

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

C.Z.U: 662.63(043)

BANARI ALEXANDRU

**PERFEȚIONAREA FLUXULUI DE PRODUCERE A BIOCOMBUSTIBILILOR
SOLIZI DIN REZIDUURI VEGETALE POMI-VITICOLE**

**255.02. TEHNOLOGII ȘI MIJLOACE TEHNICE PENTRU INDUSTRIA PRODUSELOR
AGRICOLE**

Teză de doctor în științe ingineresti

Conducător științific

Marian Grigore,
dr. hab., prof. univ.

Autor

Banari Alexandru

CHIȘINĂU, 2025

© Banari Alexandru, 2025

CUPRINS

ADNOTARE	6
ABSTRACT	7
АННОТАЦИЯ	8
Lista tabelor	9
Lista figurilor	10
Lista abrevierilor	12
INTRODUCERE	14
1. CONTEXTUL ACTUAL ȘI PROBLEMELE DIN DOMENIUL FLUXULUI DE PRODUCERE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DIN REZIDUURI VEGETALE POMI-VITICOLE	21
1.1. Contextul și tendințele actuale în utilizarea reziduurilor vegetale pomi-viticele pentru producerea biocombustibililor solizi densificați.....	21
1.1.1. Rolul lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi în tranziția sectorului pomi- viticol al Republicii Moldova către o economie circulară	21
1.1.2. Importanța biocombustibililor solizi în contextul energiilor regenerabile și al tranziției energetice	23
1.1.3. Studii și cercetări relevante privind fluxul de producție a biocombustibililor solizi din biomasă, cu accent pe reziduurile pomi-viticele	24
1.1.4. Dinamica și producția utilizării biocombustibililor solizi obținute din reziduuri vegetale	24
1.2. Starea actuală și perspectivele viitoare ale energiei din biomasă pomi-viticolă pentru producerea biocombustibililor solizi în Republica Moldova	26
1.2.1. Zonele climatice și influența lor asupra disponibilității biomasei pomi-viticele în Republica Moldova	26
1.2.2. Dinamica dezvoltării sectorului pomi-viticol în Republica Moldova	28
1.2.3. Studii referitoare la disponibilitatea și calitatea biomasei vegetale pomi-viticele din punct de vedere al utilizării în scopuri energetice	30
1.3. Generalități referitoare la calitatea biocombustibililor solizi densificați luând în considerare familia de standarde SM EN ISO 17225.....	32
1.4. Practici în valorificarea reziduurilor pomicole și viticole pentru producerea biocombustibililor și unele particularități ale acestora	36
1.4.1. Reziduuri vegetale generate de plantațiile pomicole	36
1.4.2. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de nuciferi	37
1.4.3. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de arbuști fructiferi	41
1.4.4. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de viță-de-vie	44

1.5. Concluzii sintetice la capitolul 1.....	44
2. DISPONIBILITATEA BIOMASEI POMI-VITICOLE LA PRODUCEREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA.....	45
2.1. Material și metode	45
2.1.1. Metodele de colectare a datelor despre tipurile și cantitățile de reziduuri vegetale din sectorul pomi-viticol.....	45
2.1.2. Studii de laborator referitoare la analiza caracteristicilor biomasei pomi-viticole....	48
2.2. Evaluarea disponibilității biomasei vegetale pomicole pentru aplicații în producerea biocombustibililor solizi densificați.....	50
2.2.1. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de pomi fructiferi din grupa sămânțoaselor	50
2.2.2. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de pomi fructiferi grupa din sămburoaselor	53
2.2.3. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de nuciferi	58
2.2.4. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de arbuști fructiferi	61
2.2.5. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de viță-de-vie.....	68
2.3. Concluzii specifice la capitolul 2	71
3. POTENȚIALUL ENERGETIC AL BIOMASEI POMI-VITICOLE DISPONIBILĂ PENTRU PRODUCEREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI.....	73
3.1. Metodica de estimare a potențialului energetic al biomasei pomi-viticole. Scopul și obiectivele studiului	73
3.2. Potențialul energetic al reziduurilor generate de pomii fructiferi	76
3.3. Potențialul energetic al reziduurilor generate de pomii fructiferi din grupa nuciferilor	79
3.4. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei provenite din arbuști fructiferi.....	81
3.5. Potențialul energetic al biomasei vegetale generate de viță-de-vie	82
3.6. Eficientizarea potențialului energetic al biomasei vegetale pomi-viticole prin formarea de amestecuri din perspectiva producerii BCSD cu caracteristici conforme familiei de standarde SM EN ISO 17225:2021	83
3.6.1. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD pe baza biomasei vegetale pomicole	83
3.6.2. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD	

pe baza biomasei vegetale generate de nuciferi	87
3.6.3. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD pe baza biomasei vegetale generată de arbuștii fructiferi	90
3.7. Concluzii specifice la capitolul 3	92
4. PERFECȚIONAREA FLUXULUI DE PRODUCERE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DIN REZIDUURI VEGETALE POMI-VITICOLE	94
4.1. Material și metode	94
4.2. Perfecționarea lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi produși din biomasă vegetală pomi-viticolă	96
4.2.1. Structura generală cu privire la lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi ...	96
4.3. Asigurarea calității biocombustibililor solizi din biomasă vegetală pomi-viticolă prin asigurarea tehnologică a fluxului de producere a BCSD: studiu de caz pentru brichete de tipul Nestor	98
4.3.1. Densificarea biocombustibililor solizi din reziduuri pomi-viticele: factori de influență și regimuri tehnologice de densificare	98
4.3.2. Influența stării materiei prime asupra calității BCSD produse din biomasă vegetală pomi-viticolă	98
4.3.3. Influența temperaturii matriței asupra calității brichetelor produse din biomasă vegetală pomi-viticolă	101
4.4. Îmbunătățirea calității biocombustibililor solizi din biomasă vegetală pomi-viticolă prin tratări termochimice	103
4.4.1. Generalități referitoare la torefierea reziduurilor agricole și produselor din acestea	103
4.4.2. Efectul torefierii BCS produși din biomasă vegetală pomi-viticolă: Studiu de caz pentru peleții produși din amestecuri de biomasă alcătuite pe baza reziduurilor vegetale de cătină albă	105
4.4.3. Aspecte tehnice, economice și sustenabile ale fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticele	109
4.5. Concluzii specifice la capitolul 4	116
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	117
SURSE BIBLIOGRAFICE.....	122
LISTA PUBLICAȚIILOR.....	143
ANEXE	145

