

CZU 662.62 (478)

TOREFIEREA – O NOUĂ DIRECȚIE DE SPORIRE A CALITĂȚII PELEȚILOR DE FOC PRODUȘI DIN BIOMASĂ AUTOHTONĂ

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

Abstract. The purpose of the present research was to study the possibility of increasing the calorific value and other properties of the lignocellulosic biomass used for the production of pellets by torrefying it before processing. The researches were carried out in the Solid Biofuels Laboratory of the State Agrarian University of Moldova, using standard methods for determining the main qualitative characteristics of the studied biomass. It has been proved that the integration of torrefaction in the technological process of pellet production from agricultural residues is a reliable means of increasing the calorific value and other properties of the finished product. The effect of torrefaction is mostly pronounced in the case of biomass derived from wheat straw, marking an increase of the low calorific value (dry basis) of the finished product from 17,584 MJ/kg up to 22,752 MJ/kg, which represents a relative increase of 29.4%. Based on the performed researches, a new technology of pellet production from agricultural residues with characteristics corresponding to ENPlus norms was developed.

Key words: Solid biofuels; Pellets; Calorific value; Agricultural residues; Technology; Torrefaction.

Rezumat. Scopul prezentei cercetări este studierea posibilității de mărire a puterii calorifice și a altor proprietăți ale biomasei lignocelulozice, folosite la producerea peleților, prin torefierea acestora înainte de procesare. Cercetările au fost realizate în Laboratorul de Biocombustibili Solizi din cadrul Universității Agrare de Stat din Moldova, folosindu-se metode standard de determinare a principalelor caracteristici calitative ale biomasei studiate. S-a demonstrat că integrarea torefierii în procesul tehnologic de producere a peleților din reziduuri agricole este un mijloc sigur de sporire a puterii calorifice și altor proprietăți ale produsului finit. Efectul torefierii se manifestă cel mai pronunțat în cazul biomasei provenite din paie de grâu, marcând o sporire a puterii calorifice inferioare în bază uscată a produsului finit de la 17,584 MJ/kg până la 22,752 MJ/kg, ceea ce reprezintă o sporire relativă de 29.4%. În baza cercetărilor efectuate a fost elaborată o tehnologie nouă de producere a peleților din reziduuri agricole cu caracteristici corespunzătoare normelor ENPlus.

Cuvinte-cheie: Biocombustibili solizi; Peleți; Putere calorifică; Reziduuri agricole; Tehnologie; Torefiere.

INTRODUCERE

Producerea de biocombustibili solizi a înregistrat o creștere considerabilă în Republica Moldova. Cu toate acestea, dezvoltarea producerii peleților cu caracteristici aliniată la cerințele internaționale ENPlus este destul de modestă. Acest lucru, în mare măsură, poate fi explicat prin calitatea inferioară a materiei prime autohtone, care este reprezentată, în cea mai mare parte, de reziduurile de culturi agricole. De exemplu, studiile noastre (Gudîma, A. 2017) au arătat că doar 5% din volumul de biomasă rezultată din activități agricole din raionul Soroca posedă o putere calorifică inferioară ce depășește 16,5 MJ/kg și poate fi folosită direct la fabricarea peleților cu o putere de ardere corespunzătoare cerințelor ENPlus. Această situație demonstrează actualitatea cercetării diferitor modalități de sporire a puterii calorifice a biomasei autohtone în vederea producerii de peleți care să corespundă exigențelor normelor ENPlus.

Scopul prezentei cercetări este studierea posibilității de mărire a puterii calorifice și a altor proprietăți ale biomasei lignocelulozice folosite la producerea peleților prin torefierea acestora înainte de procesare. În calitate de obiect al cercetării a servit biomasa vegetală provenită din diferite reziduuri agricole.

Importanța și actualitatea studiului realizat sunt justificate de volumul mare de reziduuri agricole din Republica Moldova, de rolul pe care-l are valorificarea acestora pentru producerea biocombustibililor solizi și pentru protecția mediului.

În urma sintetizării datelor din literatura de specialitate și în rezultatul cercetărilor experimentale proprii sunt formulate concluzii referitoare la dinamica puterii calorifice și altor caracteristici ale biocombustibililor solizi în formă de peleți produși din biomasă agricolă autohtonă, prelucrată în prealabil prin torefiere.

MATERIAL ȘI METODĂ

Probe. Pentru înțelegerea mai bună a proceselor care au loc în timpul torefierii au fost luate în studiu diferite tipuri de reziduuri agricole, mai răspândite în Republica Moldova și de un interes sporit în producerea biocombustibililor solizi în formă de peleți (fig. 1). Probele au fost confecționate din paie de

grâu, reziduuri lemnoase cu vârsta de 1–2 ani provenite de la tăierea și emondarea pomilor fructiferi, uscate rapid în condiții artificiale (Lemn A), și reziduuri lemnoase din lemn de foc provenite din pomi fructiferi, uscate în condiții naturale timp de 2 ani (Lemn N).



