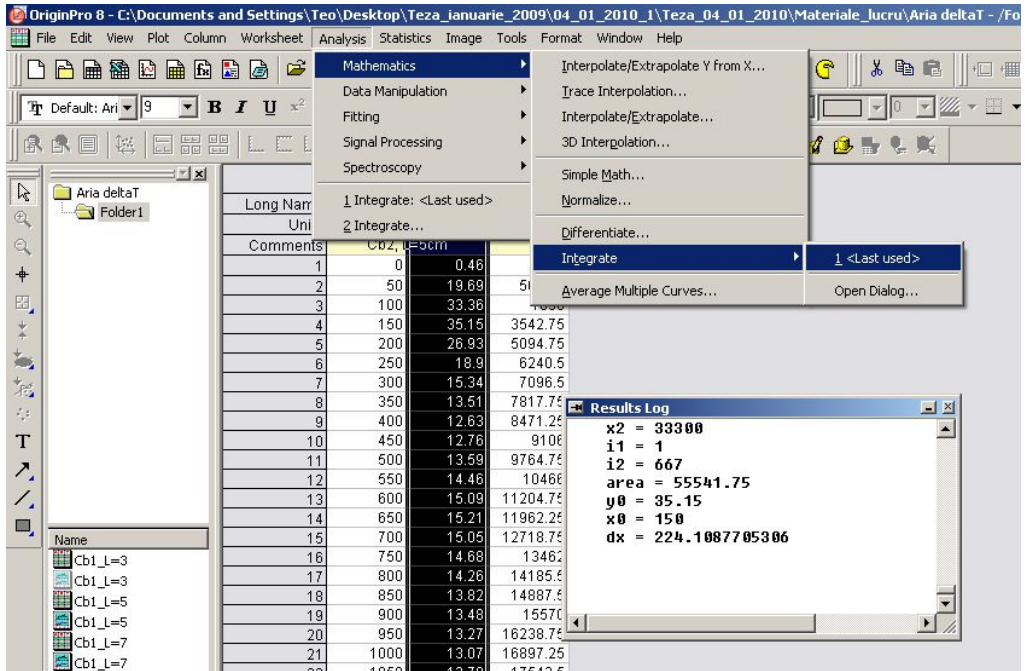


Figura 6.2. Determinarea $\int \Delta T_{(i,j)}$ prin reprezentare grafică

Pasul 6 - Monitorizarea valorilor temperaturii agentului termic pe turul, respectiv returul instalației, necesară pentru determinarea eficienței energetice, se va realiza din momentul aprinderii manuale a biocombustibilului și până la revenirea agentului termic din circuitul de tur, respectiv retur la temperatura inițială. Această perioadă de timp este considerată un ciclu complet de funcționare a generatorului de energie termică.

Aparatură și materiale

Pentru determinarea eficienței energetice a conversiei biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat se utilizează un stand de laborator.



Figura 6.3. Stand generator de energie termică cu biomasă solidă: 1 – generator de energie termică; 2 – sistem monitorizare și achiziție date experimentale

Acesta permite realizarea în condiții de laborator a procesului de conversie a biocombustibililor din rumeguș brichetat în energie termică.

Principalele elemente componente ale standului de laborator (figura 6.3) sunt generatorul de energie termică destinat arderii lemnului pe grătar cu capacitatea termică de 24 kW; 2 radiatoare pentru încălzirea spațiului; pompă de recirculare a apei pe circuitul de încălzire; distribuitor și instalație de încălzire; sistem automat de monitorizare și achiziție date experimentale.

Generatorul de energie termică destinat arderii lemnului de foc pe grătar (fig. 6.4) este utilizat pentru realizarea conversiei energiei înmagazinate în biocombustibilul solid din rumeguș brichetat în energie termică.

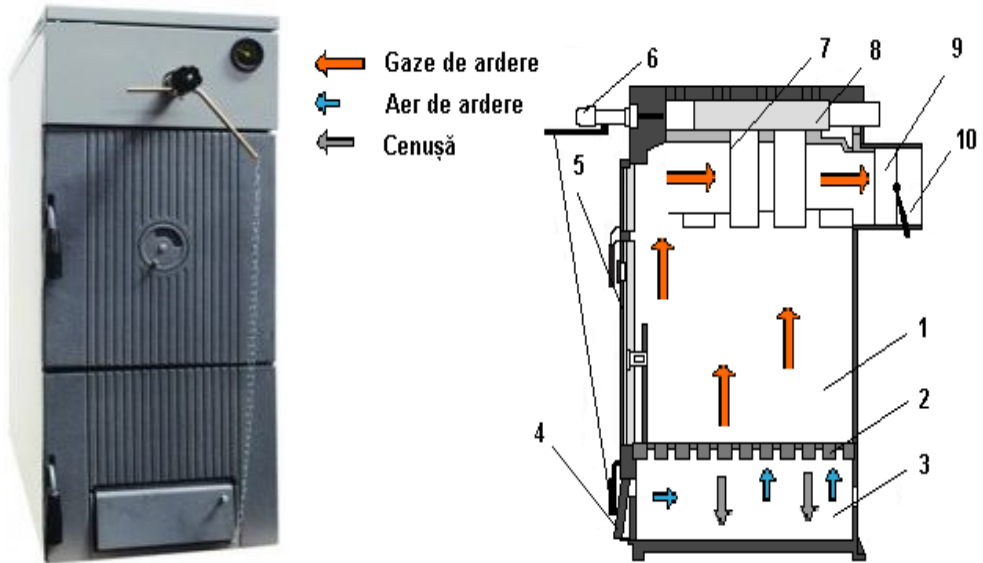


Figura 6.4. Schema constructivă a generatorului de energie termică: 1 – cameră de ardere; 2 – grătar cu elemente din fontă; 3 – cenușar; 4 - ușa cenușar ; 5 – ușa superioară pentru alimentarea combustibilului; 6 - regulator termostatic cu lanț; 7 – schimbător de căldură; 8 – serpentină de siguranță; 9 – canal evacuare gaze de ardere; 10 – reglare manuală a tirajului natural

Este utilizat atât pentru arderea combustibililor solizi (lemn), cât și pentru arderea combustibililor lichizi (prin montarea pe ușa de alimentare a unui arzător specific). Corpul cazanului este construit din elemente asamblate cu niple, profilul elementelor fiind proiectat special și repartiția optimă a aripioarelor permite obținerea unei eficiențe termice ridicate. Camera de ardere a fost proiectată pentru alimentarea cu bucăți mari de lemn. Încărcarea acestora se realizează manual prin ușa superioară, de asemenea aceasta este complet imersată ceea ce asigură realizarea unei inerții termice ridicate și implicit o eficiență energetică ridicată. Pereții laterali ai generatorului sunt izolați cu vată minerală cu grosimea de 10 mm, ceea ce asigură diminuarea pierderilor de energie termică prin radiație. Este dotat

cu un dispozitiv de siguranță pentru evitarea supraîncălzirii constând într-o serpentină independentă montată deasupra schimbătorului de căldură.

Controlul arderii se realizează prin variația cantității de aer de ardere (respectiv a excesului de aer - λ) prin intermediul unui termostat cu lanț, care asigură închiderea ușii cenușarului, respectiv alimentarea cu aer de ardere, la atingerea valorii setate pentru temperatura de regim a agentului termic.

