

CZU 662.71/.74 (478)

CALITATEA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI PRODUȘI DIN REZIDUURI AGRICOLE. ARTICOL DE SINTEZĂ

*Andrei PAVLENCO**Universitatea Agrară de Stat din Moldova*

Abstract. The aim of this study is to highlight the main qualitative parameters of agricultural residues specific to the Republic of Moldova. The issue of research refers to the estimate of the possibilities of using indigenous agricultural residues as a raw material for the production of biobriquettes in accordance with ENPlus international standards. In this study, fruit tree and vine pruning residues and residues from the main herbaceous crops (wheat, barley, oat, maize for grain and sunflower) were evaluated for the following parameters: moisture content, calorific value, ash content and unitary conversion factor (ratio between residue mass and base yield mass of the respective crop). It has been demonstrated that arboricultural and vines residues can be used as a raw material for the production of ENPlus certified biobriquettes, and herbaceous residues can be used only in mixtures with other types of vegetable biomass.

Key words: Biobriquettes; Arboricultural residues, Moisture content; Calorific value; Chemical analysis; Unitary conversion factor.

Rezumat. Scopul acestui studiu este evidențierea principalilor parametri calitativi ai reziduurilor agricole pentru energie specifice Republicii Moldova. Problema cercetării se referă la estimarea posibilităților de folosire a reziduurilor agricole indigene în calitate de materie primă la producerea biobrichetelor cu caracteristici în acord cu normele internaționale ENPlus. În acest studiu au fost evaluate reziduuri provenite din tăierea pomilor și a viței de vie și reziduuri de la principalele culturi erbacee (grâu, orz, ovăz, porumb pentru boabe și floarea soarelui), conform parametrilor următori: conținutul de umiditate, valoarea calorifică, conținutul de cenușă și factorul unitar de conversie (raportul dintre masa reziduurilor și masa producției de bază a culturii respective). S-a demonstrat că reziduurile agricole arboricole și cele de viță-de-vie pot fi folosite în calitate de materie primă la producerea biobrichetelor certificate ENPlus, iar reziduurile erbacee pot fi utilizate doar în amestecuri cu alte tipuri de biomasă vegetală.

Cuvinte-cheie: Biobrichete; Reziduuri agricole; Conținut de umiditate; Valoare calorifică; Analiză chimică; Factor unitar de conversie.

INTRODUCERE

Deși examinarea problematicii referitoare la calitatea biocombustibililor solizi densificați se află într-o dinamică ascendentă, există, totuși, un șir de subiecte care necesită precizări și chiar abordări noi, bazate pe rezultate experimentale concrete. Acest lucru este valabil, mai ales, în cazul biocombustibililor în formă de brichete (biobrichete) din materie primă indigenă care, în Republica Moldova, foarte des este obținută din reziduuri agricole vegetale.

Studiul de față își propune să abordeze problematica asigurării calității biobrichetelor produse din reziduuri agricole vegetale. Studiarea acestui subiect este motivată de rolul biobrichetelor certificate ENPlus în asigurarea zonelor rurale ale Republicii Moldova cu energie termică sigură și accesibilă din punct de vedere tehnic și economic.

Scopul studiului este evidențierea celor mai importanți parametri calitativi ai reziduurilor agricole specifice Republicii Moldova și estimarea perspectivelor de folosire a acestora ca materie primă la producerea biobrichetelor certificate ENPlus. În calitate de obiect al cercetărilor au servit biocombustibilii solizi densificați în formă de brichete și materia primă folosită la producerea acestora.

Importanța și actualitatea studiului sunt argumentate de necesitatea unor cunoștințe noi referitoare la asigurarea calității biocombustibililor solizi densificați din materie primă indigenă pe parcursul fluxului de producere.

În urma studiului realizat au fost obținute date importante referitoare la posibilitatea producerii biobrichetelor din reziduuri agricole cu parametri calitativi conformi normelor internaționale ENPlus.

MATERIAL ȘI METODĂ

Conținutul de umiditate al reziduurilor agricole a fost determinat cu respectarea cerințelor standardului SM EN ISO 18134-1:2017. Valoarea calorifică a fost estimată conform standardului SM EN ISO 18125:2017, prin măsurarea valorii calorifice superioare la bomba calorimetrică LAGET M10 pentru volum constant și calcularea valorii calorifice inferioare la presiune constantă în baza relației:

$$q_{p,net,d} = q_{v,gr,d} - 212,2 * w(H)_d - 0,8 * [w(O)_d + w(N)_d], \quad (1)$$

în care $q_{p,net,d}$ este valoarea calorifică inferioară la presiune constantă determinată pentru probe uscate, J/g; $q_{v,gr,d}$ – valoarea calorifică superioară la volum constant, J/g; $w(H)_d$ – participația masică a hidrogenului în bază uscată, %; $w(O)_d$ – participația masică a oxigenului în bază uscată, %; $w(N)_d$ – participația masică a azotului în bază uscată, %.

Pentru probele cu un conținut de umiditate cerută M (de exemplu, umiditatea totală la recepție, M_{ar}), valoarea calorifică la presiune constantă s-a calculat prin relația:

$$q_{p,net,m} = q_{p,net,d} * (1 - 0,01M) - 24,43 * M \quad (2)$$

Conținutul de cenușă a fost stabilit în bază uscată conform cerințelor standardului SM EN 18122:2017, prin calcinarea lentă a probelor în cuptorul electric cu mufă LAC la temperatura de 550°C timp de cel puțin 6 ore. Analiza chimică a biomasei a fost efectuată la analizorul elemental Vario MACRO cube CHNS&Cl.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Conținutul de umiditate al reziduurilor agricole – influența asupra valorii potențialului energetic.

Potențialul teoretic de energie provenită din reziduuri agricole depinde foarte mult de conținutul de umiditate al reziduurilor la colectare. La rândul său, acesta depinde de timpul de recoltare și de specia culturilor agricole generatoare de reziduuri. Cunoașterea valorii conținutului de umiditate al biomasei la recoltare este un element important și pentru efectuarea calculului tehnico-economic la întocmirea planurilor de afacere de către producătorii de biocombustibili densificați, deoarece conținutul de umiditate influențează cheltuielile necesare pentru transportarea, stocarea și condiționarea materiei prime.

O altă latură ce ține de conținutul de umiditate al materiei prime se referă la aspectul tehnologic, în special la procesul de densificare a particulelor, care influențează direct durabilitatea mecanică și densitatea particulelor brichetelor și, indirect, cheltuielile legate de condiționarea materiei prime înainte de densificare. La aceasta se mai adaugă și faptul că conținutul de umiditate din produsul finit este unul dintre factorii importanți care influențează valoarea calorifică a brichetelor, randamentul și comoditatea în exploatarea termocentralelor, capacitatea de păstrare și transportare a biocombustibililor (Marian, Gr. 2016, pp. 47-53).

