



Universitatea Tehnică a Moldovei

**EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE
A BRICHETELOR DIN DIFERITE MATERII
PRIME LIGNOCELULOZICE**

Masterand:

Mihail BRAGA

Conducător:

**Natalia BEGLEȚ
dr., conf. univ.**

Chișinău, 2026

REZUMAT

Tema tezei de master: *„Evaluarea performanței energetice a brichetelor din diferite materii prime lignocelulozice”*

Cuvinte-cheie: biomasă lignocelulozică, brichete, biocombustibili solizi densificați, valoare calorifică, conținut de cenușă, densificare, optimizare.

Lucrarea este dedicată evaluării potențialului energetic și a performanței biocombustibililor solizi densificați, obținuți din diferite tipuri de biomasă lignocelulozică, în contextul tranziției către surse de energie regenerabilă și al implementării principiilor economiei circulare.

În cadrul cercetării au fost analizate principalele surse de biomasă disponibile în Republica Moldova, provenite din sectorul hortic, inclusiv reziduuri arboricole, paie de grâu și reziduuri de floarea-soarelui. A fost elaborată o metodologie complexă de colectare, pregătire și caracterizare a materiei prime, în conformitate cu standardele EN ISO aplicabile domeniului biocombustibililor solizi.

Determinările experimentale au inclus evaluarea proprietăților fizico-chimice și energetice ale biomasei, precum conținutul de umiditate, conținutul de cenușă, conținutul de materii volatile și valoarea calorifică, utilizând echipamentele Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi UTM, inclusiv calorimetrul IKA C6000.

Cercetările experimentale au fost orientate spre optimizarea compoziției amestecurilor de materii prime, utilizând planuri experimentale polifactoriale și modele de regresie. Au fost studiate diferite combinații de reziduuri, fiind analizată influența proporțiilor componentelor asupra parametrilor de calitate ai brichetelor.

Rezultatele obținute evidențiază faptul că biomasa arboricolă joacă un rol determinant în asigurarea performanței energetice a brichetelor, în timp ce utilizarea paielor de grâu și a reziduurilor de floarea-soarelui necesită optimizarea proporțiilor pentru respectarea cerințelor standardelor de calitate. Au fost identificate intervale optime de compoziție care permit obținerea unor biocombustibili solizi conformi cu cerințele SM EN ISO 17225.

Lucrarea confirmă posibilitatea valorificării eficiente a biomasei lignocelulozice disponibile la nivel local și contribuie la fundamentarea științifică a proceselor de producere a biocombustibililor solizi densificați, având aplicabilitate practică în domeniul energetic.

SUMMARY

Thesis title: “*Evaluation of the Energy Performance of Briquettes from Various Lignocellulosic Raw Materials*”

Keywords: lignocellulosic biomass, briquettes, densified solid biofuels, calorific value, ash content, densification, optimization.

The present thesis is focused on the evaluation of the energy potential and performance of densified solid biofuels obtained from various types of lignocellulosic biomass, in the context of the transition towards renewable energy sources and the implementation of circular economy principles.

The research analyzes the main biomass resources available in the Republic of Moldova, originating from the horticultural sector, including woody residues, wheat straw, and sunflower residues. A comprehensive methodology for the collection, preparation, and characterization of raw materials was developed in accordance with the EN ISO standards applicable to solid biofuels.

The experimental investigations included the determination of physicochemical and energy properties of biomass, such as moisture content, ash content, volatile matter content, and calorific value, using the equipment of the Scientific Laboratory of Solid Biofuels (TUM), including the IKA C6000 calorimeter.

The research was focused on optimizing the composition of raw material mixtures using multifactorial experimental designs and regression models. Various combinations of residues were studied, analyzing the influence of component proportions on the quality parameters of briquettes.

The obtained results highlight that woody biomass plays a decisive role in ensuring the energy performance of briquettes, while the use of wheat straw and sunflower residues requires careful optimization of proportions to meet quality standard requirements. Optimal composition ranges were identified, enabling the production of solid biofuels compliant with the SM EN ISO 17225 standard.

The study confirms the feasibility of efficient utilization of locally available lignocellulosic biomass and contributes to the scientific foundation of densified solid biofuel production processes, with practical applicability in the energy sector.