Monitorizarea valorii temperaturii agentului termic din schimbătorul de căldură se realizează tot prin intermediul termostatului cu lanț.

Principalele caracteristici tehnice ale generatorului de energie termică sunt puterea termică utilă 23,7 kW; putere termică focar 35,4 kW; număr de elemente ai schimbătorului de căldură 7; conținut de apă cazan 32 l; presiune maximă 3 bar.

Radiatoarele utilizate pentru încălzirea spațiului, sunt în număr de 2 construite din tablă de oțel. Caracteristici tehnice: dimensiuni 1600x600x60mm, putere termică 798 W (calculat conform normei EN 442 pentru $t_{tur} = 55^{\circ}\text{C}$, $t_{retur} = 45^{\circ}\text{C}$, $t_{încăpere} = 20^{\circ}\text{C}$), putere termică nominală 1002 W/m, suprapresiune de funcționare maxim admisibilă 1,0 MPa, temperatura de funcționare maxim admisibilă $< 120^{\circ}\text{C}$.

Pompă de recirculare cu rolul de circulație a apei în circuitul de încălzire, de tipul rotor umed, ceea ce înseamnă că pompa și motorul formează ca o unitate integrală, lagărele fiind lubrificate de lichidul pompat.

Caracteristici tehnice: debit variabil în intervalul 0...0,8 m³/h, temperatura maximă de lucru a apei din circuit 0...+95°C, presiunea maximă 3 bar.

Sistem automat de monitorizare și achiziție date experimentale ca parte componentă a standului generator de energie termică cu biomasă, are rolul de a monitoriza și colecta valorile parametrilor procesului de conversie, necesari pentru determinarea eficienței energetice a etapei de conversie și analiza factorilor de influență.

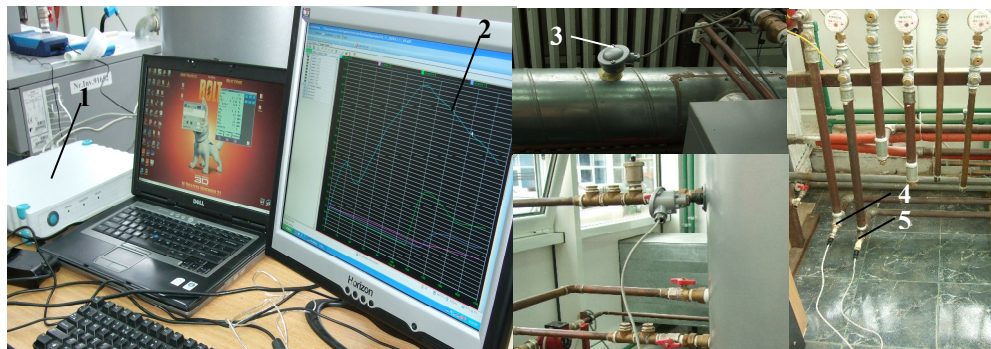


Figura 6.5. Sistem automat de monitorizare și achiziție date experimentale:

- 1 – modul achiziție date experimentale; 2 – unitate PC cu software dedicat pentru achiziția de date; 3 –senzor de temperatură gaze de ardere; 4 – senzor monitorizare valoare temperatură tur; 5 – senzor monitorizare valoare temperatură retur

Sistemul este compus din (figura 6.5) senzori de temperatură Pt100; senzori de temperatură tip K (crom-alumel); modul achiziție date cu opt canale cu amplificare; module suplimentare compatibile cu aparatul de măsură; software de setare, vizualizare și realizare rapoarte CATMAN EASY; unitate PC pentru colectarea, stocarea și analiza datelor experimentale. Elementul de măsurare al senzor de temperatură pentru tur, respectiv retur, îl constituie o rezistență de tip Pt 100 cu 4-fire.

Caracteristici tehnice principale a senzorilor de temperatură: domeniul de măsurare a temperaturilor $-50^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$; element de măsură din platină, Pt-100, DIN EN 60 751; precizie Clasă A; adâncime de imersie 150 mm; rezistența la presiune 100 bar.

Senzorii de temperatură utilizați pentru măsurarea temperaturii gazelor de ardere sunt termocuple de tip K. Materialul din care sunt realizați termoelectrozii fiind Cromel – Alumel, cu următoarele caracteristici tehnice, diametrul 6 mm, lungime tijă 200 mm, conectare cu filet în teaca și flanșă de conectare în conductă, temperatura maximă 800°C , precizie de măsurare 0,1.

Principiul de măsurare a senzorilor de temperatură: prin intermediul elementului de măsură variația de temperatură a mediului măsurat este transformată în variație de tensiune electromotoare, care apoi prin racordare la modulul de achiziție de date este tradusă în unități de temperatură.

Modulul de achiziție a datelor experimentale un amplificator multi-canal, dotat cu opt canale cu amplificare.

Caracteristici tehnice principale a modului pentru achiziția datelor experimentale: număr de canale - 8 (interfața de conectare cu unitatea PC - seriala RS-232, filtru low-pass, rata de achiziție 9600 valori/s/canal, achiziție simultană pe toate canalele, rezoluție 16-bit. Software-ul dedicat pentru sistemul de achiziție date, este un soft compatibil cu sistemul de achiziție de date utilizat, denumit CATMAN EASY (figura 6.6). Datele colectate pot fi exportate în alte programe de calculator, în format ASCII.

Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale.

Fișierele obținute în urma colectării automatizate se vor transfera în Excel și se vor determina utilizând formulele de mai sus, mărimile necesare a căror valori vor fi trecute în tabelele 6.1-6.3:

Tabelul 6.1

Valorile ariei cuprinse între curbele de variație a temperaturii agentului termic de pe circuitul de tur, respectiv retur al generatorului de energie termică, pe un ciclu de funcționare complet

	Biocombustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Biocombustibil 2 (brichetă din rumeguș de fâg)			Biocombustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fâg)		
	L₁=70 mm	L₂=50 mm	L₃=30 mm	L₁=70 mm	L₂=50 mm	L₃=30 mm	L₁=70 mm	L₂=50 mm	L₃=30 mm
$\int \Delta T_{(i,j)}$									

Tabelul 6.2

Energia utilă obținută în urma etapei de conversie a masei rumegușului brichetat utilizat (3 kg), înmagazinată în agentul termic, pe un ciclu de funcționare complet

