

CZU 662.71/.74 (478)

## INFLUENȚA PARAMETRILOR DENSIFICĂRII ASUPRA CALITĂȚII PELEȚILOR PRODUȘI DIN REZIDUURI AGRICOLE

Grigore MARIAN, Andrei GUDÎMA, Andrei PAVLENCO  
Universitatea Agrară de Stat din Moldova

**Abstract.** The purpose of the research was to establish the optimum production regimes for pellets derived from crop residues by optimizing the densification regimes. The research was carried out in the Solid Biofuels Laboratory within the State Agrarian University of Moldova, using standard methods for determining the main qualitative characteristics of the studied biomass. Densification was performed for single granules at a press designed and made for this purpose. Experimentally, it has been established that pellet production with particle density greater than  $1.0 \text{ g/cm}^3$ , which provides a bulk density of pellets greater than  $600 \text{ kg/m}^3$ , i. e., it meets the requirements of ENPlus3, can be performed at a mold temperature of at least  $80^\circ\text{C}$  and the initial moisture content of the biomass should not exceed 12%. If the pelletizing occurs at temperatures above  $80^\circ\text{C}$ , the initial moisture content of the biomass may be increased proportionally to the increase of the pelletizing temperature, but not more than 15%. Also, it was determined that the highest calorific value of pellets is obtained when the initial moisture content of the biomass is within the range of  $10 \pm 2\%$ .

**Key words:** Fuel pellets; Densification; Particle density; Calorific value; Moisture content; Mechanical durability; Agricultural residues.

**Rezumat.** Scopul prezentei cercetări este stabilirea regimurilor optime de fabricație a peleților produși din reziduuri agricole vegetale prin optimizarea regimurilor de densificare. Cercetările au fost realizate în Laboratorul de Biocombustibili Solizi din cadrul Universității Agrare de Stat din Moldova, folosindu-se metode standarde de determinare a principalelor caracteristici calitative ale biomasei studiate. Densificarea s-a realizat pentru granule singulare la o presă proiectată și confecționată pentru acest scop. Experimental s-a stabilit că producerea peleților cu densitatea particulelor mai mare de  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , ce asigură o densitate în vrac a peleților mai mare de  $600 \text{ kg/m}^3$ , adică corespund cerințelor ENPlus3, poate fi realizată la temperatura matriței de cel puțin  $80^\circ\text{C}$ , iar umiditatea inițială a biomasei nu trebuie să depășească 12%. Dacă peletizarea are loc la temperaturi mai mari de  $80^\circ\text{C}$ , umiditatea inițială a biomasei poate fi mărită proporțional cu mărirea temperaturii peletizării, însă nu mai mult de 15%. De asemenea, s-a constatat că cea mai mare putere calorifică a peleților se obține când umiditatea inițială a biomasei se află în diapazonul  $10 \pm 2\%$ .

**Cuvinte-cheie:** Peleți de foc; Densificare; Densitatea particulelor; Putere calorifică; Conținut de umiditate; Durabilitate mecanică; Reziduuri agricole.

### INTRODUCERE

În cercetările noastre anterioare (Gudîma, A. 2017) am evidențiat principalii factori de influență a calității peleților de foc și am arătat căile posibile de mărire a indicatorilor calitativi prin optimizarea variabilelor materiei prime și a celor de fabricație.

Scopul prezentei cercetări este stabilirea regimurilor optime de fabricație a peleților produși din reziduuri agricole vegetale prin optimizarea regimurilor de densificare. În calitate de obiect al cercetării a servit biomasa vegetală provenită din diferite reziduuri agricole.

Importanța și actualitatea studiului realizat sunt justificate de ponderea gradului de densificare a particulelor de biomasă asupra unui șir de indicatori calitativi ai peleților, precum densitatea particulelor, durabilitatea mecanică, puterea calorifică, umiditatea la recepție a produsului finit.

Analiza rezultatelor experimentale obținute în cadrul studiului ne-au permis să formulăm recomandări cu privire la stabilirea regimurilor tehnologice de densificare a peleților produși din reziduuri agricole vegetale.

### MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetarea proprietăților de densificare s-a realizat pe probe de biomasă provenită din reziduuri lemnoase de la tăierea pomilor fructiferi și din paie de grâu. Biomasa supusă încercărilor a fost mărunțită la moara cu ciocane SV 7, cernută prin site cu deschiderea ochiurilor de 1 mm, 3 mm și 4 mm. Densificarea a fost estimată prin prisma a trei parametri: densificarea particulelor, durabilitatea peleților, rezistența la compresiune.

Eșantionarea probelor din masa rezultată de la mărunțire s-a efectuat prin metoda sferturilor, în

conformitate cu SMV EN 14780: 2012. Din fiecare grupă dimensională de biomasă supusă testării s-au prelevat câte 5 probe cu greutatea de 100 g, pentru care s-a determinat distribuția granulometrică prin cernere cu site oscilante în conformitate cu cerințele SMV EN 15149 1;2: 2012. A fost folosit setul din 7 site cu deschiderea ochiurilor după cum urmează: 3,15; 2,80; 2,0; 1,4; 1,00; 0,5; 0,25 mm. Durata de cernere a fost de 15 minute. După cernere, masa reținută pe fiecare sită a fost cântărită la balanța analitică KERN EW 3000-2M. Testul de cernere a fost replicat de 5 ori, ceea ce a permis determinarea abaterii standard și a intervalului de încredere.

Fiecare tip de biomasă măcinată a fost împărțită în 3 părți, care au fost plasate pentru 60 de minute în interiorul etuvei de condiționare în vid EV MGGA cu următoarele regimuri:

- 1) temperatura 20°C, umiditatea relativă 40%;
- 2) temperatura 20°C, umiditatea relativă 60%;
- 3) temperatura 20°C, umiditatea relativă 80%.

Aceste regimuri ale aerului din etuvă au asigurat următoarele valori ale conținutului de umiditate în bază umedă: 7,5; 10,1 și, respectiv, 14,7 %.

Procesul de densificare a peleților a fost studiat printr-un experiment polifactorial cu patru variabile (tab. 1). În calitate de variabile de influență au servit temperatura peletizării, umiditatea biomasei, granulația biomasei și forța de presare. Astfel, cele trei niveluri ale planului experimental au fost folosite pentru a investiga efectul temperaturii T (75 °C, 100 °C și 125 °C), al umidității materiei prime înainte de densificare M (7,5 %, 11,1 % și 14,7 %) al dimensiunii ochiurilor sitelor de la moara de mărunțire a biomasei Gr (1 mm, 3 mm și 4 mm) și al presiunii densificării P (100 MPa, 125 MPa și 150 MPa). Valorile pentru factorii de răspuns au fost determinate în conformitate cu metodele descrise anterior de noi (Marian, Gr. 2014, 2016). Datele experimentale au fost prelucrate în programul STATGRAPHICS Centirion.

Planul experimental este construit pe 3 niveluri, cu câte 27 de experimente pentru fiecare tip de biomasă, în total având loc 81 de experimente. Fiecare experiment a fost repetat de 3 ori.

**Tabelul 1.** Planul experimental referitor la studiul procesului de densificare a peleților

Variabile independente	Cod	Nivelul variabilei codificate		
		-1	0	+1
Temperatura, °C	X <sub>1</sub>	75	100	125
Conținutul de umiditate în bază umedă, %	X <sub>2</sub>	7,5	10,1	14,7
Presiunea, N	X <sub>3</sub>	1500	2000	2500
Dimensiunile particulelor	X <sub>4</sub>	< 1,5	< 2,5	< 4

Peletizarea a fost efectuată în mod individual, într-un granulator cu un singur loc (construit în atelierul mecanic al Catedrei Menținerea mașinilor și ingineria materialelor, Universitatea Agrară de Stat din Moldova), în condiții de control al temperaturii și forței de presare (fig. 1).