ADNOTARE

BANARI Alexandru. „Perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole”. Teză de doctor în științe ingineresti, Chișinău, 2025.

Structura tezei: Lucrarea este alcătuită dintr-o introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 203 titluri, 10 anexe, 121 pagini (până la bibliografie), 22 figuri, 23 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 15 lucrări științifice, inclusiv 1 - publicații indexate în SCOPUS, 4 - baze de date internaționale, 2 - comunicări la conferințe științifice internaționale sau cu participare internațională, 3 - articole în reviste din RM, 2 - teze în lucrările conferințelor științifice internaționale (RM), un brevet de invenție.

Cuvinte-cheie: Asigurarea calității, Brichete, Disponibilitate, Lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi, Peleți, Potențialul energetic, Reziduuri vegetale pomi-viticole, Torefiere.

Scopul lucrării: Perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole.

Obiectivele cercetării: Stabilirea potențialului de biomasă vegetală pomi-viticolă pretabilă pentru producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova; Determinarea potențialului energetic al biomasei vegetale pomi-viticolă generate de diferite specii de pomi fructiferi, arbuști fructiferi și vița-de-vie; Optimizarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi densificați din biomasă vegetală pomi-viticolă; Analiza impactului diferitelor metode de procesare asupra caracteristicilor finale ale produsului, cu scopul de a stabili cele mai eficiente tehnici de producție adaptate la specificul biomasei pomi-viticole.

Noutatea și originalitatea științifică: Examinarea stadiului curent referitor la contextul actual și problemele din domeniul fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole; elaborarea metodologiei de cercetare cu elaborarea unei instalații de laborator pentru monitorizarea regimurilor tehnologice de densificare a biocombustibililor solizi; obținerea de date noi referitoare la disponibilitatea biomasei pomi-viticole pentru producerea BCSD în Republica Moldova și potențialul energetic al acesteia; dezvoltarea unui model al unui flux de producere a BCSD în baza rezultatelor obținute în acest studiu.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante: Justificarea folosirii reziduurilor pomi-viticole locale la producerea BCSD cu caracteristici conforme cerințelor SM EN ISO 17225; Îmbunătățirea calității BCSD prin optimizarea fluxului de producere a acestora.

Semnificația teoretică: obținerea de cunoștințe științifice noi referitoare la potențialul de reziduuri pomi-viticole cu perspectivă de folosire în calitate de materie primă la producerea BCSD din resurse locale.

Valoarea aplicativă: Crearea de oportunități pentru producătorii de BCSD în vederea asigurării unei agriculturi circulare prin valorificarea eficientă a resurselor locale de biomasă vegetală.

Implementarea rezultatelor științifice: Datele experimentale obținute au fost implementate în SRL „ECO NUTS ENERGY” și SRL „STAR TECH”.

ABSTRACT

BANARI Alexandru. "Optimization of the production flow of solid biofuels from pomace-viticultural plant residues". PhD thesis in engineering sciences, Chişinău, 2025.

Thesis structure: Introduction, 4 chapters, general conclusions and recommendations, a bibliography of 203 titles, 10 appendices, 121 pages (excluding bibliography), 22 figures, and 23 tables. The obtained results are published in ___ scientific papers, including 1 publications indexed in **SCOPUS**, 4 in international databases, 4 conference proceedings at international or internationally attended scientific conferences, 3 articles in Moldovan journals, 2 abstracts in the proceedings of international scientific conferences (Moldova), and one patent.

Keywords: Quality assurance, Briquettes, Availability, Solid biofuel supply chain, Pellets, Energy potential, Pomace-viticultural plant residues, Torrefaction.

Research goal: Optimization of the production flow of solid biofuels from pomace-viticultural plant residues.

Objectives of the paper: Establishing the potential of pomace-viticultural plant biomass suitable for producing densified solid biofuels under the conditions of the Republic of Moldova; Determining the energy potential of pomace-viticultural plant biomass generated by different species of fruit trees, fruit shrubs, and grapevines; Optimizing the production flow of densified solid biofuels from pomace-viticultural plant biomass; Analysing the impact of different processing methods on the final characteristics of the product to determine the most efficient production techniques adapted to the specific properties of pomace-viticultural biomass

Scientific novelty and originality: Examination of the current state of the field concerning the production flow of solid biofuels from pomace-viticultural plant residues; Development of a research methodology with the design of a laboratory installation for monitoring the technological densification regimes of solid biofuels; Obtaining new data on the availability of pomace-viticultural biomass for producing densified solid biofuels (DSBF) in the Republic of Moldova and its energy potential; Developing a model for a DSBF production flow based on the results obtained in this study.

Results contributing to solving a significant scientific problem: Justification for using local pomace-viticultural residues in DSBF production, meeting the requirements of **SM EN ISO 17225**; Improving DSBF quality through optimization of the production flow.

