

Analiza energetică și funcțională pentru situația folosirii peleților din deșeuri de materii celulozice la cazane*

Energetical and functional analysis for the situation of shifting a boiler from sawdust pellets to cellulosic residues pellets

Nicolae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

UTC București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor București,
sector2, blv. Pache Protopopescu 66, Romania
E-mail: nicuant@yahoo.com

Rezumat. Dezvoltarea sistemelor energetice mici și medii consumatoare de peleți a dus la extinderea tipologiei peleților către domeniul reziduurilor de tip celulozic cum ar fi : paie, sămburi de măsline, coji de semințe etc. Utilizarea acestora este deosebit de avantajoasă din punct de vedere energetic și aduce suplimentar o serie de avantaje pe plan ecologic. Trebuie acordată o atenție sporită particularităților ce derivă din compoziția specifică a acestor combustibili alternativi. Diferențele apar în ceea ce privește aspectul energetic al funcționării (randament și sarcină termică nominală) și în ceea ce privește aspectele funcționale (limite și condiții de reglaj). Lucrarea prezintă o analiză a trecerii unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu peleți din reziduuri de la prelucrarea maslinelor (PRPM).

Cuvinte cheie: cazane, peleți, ardere, deșeuri celulozice

Abstract. The development of small and medium-sized energy systems consuming pellets resulted in extending the field of pellets typology to cellulosic residues such as straw, olive stones, seeds, shells, etc. Their use is particularly advantageous in terms of cheap energy and by its ecological aspects. Special attention should be paid to particularities arising from the specific composition of these alternative fuels. Differences targets operating conditions such as efficiency, nominal thermal output and special requirements for functioning and maintenance. This paper analysis the transition of the operation of a boiler from sawdust pellets to pellets of residues from the processing of olives (PRPM).

Key words: boilers, pellet burning, cellulosic waste.

1. Cadru general

Dezvoltarea tot mai amplă a sistemelor energetice de mică și medie putere funcționând cu peleți a dus intrinsec și la extinderea tipologiei peleților către domeniul reciclării energetice a diverselor reziduuri de materii celulozice. Din această categorie, cele mai dezvoltate aplicații sunt pentru paie, sămburi de măsline, coji de semințe și alte deșeuri fie din agricultură, fie din prelucrarea industrială a masei vegetale.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Utilizarea acestor sorturi de peleți este deosebit de avantajoasă din punct de vedere energetic și aduce suplimentar o serie de avantaje pe plan ecologic prin rezolvarea problemelor generate de eliminarea acestor deșeuri și prin degrevarea consumurilor de combustibil superior aferente (echivalente energetic).

Totuși, trebuie acordată o atenție sporită particularităților ce derivă din compoziția specifică a acestor combustibili alternativi, în unele cazuri destul de mult diferită față de combustibilul standard - peleți din rumeguș – pentru care sunt proiectate instalațiile. Diferențele apar atât în ceea ce privește aspectul energetic al funcționării (randament și sarcină termică nominală) cât și în ceea ce privește aspectele funcționale (limite și condiții de reglaj pentru procesul de ardere, emisii poluante, condiții de întreținere particulare etc.).

În lucrarea de față se prezintă și se analizează trecerea unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu peleți din reziduuri din prelucrarea măslinelor. Alegerea nu este întâmplătoare ci are la bază realizarea de către autori a unor seturi complete de determinări termotehnice și analiza directă funcțională pentru o astfel de situație. Determinările și observarea funcțională au fost realizate pe standul de încercări termotehnice pentru cazane și arzătoare din cadrul laboratorului INSIST (acreditat RENAR) din cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor – Universitatea Tehnică de Construcții București. Activitatea de cercetare a avut la bază necesitatea concretă din partea unor producători de cazane cu peleți de a cunoaște condițiile de performanță și pe cele funcționale la utilizarea peletilor din reziduuri de prelucrare industrială a măslinelor.



Manevrarea peletilor pentru transport



Încărcarea peletilor pe nave maritime

Problematica a fost generată de existența unor piețe deosebit de dezvoltate pentru peleții din reziduuri vegetale, mai ales cele rezultate din prelucrarea măslinelor și a semințelor de floarea-soarelui, producția fiind deja la nivel industrial, unii producători ajungând chiar la livrarea cu barje maritime sau garnituri feroviare a peletilor. Țările din Europa cu astfel de realizări sunt Grecia și Spania, dar prin anvergura activității este preconizată exportarea peletilor din reziduuri vegetale pe o arie geografică vastă.