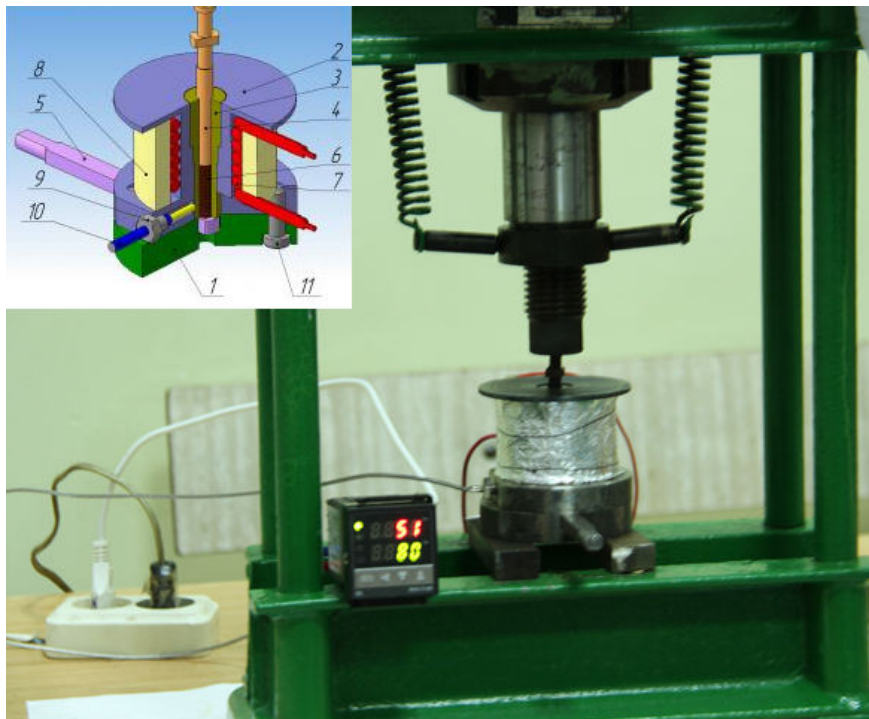
Presa este formată dintr-un cilindru și un piston cu diametrul de 8 mm încorporat într-o carcasă metalică înfășurată de un element termic. Pentru controlul temperaturii este prevăzut un termocuplu conectat la o unitate de control. Fundul matriței este dotat cu o bară glisantă care, în poziția închisă, blochează evacuarea materialului densificat, iar în poziția deschisă permite evacuarea acestuia din gaura matriței.

Înainte de fiecare utilizare, matrița este curățată cu acetonă și ștersă cu ajutorul unui prosop de hârtie și analizată vizual dacă nu are defecte sau alte imperfecțiuni.

Structura stratificată, similară cu cea obținută la granuloarele industriale, s-a obținut prin încărcarea treptată a biomasei, în cantități de câte 0,25 g, cu comprimarea fiecărei porții la o viteză de 2 mm/s până când granula a obținut lungimea de 16 mm. După fiecare comprimare, pistonul a fost menținut timp de 5 s la presiunea finală și apoi retras în poziția inițială.

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele experimentale sunt prezentate în tabelul 2. Probele care, după nivelul indicatorilor respectivi de calitate, nu corespund cerințelor normelor internaționale ENPlus le-am evidențiat prin marcarea acestora. Astfel, probele 1, 7, 8, 11, 15, 25 și 26 nu corespund cerințelor referitoare la densitatea particulelor, probele 1, 3, 22 și 25 s-au remarcat printr-un conținut de umiditate la recepție mai mare de 10%, ceea ce, de asemenea, depășește normele ENPlus, iar probele 1–8, 11, 13, 15, 19, 22, 25 și 26 nu corespund cerințelor ENPlus după rezistența mecanică.



**Figura 1.** Instalația de studiere a procesului de densificare a unei granule:

1 – fundație; 2 – carcasă; 3 – cilindru; 4 – piston cu diametrul 8 mm; 5 – suport glisant; 6 – material densificat; 7 – element de încălzire; 8 – cămașă; 9 – fixator; 10 – termocuplu; 11 – bulon fixator.