Figura 1. Materia primă și probele folosite la studierea procesului de torefiere

Torefiera biomasei s-a realizat pe o instalație de laborator care simulează procesul de torefiere în mediu fără oxigen prin formarea atmosferei vidate într-un spațiu închis (fig. 2). Instalația este alcătuită dintr-un cuptor de uscare cu vid prestat pentru realizarea torefierii probelor de biomasă în condiții de laborator. Aerul din cuptor este evacuat de o pompă de vid care crează o depresiune de 0,08 MPa. Cuptorul asigură un interval de temperaturi de la 35 °C până la +350°C, cu o sensibilitate de ± 2 °C.

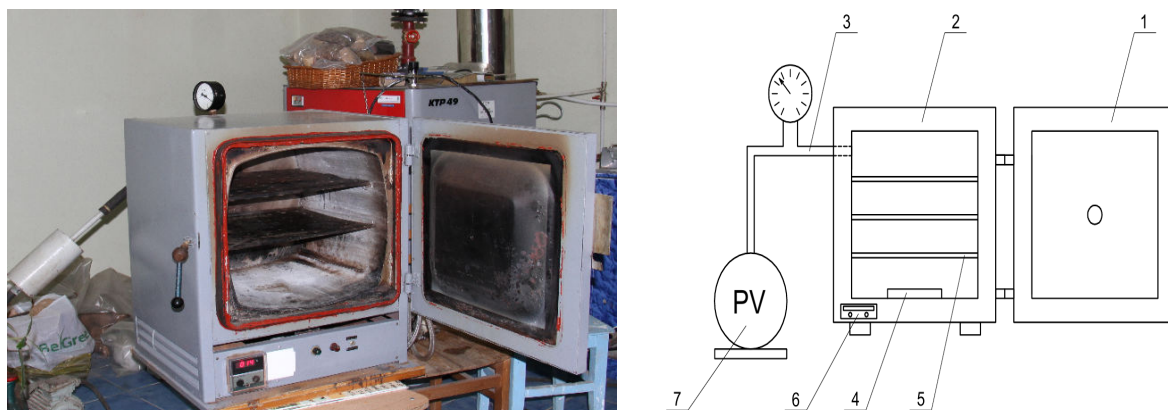


Figura 2. Cuptor de condiționare în vid, folosit la tofiera și condiționarea biomasei: 1 – ușa etanșabilă pivotantă a cuptorului, 2 – carcasa cuptorului, 3 – gura de evacuare a aerului cu vacuometru, 4 – suport termostat, 5 – rafturi, 6 – panou de comandă și control regimuri termice, 7 – pompă de vid

Măsurarea caracteristicilor calitative ale materiei prime și ale produsului finit s-a efectuat prin metode standarde, folosind utilajul din Laboratorul de biocombustibili solizi al Universitatii Agrare de Stat din Moldova.

Umiditatea s-a determinat conform ISO 18134:2015 Determination of moisture contents. Probele au fost uscate în etuva de producție germană Memmert UNBU, cu posibilitatea de control și menținere stabilă a temperaturii în limitele $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, precum și de ventilare a incintei cu viteza de la 3 până la 5

volume de lucru ale etuvei pe oră. Viteza aerului a fost reglată în funcție de granulația probelor astfel încât să nu deplaseze particulele de biomasă.

Cantitatea de umiditate din probele studiate s-a determinat cu ajutorul formulei:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} 100, \quad (1), \text{ în care}$$

m_1 este masa fiolei goale cu capac, g; m_2 – masa fiolei cu capac și cu proba supusă testării până la uscare, g; m_3 – masa fiolei cu capac și cu proba supusă testării după uscare, g.

Puterea calorifică a probelor studiate a fost determinată conform standardului ISO 18125: 2015 Solid biofuels – Determination of calorific value, prin arderea completă a probelor în bomba calorimetrică LAGET MS – 10A.

Puterea calorifică inferioară în bază uscată a fost calculată având în vedere că energia vaporizării (pentru volum constant) a apei cu temperatura inițială de 25°C este egală cu 41,53 kJ/mol, ceea ce corespunde valorii de 206,0 J/g pentru 1% conținut hidrogen în probă sau 23,05 J/g pentru 1% umiditate probă. Astfel, puterea calorifică inferioară în bază uscată, la volum constant, derivată din puterea calorifică superioară, a fost calculată cu ajutorul formulei:

$$NCV_{v, net, d.} = GCV_{v, d.} - 206 \times w(H)_{d.}, \quad (2),$$

în care: $GCV_{v, d.}$ este puterea calorifică superioară în bază uscată la volum constant, J/g; $w(H)_{d.}$ – conținutul de hidrogen, în procente masice, din combustibil fără umezeală.