CUPRINS

REZUMAT	6
SUMMARY	7
ÎNTRDUCERE.....	11
1. CONTEXTUL ACTUAL DIN DOMENIUL DE PRODUCERE A BRICHETELOR DIN MATERII LIGNOCELULOZICE	12
1.1 Tendințele actuale în utilizarea reziduurilor vegetale pentru producerea brichetelor din diferite materii lignocelulozice	12
1.2. Importanța biocombustibililor solizi în contextul energiilor regenerabile și al tranziției energetice.....	13
1.3 Disponibilitatea și calitatea materii prime lignocelulozice din punct de vedere al utilizării în scopuri energetice	14
1.4 Cerințe referitoare la calitatea brichetelor luând în considerare standardele EN ISO 17225 ..	15
1.5 Practici în valorificarea reziduurilor horticoale pentru producerea brichetelor	16
1.6 Concluzii la capitolul 1	18
2. DISPONIBILITATEA MATERIEI PRIME PENTRU PRODUCEREA DE BRICHETE...20	
2.1 Descrierea componentelor brichetelor din biomasă	20
2.2 Metoda de colectare a datelor despre tipurile și cantitățile de materii prime lignocelulozice.21	
2.2 Pregătirea probelor de biomasă	25
2.3 Determinarea conținutului de umiditate	26
2.4 Determinarea conținutului de cenușă	26
2.5 Determinarea valorii calorifice	27
2.6 Determinarea conținutului de materii volatile	29
2.7 Evaluarea disponibilității biomasei	30
2.8 Concluzii la capitolul 2.....	33
3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND OBTINEREA ȘI EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE A BRICHETELOR	35
3.1 Caracterizarea materiilor prime utilizate în elaborarea amestecurilor.....	35
3.2 Metodologia elaborării și optimizării amestecurilor de materii prime	36
3.3 Analiza rezultatelor și optimizarea amestecurilor de materii prime.....	40
3.3.1 Analiza valorii calorifice	40
3.3.2 Analiza conținutului de cenușă.....	41
3.3.3 Analiza densității particulelor.....	42
3.3.4 Analiza integrată și optimizarea amestecurilor	43
3.4 Recomandări privind compoziția amestecurilor de biomasă pentru producerea brichetelor ..	43

3.5 Concluzii la capitolul 3.....	44
4. VALORIFICAREA PRACTICĂ A REZULTATELOR CERCETĂRII	46
4.1 Premise pentru implementarea tehnologică a biocombustibililor solizi densificați	46
4.2 Optimizarea tehnologică a procesului de densificare a biocombustibililor solizi	46
4.3 Influența stării materiei prime asupra calității brichetelor.....	47
4.4 Corelarea parametrilor tehnologici cu compoziția amestecurilor.....	48
4.5 Asigurarea cu materie primă și potențialul de valorificare.....	49
4.6 Analiza economică a producerii brichetelor din biomasă lignocelulozică	49
4.6.1 Aspectele tehnico-economice ale liniei tehnologice de producere.....	49
4.6.2 Analiza profitabilității și recuperarea investițiilor.....	50
4.7 Impact și aplicabilitate a rezultatelor cercetării	51
4.8 Concluzii privind aplicabilitatea rezultatelor	52
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	53
BIBLIOGRAFIE	55
ANEXE	59

ÎNTRUDUCERE

În situația actuală a tranziției energetice și a intensificării eforturilor globale de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, valorificarea resurselor regenerabile locale devine o prioritate strategică pentru asigurarea securității energetice și a dezvoltării durabile. Republica Moldova, caracterizată printr-o dependență semnificativă de importurile de resurse energetice fosile, dispune de un potențial considerabil de biomasă lignocelulozică provenită din sectorul agricol, insuficient valorificat în prezent.

În ultimele decenii, la nivel european s-a înregistrat o creștere semnificativă a utilizării biomasei pentru producerea energiei, atât din deșeuri menajere și industriale, cât și din resurse provenite din sectorul agricol și forestier. În mod similar, în Republica Moldova, sectorul agricol și horticola generează anual cantități considerabile de reziduuri vegetale, precum ramuri, lăstari, paie de grâu și resturi de floarea-soarelui, care pot constitui o sursă valoroasă de materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi.

Reziduurile vegetale rezultate din activitățile horticole și agricole – precum ramuri, lăstari, paie și resturi de floarea-soarelui – reprezintă o sursă importantă de materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați. Transformarea acestor resurse în brichete contribuie nu doar la reducerea impactului asupra mediului, ci și la integrarea principiilor economiei circulare, prin reutilizarea deșeurilor și crearea de valoare adăugată la nivel local.