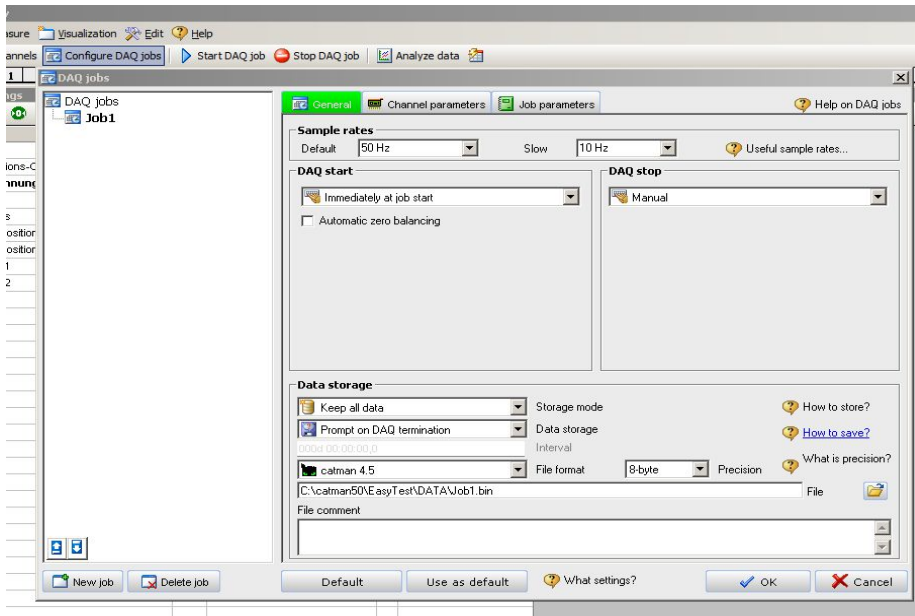
	Biocombustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Biocombustibil 2 (brichetă din rumeguș de fag)			Biocombustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	$L_1=70\text{mm}$	$L_2=50\text{mm}$	$L_3=30\text{mm}$	$L_1=70\text{mm}$	$L_2=50\text{mm}$	$L_3=30\text{mm}$	$L_1=70\text{mm}$	$L_2=50\text{mm}$	$L_3=30\text{mm}$
W_{at}^1 [MJ]									

Tabelul 6.3

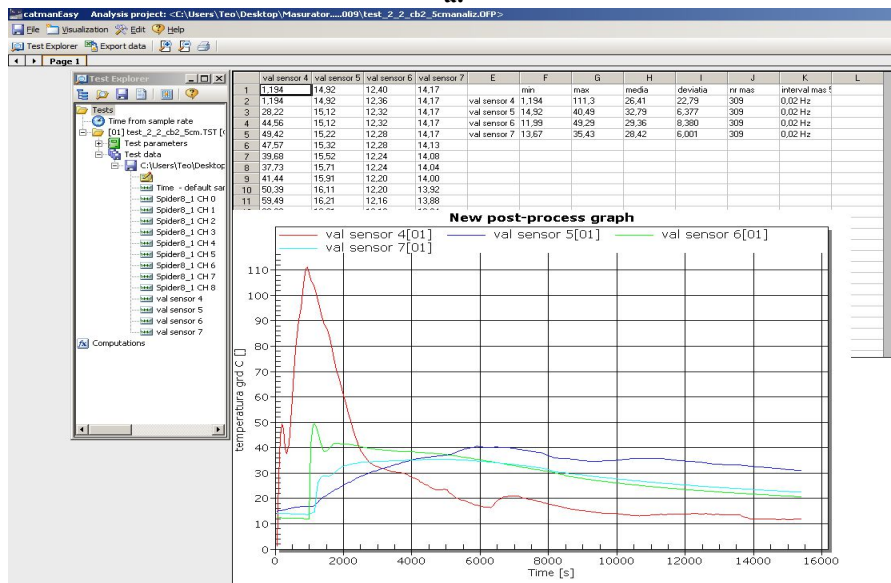
Energia consumată în etapa de conversie a masei rumegușului brichetat utilizat (3 kg), introdusă în sistem prin intermediul cantității de biocombustibil utilizat

	Biocombustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Biocombustibil 2 (brichetă din rumeguș de fag)			Biocombustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	$L_1=70$ mm	$L_2=50$ mm	$L_3=30$ mm	$L_1=70$ mm	$L_2=50$ mm	$L_3=30$ mm	$L_1=70$ mm	$L_2=50$ mm	$L_3=30$ mm
W_{cb}^1 [MJ]									

Procese de producere a energiei din surse regenerabile (agricultură și industria alimentară)
 Îndrumător de laborator



a.



b.

Figura 6.6. Interfețe ale programului de calculator CATMAN EASY : a. fereastră de setare a condițiilor de măsurare; b – fereastră analiză date colectate

Interpretarea rezultatelor

Pentru analiza comparativă a rezultatelor obținute se vor realiza graficele de variație a celor trei mărimi determinate pentru fiecare tip de deșeu compactat.

Exemplu de interpretare a rezultatelor obținute în urma analizei experimentale [2]:

Obiectiv: **Analiza comparativă a eficienței procesului de conversie a biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat din diferite specii lemnoase.**

Rezultatele obținute în urma realizării încercărilor experimentale (conform pct. Modul de determinare), sunt prezentate în tabelul 6.4, 6.5 respectiv 6.6 și figura 6.7, 6.8.

Analiza comparativă a energiei utile înmagazinate în agentul termic, obținute în urma încercărilor experimentale la utilizarea unei cantități de 3 kg biocombustibil, relevă faptul că aceasta este influențată atât de tipul combustibilului cât și de lungimea brichetelor utilizate.

Analiza valorilor obținute indică diferențe mari atât în cazul utilizării a diferiți combustibili (33,35 MJ la combustibilul 1, $L = 70$ mm față de 25,61 MJ pentru Combustibilul 3, $L = 70$ mm) cât și în cazul utilizării aceluiași tip de combustibil cu lungimi diferite a brichetelor (33,35 MJ pentru combustibilul 1, $L = 70$ mm respectiv 22,01 MJ pentru $L = 30$ mm).

Analiza comparativă a energiei consumată în etapa de conversie prin intermediul combustibililor utilizați (figura 6.7) relevă aceeași situație menționată anterior.

S-au obținut diferențe între valorile determinate în cazul utilizării combustibililor de diferite tipuri (48,6 MJ la combustibilul 1, $L = 70$ mm față de 52,82 MJ pentru Combustibilul 3, $L = 70$ mm), și respectiv utilizării aceluiași tip de combustibil cu lungimi diferite a brichetelor (48,6 MJ pentru combustibilul 1, $L = 70$ mm respectiv 42,37 MJ pentru $L = 30$ mm).

Valorile diferite a energiei înmagazinate în cele trei tipuri de combustibil utilizate, se datorează în principal puterii calorice inferioare diferite (15,988 MJ/kg la Combustibilul 1, respectiv 17,9054 MJ/kg pentru combustibilul 3), respectiv a densității energetice a biocombustibililor utilizați.

Tabelul 6.4

Valorile ariei cuprinse între curbele de variație a temperaturii agentului termic de pe circuitul de tur, respectiv retur al generatorului de energie termică, pe un ciclu de funcționare complet

	Combustibil 1 (brichetă din rumeguș din brad)			Combustibil 2 (brichetă din rumeguș din fag)			Combustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm
$\int \Delta T_{(i,j)}$	61046,43	54970,5	46888,65	56760,0	55541,75	49924,2	54568,5	47859,45	49679,625

Tabelul 6.5

Energia utilă obținută în urma etapei de conversie a masei rumegușului brichetat utilizat (3 kg), înmagazinată în agentul termic, pe un ciclu de funcționare complet

	Combustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Combustibil 2 (brichetă din rumeguș de fag)			Combustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm
W_{at}^1 [MJ]	33,35	25,80	22,01	26,64	26,08	23,14	25,61	22,46	23,32

Tabelul 6.6

Energia consumată în etapa de conversie a masei rumegușului brichetat utilizat (3 kg), introdusă în sistem prin intermediul cantității de biocombustibil utilizat

	Combustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Combustibil 2 (brichetă din rumeguș de fag)			Combustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm	L ₁ =70mm	L ₂ =50mm	L ₃ =30mm
W_{cb}^1 [MJ]	48,60	47,32	42,37	53,65	53,63	53,29	52,82	52,46	53,95