Puterea calorifică inferioară (pentru volum constant) a probelor cu un anumit conținut de umiditate (de exemplu, cu conținutul total de umiditate la recepție M_{ar}) a fost calculată cu ajutorul formulei:

$$NCV_{v, net, m.} = GCV_{v, d.} (1 - 0,01M_{ar}) - 23,05M_{ar}. \quad (3)$$

Conținutul de elemente chimice a fost stabilit la analizorul elemental Vario MACRO cube CHNS și Cl. Metoda se bazează pe principiul combustiei totale a probei, cu separarea gazelor rezultate pe o coloană cromatografică. Ulterior, proba cu masa cunoscută se arde până se transformă în cenușă și produse de combustie gazoase.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Peleții pot fi produși, practic, din toate tipurile de biomasă lignocelulozică existentă, însă cei de calitate superioară se obțin doar din biomasă lemnoasă. Această situație limitează producerea peleților de calitate superioară din biomasă autohtonă, deoarece principala sursă de biomasă autohtonă o constituie cea provenită din activități agricole. Acest tip de biomasă, cu toate că există în abundență la noi în țară, în mare măsură este de o calitate relativ joasă în comparație cu cea a lemnului, în special în ceea ce privește puterea calorifică și conținutul de cenușă rezultată de la ardere. La aceste inconveniente se mai adaugă și caracterul sezonier de recoltare a biomasei, fapt care determină abordări speciale de depozitare a biomasei în condiții optime, condiții care să nu influențeze procesele biodegradării.

În această situație se impune necesitatea de a folosi verigi tehnologice noi, inovative care vor asigura obținerea unor proprietăți termice superioare ale produsului finit și, implicit, vor contribui la mărirea eficienței energetice.

În prezent se cercetează mai multe metode de sporire a caracteristicilor energetice ale peleților de foc. Printre acestea tratările termice ocupă un loc tot mai important, în special cele bazate pe tratamentul termodinamic cu aburi în regim hidrotermal, tratamentul cu apă caldă, pretratamentul cu aburi saturați, pretratamentul cu aburi supraîncălziți și torefierea uscată a biomasei. Printre aceste tratamente tofierii îi aparține un rol aparte, fiind un proces care are un efect impunător, în special asupra densității energetice a produsului finit, dar și ca un proces dependent de mulți factori, dintre care cei tehnologici și economici se află pe prim-plan.

Torefiera este un proces termo-chimic, care se realizează prin încălzirea biomasei în lipsa oxigenului, cu viteze mai mici de 50 °C/min, la presiune atmosferică normală, și care are ca rezultat creșterea densității energetice raportată la unitatea de masă. În consecință, scade conținutul de umiditate din combustibil, crește densitatea energetică a peleților raportată la unitatea de masă (Tumuluru, J.S. et al. 2011), materia primă devine mai omogenă (Chang, S. et al. 2012).

În procesul de tofiera, biomasa lignocelulozică se încălzește la temperaturi cuprinse între 200-300°C (Prins, M.J. et al. 2006) într-un mediu în care lipsește sau este redus drastic conținutul de

oxigen. În rezultat, din biomasă se îndepărtează o cantitate importantă de umiditate și de materii volatile, ce conduce la apariția reacțiilor de deshidratare, dehidrooxilare și decarboxilare. Astfel, se micșorează valoarea raportului O/C și H/C în comparație cu biomasa originală (Chew, J., Doshi, V. 2011; Poudel, J. et al. 2014; Stelt, M. et al. 2011).

Drept consecință a torefierii este scăderea conținutului de hemiceluloză a produsului tratat datorită degradării prezente în intervalul de temperaturi 250 – 300°C implicată de interacțiunea fenomenului de uscare cu piroliza incompletă (Cao, L. et al. 2015). Deoarece lignina conține mai mult carbon ca hemiceluloza, după torefiere, produsul posedă un conținut sporit de carbon, lucru care rezultă un raport O/C și H/C mai mic, deci și o putere calorifică mai mare.

Fenomenele descrise ar trebui să se prezinte mai accentuat în cazul torefierii biomasei agricole care, după cum se știe, are un conținut mai mic de lignină în comparație cu biomasă provenită din specii lemnoase (Marian, Gr. 2014, 2016).