2. Situația analizată

În tabelul 1 sunt prezentate comparativ caracteristicile de compoziție și termice ale peleților din reziduuri de la prelucrarea industrială a măslinelor (numiți în continuare **PRPM**) și ale peleților din rumeguș.

O primă observație se referă la conținutul de cenușă, de cca. 5 ori mai mare la PRPM decât la peleții din rumeguș.

Un prim efect al acestei situații este necesitatea stabilirii unui program diferit (cu intervale mult reduse) pentru curățirea arzătoarelor și a cazanelor în cazul trecerii de la funcționarea cu masă lemnoasă la PRPM. În paralel, dacă tehnologia de ardere este caracterizată de viteze de circulație ale aerului primar susceptibile să antreneze cenușile (care în general se prezintă sub forma geometrică inițială a peleților), se vor considera proporțional mai mari (ordinul de cinci ori) antrenările de cenușă volantă, cu efect la nivelul depunerilor pe suprafețele convective ale cazanului și în zonele de întoarcere ale gazelor de ardere și cu efect la nivelul concentrației de particule în gazele de ardere la coș.

Tabel 1

Comparație între PRPM și peleții din rumeguș

	Unitate	Peleti din reziduurile de prelucrare a maslinelor			Peleti din lemn cu conținut redus de cenușă		
		Vrac	Masa uscata	Masa uscata fara cenusi	Brut	Pentru uz domestic	Masa uscata
Umiditate	%	10,0	-	-	7,35	3	-
Cenușă	%	5,20	5,79	-	0,95	0,99	1,03
Carbon	%	44,9	49,9	53,0	46,5	48,7	50,2
Hydrogen	%	5,71	6,34	6,74	6,0	6,28	6,48
Sulf	%	0,08	0,09	0,10	0,02	0,021	0,022
Azot	%	0,80	0,88	0,94	0,6	0,63	0,65
Oxigen	%	33,3	37,0	39,2	38,6	40,4	41,6
Volatile	%	66,4	73,8	78,3	75,8	79,4	81,8
Carbon fix	%	18,4	20,4	21,7	15,9	16,6	17,2
Putere calorică inferioară	KCal/kg	3858	4352	-	4084	4303	4454
	MJ/kg	16153	18220	-	17100	18017	18650

Un alt element de care trebuie să se țină cont este punctul de fuzibilitate al cenușilor, sensibil mai scăzut pentru cenușile din PRPM decât pentru cele din lemn.

Scăderea temperaturii de topire de la cca. 1250 °C pentru lemn la cca. 1000 °C pentru PRPM duce la apariția pericolului de zgurificare la nivelul grătarului. Cum

atingerea pragului de 1000 °C la arderea pe grătar a carbonului fix nu se poate evita cu tehnologia de ardere folosită la cazanele mici și medii (grătare de tip cuvă cu alimentare prin cădere sau grătare tip Stocker) rezultă necesitatea stabilirii unui program special de curățire a zgurilor pentru situația folosirii PRPM.

Analiza elementară arată un conținut practic egal de carbon și hidrogen la peleții din rumeguș și PRPM dar, pe de o parte datorită conținutului ridicat de uleiuri volatile grele în PRPM și pe de altă parte datorită diferenței de conținut în oxigen, se observă o diferență sensibilă în ceea ce privește conținutul de volatile. Astfel, conținutul de volatile raportat la masa uscată este cu cca. 8 % mai mare în cazul peleiților din rumeguș și ajunge la un plus de 13 % pentru cazul real (masă cu umiditate) de utilizare a peleiților din rumeguș de uz domestic față de PRPM vrac.

Aspectul duce la concluzia că dacă volumul camerei de ardere este satisfăcător pentru fuționarea cu peleți din rumeguș, acesta va fi suficient și la funcționarea cu PRPM. Concluzia trebuie însă nuanțată, deoarece pe de o parte speciile de volatile nu sunt identice între cei doi combustibili și pe de altă parte, debitele de combustibil nu sunt egale dacă se dorește menținerea puterii termice la arzător.