După prelucrarea statistică a datelor experimentale am obținut următoarele ecuații de regresie:

$$DE = 1,027 + 0,08T - 0,14M + 0,05Gr. + 0,03P + 0,07T^2 + 0,08TM - 0,023TGr - 0,01TP - 0,025M^2 + 0,03MGr + 0,02M^3P + 0,01Gr^2 - 0,005GrP, \quad (1)$$

$$M_r = 7,0 - 3,04T + 2,13Mi - 0,73Gr - 0,34P - 0,23T^2 - 1,05TMi + 0,33TGr - 0,2TP + 0,09Mi + 0,17MiGr + 0,35MiP + 0,07Gr^2 - 0,23GrP + 0,67P^2, \quad (2)$$

$$NCV_{M=10\%} = 17010,8 + 50,78T + 94,55M + 7,5Gr + 35,94^3P - 3,28^3T^2 + 28,25TM + 25,24TGr + 25,02TP - 10,4M^2 - 43,95MGr - 20,45MP - 62,12Gr^2 - 52,1GrP - 12,16P^2, \quad (3)$$

$$DU = 95,0 + 1,13T - 1,45833M + 0,67Gr - 0,08P + 0,52T^2 + 1,13TM - 0,875TGr - 0,375TP + 0,4M^2 + 0,25MGr + 0,33Gr^2 - 0,375GP - 0,42P^2 \quad (4),$$

în care DE – densitatea particulelor, g/cm<sup>3</sup>;  $NCV_{M=10\%}$  – puterea calorifică inferioară la umiditatea 10%, J/g;  $M_r$  – conținutul de umiditate la recepție, %; DU – durabilitatea mecanică, %.

**Densitatea particulelor.** Observând densitatea particulelor în granule formate din biomasă vegetală densificată, putem menționa că densitatea particulelor nu este un indicator obligatoriu pentru biocombustibilii în formă de peleți, fiind obligatoriu însă pentru brichete. Mai mult ca atât, densitatea particulelor este folosită de către mai mulți cercetători pentru caracterizarea gradului de densificare a diferitor tipuri de granule (Li, Y. 2000; Nguyen, Q.N. 2016; Rezaei, H. 2016; Bergströma, D. 2008; Carone, M.T. 2010, Tarasov, D. 2013, Zamorano, M. 2011).

Cercetările realizate până în prezent și practica producătorilor de biocombustibili solizi arată că densitatea particulelor biocombustibililor solizi în formă de peleți trebuie să depășească 1,0 g/cm<sup>3</sup>, iar pentru brichete – 0,9 g/cm<sup>3</sup>. În această situație, peleții posedă o densitate în vrac mai mare de 600 kg/m<sup>3</sup> (Zamorano, M. 2011). De menționat că normele EN 14961-2 nu limitează densitatea maximă în vrac, implicit, densitatea particulelor, pe când standardul ISO 17225-2 limitează valoarea maximă a densității în vrac la 750 kg/m<sup>3</sup>. Acest lucru este motivat de eficiența redusă a combustiei peleiților cu densitate mare din cauza accesului limitat al oxigenului în volumul compactat (Tarasov, D. 2013).

Densitatea unui pelet a fost calculată prin raportul masei probei studiate la volumul acesteia. Masa a fost măsurată la balanța analitică cu precizia ±0,0001 g. Volumul s-a calculat din lungimea și diametrul exemplarului, presupunând o formă perfect cilindrică. Dimensiunile peletului au fost măsurate cu ajutorul unui șubler electronic cu precizia ±0,01 mm. Densitatea particulelor a fost determinată imediat după