Despre posibilitatea îmbunătățirii proprietăților agrosilvice există unele date în literatura de specialitate (Meia, Y. et al. 2016), însă acestea se referă la un număr limitat de tipuri de biomasă prelevate din anumite zone climaterice cu specific local, care influențează estimarea calitativă și cantitativă a acesteia.

Fiind un proces termo-chimic, torefierea este condiționată de mai mulți parametri tehnologici, cum sunt viteza de încălzire, temperatura reacției, absența oxigenului, timpul de menținere în mediul respectiv, presiunea mediului ambiant, flexibilitatea și conținutul de umiditate a materiei prime, dimensiunile particulelor de biomasă.

În cercetările noastre au fost analizate cele mai relevante caracteristici (parametrii fizico-mecanici), caracteristicile de combustie (parametrii chimici și puterea calorifică) și caracteristicile de torefiere (temperatura și durata expunerii). Condițiile torefierii sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Condițiile torefierii folosite în experiment

Condiția experimentalului	Temperatura, °C	Durata expunerii, min
230/5, 15, 30	230	5; 15; 30
255/5, 15, 30	255	5; 15; 30
280/5, 15, 30	280	5; 15; 30

Datele experimentale obținute (tab. 2) scot în evidență faptul că efectul torefierii se manifestă cel mai pronunțat în cazul biomasei provenite din reziduuri de la cultivarea spicoaselor, marcând o sporire a puterii calorifice inferioare în bază uscată de la 17,584 MJ/kg până la 22,752 MJ/kg, ceea ce reprezintă o sporire relativă de 29,4%. Este necesar să se menționeze că, la umiditatea maximă admisă de către normele ENPlus 3 (10%), proba de reper posedă o putere calorifică inferioară egală cu

15,454 MJ/kg (normele ENPlus admit puterea calorifică la recepție de cel puțin 16,5 MJ/kg). După torefiere, la umiditatea de 10%, puterea calorifică inferioară este de 20,246 MJ/kg. Astfel, la acest parametru, biomasa torefiată produsă din paie de grâu satisface completamente cerințele ENPlus 3.

Tabelul 2. Date experimentale referitoare la efectele torefierii asupra materiei prime

Caracteristici calitative	Tip materie primă											
	reper	Paie de grâu			Reziduuri lemnoase CN			Reziduuri lemnoase CA				
		torefiat			torefiat			torefiat				
		230 °C	255 °C	280 °C	reper	230 °C	255 °C	280 °C	reper	230 °C	255 °C	280 °C
Mar. , %	9,9	9,3	8,6	8,5	11,2	9,9	8,4	7,4	10,5	10,2	9,3	7,3
NCV_d , J/g	17584,41	18086,62	19413,16	22752,05	19442,57	19469,23	19777,51	21563,15	18491,68	19076,08	19551,04	21463,84
NCV_r , J/g	15893,81	16190,20	17545,40	20271,40	17289,56	17030,52	17922,58	19796,91	16370,42	16831,07	17518,43	19728,72
NCV_{M=10%} , J/g	15452,45	16047,46	17241,35	20246,34	17267,82	17291,81	17569,26	19176,33	16412,01	16937,98	17365,44	19086,96
Carbon , %	45,65	47,02	50,25	59,44	46,23	46,29	47,03	51,05	46,12	47,55	48,59	53,61
Hidrogen , %	6,68	6,28	5,88	1,90	6,53	6,29	6,13	5,93	6,20	6,02	5,15	4,23
Sulf , %	0,06	0,08	0,08	0,13	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03
Azot , %	0,41	0,35	0,37	0,59	0,28	0,32	0,30	0,51	0,62	0,75	NA	NA
Proprietăți higroscopice	Hidrofil	Hidrofob			Hidrofil	Hidrofob			Hidrofil	Hidrofob		
Degradare biologică	Da	Nu			Da	Nu			Da	Nu		

Legendă: CN – lemn de foc din pomi fructiferi, uscat în condiții naturale timp de 2 ani; CA – reziduuri lemnoase de 1–2 ani rezultate de la tăierea și emondarea pomilor fructiferi, uscate rapid în condiții artificiale

Destul de pronunțată este creșterea puterii calorifice și a reziduurilor lemnoase de 1-2 ani, care au marcat o majorare a puterii calorifice inferioare în bază uscată de 16,1%. Acest tip de biomasă, la umiditatea de 10%, posedă o putere calorifică inferioară egală cu 16,41 MJ/kg, valoare care este puțin mai mică decât cea admisă de către normele ENPlus3. După torefiere la temperatura de 280°C, puterea calorifică a crescut până la 19,087 MJ/kg, adică și acest tip de biomasă, după torefiere, posedă o putere calorifică care satisface cerințele ENPlus3.