Deoarece conținutul de carbon fix variază puțin (sub 10 % variație relativă între valorile caracteristice) și puterile calorice sunt de asemenea apropiate (variație de cca. 5 % la masa de combustibil brut) se poate trage concluzia că, cel puțin la nivel teoretic, debitul caloric la nivelul arderii primare (dat de limita de încărcare de ardere a carbonului fix la nivelul grătarului arzătorului) se poate menține la trecerea unui arzător de la funcționarea cu peleți din rumeguș din lemn la funcționarea cu PRPM.

Corelând cele două aspecte, cel referitor la încărcarea grătarului (dat de considerațiile referitoare la conținutul de carbon fix și putere calorică) și cel referitor la camera de ardere (dat de analiza conținutului în volatile) rezultă că trecerea funcționării unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu PRPM este posibilă fără afectarea debitului caloric (adică a sarcii termice dată de debitul de combustibil).

Totuși, după cum se va arăta în analiza de caz, situația reală poate fi diferită în situația în care capacitatea de menținere a calității arderii la înlocuirea peleiților din rumeguș cu PRPM nu este satisfăcută de construcția grătarului (dacă apar probleme legate de zgurificarea cenușilor).

În tabelul 2 sunt prezentate două varietăți de materii biogenice rezultate de asemenea din procesarea industrială a măslinelor și anume praf din sămburi de măsline și mărunț amestecat de sămburi și pulpă (sub formă de turte sau sub formă de granule uscate).

Legat de caracteristicile de compoziție se poate observa o variație importantă a conținutului de cenușă, de la valori comparabile cu cele ale rumegușului (cca. 1 %) până la cele specifice PRPM (cca. 5 %).

În ceea ce privește însă conținutul de materii combustibile (carbon și hidrogen) și rapoartele carbon/hidrogen și carbon/oxigen, acestea se încadrează în domeniul

Analiza energetică și funcțională pentru situația folosirii peleților din deșeuri de materii celulozice la cazane caracteristic PRPM, considerațiile sub aspect termotehnic fiind deci aplicabile de la PRPM la aceste varietăți.

Tabel 2

Varietăți de material biogenic rezultat din prelucrarea industrială a măslinelor

	Unitate	Samburi de masline sfaramati (praf)		Marunt din reziduuri de la prelucrarea maslinelor	
		In vrac	Raportat la masa anhidra	In vrac	Raportat la masa anhidra
Umiditate	%	12,2	-	13,3	-
Continut de cenusa	%	0,75	0,86	3,35	3,86
Sulf	%	0,009	0,010	0,16	0,19
Carbon	%	42,7	48,7	40,2	46,4
Hidrogen	%	5,8	6,6	4,9	5,7
Oxigen	%	38,5	43,8	37,5	43,2
Putere calorica inferioara	kcal/kg	3920	4587	3777	4439
	MJ/kg	16415	19207	15810	18580

Totuși, în cazul utilizării combustibililor prezentați în tabelul 2 sau similari, nu trebuie ignorat un element cheie pentru procesul termic și anume tehnologia de ardere. Aceasta este diferită de arderea peleților, fiind obligatoriu cu antrenarea materialului biogenic (praf sau mărunț) cu ajutorul aerului de ardere (transport hidraulic, asemenea instalațiilor de ardere a prafului de cărbune). În concluzie, nu mai există limitările și problemele funcționale, legate mai ales de zgurificare, pe care le dau la arderea pe grătar PRPM față de peleții din rumeguș.

Alte materiale biogenice des utilizate energetic la puteri mici și medii sunt peleții din coji de floarea-soarelui și făina din sâmburi de struguri. La ambele varietăți conținutul de cenușă este de cca. 3,5 % la masa uscată iar conținutul de volatile se situează în jurul valorii de 60 %. Puterea calorică pentru peleții din coji de floarea-soarelui este de cca. 4500 kcal/kg la o umiditate a combustibilului de cca. 10 % iar pentru făina din sâmburi de struguri puterea calorică este de cca. 3850 kcal/kg la o umiditate vrac de 15 %.