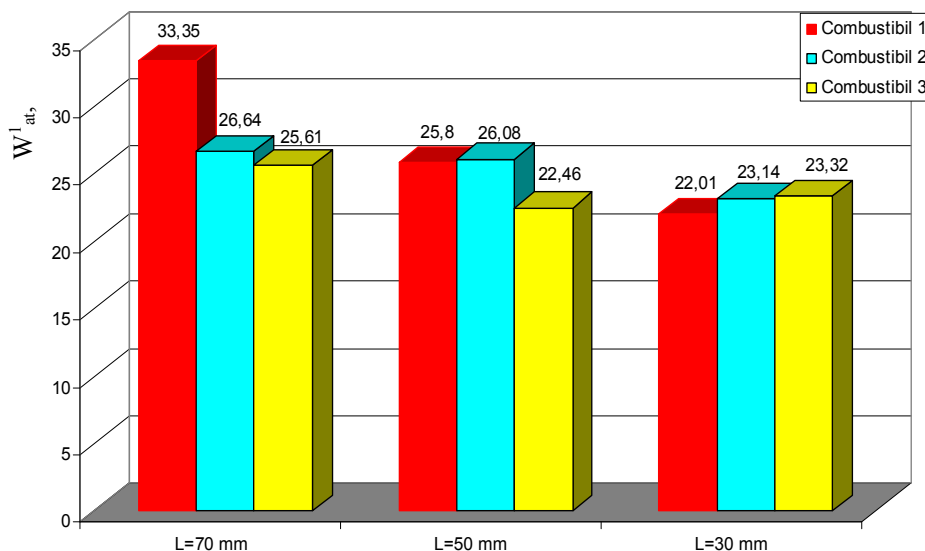


Figura 6.7. Energia utilă înmagazinată în agentul termic, divizate după tipul biocombustibilului și lungimea brichetelor utilizate

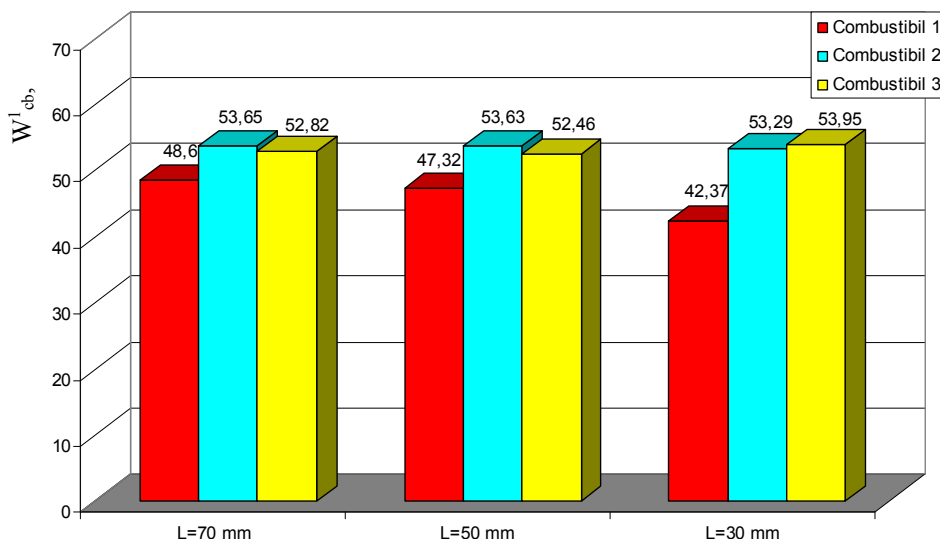


Figura 6.8. Energia consumată, înmagazinată în combustibilul utilizat, divizate după tipul combustibilului și lungimea brichetelor utilizate

Așa se explică și faptul că diferența între valorile obținute pentru energia înmagazinată în același tip de combustibil, dar lungimi diferite a brichetelor este minoră. Această afirmație fiind demonstrată de valorile obținute pentru energia consumată cu biocombustibilul în cazul Combustibilului 2, $L = 70$ mm, în valoare de 53,65 MJ și respectiv $L = 50$ mm, în valoare de 53,63 MJ.

Utilizând valorile obținute experimental (tabelele 6.4, 6.5 și respectiv 6.6) și relația 6.1 s-a determinat eficiența energetică a etapei de conversie pentru fiecare dintre cazurile analizate. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 6.7 și figura 6.9.

Tabelul 6.7

**Valorile eficienței energetice a etapei de conversie a biocombustibililor
din rumeguș brichetat, în energie termică**

	Combustibil 1 (brichetă din rumeguș de brad)			Combustibil 2 (brichetă din rumeguș de fag)			Combustibil 3 (brichetă din rumeguș în amestec 50% brad + 50% fag)		
	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm
E_{conv} [%]	68,61	54,52	51,94	49,99	48,63	43,13	48,49	42,82	43,22

Analiza comparativă a valorilor eficienței energetice a etapei de conversie a biocombustibililor, obținute în aceleași condiții de funcționare, arată o variație a acestora atât funcție de tipul combustibilului utilizat, cât și funcție de lungimea brichetelor.

Analiza datelor (figura 6.9) indică diferențe semnificative atât la utilizarea diferitelor tipuri de combustibili (68,61 % pentru combustibilul 1, brichete de rumeguș de brad cu lungimea brichetei $L = 70$ mm și respectiv 48,49 % pentru combustibilul 3, brichete de rumeguș în amestec brad și fag în proporții egale de 50 %, cu lungimea brichetei $L = 70$ mm), cât și în cazul utilizării aceluiași tip de combustibil dar lungimi diferite a brichetelor.

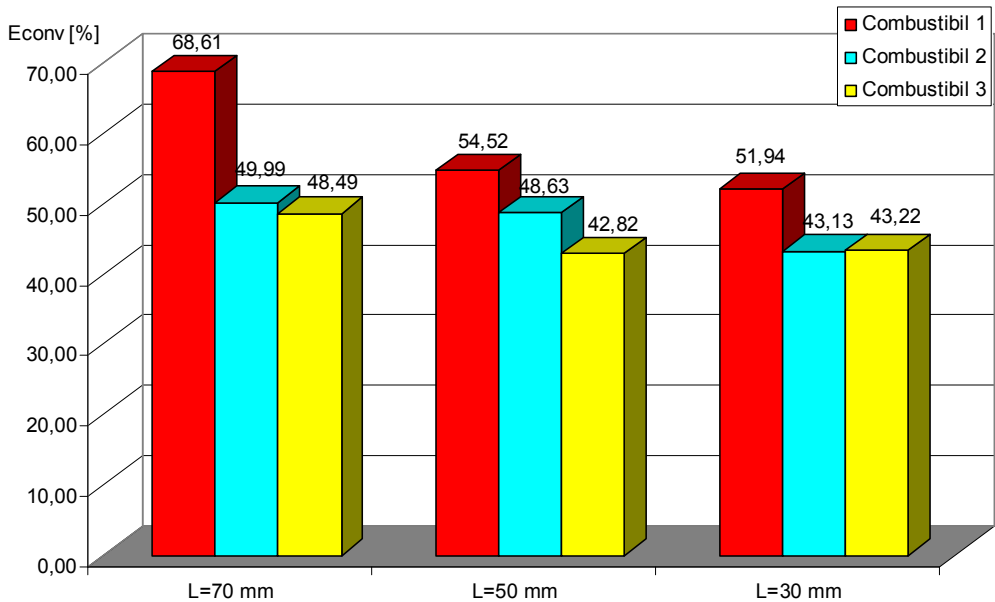


Figura 6.9. Eficiența energetică a etapei de conversie a biocombustibililor utilizați, divizate după tipul biocombustibilului și lungimea brichetei

Pentru combustibilul 1, s-au obținut valori de 68,61 % la arderea brichetelor cu $L = 70$ mm, 54,52% pentru brichete cu $L = 50$ mm și respectiv 51,94 % pentru brichete cu $L = 30$ mm. Astfel, eficiența energetică a etapei de conversie a biocombustibililor în energie termică, în generatoare utilizate pentru arderea lemnului de foc este influențată atât de tipul biocombustibilului utilizat cât și de lungimea brichetelor. Valoarea maximă a eficienței energetice s-a obținut în cazul combustibilului 1 (rumeguș din lemn de brad), iar ca lungime a brichetei s-a obținut pentru $L = 70$ mm.