Cea mai mică creștere a puterii calorifice a fost semnalată la biomasa din lemne de foc uscate în mod natural pe parcursul a doi ani. Astfel, pentru acest tip de biomasă s-a înregistrat o creștere a puterii calorifice inferioare în bază uscată de 10,9%. Însă, este necesar să se constate că puterea calorifică inferioară la umiditatea de 10% a probei reper de acest tip constituie 17,278 MJ/kg, adică această biomasă, la parametrul puterea calorifică, poate fi folosită fără pretratare.

Fenomenul urmărit își găsește explicație prin conținutul diferit de hemiceluloză în tipurile de biomasă luate în studiu. Paiele conțin 31% hemiceluloză și 7,7% lignină, iar biomasa lemnoasă – 25,7 % hemiceluloză și 15,6% lignină (Tumuluru, J. 2011).

Vorbind despre puterea calorifică a biomasei torefiate nu putem să nu avem în vedere și influența umidității biomasei, care rezultă după torefiere și după densificare, asupra puterii calorifice. Se cunoaște că conținutul inițial de umiditate a biomasei folosite la producerea peletilor variază în limite foarte mari (6–50%), însă peletizarea poate avea loc la anumite umidități. De regulă, umiditatea biomasei înainte de densificare recomandată în procesele tehnologice este de $10 \pm 2^\circ\text{C}$.

Deoarece torefierea are loc la temperaturi ridicate, evident că o parte din umiditate se degajă, astfel la densificare se folosește biomasă cu o umiditate mai mică ca cea de până la torefiere. Astfel, la elaborarea regimurilor tehnologice de peletizare cu folosirea torefierii este necesar să se aibă în vedere valoarea cu care se micșorează conținutul de umiditate după torefiere.

Rezultatele experimentale au arătat că, după torefiere, umiditatea se reduce după cum urmează: la paie – cu 1,4%, la reziduurile lemnoase de 1–2 ani – cu 3,2% și la biomasa lemnoasă uscată în mod natural – cu 3,8% (în valori absolute).

Pe lângă îmbunătățirea proprietăților fizice, torefierea conduce la schimbări importante ale biomasei din punct de vedere al compoziției chimice. Rezultatele obținute au scos în evidență faptul că modificarea compoziției chimice diferă destul de mult de la un tip de biomasă la altul.

Deoarece principalele elemente chimice care influențează puterea calorifică sunt conținutul de carbon și cel de hidrogen, am urmărit cum s-a schimbat conținutul acestor elemente pentru biomasa din paie de grâu, reziduuri lemnoase condiționate în mod artificial și în mod natural.

Conținutul de carbon s-a schimbat cel mai mult în paiele de grâu. Astfel, acest parametru s-a majorat cu 1,4% în cazul torefierii la temperatura de 230°C, cu 4,6% la temperatura 255°C și cu 14% la temperatura 280°C, adică a cunoscut o creștere relativă de 3, 10 și, respectiv, 30%. Concomitent, a scăzut conținutul de hidrogen – de la 6,68% pentru proba reper, adică netorefiată, până la 1,9% pentru proba torefiată la temperatura de 280°C, ceea ce reprezintă 72% (în valori relative).

Schimbări destul de importante au fost semnalate și în cazul torefierii reziduurilor lemnoase de 1-2 ani, condiționate până la umiditatea normală în mod artificial. Pentru acest tip de biomasă, torefiată la 280°C, conținutul de carbon s-a mărit de la 46,12% până la 53,61%, ceea ce în valori relative constituie 17%, iar conținutul de hidrogen s-a micșorat cu 1,97% absolut, ceea ce în valori relative constituie 37%.

Cel mai puțin s-a schimbat conținutul de carbon și cel de hidrogen la biomasa lemnoasă condiționată în mod natural. Astfel, conținutul de carbon al acestui tip de biomasă, după torefiere la temperatura de 280°C, a devenit egal cu 51,05% (la proba reper – 46,23%), ce în valori relative constituie o majorare cu 12%. Conținutul de hidrogen s-a micșorat cu 11% relativ.

Analizând caracterul modificării puterii calorifice și a conținutului de carbon pentru tipurile de biomasă luate în studiu, se observă o corelare destul de bună între acești parametri, în urma torefierii. Astfel, după torefierea la temperatura de 280°C, puterea calorifică în bază uscată a paielor de grâu a crescut cu 29,4%, iar conținutul de carbon s-a majorat cu 30,2%. La reziduurile lemnoase de 1–2 ani, parametrii în cauză au crescut cu 22% și, respectiv, cu 17,4%, iar la biomasa lemnoasă condiționată în mod natural – cu 23% și, respectiv, cu 11,1%.