Tabelul 2. Planul experimentelor și rezultatele obținute

Nr. exp.	X1	X2	X3	X4	x1	x2	x3	x4	Factori de răspuns					
	T°C	M, %	Gr, mm	P, MPa	T°C	M, %	Gr, mm	P, MPa	DE, g/cm <sup>3</sup>	NCV <sub>d</sub> , J/g	NCV <sub>r</sub> , J/g	NCV <sub>M=10</sub> , J/g	M <sub>r</sub> , %	DU, %
1	-1	1	0	0	75	14,7	3	125	0,79	19224,71	16425,84	17071,74	13	93
2	-1	0	0	1	75	11,1	3	150	1,07	19215,47	17106,46	17169,64	9,8	94
3	-1	0	0	-1	75	11,1	3	100	1,00	18956,40	16660,17	16893,30	11	94
4	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,04	19188,21	17683,68	17038,89	7	95
5	1	0	0	1	125	11,1	3	150	1,17	19178,39	18362,02	17030,05	3,8	95
6	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,02	19084,41	17587,15	16945,47	7	95
7	0	0	-1	1	100	11,1	1	150	0,99	19064,58	17226,79	16927,62	8,6	94
8	0	1	1	0	100	14,7	4	125	0,95	19218,17	17367,18	17065,85	8,6	94
9	-1	-1	0	0	75	7,5	3	125	1,14	18968,87	17564,79	16841,48	6,6	97
10	0	-1	-1	0	100	7,5	1	125	1,13	18706,57	17403,85	16605,41	6,2	98
11	0	1	-1	0	100	14,7	1	125	0,75	19077,91	17046,53	16939,62	9,5	93
12	1	0	1	0	125	11,1	4	125	1,19	19160,33	18451,97	17013,80	3,3	98
13	0	0	1	1	100	11,1	4	150	1,11	19046,48	17744,04	16911,33	6,1	95
14	1	-1	0	0	125	7,5	3	125	1,17	19100,01	18522,07	16959,51	2,7	97
15	0	0	-1	-1	100	11,1	1	100	0,94	19090,58	17207,77	16951,02	8,8	94
16	0	-1	1	0	100	7,5	4	125	1,20	19042,16	18060,19	16907,44	4,6	98
17	1	0	-1	0	125	11,1	1	125	1,19	19389,84	18587,13	17220,35	3,7	98
18	0	-1	0	-1	100	7,5	3	100	1,16	19093,92	17874,18	16954,02	5,7	97
19	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,02	19198,21	17692,99	17047,89	7	95
20	0	-1	0	1	100	7,5	3	150	1,20	19158,11	18084,96	17011,80	5	98
21	1	1	0	0	125	14,7	3	125	1,16	19481,40	18413,87	17302,76	4,9	98
22	-1	0	-1	0	75	11,1	1	125	1,00	19090,64	16737,12	16951,07	11	93
23	-1	0	1	0	75	11,1	4	125	1,09	18748,98	16790,96	16643,58	9,3	97
24	1	0	0	-1	125	11,1	3	100	1,13	18760,16	17580,51	16653,64	5,6	97
25	0	1	0	1	100	14,7	3	150	0,91	19150,71	16897,86	17005,14	11	94
26	0	1	0	-1	100	14,7	3	100	0,78	19177,41	17072,14	17029,17	9,8	93
27	0	0	1	-1	100	11,1	4	100	1,08	19304,01	17748,16	17143,11	7,2	97

Legendă: DE – densitatea particulelor;  $NCV_d$  – puterea calorică inferioară în bază uscată;  $NCV_r$  – puterea calorică inferioară la recepție;  $NCV_{M=10\%}$  – puterea calorică inferioară la umiditatea 10%;  $M_r$  – conținutul de umiditate la recepție; DU – durabilitatea mecanică.

ejecția probei. Valorile au fost raportate la media obținută din trei măsurări, pentru care s-a calculat abaterea standard și intervalul de încredere.

Analizând datele din tabelul 2, în baza cărora a fost obținută ecuația de regresie (1), vizualizată în figura 2, se constată că cea mai mare influență asupra densității particulelor este exercitată de conținutul de umiditate – odată cu micșorarea acestuia se mărește densitatea particulelor, valoarea optimă a densității fiind obținută la umiditatea de 7,45%.