Chiar dacă la ardere conținutul de umiditate constituie un impediment, prin faptul că apa din combustibil consumă căldură pentru a trece din stare lichidă în stare de vapori, biomasa folosită în calitate de materie primă trebuie totuși să conțină o anumită cantitate de umiditate înainte de procesare în brichete sau peleți. Din acest motiv, producătorii de biocombustibili densificați sunt interesați în a avea o materie primă cu un conținut de umiditate în limite specificate cât mai apropiate de umiditatea optimă pentru densificare.

În cazul brichetelor, umiditatea optimă a materiei prime se consideră a fi 8-12%. Densificarea mai mare a particulelor are loc și în cazul umidității care depășește 12%, însă nu mai mult de 16% (Marian, Gr. 2016, p. 133). Acest lucru se explică prin faptul că umiditatea în exces a biomasei produce o interacțiune intensă, greu de dirijat între particule, care afectează negativ procesul de aglomerare (Zou, Y. 2002). Este necesar să se ia în considerare și faptul că, la o umiditate mai mică de 6% a biomasei, aglomerarea particulelor în procesul de brichetare este mai dificilă sau chiar imposibilă (Marian, Gr. 2016, p. 133).

Având în vedere cele expuse, calcularea potențialului energetic este necesar să se efectueze pentru biomasa cu umiditatea de 10%. Astfel este important să se cunoască diferența dintre umiditatea biomasei la recoltare și cea optimă pentru procesare. Această diferență trebuie luată în calcul la stabilirea potențialului energetic al reziduurilor respective, la determinarea factorului unitar de conversie, precum și la calcularea cheltuielilor necesare pentru condiționarea biomasei înainte de densificare.

În susținerea alegerii conținutului de umiditate de 10% se mai adaugă și faptul că normele ENPlus stabilesc o umiditate a produsului finit la recepție care nu trebuie să depășească 10% pentru peleți, 12% pentru brichete de clasa A1 și 15% pentru brichete de clasa A2, valori aproximativ egale cu cea considerată optimă pentru calculul potențialului energetic al biomasei folosite în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați.

În tabelul 1 sunt prezentate, în mod comparativ, rezultatele estimării conținutului de umiditate pentru cele mai reprezentative reziduuri agricole arboricole ce pot fi folosite în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor densificați. Se poate observa că cea mai mare umiditate la recoltare o prezintă reziduurile provenite de la peri (40,49±2,69%), urmate de cele provenite de la pruni (34,84±1,89%). Pentru celelalte tipuri de biomasă, conținutul de umiditate nu diferă semnificativ.

Luând în considerare că umiditatea la recoltare depinde de mai mulți factori, cum ar fi perioada de efectuare a operațiilor de tăiere, vârsta și locul de unde a fost prelevată proba, nivelul de degradare etc., se poate spune că devierea conținutului de umiditate la reziduurile agricole arboricole nu este semnificativă. Acest lucru este confirmat și de intervalul de încredere (Î) care constituie circa 10% din valoarea medie. De menționat că cel mai mare interval de încredere este pentru reziduurile de peri (2,69%), cu abaterea standard 3,07.

Tabelul 1. Conținutul de umiditate pentru principalele reziduuri agricole arboricole folosite în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor densificați

Denumire cultură	Tip biomasă	Conținutul de umiditate, %						Abaterea standard	Intervalul de încredere
		1	2	3	4	5	Media		
Meri	Tăieri	25,59	25,27	21,43	25,40	29,46	25,43	2,84	2,49
Peri		40,60	40,39	42,49	35,51	43,45	40,49	3,07	2,69
Gutui		25,37	26,63	26,00	22,80	29,18	26,00	2,30	2,02
Vișini		25,23	25,75	21,49	26,29	28,69	25,49	2,60	2,28
Cireși		27,39	27,83	27,61	24,42	30,80	27,61	2,26	1,98
Caiși		24,28	24,33	26,31	24,31	22,31	24,31	1,41	1,24
Piersici și nectarine		24,37	27,45	26,41	24,84	23,98	25,41	1,47	1,29
Pruni		34,09	35,59	34,48	32,48	37,56	34,84	1,89	1,65

În baza acestor date se constată că reziduurile studiate pot fi folosite direct pentru producerea biobrichetelor, însă este necesar ca acestea să piardă din umiditate circa 10-15%. Acest lucru se poate realiza prin lăsarea reziduurilor pentru uscare în mod natural direct în câmp. De regulă, în procesul uscării în câmp a biomasei se elimină, parțial sau total, umiditatea de îmbibație, adică cea care se conține în pori, capilare, micro și macroneregularități. În acest mod, la sfârșitul verii sau la început de toamnă, reziduurile uscate în câmp obțin o umiditate de echilibru apropiată de cea necesară pentru densificare, lucru care se răsfrânge benefic asupra unor caracteristici calitative ale produsului finit (Marian, Gr. 2016, pp. 46-53).

În procesul studierii de către noi (Marian, Gr., Pavlenco A. et al. 2017) a procesului de îmbunătățire a calității peleților produși din mixtură de reziduuri arboricole am constatat că peleții fabricați din lemn uscat în mod natural, timp de 2 ani, posedă o putere calorică superioară egală cu 19,44 MJ/kg, iar peleții fabricați din aceeași materie primă, dar uscată în condiții artificiale, au marcat o putere calorică egală cu 18,49 MJ/kg.

În tabelul 2 se prezintă datele privind conținutul de umiditate la recoltare pentru reziduurile agricole erbacee. Cea mai mare umiditate se remarcă în cocenii de porumb (45,92%) și în tulpinile și frunzele de floarea-soarelui (45,04%). Astfel, aceste reziduuri consumă cea mai multă energie pentru condiționarea lor prin uscare, adică, din punct de vedere economic, reziduurile de la cultivarea porumbului și a floarea-soarelui necesită cheltuieli mai mari pentru uscare decât celelalte reziduuri erbacee și arboricole.

Tabelul 2. Conținutul de umiditate la colectare pentru principalele reziduuri agricole erbacee

Denumire cultură	Tip biomasă	Conținutul de umiditate în probele de biomasă (în % W. d)						σ	Î
		1	2	3	4	5	Media		
Grâu de toamnă și de primăvară	Paie	15,4	19,4	16,4	22,5	14,7	17,68	3,24	2,84
Orz de toamnă și de primăvară	Paie	23,7	33,8	25,4	18,7	20,1	24,34	5,93	5,20
Ovăz	Paie	21,2	16,6	24,4	18,2	17	19,48	3,29	2,88
Porumb boabe	Tulpini	43,9	31,1	41,6	30,7	41,7	37,8	6,37	5,58
	Coceni	44,8	38,8	51,8	53,2	41	45,92	6,40	5,61
Floarea-soarelui	Tulpini și frunze	44,1	40,8	37,7	63,4	39,2	45,04	10,53	9,23

Paiele, după cum se observă, au o umiditate mai redusă și se recomandă a fi stocate și transportate direct la locul de producere a biocombustibililor, deoarece umiditatea lor la recoltare fiind aproximativ egală cu cea necesară pentru procesare (Marian, Gr. et al. 2017). Trebuie să se țină cont de faptul că paiele sunt un material higroscopic și își schimbă conținutul de umiditate destul de repede, valoarea acestuia fiind condiționată de umiditatea și temperatura mediului. Astfel, din punct de vedere al conținutului de umiditate, folosirea paielor în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor densificați, inclusiv a brichetelor este argumentată dar sunt necesare argumentări și în ceea ce privește alte caracteristici, în special valoarea calorică, conținutul de cenușă și analiza chimică.