Comparând valorile eficienței energetice obținute la conversia biocombustibililor din rumeguș brichetat în generatorul de energie utilizat pentru arderea lemnului de foc, cu datele din literatura de specialitate obținute la arderea lemnului de foc [2], reiese faptul că valorile sunt similare.

Eficiența energetică a procesului de conversie la arderea lemnului cu umiditate < 10% în generatoare de energie termică cu ardere în strat și tiraj natural este cuprinsă în domeniul de variație 58 -74 %. Astfel, biocombustibilii din rumeguș brichetat pot fi utilizați cu eficiență ridicată, similară cu a lemnului de foc, în generatoare de energie termică utilizate la arderea lemnului de foc, în aceleași condiții de reglaj a aerului de ardere și fără a se aduce modificări constructive generatorului.

Bibliografie

- [1] Donald, L. Klass, *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*, Academic Press, Entech International Inc., Londra, 1998.
- [2] Deac, T., *Cercetări privind eficiența utilizării biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat pentru generarea de energie termică*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2010.
- [3] Ionel, I., *Managementul valorificării energetice a biomasei*, 2009, Arad.
- [4] Parikh., Jigisha., Channiwala., S.,A., Ghosal., G.K., *A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass material*, 2007, Fuel 86 (2007) 1710-1719, Elsevier Science 10.1016/j.fuel.2006.12.029.
- [5] xxx - *CEN/TS 14774-1:2004: E, Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content -Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [6] xxx - *CEN/TS 14775:2004: E, Solid Biofuels - Method for the determination of ash content*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.

- [7] xxx - *CEN/TS 14780:2005: E, Solid Biofuels - Method for sample preparation*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] xxx - *CEN/TS 15148:2005:E, Solid Biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.

Lucrarea 7. Determinarea emisiilor poluante la arderea biomasei solide din agricultură și silvicultură

În lucrarea de laborator, se prezintă aspectele teoretice, metodele de determinare, aparatura și materialele necesare, precum și modalitățile de prelucrare și interpretare a rezultatelor necesare pentru determinarea experimentală a emisiilor poluante rezultate în urma arderii deșeurilor solide provenite din agricultură și silvicultură în vederea conversiei energiei înmagazinate în acestea în energie termică.

Lucrarea este structurată pe două secțiuni 7.1.Considerații generale și 7.2. Determinarea experimentală a principalelor emisii poluante rezultate la arderea brichetelor din rumeguș. În secțiunea 7.1 sunt prezentate noțiuni fundamentale referitoare la principalii compuși poluanți (monoxidul de carbon (CO), compușii organici volatili (COV), oxizii de azot (NO_x) și emisii particulare (EP)) din compoziția gazelor de ardere rezultate la conversia brichetelor din rumeguș în energie termică. Secțiunea 7.2 este cea aplicativă care la rândul ei conține activitățile, prezentate prin intermediul Metodologiei de determinare experimentală. Fiecare activitate corespunde determinării experimentale a unui tip de compus chimic poluant rezultat la arderea biomasei considerate. Materialul ales în acest sens fiind biomasă provenită din prelucrarea lemnului – rumeguș din două specii lemnoase și una în amestec.

Introducere



Paragraful corespunzător fiecărei activități este structurat astfel: cerințe de rezolvat, metoda de determinare – etapele determinării experimentale, aparatură și materiale, colectarea datelor experimentale, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale. Secțiunea 6.2 se încheie cu un exemplu de interpretare a rezultatelor experimentale obținute în urma realizării activităților propuse.

Durata medie de studiu



Timpul alocat pentru Aplicația de laborator 1 - 2 ore.

Obiective



După parcurgerea aplicației, studentul va fi capabil:

- ✓ să măsoare utilizând analizoare de gaze de ardere concentrația de compuși chimic poluanți din compoziția gazelor de ardere
- ✓ să utilizeze programul proprietar Eurosoft cu care este dotat analizorul de gaze
- ✓ să realizeze o analiză comparativă în vederea interpretării datelor experimentale rezultate.

7.1. Considerații teoretice

Principalele emisii poluante rezultate la conversia biomasei în energie sunt monoxidul de carbon (CO), compușii organici volatili (COV), oxizii de azot (NO_x) și emisii particulare (EP). Un avantaj al valorificării energetice a biomasei comparativ cu combustibilii fosili este cantitatea redusă de sulf din compoziția

chimică și implicit cantitatea redusă a emisiilor de oxizi de sulf (SO_x) care au efect nociv asupra mediului înconjurător. Categoriile de emisii poluante rezultate în urma conversiei biomasei sunt similare cu cele ale combustibililor fosili însă în cantități mai reduse (tabelul 7.1) [1].

Tabelul 7.1

Emisiile poluante rezultate în urma conversiei combustibililor, fosili și biomasei, în energie [1]

Tehnologia utilizată	Cantitatea de emisii poluante [kg/MWh]			
	SO_x	NO_x	CO	EP
Biomasă				
Ardere directă	0,04	1,0	5,5	0,2
Ardere în strat fluidizat	0,04	0,4	0,1	0,1
Gazeificare	0,02	0,5 – 1,0	0,1	0,01
Cărbune				
Ardere directă	9,2	2,6	1,2	0,3
Ardere în strat fluidizat	6,5	3,1	0,2	0,2
Gazeificare	1,7	1,2	4,4	0,1
Gaze naturale				
Turbină cu ciclu de funcționare deschis	0,0	0,8	0,2	0,04
Ciclu de funcționare combinat	0,0	0,4	0,03	0,06

Aspectele negative a utilizării biomasei ca sursă de energie se referă la utilizarea terenurilor agricole pentru culturi energetice în detrimentul culturilor pentru hrană. De aceea este necesară realizarea unei legislații care să reglementeze suprafața de teren utilizată pentru hrană și respectiv pentru culturi energetice.

Utilizarea reziduurilor agricole în scopuri energetice poate duce la diminuarea cantității de reziduuri utilizate ca fertilizator pentru sol. Aceasta implică creșterea gradului de utilizare a fertilizatorilor chimici, care în cantități ridicate și timp îndelungat au efect negativ asupra solului. Astfel, trebuie realizat un echilibru între cantitatea de reziduuri utilizate în scopuri energetice și cea utilizată ca fertilizator natural, pentru a nu apărea dezechilibre de mediu.