Temperatura peletizării acționează în sens invers – la mărirea temperaturii densitatea particulelor se micșorează, atingând valori maxime la temperatura matriței egală cu 80 °C. Această temperatură se consideră optimă dacă procesul de densificare a probelor are loc la presiunea de 150 MPa, iar granulația particulelor este maximă, adică biomasa este cernută prin sită cu ochiuri de 4 mm. Rezultatul poate fi explicat prin următoarele efecte prezente la aceste regimuri: micșorarea temperaturii de sticlozitate, ceea ce conduce la vitrificarea mai completă a biomasei; formarea unor punți solide de legătură cvaziechilibrate; creșterea legăturilor de contact dintre particule datorită forțelor van der Waals mai pronunțate.

De menționat că peleți cu densitate a particulelor destul de bună – (1,15 < DE < 1,25) g/cm<sup>3</sup> – pot fi obținuți prin presare la temperaturi mai înalte, însă în acest caz este necesar să se mărească conținutul de umiditate în biomasă înainte de densificare (fig. 3).

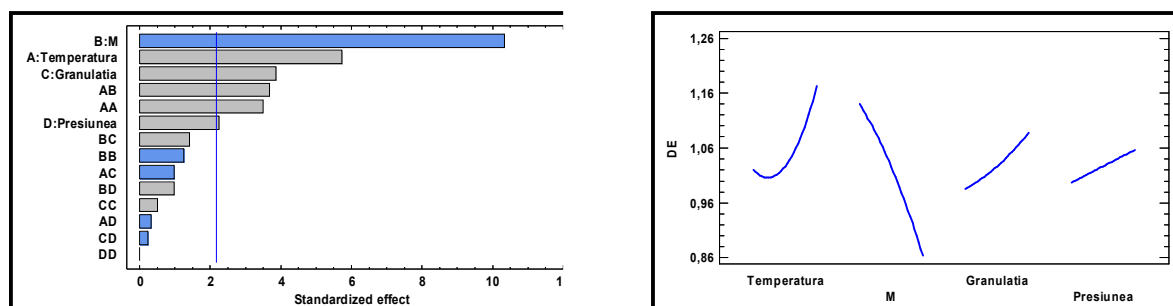


Figura 2. Diagrama Pareto standardizată și factorii dominanți de influență asupra densității particulelor peleiților singulari

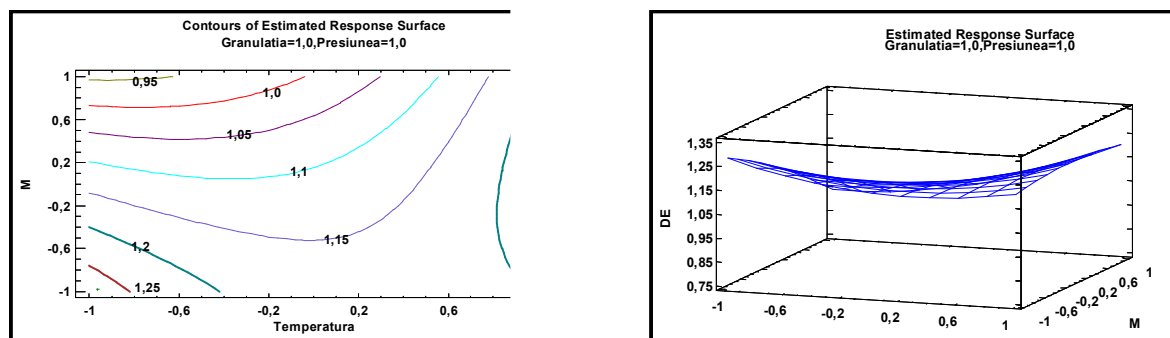


Figura 3. Contururile și suprafețele de răspuns referitoare la influența temperaturii și a umidității inițiale asupra densității particulelor peleiților singulari fabricați din particule de biomasă cu granulația 4 mm la presiunea 125 MPa