Analiza umidității reziduurilor provenite de la tăierea de îngrijire a diferitor soiuri de viță-de-vie (tab. 3) a arătat că conținutul de umiditate, în cazul soiurilor tehnice, este ceva mai mic decât la soiurile de masă. Astfel, conținutul mediu de umiditate al reziduurilor provenite de la soiurile de viță-de-vie tehnice constituie $34,9 \pm 2,02\%$, iar cel de la soiurile de masă este egal cu $37,12 \pm 1,82$. Cel mai mare conținut de umiditate al reziduurilor de viță-de-vie de masă a fost semnalat la soiurile Victoria, Arcadia, Chișmișul moldovenesc și Cardinal. Diferența absolută dintre conținutul de umiditate maxim și minim constituie $2,76\%$, iar abaterea standard și intervalul de încredere pentru valoarea medie constituie $2,1\%$ și, respectiv, $1,84\%$.

Tabelul 3. Conținutul de umiditate la recepție al reziduurilor de viță-de-vie

Denumire cultură	Tip biomasă	Conținutul de umiditate în probele de biomasă (în % W. d)						σ	Î
		1	2	3	4	5	Media		
Soiuri de masă									
Moldova	Tăieri	33,02	38,40	37,40	36,50	36,20	36,30	2,03	1,78
Cardinal		39,40	37,30	35,20	38,40	36,20	37,30	1,68	1,47
Muscat de Hamburg		35,30	38,02	39,04	37,90	32,59	36,57	2,62	2,30
Muscat timpuriu		38,40	32,31	36,07	33,30	37,81	35,58	2,70	2,36
Victoria		36,40	37,10	40,30	39,80	38,07	38,33	1,68	1,48
Chișmiș moldovenesc		36,81	38,73	38,54	39,21	36,14	37,89	1,33	1,17
Arcadia		38,46	39,81	38,87	37,39	36,17	38,14	1,40	1,23
Lora		37,12	37,82	39,62	35,80	35,99	37,27	1,55	1,36
Prezentabil		35,75	32,70	40,32	38,70	38,49	37,19	3,00	2,63
Tudor		36,80	34,98	40,08	38,60	32,50	36,59	2,98	2,61
Soiuri de tehnice									
Cabernet		35,51	36,42	34,35	33,51	34,42	34,84	1,13	0,99
Sauvignon		34,80	35,20	37,43	33,75	33,21	34,88	1,63	1,43
Merlot		33,78	35,79	38,65	32,98	33,83	35,01	2,28	2,00
Pinot noir		33,44	36,21	32,43	34,32	32,84	33,85	1,50	1,31
Isabella		40,09	32,85	34,56	34,33	35,43	35,45	2,75	2,41
Traminer		32,45	35,54	32,45	37,54	34,50	34,50	2,16	1,90
Aligote		37,77	36,43	31,47	35,65	33,32	34,93	2,52	2,21
Chardonnay		35,44	38,43	31,43	35,09	32,67	34,61	2,71	2,38
Rcatsiteli		35,88	32,75	38,34	37,54	31,99	35,30	2,83	2,48
Sauvignon blanc		32,76	31,87	38,08	36,54	35,31	34,91	2,59	2,27
Muscat		35,56	35,33	36,33	35,33	33,31	35,57	2,10	2,55

Cel mai mare conținut de umiditate în cazul soiurilor tehnice de viță-de-vie a fost înregistrat la Muscat Ottonel, Isabella, Rcatsiteli și Merlot. Diferența absolută dintre conținutul de umiditate maxim

și minim este mai mic decât la soiurile de masă și constituie 1,76 %, iar abaterea standard și intervalul de încredere pentru valoarea medie constituie 2,3% și, respectiv, 2,02%.

La calcularea potențialului energetic al reziduurilor de la vița-de-vie noi vom folosi valorile medii ale conținutului de umiditate, deoarece domeniul de încredere este aproximativ egal cu diferența absolută dintre valorile limită pentru diferite soiuri de struguri.

În acest studiu umiditatea reziduurilor agricole erbacee a fost măsurată când cultura a ajuns la maturitate. Conținutul de umiditate al reziduurilor agricole arboricole și al celor de vița-de-vie a fost estimat în timpul tăierilor de îngrijire (martie și aprilie, pe timp senin). Pe reziduuri nu erau urme de zăpadă sau de umezeală de la ploii.

Rezultate sintetice privind valoarea calorică și compoziția chimică a biomasei provenite din reziduuri agricole

Cunoașterea valorii calorifice și identificarea factorilor care o influențează reprezintă etapa inițială și cea mai importantă pentru estimarea potențialului energetic al biomasei disponibile pentru folosire în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor densificați. Această informație, împreună cu cea referitoare la originea de proveniență a biomasei, este un cod unic fundamental care caracterizează și determină calitatea biomasei, aplicațiile potențiale și problemele de mediu și dezvoltare durabilă.

Valoarea calorică depinde direct de concentrația elementelor chimice prezente în biomasă și variază mult în funcție de originea și tipul biomasei. Astfel, în biomasă se conțin circa 70-80% substanțe volatile (Marian, Gr. 2016, p. 69). Pentru comparație, concentrația de materii volatile în cărbune este de aproximativ 30% (Alakangas, E. 2016, p. 59).

Compoziția elementară pentru biomasă este prezentată în figura 1, din care se observă clar că cu cât este mai mic conținutul de cenușă și cel de umiditate cu atât este mai mare masa combustibilă, deci și cantitatea de căldură rezultată de la arderea unei anumite cantități de biomasă.

Despre conținutul de umiditate prezent în biomasă și despre umiditatea necesară pentru desfășurarea normală a procesului de densificare a particulelor s-a vorbit în prima parte a prezentei lucrări. În cele ce urmează ne vom referi la conținutul de cenușă, care are o influență semnificativă asupra valorii calorifice a materiei prime și a produsului finit.