În acest sens, evaluarea performanței energetice a brichetelor obținute din diferite materii prime lignocelulozice capătă o importanță deosebită, atât din punct de vedere științific, cât și aplicativ. Determinarea proprietăților fizico-chimice și energetice, precum și optimizarea compoziției amestecurilor de biomasă, sunt importante pentru obținerea unor biocombustibili solizi competitivi, conformi cu cerințele standardelor europene și capabili să înlocuiască combustibilii convenționali.

Prezenta lucrare are ca scop evaluarea potențialului energetic al biomasei lignocelulozice disponibile la nivel regional și analiza influenței compoziției amestecurilor asupra caracteristicilor brichetelor obținute. În acest sens, cercetarea vizează identificarea unor soluții optime de valorificare a reziduurilor vegetale, în vederea dezvoltării unor biocombustibili solizi eficienți și sustenabili.

BIBLIOGRAFIE

1. Popa, R.G.; Şchiopu, E.C.; Pătraşcu, A.; Bălăcescu, A.; Toader, F.A. Raspberry Production Opportunity to Develop an Agricultural Business in the Context of the Circular Economy: Case Study in South-West Romania. *Agric.* 2024, *14*, doi:10.3390/agriculture14101822.
2. Ganea, V.; Trushkina, N.; Țîrlea, M.R.; Birca, I. Circular Economy – A Perspective Model for the Republic of Moldova. 2022, *4*, 52–68.
3. Bosona, T.; Gebresenbet, G.; Olsson, S.O. Traceability System for Improved Utilization of Solid Biofuel from Agricultural Prunings. *Sustain.* 2018, *10*, 1–12, doi:10.3390/su10020258.
4. Fattahi, M.; Govindan, K.; Farhadkhani, M. Sustainable Supply Chain Planning for Biomass-Based Power Generation with Environmental Risk and Supply Uncertainty Considerations: A Real-Life Case Study. *Int. J. Prod. Res.* 2021, *59*, 3084–3108, doi:10.1080/00207543.2020.1746427.
5. Olugbade, T.; Ojo, O.; Mohammed, T. Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. *Bioenergy Res.* 2019, *12*, 241–259, doi:10.1007/s12155-019-09973-w.
6. Vaish, S.; Sharma, N.K.; Kaur, G. A Review on Various Types of Densification/Briquetting Technologies of Biomass Residues. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2022, *1228*, 012019, doi:10.1088/1757-899x/1228/1/012019.
7. Ranjbari, M.; Shams Esfandabadi, Z.; Ferraris, A.; Quatraro, F.; Rehan, M.; Nizami, A.S.; Gupta, V.K.; Lam, S.S.; Aghbashlo, M.; Tabatabaei, M. Biofuel Supply Chain Management in the Circular Economy Transition: An Inclusive Knowledge Map of the Field Biofuel Supply Chain Management in the Circular Economy Transition. *Chemosphere* 2022, *296*, 133968, doi:10.1016/j.chemosphere.2022.133968.
8. Marian, G. *Biocombustibilii Solizi: Producere Şi Proprietăţi*; Bons Office.; Chişinău, 2016; ISBN 978-9975-87-166-2.
9. Čajová Kantová, N.; Čaja, Čajová Kantová, N.; Čaja, A.; Belány, P.; Kolková, Z.; Hrabovský, P.; Hečko, D.; BELÁNY, P.; KOLKOVÁ, Z.; HRABOVSKÝ, P.; et al. Mechanical and Energy Properties of Pellets Formed from Walnut Shells Blended with Spruce Sawdust. *BioResources* 2022, *17(1)*, 1881–1891, doi:10.15376/biores.17.1.1881-1891.
10. Aransiola, E.F.; Oyewusi, T.F.; Osunbitan, J.A.; Ogunjimi, L.A.O. Effect of Binder Type, Binder Concentration and Compacting Pressure on Some Physical Properties of Carbonized Corn cob Briquette. *Energy Reports* 2019, *5*, 909–918, doi:10.1016/j.egyr.2019.07.011.
11. Arshadi, M.; Gref, R.; Geladi, P.; Dahlgqvist, S.A.; Lestander, T. The Influence of Raw Material Characteristics on the Industrial Pelletizing Process and Pellet Quality. *Fuel Process. Technol.* 2008, *89*, 1442–1447, doi:10.1016/j.fuproc.2008.07.001.