Theoretical significance: Obtaining new scientific knowledge regarding the potential of pomace-viticultural residues as a raw material for DSBF production from local resources.

Applicative value: Creating opportunities for DSBF producers to ensure a circular agricultural economy by efficiently utilizing local biomass resources.

Implementation of scientific results: The obtained results have been implemented at ECO NUTS ENERGY LLC and STAR TECH LLC.

АННОТАЦИЯ

БАНАРЬ Александр. «Оптимизация производственного потока твердых биотоплив из растительных остатков плодово-виноградных культур», Диссертация кандидата инженерных наук, Кишинев, 2025 г.

Структура диссертации: Работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии из 203 источников, 10 приложений, 121 страниц (без учета библиографии), 22 рисунков и 23 таблицы. Полученные результаты опубликованы в ____ научных работах, включая 1 публикации, индексируемые в SCOPUS, 4 – в международных базах данных, 2 – в материалах конференций международного уровня или с международным участием, 3 – в молдавских журналах, 2 – в тезисах международных научных конференций (РМ), а также 1 патент.

Ключевые слова: Качество; Лигноцеллюлозная биомасса; Режимы уплотнения; Брикеты; Пеллеты; Уплотненные твердые биотоплива; Энергетический потенциал.

Цель исследования: Оптимизация производственного потока твердых биотоплив из растительных остатков плодово-виноградных культур.

Задачи работы: Определение потенциала биомассы плодово-виноградных культур, пригодной для производства прессованных твердых биотоплив в условиях Республики Молдова; Определение энергетического потенциала биомассы плодово-виноградных культур, полученной от различных видов плодовых деревьев, кустарников и винограда; Оптимизация производственного потока прессованных твердых биотоплив из биомассы плодово-виноградных культур; Анализ влияния различных методов обработки на конечные характеристики продукта с целью выявления наиболее эффективных технологий производства, адаптированных к специфике биомассы плодово-виноградных культур.

Научная новизна: Исследование текущего состояния в области производства твердых биотоплив из растительных остатков плодово-виноградных культур; Разработка методологии исследования с созданием лабораторной установки для мониторинга технологических режимов прессования твердых биотоплив; Получение новых данных о доступности биомассы плодово-виноградных культур для производства прессованных твердых биотоплив (ПТБ) в Республике Молдова и её энергетическом потенциале; Разработка модели производственного потока ПТБ на основе полученных в исследовании результатов.

Результаты, способствующие решению важной научной проблемы: Обоснование использования местных отходов плодово-виноградных культур в производстве ПТБ, соответствующих требованиям SM EN ISO 17225; Улучшение качества ПТБ за счет оптимизации производственного потока.

Теоретическая значимость: Получение новых научных данных о потенциале растительных остатков плодово-виноградных культур в качестве сырья для производства ПТБ из местных ресурсов.

Практическая ценность: Создание возможностей для производителей ПТБ в целях обеспечения циркулярного сельского хозяйства за счет эффективного использования местных ресурсов биомассы.

Внедрение научных результатов: Полученные результаты были внедрены на предприятиях ECO NUTS ENERGY и STAR TECH.

Lista tabelelor

Tabelul 1.1. Media biomasei vegetale pomicole prezentată de diferiți autori	31
Tabelul 1.2. Clasificarea brichetelor și peleților din biomasă vegetală pe categorii de calitate conform SM EN ISO 17225.....	34
Tabelul 2.1. Rezumat al metodelor folosite pentru analiza calității eșantioanelor de biomasă studiate	49
Tabelul 2.2. Media cantității de biomasă generată de pomi din grupa sămânțoaselor	50
Tabelul 2.3. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de pomi din grupa sămânțoaselor.....	52
Tabelul 2.4. Media cantității de biomasă generată de pomii fructiferi din grupa sămburoaselor.....	54
Tabelul 2.5. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de pomi fructiferi din grupa sămburoaselor	56
Tabelul 2.6. Recolta globală a nuciferelor în Republica Moldova pentru anii de referință. Sursa: [15]....	58
Tabelul 2.7. Cantitatea de reziduuri generată de către diferite soiuri de nuc, alun și migdal.....	59
Tabelul 2.8. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de nucifere	61
Tabelul 2.9. Analiza proximală și finală a biomasei vegetale generate de diferite soiuri de arbuști fructiferi cultivați în Republica Moldova.....	65
Tabelul 2.10. Cantitatea de biomasă de viță-de-vie recoltată și analiza proximală a acesteia	68
Tabelul 2.11. Analiza finală a biomasei de viță-de-vie studiată.....	70
Tabelul 3.1. Valoarea coeficientului Irwin.....	76
Tabelul 3.2. Potențialul energetic al reziduurilor de pomi fructiferi.....	78
Tabelul 3.3. Potențialul energetic al biomasei generate de nuciferi.....	79
Tabelul 3.4. Potențialul energetic al reziduurilor de arbuști fructiferi	81
Tabelul 3.5. Potențialul energetic al biomasei vegetale generate de viță-de-vie	83
Tabelul 3.6. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea brichetelor din reziduuri pomicole, paie de grâu și reziduuri de floarea-soarelui.....	85
Tabelul 3.7. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea peleților din reziduuri de nuciferi și paie de grâu.....	88
Tabelul 3.8. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea peleților din reziduuri de arbuști fructiferi și paie de grâu.....	90
Tabelul 4.1. Parametrii peleților produși din reziduuri agricole lemnoase. Sursă: [32].....	101
Tabelul 4.2. Fluxul de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole (alcătuit pe baza rezultatelor obținute în acest studiu).....	115