<i>C</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>S</i>		<i>A</i>	<i>M</i>	
Masa organică convențională				S_o	S_s		M_h	M_i
Masa organică								
Masa combustibilă								
Combustibil anhidru								
Proba uscată la aer, proba de analiză								
Proba inițială								

Figura 1. Compoziția chimică a probelor de biomasă: *C*, *H*, *N*, *O* și *S* – elementele chimice, respectiv carbon, hidrogen, azot, oxigen și sulf; S_o – sulf organic; S_s – sulfură; *A* – conținutul de cenușă; *M* – umiditatea; M_h o umiditatea higroscopică; M_i – umiditatea de îmbibație.

Cenușa, în esența sa, este un reziduu anorganic rămas după ce apa și materia organică au fost îndepărtate în rezultatul arderii combustibilului. Este compusă din elemente anorganice neinflamabile. Cenușa de la biocombustibili are un conținut mare de potasiu, calciu, fosfor, magneziu și alte minerale care pot fi folosite ca fertilizanți. În același timp, fiind o componentă anorganică, cenușa poate crea numeroase probleme de ordin tehnologic și de mediu în timpul procesării biomasei.

Este cunoscut că în biomasa lemnoasă mineralele constituie aproximativ 1% din masa lemnoasă și circa 3% din masa cortexului (scoarței) (Alakangas, E. 2016; Vassilev, S.V. et al. 2010; Torrent, J.G. et al. 2016). Conținutul mai ridicat de cenușă de la arderea cortexului se datorează prezenței impurităților minerale în cortex, iar aceasta se explică prin faptul că suprafața cortexului în timpul creșterii este sufla-

tă de aerul atmosferic, care conține multiple impurități. În același timp, suprafața exterioară a cortexului absoarbe aerosolii minerali care se conțin în atmosferă.

Având în vedere că cortexul nu depășește 10-15% din masa totală a biomasei lemnoase, conținutul teoretic de cenușă ar trebui să fie 1,4%, adică se încadrează în limitele cerințelor ENPlus, clasele A2 și B. Biocombustibilii densificați de clasa A1 pot fi obținuți doar din biomasa lemnoasă fără coajă. Aceste date se referă la un caz ideal. În condiții reale de colectare, transportare, depozitare și densificare apar, într-o măsură mai mare sau mai mică, factori care pot influența destul de mult conținutul de cenușă. Din acest motiv este argumentată analiza chimică a biomasei, cu stabilirea valorii calorifice pentru toate cazurile concrete, cum sunt și reziduurile agricole. Mai mult ca atât, o parte din reziduuri produc o cantitate de cenușă care depășește cu mult normele stabilite și, în acest caz, este necesar să se aprecieze corect raționamentul folosirii acestora în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor densificați, inclusiv a biobrichetelor.

În baza celor constatate s-a realizat un studiu asupra conținutului de cenușă, valorii calorifice, și analizei chimice pentru trei categorii de biomasa – din reziduuri erbacee, din reziduuri arboricole și din reziduuri de viță-de-vie (tab. 4).

Rezultatele privind conținutul de cenușă în reziduurile agricole erbacee arată că, din perspectiva acestui indicator, cele mai nerecomandate pentru producerea biobrichetelor sunt tulpinile și frunzele de floarea-soarelui (11,8% cenușă), urmate de paie de grâu (5,7%) și de tulpinile de porumb (4,4%). Celelalte reziduuri erbacee se înscriu în valorile pentru clasa B a normelor ENPlus referitoare la brichete.

După valoarea calorifică, doar coaja de semințe de floarea-soarelui se înscrie în limitele stabilite de normele ENPlus pentru brichete, adică permite obținerea unor biobrichete cu valoarea calorifică inferioară mai mare de 16,5 MJ/kg. De menționat că după conținutul de substanțe nocive (sulf și oxigen) niciun tip de reziduuri erbacee nu corespunde cerințelor ENPlus.

Astfel, se poate concluziona că materia primă provenită din reziduuri agricole erbacee nu poate fi folosită la producerea biobrichetelor de calitate superioară, cu indicatori conformi cerințelor ENPlus. În același timp este necesar să constatăm că coaja de semințe de floarea-soarelui corespunde cerințelor ENPlus după toți parametrii, cu excepția conținutului de sulf (0,07%).

Cuantificarea reziduurilor agricole arboricole arată că toate probele examinate corespund cerințelor ENPlus după toți indicatorii studiați. Cele mai ridicate valori calorifice s-au înregistrat la reziduurile de cireși ($q_{vgr.d.} = 22,05$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 18,49$ MJ/kg), urmate de reziduurile de pruni ($q_{vgr.d.} = 21,40$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 17,82$ MJ/kg). Cele mai joase valori calorifice au fost semnalate la reziduurile de gutui ($q_{vgr.d.} = 20,11$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 16,66$ MJ/kg) și la cele de meri ($q_{vgr.d.} = 20,28$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 16,83$ MJ/kg).

Având în vedere că probele de biomasa arboricolă se referă la reziduurile obținute în rezultatul operațiilor de îngrijire a pomilor fructiferi, care diferă mult ca specie, vârstă și tehnologie de tăiere, intervalul de variație a valorii calorifice nu este foarte semnificativ. Astfel, diferența dintre limitele valorii calorifice superioare constituie 9,6% absolut, iar în cazul celei inferioare – 11%. Diferența procentuală mai mare dintre limitele valorilor calorifice inferioare se explică prin componența chimică a reziduurilor (conținutul de cenușă și de hidrogen este diferit).

Este important să accentuăm că datele prezentate sunt cele medii, iar intervalele de încredere a rezultatelor obținute diferă în funcție de tipul reziduurilor examinate. În tabelul 5 se prezintă sintetic valorile parametrilor estimați pentru reziduurile agricole cu indicarea câmpului de toleranță stabilit în baza intervalului de încredere.

Luând în considerare datele din tabelul 5, putem afirma că valoarea calorifică a reziduurilor arboricole nu diferă mult de la un soi de cultură la altul. Acest lucru poate fi explicat prin conținutul aproximativ egal de celuloză, hemiceluloză și lignină în biomasa lemnoasă (Marian, Gr. 2016, pp. 27-30).

Biomasa provenită de la tufe de viță-de-vie corespunde parțial cerințelor ENPlus (tab. 4). De exemplu, valorile medii ale indicatorilor biomasei provenite din soiurile de masă de viță-de-vie corespund cerințelor ENPlus, cu următoarele rezultate calculate ca media a 10 soiuri analizate: $q_{p.net.m=10} = 16,86$ MJ/kg; Ad = 2,56%; C = 46,42%, H = 5,91%, N = 0,37%, S = 0,03%; O = 44,71%. Indicatorii calitativi medii pentru soiurile tehnice de viță-de-vie sunt puțin mai scăzuți, marcând următoarele valori: $q_{p.net.m=10} = 16,26$ MJ/kg; Ad = 2,53%; C = 46,45%, H = 5,841%, N = 0,81%, S = 0,04%; O = 44,33%.