Analiza efectuată demonstrează că, practic, puterea calorifică a ultimelor două tipuri de probe este egală, iar conținutul de carbon diferă. Acest lucru poate fi explicat prin micșorarea semnificativ mai

mică a conținutului de hidrogen, implicit a celui de oxigen, în probele din reziduuri lemnoase de 1–2 ani. De asemenea, nu este de neglijat și specificul schimbărilor care au loc la anumite temperaturi, și anume cele legate de modificarea regiunilor amorse și cristaline ale biomasei virgine, datorită prezenței mai pronunțate a extractivelor în acest tip de biomasă.

Analiza modificării conținutului de sulf și azot a arătat că în paietele de grâu conținutul de sulf crește lent până la temperatura de 255°C, după care se semnalează o creștere mai accentuată. Pentru celelalte probe luate în studiu, modificări semnificative ale conținutului de sulf în rezultatul torefierii, nu s-au semnalat.

Conținutul de azot, pentru toate probele, practic, nu se schimbă în cazul torefierii la temperaturi până la 255 °C, marcându-se o creștere bruscă a elementelor menționate în cazul torefierii la temperaturi mai mari de 255 °C.

Astfel, se poate concluziona că, pentru a menține conținutul de sulf și de azot la valori aproximativ egale cu cele din biomasa netorefiată, este necesar ca torefieria să aibă loc la temperaturi mai joase de 255 °C.

În baza rezultatelor obținute a fost elaborată schema conceptuală de producere a peleișilor de foc cu aplicare a pretratării prin torefiere a materiei prime (fig. 3).

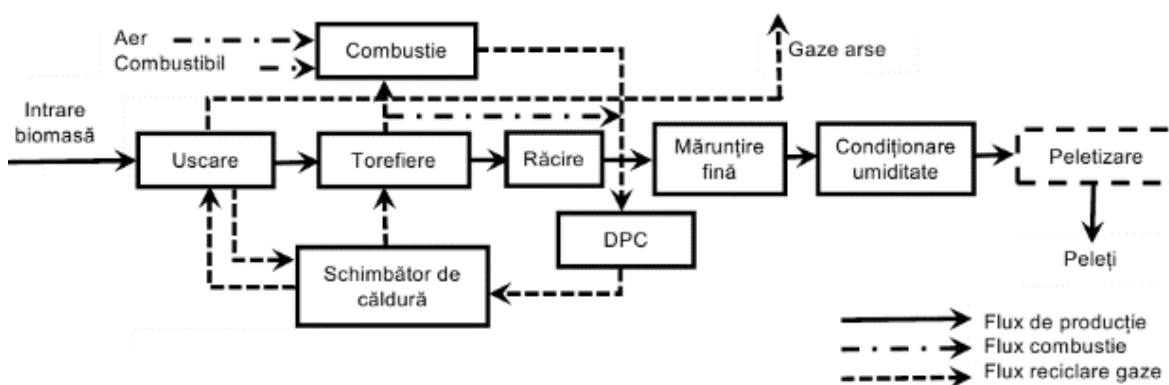


Figura 3. Structura procesului tehnologic de peletizare a reziduurilor agricole cu torefierea materiei prime

Ciclul de torefiere cuprinde câteva faze distincte:

1. Uscarea biomasei. Această operație se realizează în reactorul de torefiere în spațiul de uscare, în care biomasa cu umiditatea până la 40% se usucă la temperatura de 110–180°C. În aceste condiții umiditatea scade până la 4-8%.

2. În continuare, biomasa este transportată în spațiul de torefiere unde, la o temperatură cuprinsă între 240-270°C, începe procesul de torefiere propriu-zis, care durează o perioadă corespunzătoare de timp, în funcție de tipul, granulația biomasei și de temperatura de torefiere. Anume în această fază începe descompunerea hemicelulozei, formându-se mai mult carbon în biomasă.

3. Energia termică necesară sistemului este produsă de un cazan. La pornirea sistemului cazanul funcționează ca un cazan tradițional alimentat cu biocombustibili solizi tradiționali. La această fază pot fi folosiți și peleți de calitate inferioară, produși din reziduuri agricole (agropeleți).

4. Când în zona de torefiere a reactorului s-a ajuns la regimuri optime, gazele volatile combustibile degajate (numite gaze de piroliză sau gaze de lemn) sunt transportate în cazanul de combustie, unde ard la o temperatură înaltă, între 800–1000°C, producând energie termică suplimentară celei produse prin arderea biomasei. Prin aceasta sistemul trece în regim de autoîntreținere.