Lista figurilor

Figura 1.1. Evoluția suprafețelor plantațiilor pomi-viticole în toate categoriile de gospodării din Republica Moldova: Adaptat după [15].....	29
Figura 2.1. Secvențe din timpul colectării eşantioanelor de biomasă pomi-viticolă.....	46
Figura 2.2. Probe de biomasă vegetală pomicolă	47
Figura 2.3. Echipamente folosite la testarea probelor de biomasă: a) moara Retsch SM 100; b) cuptor electric cu mufă LAC LH 06/13; c) calorimetrul izoperibolic IKA C6000; d) cântărirea probei; e) balanță analitică electronică AS220/C2; f) incintă termostat UNB 500 etalonată de către INM, CE MD10 3.4-031/2024; g) analizator elementar Vario MACRO cube	49
Figura 2.4. Probe de biomasă generată de nucifere: a) alun fructe originale și endocarp; b) migdal fructe originale și endocarp; c) miez și endocarp de nuc; d) crengi de alun; e) endocarp de alun mărunțit; f) endocarp de nuci mărunțit.	60
Figura 2.5. Secvențe din timpul recoltării cătinii albe în satul Clișova, Orhei: a) recoltarea prin detașarea manuală a ramurii cu fructe; b) congelarea ramurilor; c) cătină albă; d) biomasă vegetală în formă de frunze; e) biomasă vegetală în formă de ramuri după batozare	62
Figura 2.6. Secvențe din timpul pregătirii grosier a biomasei de cătină albă	62
Figura 3.1. Modificarea valorii calorifice (Q, MJ/kg) și a conținutului de cenușă (A, %) a probelor de brichete „Nestro” în funcție de constituția amestecului: reziduuri arboricole de pomi fructiferi (RAA), paie de grâu (PG) și reziduuri de floarea soarelui (RF-S)	86
Figura 3.2. Dependența valorii densității particulelor (DE, g/cm ³) a probelor de brichete „Nestro” funcție de constituția amestecului: reziduuri arboricole de pomi fructiferi (RAA), paie de grâu (PG) și reziduuri de floarea soarelui (RF-S).....	87
Figura 3.3. Variația proprietăților peleților produși din amestecuri de reziduuri nucifere de endocarp (RNEC) + reziduuri nucifere în formă de ramuri (RNR) + paie de grâu (PG): Q - Valoarea calorifică estimată la umiditatea de 10%, Mj/kg; A - conținutul de cenușă în bază uscată, %; BD – densitatea în vrac, kg/m ³ ; DU – durabilitatea mecanică, %	89
Figura 3.4. Variația proprietăților peleților produși din amestecuri de reziduuri vegetale de cătină albă (RVCA) + reziduuri vegetale de mur (RVM) + paie de grâu (PG): Q - Valoarea calorifică estimată la umiditatea de 10%, Mj/kg; A - conținutul de cenușă în bază uscată, %; BD – densitatea în vrac, kg/m ³ ; DU – durabilitatea mecanică, %	91
Figura 4.1. Vederea generală și schema dispozitivului pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete: 1 - poanson cilindric; 2 - camera superioară; 3 - element izolator; 4 - element termic; 5 – termocuplu; 6 – buloane; 7 - placă-suport; 10 – biomasă presată; 14 - dop detașabil	94
Figura 4.2 Secvențe referitoare la procesul de torefiere a peleților din cadrul laboratorului de Ingineria suprafeței a facultății de Mecanică de la Universitatea Tehnică ”Gheorghe Asachi” din Iași: a) panou	

electronic de comandă a duratei de expunere și a temperaturii; b) și e) probele investigate; c) cuptorul de tratament termic Nabertherm N41/H înainte de încărcare probelor d) cutia de protecție cu intrare și ieșire gaz echipată cu senzori de temperatură.....	95
Figura 4.3. Schema fluxului de producție cu BCSD din reziduuri pomi-viticole.....	97
Figura 4.4. Distribuția dimensiunilor particulelor de biomasă vegetală de cătină albă pentru diferite site de cernere: w-% - procentaj greutate masică; BPSB- biomasă de la emondare; BHSB – biomasă de la procesarea recoltei. Sursă: [158].....	99
Figura 4.5. Influența granulației (a) și umidității materiei prime (b) asupra densității particulelor brichetelor produse din biomasă vegetală pomicolă: 1 – probe din reziduuri arboricole din pomi fructiferi; 2 – probe din endocarp pe nucleu.....	100
Figura 4.6. Influența temperaturii densificării asupra densității particulelor și durabilității mecanice a brichetelor produse din biomasă vegetală pomicolă: 1 - probe din reziduuri arboricole din pomi fructiferi; 2 – probe din endocarp de nucleu.....	102
Figura 4.7. Imaginea termografică a matricei și secvențe din timpul monitorizării variației temperaturii matricei pe parcursul producerii brichetelor din reziduuri vegetale pomicole.....	103
Figura 4.8. Diagrama efectelor și contururile suprafețelor de răspuns pentru valoarea calorică netă (Q), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+RVM, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE).....	106
Figura 4.9. Diagrama efectelor și contururile suprafețelor de răspuns pentru conținutul de cenușă (A) a peleților obținuți din RVCA+RVM, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE).....	107
Figura 4.10. Diagrama Pareto și contururile suprafețelor de răspuns pentru valoarea calorică netă (Q), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+PG, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE).....	107
Figura 4.11. Diagrama Pareto și contururile suprafețelor de răspuns pentru conținutul de cenușă (A), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+PG, în funcție de temperatură.....	108