Tabelul 4. Analiza calorică și chimică a principalelor reziduuri agricole ce pot fi utilizate la producerea biobrichetelor

Denumire cultură	Tip biomasa	Rezultate pentru biomasa proaspătă după recoltare , kg												
		q _V , gr, d	q _{p, net, d}	q _{p, net, m=10%}	Ad,	Umiditatea		C	H	N	S	O		
						M _{rec.}	M _{proc.}							
în J/g												în % (W.d)		
Reziduuri agricole erbacee														
I	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14		
Grâu de toamnă și de primăvară	Paie	18382,20	17117,18	15161,17	5,70	17,68	10,00	45,60	5,80	0,48	0,08	42,34		
Orz de toamnă și de primăvară	Paie	18492,38	17247,07	15278,06	2,40	24,34	10,00	47,10	5,70	0,46	0,09	44,25		
Ovăz	Paie	18106,12	16839,10	14910,89	2,70	19,48	10,00	46,10	5,80	0,47	0,08	44,85		
Porumb boabe	Tulpini	17937,51	16736,56	14818,61	4,60	37,80	10,00	47,50	5,50	0,62	0,09	41,69		
	Ciocălăi	19122,87	17810,52	15785,17	1,82	45,92	10,00	45,86	6,01	0,46	0,03	45,82		
	Boabe	19643,96	18399,03	16314,83	1,40		10,00	48,60	5,70	0,50	0,06	43,74		
Floarea-soarelui	Tulpini și frunze	16898,18	15783,57	13960,91	11,80	45,04	10,00	42,50	5,10	1,11	0,11	39,38		
	Coajă de seminte	20024,42	18782,70	16660,13	2,60		10,00	51,40	5,70	0,48	0,07	39,75		
Reziduuri agricole arboricole														
Meri		20285,18	18979,09	16836,88	1,03		25,43	10,00	46,54	5,98	0,28	0,03	46,14	
Peri		20739,37	19561,84	17361,35	1,67		40,49	10,00	45,41	5,37	0,28	0,03	47,24	
Gutui		20113,95	18782,94	16660,35	1,74		25,00	10,00	46,40	6,10	0,25	0,02	45,49	
Vișini		20664,79	19349,08	17169,88	1,03		25,49	10,00	47,73	6,03	0,28	0,04	44,89	
Cireși	Tăieri	22051,28	20812,00	18486,50	1,62		27,61	10,00	44,90	5,66	0,32	0,03	47,47	
Caiși		20789,50	19474,16	17282,45	0,88		24,31	10,00	45,70	6,02	0,29	0,03	47,08	
Piersici și nectarine		21359,52	20024,44	17777,69	1,38		25,42	10,00	44,31	6,11	0,28	0,03	47,89	
Pruni		21397,59	20069,08	17817,87	0,76		34,84	10,00	45,21	6,08	0,30	0,03	47,62	
Media		20925,147	19631,6	17424,1	1,26		28,57	10,00	45,78	5,92	0,29	0,03	46,73	

Continuare tabelul 4

I	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14
Reziduuri agricole de viță-de-vie												
Vii soiuri de masă:												
Moldova		20687,78	19387,00	17204,00	2,50	36,30	10,00	46,42	5,96	0,34	0,03	44,75
Cardinal		20323,50	19050,08	16900,77	2,35	37,30	10,00	46,42	5,83	0,44	0,03	44,93
Muscata de Hamburg		20197,50	18892,45	16758,90	2,45	36,57	10,00	46,42	5,98	0,35	0,03	44,77
Muscata timpuriu		20299,22	19023,84	16877,16	2,55	35,58	10,00	46,42	5,84	0,37	0,03	44,79
Victoria	Tâieri	20328,52	19025,58	16878,72	2,45	38,33	10,00	46,42	5,97	0,38	0,03	44,75
Chisniș moldovenesc		20187,41	18895,28	16761,45	2,75	37,89	10,00	46,42	5,92	0,34	0,03	44,54
Arcadia		20192,07	18897,83	16763,75	2,75	38,14	10,00	46,42	5,93	0,39	0,03	44,48
Lora		20323,09	19052,02	16902,52	2,65	37,27	10,00	46,42	5,82	0,38	0,03	44,70
Prezentabil		20222,51	18932,33	16794,80	2,54	37,19	10,00	46,42	5,91	0,37	0,03	44,73
Tudor		20218,52	18926,26	16789,33	2,58	36,59	10,00	46,42	5,92	0,35	0,03	44,70
Media		20298,01	19008,27	16863,14	2,56	37,12	10,00	46,42	5,91	0,37	0,03	44,71
Vii soiuri tehnice :												
Cabernet		19743,52	18455,30	16365,47	2,17	34,84	10,00	46,58	5,90	0,83	0,05	44,47
Sauvignon		19644,68	18377,59	16295,53	2,14	34,88	10,00	46,61	5,80	0,81	0,04	44,60
Merlot		19540,80	18268,51	16197,36	3,04	35,01	10,00	47,15	5,83	0,86	0,02	43,10
Pinot noir		19600,72	18332,41	16254,87	2,74	33,85	10,00	47,14	5,81	0,81	0,02	43,48
Isabella		19375,41	18084,47	16031,72	2,91	35,45	10,00	45,11	5,91	0,84	0,02	45,21
Traminer	Tâieri	19657,72	18380,18	16297,86	2,47	34,50	10,00	46,42	5,85	0,83	0,05	44,38
Aligote		19557,60	18301,14	16226,72	2,47	34,93	10,00	46,35	5,75	0,78	0,04	44,61
Chardonnay		19724,83	18447,28	16358,25	2,47	34,61	10,00	46,41	5,85	0,77	0,04	44,46
Rcatisiteli		19704,78	18429,33	16342,10	2,47	35,30	10,00	46,39	5,84	0,81	0,05	44,44
Sauvignon blanc		19533,51	18260,20	16189,88	2,47	34,91	10,00	46,42	5,83	0,81	0,05	44,42
Muscata Ottonel		19665,42	18394,18	16310,47	2,47	35,61	10,00	46,38	5,82	0,80	0,04	44,49
Media		19613,54	18339,14	16260,93	2,53	34,90	10,00	46,45	5,84	0,81	0,04	44,33

Se poate astfel conchide că materia primă alcătuită din amestecuri de cel puțin 40% biomasă provenită din reziduuri de viță-de-vie soiuri de masă poate fi folosită la producerea biobrichetelor de clasa B (ENPlus).