5. În zona de torefiere a reactorului se formează un ciclu de circulație a căldurii datorită căruia se reduce durata necesară carbonizării biomasei, obținându-se un randament mai mare al sistemului.

6. Energia termică necesară uscării biomasei este asigurată prin aspirarea gazelor de ardere, care sunt transportate, prin separatorul de gaze și de condensare DPC, în schimbătorul de căldură, de unde energia termică este dirijată, în mod automat, conform regimurilor termice prestabilite, în sectoarele de uscare și de torefiere.

7. Manevrarea sistemului se face printr-un tablou de comandă, prin fixarea și urmărirea parametrilor avuți în vedere la obținerea produsului final dorit.

Itinerarul procesului tehnologic de producere a peleișilor din biomasă torefiată, cu specificarea regimurilor de lucru, este prezentat în tabelul 3.

Prima operație se referă la condiționarea primară a biomasei. În cadrul acestei operații biomasa se mărunțește prin tăiere nedistructivă în fracții tehnologice comode pentru torefiere și pentru transportare. Lungimea fracțiilor mărunțite nu trebuie să depășească 35 mm. Nu se recomandă o mărunțire cu lungimea fracțiilor mai mică de 10 mm deoarece, în acest caz, se îngreunează procesul de carbonizare în operația de torefiere.

În cazul materiei prime obținute din reziduuri agricole (cu excepția paielor), mărunțirea se realizează direct în câmp.

Tabelul 3. Itinerarul tehnologic de producere a peleților cu torefierea biomasei

Nr. crt.	Denumire etapă/operație	Regimuri	Notă
1	Condiționarea primară		
1.1.	Mărunțire primară	L = 10 -35 mm	De regulă, se realizează în câmp
1.2	Uscare preventivă		$M_{ar} < 40\%$
2	Torefierea		
2.1.	Transportarea biomasei în reactor		
2.2	Uscarea biomasei	T = 110-180°C;	Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
2.3	Carbonizarea biomasei	T = 255 ±15°C τ = 25 ±10 min	Procesul trebuie realizat în mediu inert sau cu conținut redus de oxigen. Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
3	Condiționarea finală		
3.1	Răcire	Temperatura mediului	
3.2	Mărunțire fină	-	Tăiere cu trecere prin sită cu ecranul ochiurilor 4 mm
4	Peletizarea		
4.1	Densificare	T = 80 ± ¹⁰ / ₅ °C P = 120–150 MPa	Temperatura și presiunea se reglează prin valoarea interstițiului dintre tăvălugi și matriță
4.2	Răcirea produsului finit	La temperatura camerei	Este prevăzută în instalația de peletizare, realizându-se în strat fluidizat
5	Controlul și ambalarea peleților		

Uscarea preventivă a biomasei se referă de asemenea la condiționarea primară a biomasei. Deoarece biomasa supusă torefierii poate avea o umiditate de până la 40%, uscarea preventivă se recomandă a fi efectuată în mod natural, în câmp sau în depozite special amenajate.

Operația a doua, torefierea, are scopul de a îmbogăți biomasa cu conținut de carbon și se realizează în două etape. În cadrul primei etape, biomasa se usucă prin încălzirea la temperaturi mai joase de temperatura de descompunere a hemicelulozei, însă suficiente pentru uscarea rapidă a biomasei până la conținutul de umiditate 4-8%. În faza a doua a torefierii se efectuează carbonizarea propriu-zisă a biomasei.

În cadrul operației de condiționare finală, biomasa se răcește până la temperatura mediului înconjurător și se macină cu trecerea biomasei tăiate printr-o sită cu ecranul ochiurilor de 4 mm.

Celelalte operații se realizează conform procesului clasic de peletizare, cu folosirea liniilor de producere a peleților. La această fază este important să se regleze interstițiul dintre tăvălugi și matriță astfel încât să se asigure o temperatură a matriței de $T = 80 \pm \frac{10}{5} ^\circ\text{C}$ și o presiune în zona de densificare de 120–150 MPa.

CONCLUZII

1. Studiul referitor la efectele torefierii a demonstrat că aplicarea torefierii în procesul tehnologic de producere a peleților de foc din reziduuri agricole ar putea fi un mijloc sigur de sporire a puterii calorifice a peleților. S-a constatat că efectul torefierii se manifestă cel mai pronunțat în cazul biomasei provenite din reziduurile de la cultivarea spicoaselor, marcând o sporire a puterii calorifice inferioare în bază uscată a produsului finit de la 17,584 MJ/kg până la 22,752 MJ/kg, ceea ce reprezintă o sporire relativă de 29,4%. Peleții obținuți din paie de grâu torefiate corespund cerințelor normelor internaționale ENPlus 3.