Beneficiile aduse mediului înconjurător de valorificarea biomasei ca sursă de energie implică intensificarea cercetărilor în domeniul creșterii eficienței procesului de valorificare și de dezvoltare a noi tehnologii de conversie care să permită reducerea cantității de emisii poluante rezultate în urma procesului de conversie. De asemenea, se impune realizarea de strategii de mediu care să reglementeze suprafața de teren utilizată pentru producerea biomasei energetice și cantităților de reziduuri agricole utilizate în scopuri energetice, pentru a se evita impactul negativ asupra mediului înconjurător.

Astfel în lucrarea de laborator se va urmări determinarea experimentală a emisiilor poluante rezultate la arderea deșeurilor solide compactate prin brichetare. În acest sens se va utiliza procesul prezentat în lucrarea de laborator 6 – arderea a trei categorii de brichete în generator de energie termică cu grătar.

7.2. Determinarea experimentală a principalelor emisii poluante rezultate la arderea brichetelor din rumeguș

Cerințe de rezolvat: determinarea experimentală a temperaturii gazelor de ardere evacuate și volumul acestora, emisiile de CO₂, NO, NO_x și pierderile termice prin gazele de ardere, la arderea deșeurilor din rumeguș brichetat, utilizând un stand de laborator aflat în dotarea laboratorului de Biocombustibili solizi (pentru analiza etapei de conversie se vor utiliza datele experimentale rezultate în urma parcurgerii activităților prezentate în lucrarea de laborator 6).

Metoda de determinare

Determinarea experimentală a temperaturii gazelor de ardere evacuate la coș și volumul acestora

Temperatura gazelor de ardere evacuate și volumul acestora sunt principalele mărimi care determină pierderile termice prin gazele de ardere.

Temperatura gazelor de ardere rezultate în urma încercărilor experimentale, desfășurate conform metodicii descrise anterior (vezi lucrarea 6) se va determina prin măsurare directă cu senzorul de temperatură al analizorului de gaze de ardere utilizat. Achiziția datelor se va realiza automatizat prin intermediul programului EuroSoft din dotarea analizorului de gaze. Pentru prelucrarea datelor experimentale obținute se vor utiliza programele de calculator Excel 2007. Valorile utilizate pentru determinarea valorii medii a datelor rezultate în urma celor trei încercări realizate utilizând biocombustibil de tip i, cu lungimea brichetei j. Citirea valorilor mărimii monitorizate se va realiza la intervale de timp de 2s.

Aparatură și materiale. Pentru monitorizarea și achiziția valorilor temperaturii gazelor de ardere se va utiliza un analizor portabil de gaze de ardere (figura 7.1), multifuncțional cu funcții de calcul integrate, disponibil în dotarea Laboratorului de bicomustibili solizi din cadrul UTC-N. Acesta dispune de senzori externi interschimbabili pentru temperatura aerului de ardere și a gazelor de ardere și senzori interni pentru monitorizarea și compensarea dinamică a variațiilor de temperatură a mediului ambiental de lucru.

Datele vor fi transmise direct din programul de măsurare către imprimanta, fără fir și unitatea de calcul utilizată, prin portul IR și respectiv prin cablu legat în portul USB al analizorului.

Aparatul este dotat standard cu port USB și BlueTooth (fără fir) pentru transferul și prelucrarea datelor pe PC cu ajutorul softului dedicat EUROSOFT. Prin intermediul aceluiași program de calculator este posibilă și monitorizarea datelor achiziționate de către analizorul de gaze, de la distanță.

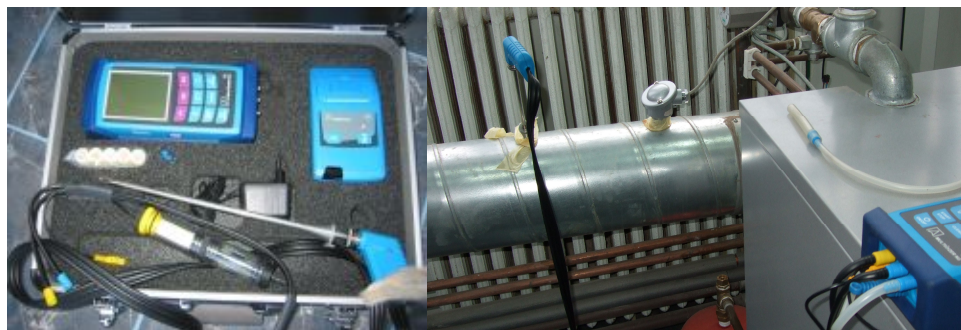


Figura 7.1. Analizor de gaze de ardere

Elementele de măsurare ale analizorului de gaze utilizat sunt: termoelement NiCr-Ni (tip K) pentru măsurarea temperaturii gazelor de ardere, respectiv mediului ambiant; celule electrochimice pentru măsurarea concentrației de O_2 , NO_x , SO_2 ; element piezorezistiv cu compensarea internă a temperaturii pentru măsurarea presiunii, respectiv determinarea tirajului. Măsurarea se va realiza în cicluri, cu durata de maxim de 60 min, după care se va reface recalibrarea cu aer proaspăt. Determinarea compoziției gazelor de ardere se va realiza prin prelevarea acestora, printr-un filtru și un separator de condens extern și conducerea lor de către o pompă pentru gaze către senzori, respectiv celulele electrochimice. Colectarea și prelucrarea datelor experimentale rezultate în urma analizei gazelor de ardere se va realiza cu ajutorul programului dedicat EUROSOFT, care prin intermediul funcțiilor din dotare, permite acest lucru (figura 7.2).

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale: datele rezultate în urma încercărilor experimentale, se vor prelucra cu programul Excel 2007. În urma prelucrării acestora, se vor trasa curbele de variație a valorilor medii ale temperaturii gazelor de ardere evacuate la coș în timp, pe ciclu complet de funcționare, pentru fiecare tip de combustibil, respectiv lungime a brichetei utilizate, utilizând programul Excel 2007.

Valorile maxime înregistrate se vor trece în tabelul 7.2.



Figura 7.2.: Programul de calculator EUROSOFT - Interfața de comandă și colectare a datelor de pe analizorul de gaze prin intermediul unei unități PC

Tabelul 7.2

Valorile maxime ale temperaturii gazelor de ardere evacuate la coș, $T_{ga \max}$ [°C]

	Biombustibil 1			Biombustibil 2			Biocombustibil 3		
	L=70mm	L=50mm	L=30mm	L=70mm	L=50mm	L=30mm	L=70mm	L=50mm	L=30mm
$T_{ga \max}$ [°C]									

Determinarea experimentală a emisiilor de CO₂ evacuate la coș prin gazele de ardere

CO₂ este una dintre variabilele care indică eficiența energetică a arderii. Procesul de conversie se desfășoară cu eficiență energetică ridicată, când procentul volumetric de CO₂ din compoziția gazelor de ardere este ridicat. Când CO₂ în compoziția gazelor de ardere este maxim, carbonul disponibil în compoziția biocombustibililor din rumeguș brichetat arde aproape complet. Bioxidul de carbon, rezultă, în urma reacției de oxidare a carbonului din compoziția biocombustibilului. Aceasta, fiind o reacție exotermă, când cantitatea de CO₂ din gazele de ardere este maximă și cantitatea de căldură eliberată în urma reacției amintite este maximă, ceea ce indică eficiență ridicată a procesului de ardere și implicit a eficienței energetice a procesului de conversie.