12. Augustino A. Masse, Kunda S. Sikazwe, K.N.L. and R.; A, E.N. are research officers at T.D.H.S. is; REPOA, S.R. at *Biomass Briquettes Production Handbook*; 2023; Vol. 11; ISBN ISBN 978-9912-41-531-7.
13. Helal, M.A.; Anderson, N.; Wei, Y.; Thompson, M. A Review of Biomass-to-Bioenergy Supply Chain Research Using Bibliometric Analysis and Visualization. *Energies* 2023, *16*, doi:10.3390/en16031187.
14. Tumuluru, J.S.; Wright, C.T.; Hess, J.R.; Kenney, K.L. A Review of Biomass Densification Systems to Develop Uniform Feedstock Commodities for Bioenergy Application. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 2011, *5*, 683–707, doi:10.1002/bbb.324.
15. Gudîma, A.; Marian, G.; Pavlenco, A. Stadiul actual al Cercetărilor cu privire la influența variabilelor de producție asupra calității biocombustibililor densificați în formă de Peleți. *Meridian Ing.* 2017, *1*, 51–60.
16. Stelte, W.; Sanadi, A.R.; Shang, L.; Holm, J.K.; Ahrenfeldt, J.; Henriksen, U.B. Recent Developments in Biomass Pelletization - a Review. *BioResources* 2012, *7*, 4451–4490, doi:10.15376/biores.7.3.stelte.
17. Begleț N., Colomieț T., Termotehnica construcțiilor: Îndrumar aplicativ pentru orele practice, Chișinău: UTM, 2024
18. Nurek, T.; Gendek, A.; Roman, K.; Dąbrowska, M. The Effect of Temperature and Moisture on the Chosen Parameters of Briquettes Made of Shredded Logging Residues. *Biomass and Bioenergy* 2019, *130*, 105368, doi:10.1016/j.biombioe.2019.105368.
19. Onsree, T.; Tippayawong, N.; Williams, T.; McCullough, K.; Barrow, E.; Pogaku, R.; Lauterbach, J. Torrefaction of Pelletized Corn Residues with Wet Flue Gas. *Bioresour. Technol.* 2019, *285*, 121330, doi:10.1016/j.biortech.2019.121330.
20. Lasek, J.A.; Kopczyński, M.; Janusz, M.; Iluk, A.; Zuwała, J. Combustion Properties of Torrefied Biomass Obtained from Flue Gas-Enhanced Reactor. *Energy* 2017, *119*, 362–368, doi:10.1016/j.energy.2016.12.079.
21. Sarvaramini, A.; Gravel, O.; Larachi, F. Torrefaction of Ionic-Liquid Impregnated Lignocellulosic Biomass and Its Comparison to Dry Torrefaction. *Fuel* 2013, *103*, 814–826, doi:10.1016/j.fuel.2012.09.037.
22. Olugbade, T.O.; Ojo, O.T. Biomass Torrefaction for the Production of High-Grade Solid Biofuels: A Review. *Bioenergy Res.* 2020, *13*, 999–1015, doi:10.1007/s12155-020-10138-3.
23. Nath, B.; Chen, G.; Bowtell, L.; Mahmood, R.A.M. Assessment of Densified Fuel Quality Parameters: A Case Study for Wheat Straw Pellet. *J. Bioresour. Bioprod.* 2023, *8*, 45–58, doi:10.1016/j.jobab.2022.10.001.
24. El-Sayed, S.A.; Elsaid Mohamed, M.K. Mechanical Properties and Characteristics of Wheat