Concluzia este că (pentru combustibilii alternativi peletizați) sistemele de ardere pentru peleți din rumeguș pot funcționa și cu peleți din coji de floarea-soarelui, singura atenționare fiind legată de puterea calorică mai mare a acestora, ceea ce poate genera

încărcări termice la nivelul grătarului cu efect negativ asupra durabilității materialului de grătar și a elementelor anexe șamotate.

În ceea ce privește folosirea făinii din sâmburi de struguri în instalațiile de ardere a prafului de sâmburi de măsline sau a mărunțului din prelucrarea măslinelor (tot de tip făină după procesarea cu uscare și sfărâmare), nu sunt probleme din punct de vedere termic, singura verificare necesară fiind legată de compatibilitatea sistemului de antrenare (transport) cu aer de ardere (trebuie verificat raportul de antrenare aer - praf de combustibil sau setarea sistemului de dozaj a prafului de combustibil în aerul de ardere).

3. Determinări experimentale

În urma experimentării funcționale a unui cazan cu arzător de peleți tip Stocker (alimentare la bază a unui grătar conic) la trecerea funcționării de la peleți din rumeguș la PRPM, s-au obținut valorile generale de performanță prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Caracteristici funcționale la trecerea de la peleți din rumeguș la PRPM

CAZANUL MASURAT			ARZATOR CU PELETI TIP GRATAR CONIC			
COMBUSTIBIL PELETI			LEMN		SAMBURI MASLINE	
REGIMUL			NOMINAL	REDUS	NOMINAL	REDUS
	notatie	u.m.				
Temp.apa intrare cazan medie pe ciclu	t_{apa}	C	69,2	61,4	65,5	75,2
Temp.apa iesire cazan medie pe ciclu	t_{apae}	C	89,3	81,0	82,4	86,6
Umiditate combustibil	W	%	3	3	3	3
Putere calorica la masa uscata	H_i	kJ/kg	18700	18700	16400	16400
Putere calorica	H_i	kJ/kg	18066	18066	15835	15835
	H_{ikcal}	kcal/kg	4316	4316	3783	3783
Randamentul cazanului	η_{dir}	%	83,86	83,16	78,30	72,19
Sarcina termica utila	Q_{ut}	kW	61,45	36,31	49,95	24,93

Observația primară este legată de scăderea importantă de randament, cu cca. 6 % la regim nominal și cu cca. 11 % la regim redus, în condițiile în care sarcina nominală a scăzut cu cca. 20 % iar cea redusă cu cca. 30 %.

Sarcina termică nominală la funcționarea cu PRPM a fost determinată prin stabilirea debitului caloric maxim (putere termică la arzător) la care se poate asigura o calitate a arderii suficient de bună pentru încadrarea cazanului în limitele admise legal (12500 ppm CO la 10 % O₂).

Tabelul 4

**Determinarea indirectă a caracteristicilor de performanță ale unui cazan
la funcționarea cu peleți din rumeguș și cu PRPM**

APARAT MASURAT			ARZATOR CU PELETI TIP GRATAR CONIC			
Combustibil : PELETI			RUMEGUS LEMN		SAMBURI MASLINE	
Regimul			NOMI - NAL	REDUS	NOMI - NAL	REDUS
	<i>Notatie</i>	<i>u.m.</i>				
Temperatura la cos	T_{cos}	C	256	224	219	181
Temperatura aerului ambiant	T_{aer}	C	20	20	20	20
Analiza gazelor la cos	O_2	%	9,6	11,8	12,7	15,4
Continut de CO la 10% O ₂	CO	ppm	442	327	7517	10172
Analiza gazelor la cos	NO_x	mg/mc	94	70	141	124
Exces de aer	$Exces\ aer$	-	1,84	2,27	2,53	3,77
Sarcina termica la arzator (Debit caloric)	Q_{comb}	kW	73,3	42,9	63,8	35,6
		kcal/h	62998	36893	54840	30635
Volum specific de gaze de ardere	V_g	Nmc/kg	8,33	10,10	9,78	14,27
Pierderi specifice prin entalpia gazelor la cos	q_{cos}	%	14,90	15,39	16,50	18,99
Pierderi specifice prin ardere incompleta mecanica	$q_{inc.m}$	%	0,05	0,05	0,74	0,74
Pierderi specifice prin ardere incompleta chimica	$q_{inc.c}$	%	0,25	0,18	4,14	5,54
Pierderi specifice prin suprafetele exterioare	q_{ext}	%	0,82	1,05	0,71	0,98
Randamentul - bilant indirect $\eta_{ind} = 100 - q_{cos} - q_{inc.m} - q_{inc.c} - q_{ext}$	η_{ind}	%	83,99	83,34	77,92	73,74
Puterea utila - bilant indirect $P_{ut} = \eta_{ind} \cdot Q_{comb}$	P_{ut}	kW	61,54	35,76	49,69	26,27