Lista abrevierilor

A ~ simbol pentru conținutul de cenușă pe bază uscată;
A_i ~ coeficientul de disponibilitate;
BCSD ~ biocombustibili solizi densificați;
BD ~ densitatea în vrac;
BE ~ biomasă de endocarp;
BL ~ biomasă lemnoasă;
C ~ conținutul de carbon;
CFd ~ conținutul de carbon în bază uscată;
Cl ~ conținutul de clor;
DE ~ simbol pentru densitatea particulelor în stare de recepție, g/cm³;
DU ~ durabilitatea mecanică;
E ~ densitatea energetică, GJ/m³;
EC ~ economie circulară;
ENplus ~ sistem de certificare a calității la nivel european pentru BCSD;
F ~ conținutul fracției fine;
H ~ conținutul de hidrogen;
ha ~ hectar;
k_{il} ~ coeficientul pierderilor de implementare;
LABCSD ~ lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi densificați;
LȘBCS ~ Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi;
m ~ masă;
M_{rec} ~ conținutul de umiditate în biomasă la recoltare;
MV ~ conținutul de materiale volatile;
N ~ conținutul total de azot;
O ~ conținutul total de oxigen;
PED ~ potențial energetic disponibil;
PESI ~ potențial energetic disponibil de implementare;
PET ~ potențial energetic teoretic;
PG ~ paie de grâu;
Q ~ valoarea calorifică netă;
q_{Pnet M=10%} ~ valoarea calorifică netă a biomasei cu conținutul de umiditate egal cu 10% calculată pentru presiune constantă;

RAA ~ reziduuri arboricole de pomi fructiferi;

RE/M ~ raportul dintre endocarp și miez;

RFS ~ reziduuri floarea soarelui;

RNR ~ reziduuri de nuc în formă de ramuri;

RVCA ~ reziduuri vegetale cățina albă;

RVM ~ reziduuri vegetale de mur.

S ~ conținutul total de sulf;

SER ~ surse regenerabile de energie;

UE ~ Uniunea Europeană;

up ~ incertitudinea predictivă;

UTM ~ Universitatea Tehnică a Moldovei;

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța problemei abordate. Criza energetică, creșterea populației, consumerismul, industrializarea și supraexploatarea resurselor tradiționale de combustibili sunt acum probleme care necesită rezolvare urgentă [1].

La nivel global, în contextul crizei energetice accentuată deosebit de acut în ultimii ani, al necesității protejării mediului înconjurător și combaterii schimbărilor climatice, valorificarea biomasei ca sursă de energie regenerabilă capătă o importanță tot mai mare [2]. Emisiile de gaze cu efect de seră generate de utilizarea combustibililor fosili contribuie semnificativ la creșterea temperaturii globale, iar tranziția către surse de energie durabile este esențială pentru atingerea obiectivelor de dezvoltare durabilă [3].

Astfel, pentru a micșora emisiile gazelor poluante, este nevoie de un sistem energetic mai puțin ofensiv [4]. În acest context, utilizarea energiilor regenerabile este calea sigură spre o dezvoltare durabilă, bazată pe tehnologii eficiente de asigurare a siguranței energetice [5]. Una din cele mai cunoscute și longevive surse de energie regenerabilă folosită de omenire este biomasa [2], care este abundentă și prietenoasă mediului [6], capabilă să reducă dependența de resursele fosile și să contribuie la securitatea energetică [1].

Pe lângă biomasa lignocelulozică, utilizată în mod obișnuit la producerea biocombustibililor solizi, cum ar fi lemnul, există și alte tipuri de biomasă vegetală care pot și trebuie să fie utilizate în calitate de materie primă la producerea energiei [7]. Printre acestea se regăsesc și reziduurile agricole, utilizarea eficientă a cărora nu doar sprijină micșorarea dependenței de resurse energetice fosile și decarbonizarea sectorului energetic, ci și contribuie la tranziția către modele de sustenabilitate și economie circulară (EC) în sectorul agroalimentar [8, 9].

În sectorul pomi-viticol, lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi joacă un rol esențial în integrarea principiilor economiei circulare, prin transformarea reziduurilor vegetale în surse regenerabile de energie. Această transformare poate urmări o creștere economică durabilă [10] și, în același rând, va atenua impactul negativ asupra mediului prin reducerea emisiilor de CO₂ și a cantității de deșeuri eliminate necontrolat [11, 12]. În plus, conversia biomasei în biocombustibili solizi prin procese de densificare, precum peleți și brichete, îmbunătățește comoditatea folosirii și eficiența energetică a acesteia, facilitând utilizarea în sistemele de încălzire rezidențiale și industriale [13].

Este bine cunoscut că, pentru producerea durabilă de biocombustibili solizi, materia primă adecvată trebuie să fie disponibilă, ușor colectată, transportată și depozitată, astfel încât să poată

fi prelucrată eficient înainte de compactare [14]. Din acest motiv, biomasa agricolă poate fi luată în considerare doar dacă este accesibilă într-un mod sustenabil.

Cunoașterea potențialului sustenabil de biomasă vegetală pomi-viticolă, în anumite locații, alături cu dezvoltarea tehnologiilor avansate de conversie în biocombustibili solizi, prezintă un pilon important pentru sprijinirea dezvoltării unei economii circulare și pentru creșterea sustenabilă a sectorului energetic regenerabil [8]. Totodată, integrarea acestor resurse și tehnologii în strategiile energetice naționale, inclusiv în cele ale Republicii Moldova, va contribui la consolidarea unui sistem energetic mai eficient și ecologic.