Tabelul 5. Intervalele de încredere pentru valorile calorifice și conținutul de cenușă ale reziduurilor agricole arboricole

Denumire reziduuri	Q _v , gr. d			Ad		
	Media nominală	Î	Valori limită	Media nominală	Î	Valori limită
	în J/g			în %		
Reziduuri agricole arboricole						
Meri	20,29	0,05	20,29±0,053	1,03	0,26	1,03±0,26
Peri	20,74	0,08	20,74±0,076	1,67	0,35	1,67±0,35
Gutui	20,11	0,07	20,11±0,074	1,74	0,02	1,74±0,02
Vișini	20,66	0,05	20,66±0,047	1,03	0,22	1,03±0,22
Cireși	22,05	0,03	22,05±0,025	1,62	0,31	1,62±0,31
Caiși	20,79	0,05	20,78±0,054	0,88	0,12	0,88±0,12
Piersici și nectarine	21,36	0,02	21,35±0,021	1,38	0,26	1,38±0,26
Pruni	21,40	0,05	21,39±0,045	0,76	0,58	0,76±0,58

Factorul unitar de conversie pentru principalele tipuri de biomasă folosite la producerea biobrichetelor

Estimările potențialului energetic al reziduurilor agricole trebuie să trateze integral aspectele legate de acuratețea datelor referitoare la toți factorii care determină potențialul rezonabil de piață, adică potențialul sustenabil de implementare. În acest sens, unul dintre factorii principali care influențează credibilitatea datelor existente referitoare la potențialul energetic al biomasei este factorul unitar de conversie ($K_{rez.}$). Acest parametru se determină prin raportul dintre masa reziduurilor și masa producției de bază a culturilor respective.

În cazul determinării potențialului energetic teoretic al reziduurilor agricole, factorul unitar de conversie se pare că ar trebui să aibă valori destul de stabile pentru una și aceeași cultură (Marian, Gr. 2014, p. 82), lucru care nu este confirmat prin datele din literatura de specialitate.

De exemplu, S. Kim și B. E. Dale, analizând potențialul global al etanolului produs din reziduuri provenite de la cultivarea porumbului (Kim, S., Dale, B. 2004, p. 361), au folosit în calculele lor $K_{rez.} = 1,0$. Cercetătorii Б. Гаварланд și В. Побединский (Гаварланд, В. 2008, p. 40, 63) indică de asemenea 1,0 pentru $K_{rez.}$. Tot această valoare a fost marcată și de către С. В. Ключ (Ключ, С.В., Забарный, Г. 2011), în timp ce Agenția Internațională de Energie (IEA) (Eisentraut, 2010) și Гелетуха (Гелетуха, et al., 2010) utilizează în calcule $K_{rez.} = 1,5$. Cercetătorii din India M. Hiloidhari și D. C. Baruah (Hiloidhari, M., Baruah, D. 2011; Hiloidhari, M. et al. 2014) consideră că la 1 tonă de producție de boabe de porumb revin 2 tone de reziduuri (tulpini și coceni).

Situația este similară și la aprecierea cantității de reziduuri provenite de la alte culturi agricole. De exemplu, pentru grâu, orz și ovăz diferența dintre valoarea maximă și minimă a raportului reziduuri/ producție de bază este de circa 1,8 ori, la floarea-soarelui – de circa 1,4 ori, la sorg – de circa 5 ori (Marian, Gr. 2014, p. 82).

Unii cercetători afirmă că factorul unitar de conversie nu este constant, fiind dependent de mărimea roadei. De exemplu, Günther Fischer, Eva Hizsnyik, Sylvia Prieler, Harrij van Velthuizen de la IIASA (Internațional Institute for Applied Systems Analysis) au folosit la estimarea potențialului de biomasă pentru materie primă la producerea biocombustibililor în Europa (Fischer, G. et al. 2007, p. 13) o relație liniară inversă între cantitatea de reziduuri produse de la cultivarea porumbului și producția de bază. Astfel, $K_{rez.}$ are valoarea egală cu 1,0 pentru cazul când roada depășește 9 t/ha, $K_{rez.} = 2$ pentru randamente cuprinse între 9 și 1,5 t/ha, și $K_{rez.} = 0,75$ pentru randamentele sub 1,5 t/ha. De menționat că aceste valori pentru factorul unitar de conversie se bazează pe niște date mai vechi, publicate anterior și fondate pe măsurători realizate în Asia în anii 1991–1997 (Koopmans, A., Koppejan, J. 1998).

În cercetările noastre, referitoare la estimarea potențialului de biomasă pentru scopuri energetice al unor culturi agricole, am explicat existența diferenței mari dintre valorile factorului unitar de conversie și prin faptul că, în majoritatea cazurilor, autorii nu specifică pentru care tip de potențial a fost stabilit factorul unitar de conversie (teoretic, tehnic, economic, de implementare ori sustenabil de implementare). În același timp, de multe ori nu se precizează umiditatea producției de bază la recoltare și cea a reziduurilor, nu se arată condițiile climaterice în care au fost crescute culturile respective și condițiile în care s-a determinat factorul unitar de conversie, nu se prezintă argumente privind veridicitatea rezultatelor obținute. De menționat că, pentru culturile agricole crescute în condițiile Republicii Moldova, cercetările referitoare la stabilirea factorului unitar de conversie, practic, lipsesc.

Toate cele descrise confirmă necesitatea aprofundării cercetărilor în direcția stabilirii mai precise a valorilor factorului unitar de conversie, în special pentru culturile ce pot fi folosite în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați.

În acest studiu am determinat factorul unitar de conversie pentru reziduurile agricole ce pot fi utilizate la producerea biobrichetelor. O prezentare generală a factorului unitar de conversie pentru reziduurile din culturile agricole este oferită în tabelele 6 și 7.

Factorul unitar de conversie pentru culturile erbacee studiate variază foarte mult de la o specie la alta și a marcat valoarea cea mai mare pentru tulpinile și frunzele de floarea-soarelui (1,25) și pentru tulpinile de porumb ($K_{rez.rec} = 1,11$), urmate de paie de grâu ($K_{rez.rec} = 0,82$), paie de orz ($K_{rez.rec} = 0,75$) și cele de ovăz ($K_{rez.rec} = 0,70$). Cel mai mic factor de conversie este semnalat pentru cocenii de porumb ($K_{rez.rec} = 0,22$).

Limitele factorului unitar de conversie (intervalul de încredere) pentru una și aceeași specie de cultură erbacee înregistrează valori destul de mici. De exemplu, cele mai largi limite se urmăresc la reziduurile de tulpini de porumb și la cele de tulpini și frunze de floarea-soarelui ($\pm 0,05$). Astfel, valorile limită, în termeni absoluți, ale factorului unitar de conversie constituie 1,06 și 1,16 pentru tulpini de porumb, 1,20 și 1,30 pentru tulpini și frunze de floarea-soarelui. Pentru cocenii de porumb, diferența dintre valoarea maximă și cea minimă a factorului unitar de conversie este de doar 0,02 absolut. Acest lucru poate fi explicat prin specificul formării cantității de reziduuri, care, de regulă, se produce cu tehnică specializată, în termene optime de recoltare.

Analiza datelor obținute pentru culturile agricole arboricole și viță-de-vie arată că factorul unitar de conversie pentru aceste culturi este semnificativ mai mic decât la reziduurile agricole erbacee și este cuprins între 0,14, pentru reziduurile de gutui, și 0,40, pentru reziduurile de soiuri de masă de viță-de-vie.