Analizând funcționarea cazanului, atât la regim nominal cât și la regim minim, în cele două situații de alimentare, s-au evidențiat în tabelul 4 două cauze primare ale scăderii de randament și anume:

a. Creșterea excesului de aer necesar pentru menținerea calității arderii în limite acceptabile de la 1,84 la 2,53 în regim nominal și de la 2,27 la 3,77 pentru regimul minim; creșterea a fost necesară deoarece grătarul nu poate evita inerentele zgurificări la funcționarea cu PRPM iar zona de insuflare a aerului secundar devine insuficient de puternică pentru a compensa modificarea de calitate a volatilelor (fără o

creștere a debitului de aer). Creșterea de exces de aer a dus la creșterea pierderilor specifice prin entalpia gazelor de ardere la coș cu 1,5 % până la 3,5 % în funcție de regimul de lucru al cazanului.

b. Creșterea conținutului relativ de CO (raportat la 10 % O₂ în gazele de ardere) de la ordinul sutelor la funcționarea cu rumeguș la ordinul miilor la funcționarea cu PRPM (datorită acelorași probleme de introducere de aer care au determinat și scăderea de sarcină termică) a dus la creșterea cu 4 % până la 5 % a pierderilor specifice prin ardere incompletă de natură chimică.

4. Concluzii

1. Determinarea valorilor de reglaj (funcționare schneck și ventilator de aer de ardere) pentru obținerea puterii maxime a cazanului s-a făcut astfel încât, la această sarcină termică, emisiile poluante să se încadreze în limite acceptabile. Limitarea a fost dată de modul de introducere al aerului primar și secundar la arzătoarele tip pâlnie și de caracteristica de zgurificare a PRPM comparativ cu peleți din rumeguș. Dacă trecerea se face la un cazan cu grătar cu împingere sau răscolire și dacă există posibilitatea reglării separate a debitelor de aer de ardere primar și secundar, ținând cont de considerțiile referitoare la caracteristicile termotehnice și de ardere ale celor doi combustibili (vezi tabel 1 și comentariile aferente) se poate presupune că s-ar putea menține și sarcina termică și calitatea arderii la trecerea de la peleți din rumeguș la PRPM sau alți combustibili similari din deșeuri vegetale.

2. Chiar și în cazul unui arzător cu răscolire, dar mai ales la arzătoarele cu grătar fix, zgurificarea la funcționarea cu PRPM este inevitabilă datorită conținutului mare de cenuși și temperaturilor de topire și înmuiere reduse (sub 1000 °C), ceea ce determină impunerea unor intervale de curățire mult reduse (de 4 până la 8 ori) față de funcționarea cu peleți din rumeguș.

3. La cazanele mici și medii cu arzătoare prevăzute cu grătare fixe (fără răscolire sau descărcare forțată de cenuși) și cu raport funcțional fix între aerul primar și cel secundar, dat de geometria grătarului și a anexelor acestuia (camere de presiune, sisteme de distribuție, etc.), se poate trece de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu PRPM (peleți) în următoarele condiții:

- a. scăderea sarcinii nominale cu cca. 20 %;
- b. creșterea excesului de aer până la valori de ordinul 2,5;
- c. nivel de emisii poluante la limita superioară a domeniului admisibil;
- d. scăderea randamentului cu cca. 5 %;
- e. scăderea intervalului de curățire la ordinul orelor de funcționare.

4. Utilizarea PRPM ca alternativă de combustibil ieftin în locul peletilor din rumeguș este posibilă, fie cu precauțiile prezentate anterior la arzătoarele cu grătar fix, fie fără modificări funcționale și de performanță în cazul sistemelor mari, cu răscolire, descărcare de cenuși și dozare separată de aer primar, secundar și uneori chiar terțiar.