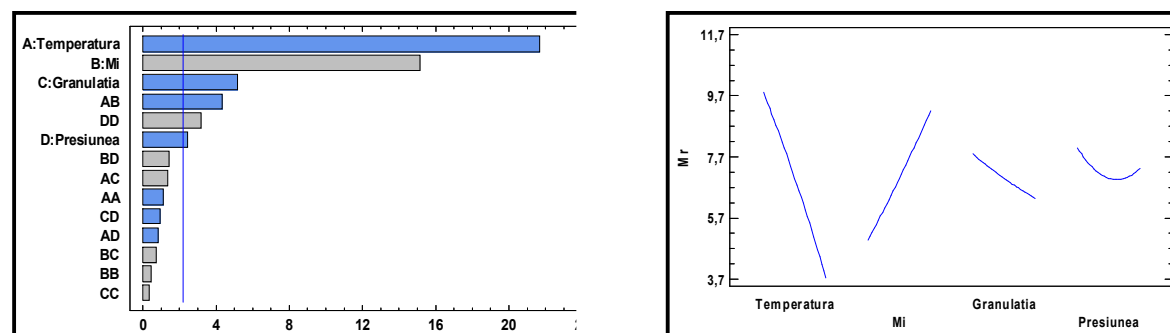


Figura 4. Diagrama Pareto standardizată și factorii dominanți de influență asupra umidității la recepție a peleiților densificați singular

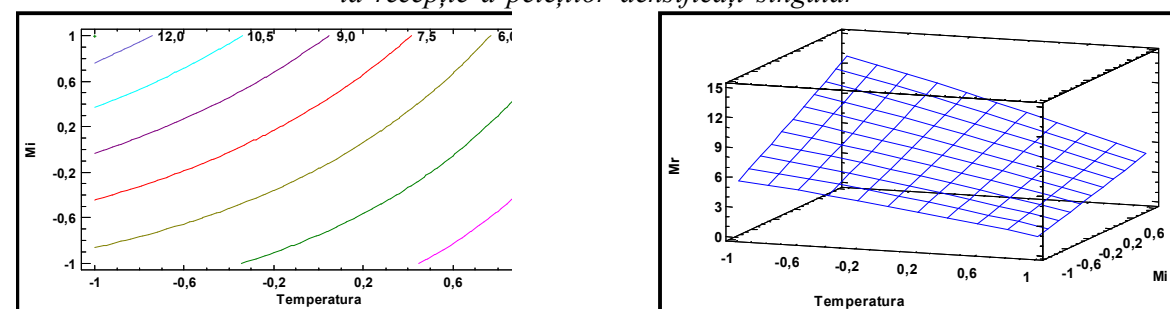


Figura 5. Contururile și suprafețele de răspuns referitoare la influența temperaturii și a umidității inițiale asupra umidității finale a peleiților singulari fabricați din particule de biomasă cu granulația 4 mm la presiunea 125 MPa

Prin analiză vizuală s-a constatat că peleiții densificați la temperaturi mai joase de 80 °C sunt crăpăcioși, iar cei densificați la temperaturi mai joase de 80 °C și la presiuni mici sunt necalitativi, deoarece integrarea particulelor în procesul densificării a fost foarte dificilă sau chiar imposibilă (probele 1, 3, 22).

În baza rezultatelor experimentale obținute se poate concluziona că producerea peleiților cu densitatea particulelor mai mare de  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , ce asigură o densitate în vrac a peleiților mai mare de  $600 \text{ kg/m}^3$ , adică conform cerințelor ENPlus 3, poate fi realizată la temperaturi similare celor în care s-au realizat încercările experimentale, însă nu mai mici de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Umiditatea inițială a biomasei nu trebuie să depășească 12% dacă peletizarea are loc la temperaturi joase (în jur de  $80^\circ\text{C}$ ), putând fi mărită, proporțional, odată cu mărirea temperaturii peletizării.