La calculul potențialului energetic teoretic maxim și minim al reziduurilor agricole luate în studiu se vor folosi valorile medii ale factorului unitar de conversie, avându-se în vedere și intervalul de încredere.

CONCLUZII

S-a demonstrat că, din punct de vedere tehnic și economic, condiționarea la normele stabilite a umidității reziduurilor agricole arboricole și a celor de viță-de-vie trebuie efectuată prin uscarea naturală, direct în câmp, iar în cazul reziduurilor erbacee această operație este bine să fie făcută prin metode artificiale.

Reziduurile agricole arboricole corespund cerințelor ENPlus după toți indicatorii studiați, iar reziduurile de viță-de-vie corespund parțial acestor norme. Cele mai ridicate valori calorifice s-au înregistrat la reziduurile de cireși ($q_{vgr.d} = 22,05$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 18,49$ MJ/kg), urmate de reziduurile de pruni ($q_{vgr.d} = 21,40$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 17,82$ MJ/kg). Cele mai joase valori calorifice au fost semnalate la reziduurile de gutui ($q_{vgr.d} = 20,11$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 16,66$ MJ/kg) și la cele de meri ($q_{vgr.d} = 20,28$ MJ/kg, $q_{p.net.m=10} = 16,83$ MJ/kg).

Materia primă provenită din reziduuri agricole erbacee nu poate fi folosită la producerea biobrichetelor de calitate superioară, cu indicatori conformi cerințelor ENPlus. Excepție face coaja de semințe de floarea-soarelui, care corespunde normelor ENPlus după toți parametrii, în afară de valoarea conținutului de sulf (0,07%).

Legendă: În tabelele 6–7 au fost folosite următoarele semnificații: σ – abaterea standard; \hat{I} – intervalul de încredere; $m_{p.b.i}$ – masa anuală a producției de bază de pe un hectar, kg/ha; m_{rez} – masa anuală a reziduurilor colectate de pe un hectar, kg/ha; $K_{rez.rec}$ – factorul unitar de conversie pentru umiditatea reziduurilor după recoltare; M_{rec} , % – procentajul masei reziduurilor la recoltare; $K_{rez.rec,max}$ – valoarea maximă a factorului unitar de conversie pentru umiditatea reziduurilor după recoltare; $K_{rez.rec,min}$ – valoarea minimă a factorului unitar de conversie pentru umiditatea reziduurilor după recoltare.

Tabelul 6. Stabilirea factorului unitar de conversie reziduu/producție de bază pentru culturi erbacee

Denumire cultură	Tipuri de biomasă	Indicator	Rezultate pentru biomasa după recoltare, kg								K _{rezec. max.}	K _{rezec. min.}
			1	2	3	4	5	Media	σ	İf		
Grâu de toamnă și de primăvară	Paie	m _{p.b.i.} kg.	3700	3860	3600	3800	4200	3832,00	228,30	200,11		
		m _{rez.} kg	2942	3000	3120	3200	3300	3112,40	145,43	127,47		
		K _{rezec.}	0,80	0,78	0,87	0,84	0,79	0,82	0,04	0,04	0,78	
		M _{rezec.} %	15,40	19,40	16,40	22,50	14,70	17,68	3,24	2,84		
Orz de toamnă și de primăvară	Paie	m _{p.b.i.}	3000	3200	3400	2900	3450	3190,00	240,83	211,09		
		m _{rez.}	2300	2170	2480	2340	2660	2390,00	187,08	163,98		
		K _{rezec.}	0,77	0,68	0,73	0,81	0,77	0,75	0,05	0,04	0,71	
		M _{rezec.} %	23,70	33,80	25,40	18,70	20,10	24,34	5,93	5,20		
Ovăz	Paie	m _{p.b.i.}	1900	2220	2100	2000	1900	2024,00	137,40	120,44		
		m _{rez.}	1420	1480	1480	1400	1290	1414,00	77,97	68,35		
		K _{rezec.}	0,75	0,67	0,70	0,70	0,68	0,70	0,03	0,03	0,67	
		M _{rezec.} %	21,20	16,60	24,40	18,20	17,00	19,48	3,29	2,88		
Porumb boabe	Tulpini	m _{p.b.i.}	3700	3400	3100	2900	3450	3310,00	313,05	274,39		
		m _{rez.}	3980	3620	3520	3520	3720	3672,00	191,10	167,51		
		K _{rezec.}	1,08	1,06	1,14	1,21	1,08	1,11	0,06	0,05	1,06	
		M _{rezec.} %	43,90	31,10	41,60	30,70	41,70	37,80	6,37	5,58		
Porumb boabe	Coceni	m _{p.b.i.}	3700	3400	3100	2900	3450	3310,00	313,05	274,39		
		m _{rez.}	790	710	700	615	810	725,00	78,10	68,46		
		K _{rezec.}	0,21	0,21	0,23	0,21	0,23	0,22	0,01	0,01	0,21	
		M _{rezec.} %	24,80	28,80	31,80	43,20	41,00	33,92	7,91	6,93		
Floarea-soarelui	Tulpini și frunze	m _{p.b.i.}	1980	1980	1875	2010	1900	1949,00	58,14	50,96		
		m _{rez.}	2450	2390	2510	2540	2300	2438,00	96,28	84,39		
		K _{rezec.}	1,24	1,21	1,34	1,26	1,21	1,25	0,05	0,05	1,20	
		M _{rezec.} %	44,10	40,80	37,70	63,40	39,20	45,04	10,53	9,23		

Tabelul 7. Stabilirea factorului unitar de conversie reziduu/producție de bază pentru culturi arboricole și vii