Republica Moldova, cu o bază agricolă puternică, care importă cca 70% din resursele energetice [15] dispune de un potențial semnificativ de biomasă pretabil de a fi folosită în scopuri energetice, îndeosebi din reziduuri vegetale rezultate din cultura pomilor fructiferi [16, 17]. Influența calității densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole și a viței-de-vie [18]. Aceste reziduuri, care sunt în mod tradițional arse sau eliminate fără a li se exploata valoarea energetică, pot constitui o resursă valoroasă pentru producerea biocombustibililor solizi [19].

Pentru a stimula utilizarea biomasei în scopuri energetice, Republica Moldova a adoptat o serie de politici și strategii orientate către promovarea surselor regenerabile de energie. Printre acestea se numără *Strategia Energetică a Republicii Moldova până în 2030* [20] și *Strategia Energetică a Republicii Moldova până în 2050* [21], care au ca obiective principale asigurarea securității energetice, creșterea eficienței energetice și diversificarea surselor de energie. Aceste strategii pun accentul pe promovarea energiei regenerabile și pe reducerea dependenței de importuri, propunând o tranziție către un sistem energetic sustenabil. Astfel, ele contribuie activ la combaterea schimbărilor climatice și la realizarea obiectivelor de dezvoltare durabilă.

Este bine cunoscut că biocombustibilii solizi, cum ar fi peleții și brichetele, reprezintă o soluție sustenabilă pentru reducerea dependenței de combustibilii fosili și pentru creșterea eficienței energetice [22–24]. Însă, pentru a valorifica pe deplin potențialul acestor biocombustibili, este esențială perfecționarea fluxului de producție, asigurând astfel un proces eficient, sustenabil și rentabil [25].

Transformarea biomasei în formă solidă densificată se realizează folosind tehnologii moderne, astfel devenind un furnizor de energie termică eficientă și curată [26]. Țările din UE sunt principalii consumatori de căldură regenerabilă, în principal din biomasă și deșeuri sub formă de peleți cu cca 20,8 milioane de tone metrice de peleți de lemn în anul 2023, în creștere de la 20,3 milioane de tone în 2022 și 19,361 milioane de tone în 2021 [27].

Chiar și țările care își pot acoperi necesarul energetic fără a recurge la importuri manifestă un interes crescând pentru producerea energiei regenerabile, conștientizând impactul negativ al resurselor fosile asupra mediului [25]. În acest context, ultimele decenii au fost marcate de o intensificare a cercetărilor în domeniul resurselor regenerabile, în special al biomasei.

Biomasa, una dintre cele mai importante surse de energie regenerabilă, s-a extins rapid pe plan global, mai ales în țările importatoare de energie [28]. Totuși, acest domeniu prezintă anumite provocări, inclusiv asigurarea calității materiei prime [11, 29, 30] și optimizarea fluxului de producție [31].

Un aspect esențial în producția de peleți și brichete este condiționarea adecvată a materiei prime, inclusiv asigurarea temperaturii optime a biomasei [32], distribuția granulometrică adecvată [33] precum și ajustarea regimurilor de densificare [34, 35]. Acești parametri trebuie stabiliți astfel încât produsul finit să îndeplinească cerințele din ce în ce mai exigente ale consumatorilor, ținând cont de disponibilitatea resurselor locale de materie primă [36–38] și cerințele familiei de standarde SM EN ISO 17225 [18] și cerințele normelor ENplus [39].

Această teză își propune să investigheze și să optimizeze fluxul tehnologic de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole, punând accent pe îmbunătățirea etapelor critice ale procesului pentru a obține un produs de calitate superioară și o eficiență sporită.

Scopul lucrării este perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole.

Obiectivele lucrării. Studiul va aborda aspecte cheie legate de prelucrarea inițială a biomasei, uscarea, compactarea și evaluarea calității biocombustibililor obținuți. În acest context au fost înaintate următoarele obiective:

1. Analiza contextului actual și problemele din domeniul fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole;
2. Stabilirea potențialului de biomasă vegetală pomi-vitică pretabilă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați în condițiile Republicii Moldova;
3. Determinarea potențialului energetic al biomasei vegetale pomi-vitică generate de diferite specii de pomi fructiferi, arbuști fructiferi și vița-de-vie;
4. Optimizarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi densificați din biomasă vegetală pomi-vitică;
5. Analiza impactul diferitelor metode de procesare asupra caracteristicilor finale ale produsului, cu scopul de a stabili cele mai eficiente tehnici de producție adaptate la specificul biomasei pomi-viticole.

Obiectul cercetărilor este biomasa provenită din activitățile pomi-viticole și biocombustibilii solizi densificați (BCSD) din această biomasă.

Subiectul cercetărilor include analiza obiectului cercetărilor din perspectiva valorificării acestuia în scopuri energetice.

Ipoteza de cercetare propusă se axează pe analiza obiectului de studiu și presupune că perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole îmbunătățește calitatea produsului finit și constituie o sursă fezabilă de materie primă pentru producerea de peleți și brichete cu caracteristici apropiate de cele cerute de către normele familiei de standarde SM EN ISO 17225-6 și 7:2021.

Prin intermediul acestei cercetări, se urmărește nu doar optimizarea procesului de producție, ci și oferirea unor soluții practice și scalabile pentru industrie, cu potențial de aplicare largă în sectorul energetic din Republica Moldova. Rezultatele obținute vor contribui la dezvoltarea durabilă a sectorului de biocombustibili, generând beneficii economice și ecologice semnificative pentru comunitățile locale și pentru întreaga economie națională.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare utilizate. Structura investigațiilor derivă dintr-un studiu aprofundat efectuat în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi (LȘBCS) al UTM acreditat MOLDAC. Pentru stabilirea stadiului actual al cercetărilor privind fluxul de producere a biocombustibililor solizi densificați, a fost realizată o documentare amplă a literaturii de specialitate din perioada 1995-2025, cu accent pe ultimii cinci ani, utilizând baze de date internaționale (Web of Science, Scopus, Google Scholar, ScienceDirect, AGRIS, IEEE Xplore, DOAJ, MDPI etc.) și un algoritm de selecție bazat pe relevanță, actualitate și credibilitate; referințele au fost gestionate cu Mendeley, iar sursele incluse doar după o analiză critică, această abordare asigurând coerența, evitarea duplicării cercetării și orientarea eficientă către cele mai noi metode de investigare și interpretare a datelor.