**Conținutul de umiditate.** Analizând ecuația 2 și graficele din figurile 4 și 5 se poate afirma că factorii dominați care influențează conținutul de umiditate în produsul finit la recepție sunt temperatura peletizării și conținutul de umiditate a materiei prime înainte de densificare. Menționăm că conținutul de umiditate a fost estimat la recepție, adică la ieșire din presă.

Se constată că influența temperaturii asupra conținutului de umiditate a peleiților la recepție poartă un caracter brusc descendent, pe când cantitatea de umiditate inițială, adică cea prezentă în biomasă înainte de densificare, influențează brusc ascendent umiditatea peleiților la recepție. Granulația biomasei și presiunea densificării influențează lent descendent umiditatea la recepție a peleiților.

**Puterea calorifică** a fost estimată în baza valorii puterii calorifice inferioare, recalculată pentru conținutul de umiditate la recepție egal cu 10%, conform normelor ENPlus 3 referitoare la peleiții de foc (Marian, Gr. 2016).

## CONCLUZII

Cercetarea influenței regimurilor densificării asupra densității particulelor a demonstrat că producerea peleiților cu densitatea particulelor mai mare de  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , ce asigură o densitate în vrac a peleiților mai mare de  $600 \text{ kg/m}^3$ , adică în corespundere cu cerințele ENPlus 3, poate fi realizată la temperatura matriței de cel puțin  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , umiditatea inițială a biomasei fiind de până la 12%. Dacă peletizarea are loc la temperaturi mai mari de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , umiditatea inițială a biomasei poate fi mărită, proporțional, odată cu mărirea temperaturii peletizării, însă nu mai mult de 15%. De asemenea, s-a constatat că cea mai mare putere calorifică a peleiților se obține când umiditatea inițială a biomasei se află în diapazonul  $10 \pm 2\%$ . Regimurile stabilite pot fi recomandate în calitate de regimuri tehnologice la producerea peleiților din biomasă agricolă prin densificarea particulelor în matrițe cu disc.

## REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. BERGSTRÖMA, D., ISRAELSSON, S., ÖHMANC, M. et al. (2008). Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. In: Fuel Processing Technology, vol. 89, pp. 1324-1329. ISSN 0378-3820.
2. CARONE, M.T., PANTALEO, A., PELLERANO, A. (2010). Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. In: Biomass and Bioenergy, vol. 30, pp. 1-9. ISSN 0961-9534.
3. GUDÎMA, A., MARIAN, Gr., PAVLENCO, A. (2017). Stadiul actual al cercetărilor cu privire la influența variabililor de producție asupra calității biocombustibililor densificați în formă de peleiți. In: Meridian Ingineresc, nr. 1, pp. 51 - 60. ISSN 1683-853X.
4. LI, Y., HENRY, L. (2000). High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. In: Biomass and Bioenergy, vol. 19, pp. 177-186. ISSN 0961-9534.
5. MARIAN, Gr. (2016). Biocombustibili solizi, producere și proprietăți. Chișinău. 172 p. ISBN 978-9975-87-166-2.
6. MARIAN, Gr. (2014). Managementul biomasei agrosilvice pentru scopuri energetice. Chișinău: Iunie Prim. 264 p. ISBN 978-9975-4021-4-9.
7. NGUYEN, Q. N., CLOUTIER, A., ACHIM, A., STEVANOVIC, T. (2016). Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. In: Biomass and Bioenergy, vol. 80, pp. 338-349. ISSN 0961-9534.
8. REZAEI, H., LIMA, C.J., LAU, A., SOKHANSANJ, S. (2016). Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles. In: Powder Technology, vol. 301, pp. 737-746. ISSN 0032-5910.
9. TARASOV, D., SHAHI, C., AND LEITCH, M. (2013). Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review. In: ISRN Forestry, pp. 1-6. DOI 10.1155/2013/876939
10. ZAMORANO, M., POPOV, V., RODRÍGUEZ, M. L., GARCÍA-MARAVÉ, A. A. (2011). Comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. In: Renewable Energy, vol. 36, pp. 3133-3140. ISSN 0960-1481.

Data prezentării articolului: 21.04.2017

Data acceptării articolului: 15.05.2017