O cantitate redusă de CO₂ în gazele de ardere indică pierderi energetice datorate arderii incomplete și un procent ridicat a monoxidului de carbon în compoziția gazelor de ardere, având impact negativ asupra mediului înconjurător. În aceste condiții, analiza influenței parametrilor tip combustibil, respectiv lungime brichetă asupra, variației în timp a cantității de CO₂ rezultate în urma procesului de ardere, indică influența acestora asupra pierderilor energetice prin ardere incompletă.

Modul de determinare: cantitatea de CO₂ se va determina analitic funcție de procentul de oxigen din gazele de ardere și CO_{2maxim} care reprezintă cantitatea maximă, teoretică de CO₂ care se poate obține în urma procesului de ardere a biocombustibililor din rumeguș utilizați.

Astfel CO₂-ul real din gazele de ardere se determină cu relația:

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{2\text{max}} (21 - \text{O}_2)}{21}, [\%] \quad (7.1)$$

unde CO_{2max} reprezintă procentul maxim de CO₂ care poate rezulta în urma procesului de ardere a biocombustibililor utilizați (specifică combustibilului), [%]; O₂ - conținutul de oxigen măsurat în gazele de ardere, [%] ; 21 – concentrația maximă de oxigen din aer, [%].

Participația volumetrică a oxigenului în gazele de ardere se va determina experimental, prin măsurare utilizând analizorul de gaze de ardere. Intervalul de măsurare va fi de 2s, cu o eroare maximă de ±2 vol. % din valoarea măsurată.

Astfel, în condițiile experimentale descrise anterior se va determina variația participației volumice a O₂ în timp, pe un ciclu de funcționare complet. Determinarea participației volumice a CO₂-ului în compoziția gazelor de ardere se va realiza automat de către softul analizorului de gaze utilizând relația 7.1 și valorile măsurate experimental a participației O₂ în gazele de ardere.

Aparatura și materialele: constă în standul generator de energie termică cu biomasă solidă (vezi lucrarea de laborator 6) și analizorul de gaze de ardere, utilizate în condițiile experimentale descrise anterior

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale: în urma încercărilor experimentale realizate vor fi prelucrate utilizând programul de calculator Excel 2007. Curbele de variație a concentrației de CO₂ și O₂ în raport cu variația temperaturii gazelor de ardere, în timp, pe un ciclu complet de funcționare, la arderea combustibilului de tip i și lungime a brichetei j, se vor trasa utilizând valorile medii rezultate în urma încercărilor experimentale realizate. Valorile maxime obținute se vor trece în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3

Valoarea medie a concentrației de CO₂ în gazele de ardere, pe un ciclu complet de funcționare, la arderea biocombustibililor analizați

	Biocombustibil 1			Biocombustibil 2			Biocombustibil 3		
	L=70mm	L=50mm	L=30mm	L=70mm	L=50mm	L=30mm	L=70mm	L=50mm	L=30mm
CO ₂ , med, [%]									

Determinarea pierderilor termice prin gazele de ardere

Pierderile termice prin gazele de ardere, sunt determinate de cantitatea de căldură evacuată în atmosferă prin gazele de ardere evacuate la coș. Căldura transferată de gazele de ardere pereților coșului de fum, prin convecție și ajunsă în mediul ambiant prin radiație, și pierderile energetice prin produșii solizi rezultați în urma arderii incomplete, sunt considerate limitări ale sistemului analizat.

Modul de determinare. Pierderile termice prin gazele de ardere se determina funcție valoarea temperaturii gazelor de ardere, temperatura ambientală, concentrația de oxigen din gazele de ardere, cu relația:

$$W_{p,p}^1 = (T_{ga} - T_{amb}) \cdot \left(\frac{A_2}{21 - O_2} - B \right), [\%] \quad (7.2)$$

unde T_{ga} reprezintă temperatura gazelor de ardere, [°C]; T_{amb} - temperatura aerului ambiental, [°C]; A_2 , B – constante specifice combustibilului utilizat, $A_2 = 0,6000$; $B = 0,0080$ [119].

Parametrii necesari calcului pierderilor energetice prin gazele de ardere se vor determina în urma încercărilor experimentale realizate în condițiile descrise anterior. Rezultatele experimentale se vor prelucra utilizând programul de calculator Excel 2007.

Aparatură și materiale. Pentru achiziția și monitorizarea valorilor determinate experimental s-a utilizat analizorul de gaze de ardere și standul de laborator descrise anterior.

Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale: în urma încercărilor experimentale realizate sunt utilizate pentru determinarea pierderilor energetice, utilizând relația 7.2. Utilizând valorile medii obținute prin prelucrarea datelor experimentale se vor trasa curbele de variație a pierderilor termice în timp, pe un ciclu complet de funcționare a generatorului de energie termică, pentru fiecare tip de combustibil și lungime a brichetei considerate.

Determinarea emisiilor de NO și NO_x

Principalele emisii poluante rezultate în urma arderii biocombustibililor solizi din rumeguș sunt oxizii de azot (NO_x). În acest caz, oxizii de azot rezultă sub formă de monoxid de azot, fapt demonstrat de valorile obținute în urma măsurătorilor realizate cu analizorul de gaze de ardere, care a înregistrat aceleași valori pentru

NO și NO_x. Prezența oxidului de azot în gazele de ardere, oferă informații despre temperatura de ardere, deoarece aceștia se formează la temperaturi înalte. Creșterea concentrației de oxizi de azot în compoziția gazelor de ardere, indică creșterea temperaturii de ardere, și implicit creșterea eficienței procesului de ardere.

În acest context, se va analiza variația cantității de NO în timp, pe un ciclu complet de funcționare a generatorului, în corelație cu temperatura gazelor de ardere.

Pentru determinarea analizei impactului arderii biocombustibililor considerați asupra mediului, se va determina concentrația medie a monoxidului de azot în gazele de ardere evacuate la coș pentru fiecare tip de combustibil, respectiv lungime a brichetei utilizate. Valorile medii ale valorilor măsurate utilizând același mod de determinare și aparatură utilizată. Valorile obținute se vor completa în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4

Valoarea medie a concentrației de NO în gazele de ardere

	Combustibil 1			Combustibil 2			Combustibil 3		
	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm	L = 70 mm	L = 50 mm	L = 30 mm
NO [ppm]									

Interpretarea rezultatelor pentru aceasta se vor trasa curbele de variație a parametrilor urmări discutându-se rezultatele obținute comparativ.

Bibliografie

- [1] Breeze, P., *The Futures of Global Biomass Power Generation, The technology, economics and impact of biomass power generation*, 2004, Business Inside Ltd., U.K.
- [2] Deac, T., *Cercetări privind eficiența utilizării biocombustibililor solizi din rumeguș brichetat pentru generarea de energie termică*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2010.

- [3] Ionel, I., *Managementul valorificării energetice a biomasei*, 2009, Arad.
- [4] Parikh., Jigisha., Channiwala., S.,A., Ghosal., G.K., *A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass material*, 2007, Fuel 86 (2007) 1710-1719, Elsevier Science 10.1016/j.fuel.2006.12.029.
- [5] xxx - *CEN/TS 14774-1:2004: E, Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [6] xxx - *CEN/TS 14775:2004: E, Solid Biofuels - Method for the determination of ash content*, 2004, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.
- [7] xxx - *CEN/TS 14780:2005: E, Solid Biofuels - Method for sample preparation*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels. xxx - *CEN/TS 15148:2005:E, Solid Biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter*, 2005, Technical Specification, European Committee for Standardization, Brussels.