Cercetările de laborator au fost efectuate conform unui algoritm structurat în patru etape distincte. Toate analizele au fost realizate utilizând metode și echipamente validate, în conformitate cu cerințele standardului SM EN ISO/IEC 17025:2018. Fiecare test a fost repetat de cinci ori pentru a asigura acuratețea și reproductibilitatea măsurărilor. La final, au fost calculate deviația standard și intervalul de încredere pentru rezultatele obținute în fiecare serie de teste, corespunzătoare diferitelor tipuri de biomasă vegetală, precum și produselor finite și amestecurilor analizate.

Probele au fost prelevate din parcele reprezentative, iar datele experimentale au fost extrapolate la suprafețe extinse. Biomasa pomicolă a fost colectată în anii 2020 și 2024 din livezi pe rod, plantații viticole și culturi de arbuști fructiferi.

Potențialul energetic a fost determinat sub trei forme: teoretic, disponibil și sustenabil, ceea ce a permis elaborarea unor strategii eficiente de valorificare a biomasei agricole pentru producerea biocombustibililor solizi. Pentru toate valorile calculate ale potențialului energetic s-a determinat incertitudinea predictivă, contribuind la reducerea semnificativă a riscurilor legate de asigurarea calității pe întregul lanț de aprovizionare cu peleți și brichete.

Studiul influenței regimurilor tehnologice asupra eficienței procesului de densificare a fost realizat cu ajutorul unei instalații de laborator originale, proiectată de echipa noastră, care permite compactarea biocombustibililor solizi densificați în formă de brichete, cu monitorizarea temperaturii de compactare.

Rezultatele obținute au fost verificate în condiții de producție prin fabricarea peleților și brichetelor la SRL „STAR TECH” din satul Cîrpești, raionul Cantemir și SRL „ECO NUTS ENERGY” adresa Ialoveni, str. Păcii 12, Republica Moldova.

Noutatea și originalitatea științifică este asigurată de următoarele aspecte:

- examinarea stadiului curent referitor la contextul actual și problemele din domeniul fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole;
- elaborarea metodologiei de cercetare cu elaborarea unei instalații de laborator pentru monitorizarea regimurilor tehnologice de densificare a biocombustibililor solizi;
- obținerea de date noi referitoare la disponibilitatea biomasei pomi-viticole pentru producerea BCSD în Republica Moldova și potențialul energetic al acesteia;
- dezvoltarea unui model al unui flux de producere a BCSD în baza rezultatelor obținute în acest studiu.

Teza este structurată într-o introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări.

Primul capitol, intitulat „Contextul actual și problemele din domeniul fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole”, prezintă o analiză aprofundată a literaturii de specialitate privind producerea biocombustibililor solizi densificați din biomasă vegetală, cu accent pe reziduurile pomi-viticole, corelată cu rezultatele obținute în cadrul cercetărilor experimentale desfășurate în LȘBCS.

În rezultatul acestei analize, s-a evidențiat importanța optimizării lanțului de aprovizionare pentru susținerea tranziției către o economie circulară. Totodată, au fost identificate aspectele mai puțin tratate în literatura recentă, precum și contradicțiile existente privind potențialul energetic al biomasei pomi-viticole și modul de stabilire a amestecurilor, în funcție de resursele disponibile la nivel local și de caracteristicile dorite ale produsului finit. S-a constatat, de asemenea, o tendință

tot mai pronunțată de integrare a criteriilor de sustenabilitate și a evaluării impactului asupra mediului în procesele de valorificare a biomasei.

Pe baza analizei metodelor și tehnologiilor existente, au fost definitive ipoteza de cercetare, scopul lucrării și obiectivele principale, în concordanță cu necesitatea valorificării inteligente a resurselor regenerabile și a dezvoltării unui sistem energetic durabil și eficient.

Al doilea capitol intitulat „Disponibilitatea biomasei pomi-viticole pentru producerea biocombustibililor solizi densificați în Republica Moldova” include două părți distincte. Prima se referă la metodologia folosită pentru realizarea studiului programat. Sunt descrise probele selectate pentru studiu, metoda de prelevare a eșantioanelor și de preparare a acestora. O atenție deosebită este acordată căilor de asigurare a veridicității datelor obținute, sunt descrise metodele de asigurare a incertitudinii măsurărilor.

A doua parte a capitolului este dedicată evaluării disponibilității biomasei vegetale pomicole, celei provenite din nuciferi, arbuști fructiferi și sectorul vitivinicol. Rezultatele obținute au evidențiat potențialul valorificării acestora pentru producerea biocombustibililor solizi densificați. S-a constatat că reziduurile provenite de la pomi fructiferi și nuciferi, precum și din vița-de-vie, pot fi utilizate la fabricarea brichetelor și peleților, în special în categoriile A, A2 și B, cu anumite limitări legate de conținutul de cenușă și umiditate. Endocarpul nucifer, de exemplu, prezintă caracteristici favorabile procesării directe, fără necesitatea unei uscări prealabile.