- Straw and Pellets. *Energy Environ.* 2018, 29, 1224–1246, doi:10.1177/0958305X18772414.
25. Ríos-Badrán, I.M.; Luzardo-Ocampo, I.; García-Trejo, J.F.; Santos-Cruz, J.; Gutiérrez-Antonio, C. Production and Characterization of Fuel Pellets from Rice Husk and Wheat Straw. *Renew. Energy* 2020, 145, 500–507, doi:10.1016/j.renene.2019.06.048.
 26. Ciolacu, F.; Ianuș, G.; Marian, G.; Munteanu, C.; Paleu, V.; Nazar, B.; Istrate, B.; Gudîma, A.; Daraduda, N. A Qualitative Assessment of the Specific Woody Biomass of Fruit Trees. *Forests* 2022, 13, 405, doi:10.3390/f13030405.
 27. Thiffault, E.; Barrette, J.; Blanchet, P.; Nguyen, Q.N.; Adjalle, K. Optimizing Quality of Wood Pellets Made of Hardwood Processing Residues. *Forests* 2019, 10, 607, doi:10.3390/f10070607.
 28. Er. Yashwant Kumar Torrefaction of Agricultural Residues. *Int. J. Multidiscip. Approach Stud.* 2014, 01, 138–147.
 29. Sertolli, A.; Gabnai, Z.; Lengyel, P.; Bai, A. Biomass Potential and Utilization in Worldwide Research Trends—A Bibliometric Analysis. *Sustain.* 2022, 14.
 30. Alper, K.; Tekin, K.; Karagöz, S.; Ragauskas, A.J. Sustainable Energy and Fuels from Biomass: A Review Focusing on Hydrothermal Biomass Processing. *Sustain. Energy Fuels* 2020, 4, 4390–4414, doi:10.1039/d0se00784f.
 31. Topić Božič, J.; Fric, U.; Čikić, A.; Muhič, S. Life Cycle Assessment of Using Firewood and Wood Pellets in Slovenia as Two Primary Wood-Based Heating Systems and Their Environmental Impact. *Sustain.* 2024, 16, doi:10.3390/su16041687.
 32. Pavlenco, A. Calitatea Biocombustibililor Solizi în acord cu politicile de dezvoltare a surselor regenerabile de energie: studiu bibliografic de specialitate. *Ing. Agrar. și Transp. auto* 2018, Vol.51, 402–408.
 33. Zardzewiały, M.; Bajcar, M.; Puchalski, C.; Gorzelany, J. The Possibility of Using Waste Biomass from Selected Plants Cultivated for Industrial Purposes to Produce a Renewable and Sustainable Source of Energy. *Appl. Sci.* 2023, 13, doi:10.3390/app13053195.
 34. Živković, M.; Urošević, M.; Oljača, S.; Oljača, M.; Gligorević, K.; Zlatanović, I.; Koprivica, R. Aspects of using potential energy products of biomass after pruning fruit and grape plantations in the republic of serbia. *Agric. For.* 2013, 59, 167–182.
 35. Marian G. *Cultivation and Exploitation of Sea Buckthorn*; Print CARO.; Chișinău, 2024; ISBN 978-9975-180-91-7.
 36. Aliaño, M.; Gabaston, J.; Ortiz, V.; Cantos, E. Wood Waste from Fruit Trees: Biomolecules and Their Applications in Agri-Food Industry. *Biomolecules* 2022, 12, 1–46.
 37. GRM Hotărîre Nr. 958 Cu Privire La Strategia Energetică a Republicii Moldova Pînă În Anul 2030. 2007.

38. Janiszewska, D.; Ossowska, L. The Potential Diversity of Agricultural Biomass in the Context of the Organization of Agricultural Production and Circular Agriculture in Poland. *Energies* 2024, *17*, doi:10.3390/en17143368.
39. Endriss, F.; Kuptz, D.; Hartmann, H.; Brauer, S.; Kirchhof, R.; Kappler, A.; Thorwarth, H. Analytical Methods for the Rapid Determination of Solid Biofuel Quality. *Chemie Ing. Tech.* 2023, 1–24, doi:10.1002/cite.202200214.
40. Ray, A.E.; Li, C.; Thompson, V.S.; Daubaras, D.L.; Nagle, N.J.; Hartley, D.S. Biomass Blending and Densification: Impacts on Feedstock Supply and Biochemical Conversion Performance. *Biomass Vol. Estim. Valorization Energy* 2017, doi:10.5772/67207.
41. Kpalo, S.Y.; Zainuddin, M.F.; Manaf, L.A.; Roslan, A.M. A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustain.* 2020, *12*, 4609, doi:10.3390/su12114609.
42. Daraduda, N.; Banari, A.; Lupescu, Ștefan C. Determination of the Qualitative Characteristics of Coffee Grounds for Energy Purposes: A Case Study for 100 % Robusta Coffee. *Teh. J.* 2024, *no. 31*, 23–27.
43. Begleț N., Nicolaev E., Analiza confortului termic în clădirile publice. Studiu de caz, *Romanian Journal of Civil Engineering*, 2025, Vol 16, Issue 4, p. 363, ISSN 2068-3987
44. Marian, G.; Gelu, I.; Gudima, A.; Nazar, B.; Istrate, B.; Banari, A.; Pavlenco, A.; Daraduda, N. Calorific value of pellets produced from raw material collected from both sides of the River Prut. *J. Eng. Sci.* 2023, *29*, 126–137, doi:10.52326/jes.utm.2022.29(4).10.
45. Banari, A.; Marian, G.; Nazar, B.; Gudima, A. Studiul procesului de densificare a peleților produși din biomasă de Cătină Albă. *Sect. Agroaliment. – Realiz. și Perspect.* 2022, 156–157.