Evaluarea activităților de laborator

Lucrarea 1-2. Analiza proprietăților fizico-chimice a biomasei solide

1. Precizați care sunt principalele proprietăți fizico-chimice ale biomasei solide, cu influență directă asupra alegerii procesului de valorificare energetică a acesteia?
2. Ce este densitatea specifică a biomasei solide și precizați metoda de determinare experimentală a acesteia?
3. Precizați aparatura și materialele necesare determinării umidității totale a biomasei solide granulare.
4. Care este temperatura de lucru a termobalanței de umiditate în cazul determinării umidității totale a materialelor organice?
5. Descrieți pe scurt care este obiectul analizei tehnice a biomasei solide?
6. Precizați ce sunt materiile volatile și care este metoda de determinare experimentală a acestora?
7. Precizați principalele etape a Metodologiei cercetării experimentale a proprietăților fizico-chimice ale biomasei solide.
8. Care este temperatura de lucru a cuptorului de calcinare și durata procesului de determinare a conținutului de cenușă a biomasei solide granulare (rumeguș de brad)?
9. Ce sunt creuzeții și la ce sunt utilizați (dați exemplu)?
10. Ce este cărbunele fix și cum se determină acesta, în cazul biomasei solide granulare?

Lucrarea 3-4. Metode de determinare a caracteristicilor energetice ale biomasei solide – determinarea puterii calorice

1. Precizați principalele proprietăți energetice ale biomasei solide, care influențează procesul de valorificare energetică a acestora.
2. Ce este puterea calorică a biomasei solide și care este unitatea de măsură a acesteia în Sistemul de Unități de Măsură Internațional?
3. Analitic puterea calorică se poate determina utilizând ecuații de corelare a acesteia cu elementele chimice din structura biomasei. Precizați care sunt aceste elemente.
4. Precizați care este principiul de determinare experimentală a puterii calorice.
5. Enumerați aparatura și materialele necesare pentru determinarea experimentală a puterii calorice a biomasei solide.

Testul 3 - Lucrarea 5. Procesarea biomasei solide granulare prin compactare – analiza constructiv funcțională a mașinilor de brichetat

1. Enumerați principalele elemente constructive ale mașinii de brichetat din dotarea Laboratorului de biocombustibili solizi.
2. Care este valoarea maximă a umidității materialului compactat?
3. Precizați principalele proprietăți fizico-chimice ale brichetelor obținute în urma procesului de brichetare a rumegușului (intervalul de variație a lungimii brichetei de rumeguș, diametrul brichetei).
4. Care sunt principalele caracteristici ale procesului de lucru în cazul brichetării rumegușului din lemn de esență moale.
5. Care este valoarea presiunii de lucru în cazul brichetării de rumeguș din esență tare fără adaos de liant.

Testul 4 - Lucrarea 6. Determinarea eficienței conversiei biocombustibililor din biomasa solidă în energie termică

1. Enumerați etapele procesului de ardere a brichetelor din rumeguș compactat.
2. Care sunt principalele activități cuprinse în metodologia de determinare experimentală a eficienței procesului de ardere a biocombustibililor din biomasa solidă?
3. Descrieți pe scurt modul de lucru la determinarea eficienței procesului de conversie a energiei înmagazinate în biocombustibilii din rumeguș brichetat utilizând standul de laborator disponibil în dotarea Laboratorului de biocombustibili solizi.
4. Precizați aparatura și materialele necesare pentru determinarea eficienței procesului de conversie a energiei înmagazinate în biocombustibilii din rumeguș brichetat utilizând standul de laborator disponibil în dotarea Laboratorului de biocombustibili solizi.
5. Precizați metoda de determinare a variației temperaturii agentului termic din instalația de încălzire aferentă standului utilizat la determinarea eficienței conversiei energetice.

Testul 5 - Lucrarea 7. Determinarea emisiilor poluante la arderea biomasei solide din agricultură și silvicultură

1. Enumerați principalele emisii poluante rezultate în urma procesului de conversie a energiei înmagazinate în biomasa solidă în energie termică prin ardere directă.
2. Care sunt principalele beneficii aduse mediului înconjurător de procesul de valorificare energetică a biomasei solide.

3. Precizați aparatura și materialele necesare pentru determinarea temperaturii gazelor de ardere rezultate în urma procesului de conversie a energiei înmagazinate în biomasa solidă brichetată utilizând standul de laborator din dotarea UTCN.
4. Care este principiul de măsurare a analizorului de gaze de ardere?
5. Care sunt principalii parametri măsurați/calculați cu ajutorul analizorului de gaze portabil aflat în dotarea laboratorului de Biocombustibili solizi din cadrul UTCN?
6. Descrieți (pe scurt) modul de determinare a emisiilor de NO_x din gazele de ardere rezultate în urma procesului de conversie a energiei înmagazinate în biomasa solidă în energie termică prin ardere directă.

Anexă

UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Denumirea și simbolul unităților de bază în S.I.

Parametru	Unitate de măsură	Simbolul unității în S.I.
Lungime	metru	m
Masă	kilogram	kg
Timp	secundă	s
Temperatura termodinamică	kelvin	k
Cantitatea de substanță	mol	mol

Denumirea și simbolul unităților derivate în S.I.

Parametru	Unitate de măsură	Simbolul unității în S.I.	Forma echivalentă a unității S.I.
Energia	joule	J	$N \cdot m$
Forța	newton	N	$J \cdot m^{-1}$
Presiunea	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}, J \cdot m^{-3}$
Puterea	watt	W	$J \cdot s^{-1}$
Aria	metru patrat	m^2	-
Volumul	metru cub	m^3	-
Densitatea	kilogram pe metru cub	Kg/ m^3	-

Unități echivalente de energie

$$1kW = 3,6 MJ$$

$$1 Btu = 1055,79 J$$

$$1 calorie = 4,18 J$$

$$1 tonă cărbune echivalent = 29,3 GJ$$

$$1 tonă petrol echivalent = 42,6 GJ$$

1 Btu/s = 1,06 W

1 Btu/h = 0,293 W

1 cal putere = 746 W

PROPRIETĂȚI ALE MATERIALELOR SOLIDE

Conductivitatea termică a unor materiale solide

Material	Conductivitate termică k [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Tencuială de ghips	0,17
Lemn de stejar (umiditate < 14%)	0,16
Lemn de brad (umiditate < 15%)	0,138
Placă aglomerată din lemn de pin	0,052
Panou de plută	0,042
Vată minerală	0,035
Spumă poliuretanică rigidă	0,025
Polistirean expandat	0,035

PUTEREA CALORIFICĂ A DIFERIȚILOR COMBUSTIBILI

Valoarea calorifică netă	
Combustibilul	[MJ/KG]
Coji de orez	12-15
Reziduuri de trestie de zahăr	12-15
Borceag	12-15
Ulei de cocos	39
Etanol	30
Metanol	23
Biogaz	28
Metan	55
Motorină	46



UTPRESS
Cluj-Napoca, 2017
ISBN 978-606-737-243-4

<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>