2. Puterea calorifică a reziduurilor lemnoase de 1–2 ani supuse torefierii a crescut cu 16,1%. Acest tip de biomasă, la umiditatea de 10%, posedă o putere calorifică inferioară egală cu 16,41 MJ/kg, valoare care este puțin mai mică decât cea admisă de către normele ENPlus 3. După torefierea la

temperatura de 280°C, puterea calorică a biomasei a crescut până la 19,087 MJ/kg, ceea ce, de asemenea, corespunde cerințelor ENPlus 3.

3. În baza cercetărilor efectuate a fost elaborată o tehnologie nouă de producere a peleților din reziduuri agricole cu caracteristici corespunzătoare normelor ENPlus 3.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. ANUARUL statistic al Republicii Moldova 2015. Chișinău: Statistica. 566 p. ISBN 978-9975-78-932-5.
2. BERGMAN, P., BOERSMA, A., KIEL, J. et al. (2005b). Torrefied biomass for entrained-flow gasification of biomass. In: Report ECN-C—05-026, ECN, Petten.
3. BERGMAN, P., BOERSMA, A., ZWART, R. and KIEL J. (2005a). Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. In: Report ECN-C—05-013, ECN, Petten.
4. CAO, L., YUAN, X., LI, H. et al. (2015). Complementary effects of torrefaction and co-pelletization: Energy consumption and characteristics of pellets. In: Bioresource Technology, vol. 185, pp. 254–262. ISSN 0960-8524.
5. CHANG, S., ZHAO, Z., ZHENG, A., HE, F., HUANG, Z., LI, H. (2012). Characterization of products from torrefaction of sprucewood and bagasse in an auger reactor. In: Energy and Fuels, vol. 26, pp. 7009–7017. ISSN 0887-0624.
6. CHEW, J. J., DOSHI, V. (2011). Recent advances in biomass pretreatment – torrefaction fundamentals and technology. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 8, pp. 4212–4222. ISSN 1364-0321.
7. GUDÎMA, A. (2017). Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice: Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova. In: Meridian ingineresc, nr. 1. ISSN 1683-853X.
8. HĂBĂȘESCU, I., CEREMPEI, V. (2012). Potențialul energetic al masei vegetale din agricultura Republicii Moldova. In: Energetica Moldovei – 2012: rapoarte: conf. intern., 4-6 oct., 2012, pp. 355-359. ISBN 978-9975-62-324-7.
9. MARIAN, G. (2014). Managementul biomasei agrosilvice pentru scopuri energetice. Chișinău: Iunie Prim. 264 p. ISBN 978-9975-4021-4-9.
10. MARIAN, Gr. (2016). Biocombustibili solizi, producere și proprietăți. Chișinău. 172 p. ISBN 978-9975-87-166-2.
11. MARIAN, Gr. (2014). Considerații pro și contra privind utilizarea pentru scopuri energetice a biomasei derivate de la cultivarea cerealielor spicoase. In: Știința Agricolă, nr. 1, pp. 56-61. ISSN 1857-0003.
12. MARIAN, Gr., KURASAWA, Soji, MUNTEAN, A., GUDIMA, A., DRUCEOC, Stela (2013). Estimarea capacității calorifice a biomasei lignocelulozice provenite din diferite zone ale Republicii Moldova în conceptul de producere de combustibili solizi. In: Știința Agricolă, nr. 1, pp. 97-104. ISSN 1857-0003.
13. MEIA, Y., CHEA, Q., YANGB, Q. et al. (2016). Torrefaction of different parts from a corn stalk and its effect on the characterization of products. In: Industrial Crops and Products, vol. 92, pp. 26–33. ISSN 0926-6690.
14. POUDEL, J., CHEON, S. O. (2014). Effect of torrefaction on the properties of corn stalk to enhance solid fuel qualities. In: Energies, vol. 7, pp. 5586–5600. ISSN 1996-1073.
15. PRINS, M. J., PTASINSKI, K. J., JANSSEN, F.J.J.G. (2006). Torrefaction of wood: part 2. Analysis of products. In: Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol. 77, pp. 35–40. ISSN 0165-2370.
16. STELT, M.J.C. van der, GERHAUSER, H., KIEL, J.H.A., PTASINSKI, K.J. (2011). Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review. In: Biomass and Bioenergy, vol. 35, pp. 3748–3762. ISSN 0961-9534.
17. TUMULURU, J.S., SOKHANSANJ, S., HESS, J.R., WRIGHT, C.T., BOARDMAN, R.D. (2011). A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. In: Industrial Biotechnology, vol. 7, issue 5, pp. 384–401. ISSN 1550-9087.

Data prezentării articolului: 21.04.2017

Data acceptării articolului: 25.05.2017