Denumire cultură	Tip biomasă	Indicator	Rezultate pentru biomasa după recoltare (în kg)						σ	II	$K_{rez.rec. max.}$	$K_{rez.rec. min.}$
			1	2	3	4	5	Media				
Meri	Tăieri	$m_{p.b.i.}$ kg.	94	77	90	100	84	89,00	8,89	7,79		
		$m_{rez.}$ kg	26,3	22	28	25	22	24,56	2,37	2,07		
		$K_{rez. rec.}$	0,28	0,29	0,31	0,25	0,26	0,28	0,02	0,02	0,30	0,26
		$M_{rec.}$ %	35,10	35,40	32,40	38,50	34,70	35,22	2,18	1,91		
Peri	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	48	62	40	54	72	55,20	12,38	10,85		
		$m_{rez.}$	12,6	12,1	8,1	10,1	12,3	11,04	1,92	1,68		
		$K_{rez. rec.}$	0,26	0,20	0,20	0,19	0,17	0,20	0,03	0,03	0,23	0,17
		$M_{rec.}$ %	43,70	33,80	35,40	32,70	30,10	35,14	5,16	4,52		
Gutui	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	52	61	74	52	48	57,40	10,43	9,14		
		$m_{rez.}$	7,2	7,2	7,8	7,2	10,2	7,92	1,30	1,14		
		$K_{rez. rec.}$	0,14	0,12	0,11	0,14	0,21	0,14	0,04	0,04	0,18	0,10
		$M_{rec.}$ %	31,20	26,60	24,40	31,20	47,00	32,08	8,85	7,76		
Vișini	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	48	40	50	62	64	52,80	10,06	8,82		
		$m_{rez.}$	7,2	6,3	7,1	12	9,1	8,34	2,29	2,01		
		$K_{rez. rec.}$	0,15	0,16	0,14	0,19	0,14	0,16	0,02	0,02	0,18	0,14
		$M_{rec.}$ %	43,90	46,10	41,60	56,70	41,70	46,00	6,26	5,49		
Cireși	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	52	40	48	62	70	54,40	11,78	10,33		
		$m_{rez.}$	12,1	8	12,8	16,8	14,8	12,90	3,30	2,89		
		$K_{rez. rec.}$	0,23	0,20	0,27	0,27	0,21	0,24	0,03	0,03	0,27	0,21
		$M_{rec.}$ %	44,80	38,80	51,80	53,20	41,00	45,92	6,40	5,61		
Caiși	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	70	80	92	84	70	79,20	9,44	8,27		
		$m_{rez.}$	18,2	18,7	20,2	30,7	16,3	20,82	5,70	4,99		
		$K_{rez. rec.}$	0,26	0,23	0,22	0,37	0,23	0,26	0,06	0,05	0,31	0,21
		$M_{rec.}$ %	44,10	40,80	37,70	63,40	39,20	45,04	10,53	9,23		
Piersici și nectarine	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	52	64	32	48	52	49,60	11,52	10,10		
		$m_{rez.}$	13,2	12,2	9,2	15,5	12	12,42	2,27	1,99		
		$K_{rez. rec.}$	0,25	0,19	0,29	0,32	0,23	0,26	0,05	0,04	0,30	0,22
		$M_{rec.}$ %	42,50	31,90	48,00	54,01	38,60	43,00	8,50	7,45		
Pruni	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	58	44	32	41	52	45,40	10,04	8,80		
		$m_{rez.}$	13,2	12,2	8,8	8,4	16,7	11,86	3,42	2,99		
		$K_{rez. rec.}$	0,23	0,28	0,28	0,20	0,32	0,26	0,05	0,04	0,30	0,22
		$M_{rec.}$ %	34,90	42,50	42,20	31,40	49,10	40,02	6,96	6,10		
Vii soiuri de masă	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	34	42	30	41	30	35,40	5,81	5,10		
		$m_{rez.}$	13,2	14,7	13	16	13,7	14,12	1,24	1,09		
		$K_{rez. rec.}$	0,39	0,35	0,43	0,39	0,46	0,40	0,04	0,04	0,44	0,36
		$M_{rec.}$ %	43,20	39,00	42,26	43,50	50,70	43,73	4,29	3,76		
Vii soiuri tehnice	Tăieri	$m_{p.b.i.}$	28	31	24	30	21	26,80	4,21	3,69		
		$m_{rez.}$	11,7	9,1	6	9,2	9,4	9,08	2,03	1,78		
		$K_{rez. rec.}$	0,42	0,29	0,25	0,31	0,45	0,34	0,09	0,08	0,42	0,26
		$M_{rec.}$ %	57,60	40,40	36,10	20,50	55,70	42,06	15,25	13,37		

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. ALAKANGAS, E. (2016). Biomass and agricultural residues for energy generation. In: Fuel Flexible Energy Generation, pp. 59-96. ISBN 978-1-78242-378-2.
2. EISENTRAUT, A. (2010). Sustainable Production of Second-Generation Biofuels. DOI: 10.1787/5kmh3njpt6r0-en
3. FISCHER, G., HIZSNYIK, E., PRIELER, S., van VELTHUIZEN, H. (2007). Assessment of biomass potentials for biofuel feedstock production in Europe: Methodology and results. Laxenburg: IIASA [accesat 26.11.2018].

Available: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/refuel_assessment_of_biomass_potentials.pdf

4. HILOIDHARI, M., BARUAH, D. (2011). Crop residue biomass for decentralized electrical power generation in rural areas. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1885-1892. ISSN 1364-0321.
5. HILOIDHARI, M., DAS, D., BARUAH, D. (2014). Bioenergy potential from crop residue biomass in India. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, issue 32, pp. 504-512. ISSN 1364-0321.
6. KIM, S., DALE, B.E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops. In: *Biomass and Bioenergy*, vol. 26, pp. 371-375.
7. KOOPMANS, A., KOPPEJAN, J. (1998). *Agricultural and forest residues*. FAO. 23 p.
8. MARIAN, Gr. (2014). *Managementul biomasei agrosilvice pentru scopuri energetice*. 264 p. ISBN 978-9975-4021-4-9.
9. MARIAN, Gr. (2016). *Biocombustibili solizi, producere și proprietăți*. 172 p. ISBN 978-9975-87-166-2.
10. MARIAN, Gr., GUDÎMA, A., PAVLENCO, A., GOROBET, V. (2017). Trefierea - o nouă direcție de sporire a calității peleților de foc produși din biomasă autohtonă. In: *Știința agricolă*, nr. 1, pp. 74-81. ISSN 1857-0003.
11. TORRENT, J.G., RAMÍREZ-GÓMEZ, Á., FERNANDEZ-ANEZ, N., PEJIC, L.M. (2016). Influence of the composition of solid biomass in the flammability and susceptibility to spontaneous combustion. In: *Fuel*, vol. 184, pp. 503-511. ISSN 0016-2361.
12. VASSILEV, S.V., BAXTER, D., ANDERSEN, L.K., VASSILEVA, C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. In: *Fuel*, vol. 89, pp. 913-933. ISSN 0016-2361.
13. ZOU, Y.B.G. (2002). Flowability of uncompact marigold powder as affected by moisture content. In: *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp. 165-171. ISSN 0260-8774.
14. ГАВРЛАНД, Б., coord. (2008). *Биомасса для энергетического использования*. Прага: CzechAid. 155 p. ISBN 978-80-213-1806-9.
15. ГЕЛЕТУХА, Г. et al. (2010). Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільськогосподарства та деревна біомаса. В: *Промышленная теплотехника*, т. 32(6), pp. 58-65. ISSN 0204-3602.
16. КЛЮС, С., ЗАБАРНЫЙ, Г. (2011). Оценка и прогноз потенциала твердого биотоплива Украины. В: *Компрессорное и энергетическое машиностроение*, № 2(24), pp. 8-13. ISSN 2413-4554.

Data prezentării articolului: 21.09.2018

Data acceptării articolului: 23.10.2018