Totodată, datele obținute sugerează o ușoară superioritate energetică a soiurilor tehnice de vița-de-vie comparativ cu cele de masă, iar stabilitatea valorilor calorifice confirmă constanța calității biomasei analizate. În ciuda unor neconformități identificate la reziduurile de arbuști fructiferi, există perspective promițătoare de optimizare tehnologică pentru integrarea acestora în fluxul de producție.

Fiecare subcapitol finalizează cu concluzii care vizează disponibilitatea biomasei generate de culturile respective pentru includerea eficientă a acestora în lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi densificați.

În al treilea capitol cu titlul „*Potențialul energetic al biomasei pomi-viticole disponibilă pentru producerea biocombustibililor solizi*” se prezintă o analiză detaliată a potențialului energetic al tuturor reziduurilor vegetale generate de către pomii fructiferi, nucifere, arbuștii fructiferi și vița-de-vie. În baza celor constatate privind folosirea anumitor tipuri de biomasă pentru producerea peleților sau a brichetelor se prezintă judecăți despre oportunitatea folosirii anumitor tipuri de biomasă în calitate de componente la formarea de amestecuri de materie primă pentru producerea BCSD.

Studiul a evidențiat faptul că dintre speciile pomicole, mărul, părul și piersicul dețin cel mai ridicat potențial energetic real, în condiții sustenabile de recoltare. De asemenea, migdalul și alunul din grupa nuciferilor, precum și murul, cătina albă și zmeurul dintre arbuștii fructiferi s-au dovedit a fi resurse valoroase pentru producerea biocombustibililor solizi densificați, datorită randamentului energetic ridicat și a disponibilității regionale.

Corelarea incertitudinii asociate estimării potențialului energetic a arătat că speciile cu randamente ridicate prezintă și cele mai mari variații în evaluări, ceea ce subliniază importanța unei analize detaliate la nivel local înainte de implementarea soluțiilor tehnologice. În plus, vița-de-vie a fost confirmată ca sursă promițătoare de materie primă, iar utilizarea diagramelor ternare a permis identificarea compozițiilor optime ale amestecurilor de biomasă în funcție de cerințele calitative ale produselor finite.

Datele obținute au fost corelate cu cerințele standardelor din familia SM EN ISO 17225.

Capitolul patru prezintă metodele de perfecționare a fluxului de producere a biocombustibililor solizi. Accentul este pus pe perfecționarea compoziției amestecurilor de biomasă, precum și pe stabilirea regimurilor tehnologice optime de densificare, prin intermediul unor studii de caz reprezentative.

Rezultatele obținute în urma experimentelor de laborator indică faptul că starea materiei prime influențează direct calitatea biocombustibililor. Astfel, s-a constatat existența unui interval optim de temperatură care favorizează formarea legăturilor stabile între particule, conducând la produse cu densitate și durabilitate ridicate.

Studiul efectului torefierii asupra peleților produși din paie de grâu și reziduuri lemnoase arboricole a arătat o creștere a valorii calorifice a biomasei lemnoase, lucru care confirmă că includerea unei etape de torefiere în fluxul tehnologic poate îmbunătăți calitatea produsului final, fiind viabilă economic în condiții de producție pe scară largă. Pentru amestecuri de biomasă provenită din arbuști fructiferi, cum ar fi cătina albă și murul, studiile au evidențiat intervalul optim de torefiere și a duratei de expunere, echilibrând creșterea valorii calorice cu pierderile de masă.

Pe baza acestor constatări, a fost posibilă optimizarea fluxului tehnologic de producere a BCSD, prin stabilirea unor regimuri adecvate și selectarea corespunzătoare a materiilor prime. Informațiile obținute oferă suport valoros pentru producători, contribuind la obținerea unor produse finale de calitate superioară din reziduuri pomi-viticole și din arbuști fructiferi.

Lucrarea finalizează cu concluzii generale și recomandări în care se evidențiază contribuțiile personale și perspectivele pentru cercetările ulterioare, iar rezultatele pot ghida producătorii din Republica Moldova în realizarea unor biocombustibili competitivi și compatibili cu cerințele europene.

1. CONTEXTUL ACTUAL ȘI PROBLEMELE DIN DOMENIUL FLUXULUI DE PRODUCERE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DIN REZIDUURI VEGETALE POMI-VITICOLE

1.1. Contextul și tendințele actuale în utilizarea reziduurilor vegetale pomi-viticole pentru producerea biocombustibililor solizi densificați

1.1.1. Rolul lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi în tranziția sectorului pomi-viticol al Republicii Moldova către o economie circulară

Tranziția către o economie circulară presupune reducerea risipei de resurse și valorificarea sustenabilă a deșeurilor generate de activitățile economice [40]. În sectorul pomi-viticol din Republica Moldova, aplicarea acestui model se bazează pe principiile reciclării și reutilizării deșeurilor și reziduurilor [41]. În acest context, perfecțiunea lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi densificați (LABCSD), bazat pe materie primă provenită din sectorul agrar [42], reprezintă un element esențial pentru integrarea principiilor economiei circulare, transformând reziduurile vegetale în surse regenerabile de energie mediu [43–45].

Un lanț de aprovizionare bine structurat asigură valorificarea eficientă a reziduurilor pomi-viticole, contribuind astfel la accelerarea tranziției sectorului agricol din Republica Moldova către o economie circulară. Acest proces are un impact semnificativ asupra reducerii efectelor negative asupra mediului, creșterii eficienței energetice și dezvoltării economice regionale [46].

Pentru a asigura o tranziție eficientă către economia circulară, lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi trebuie să includă următoarele etape [47–49]:

- Colectarea și gestionarea reziduurilor vegetale – presupune identificarea, estimarea, colectarea și depozitarea optimizată a materialelor lemnoase rezultate din tăierile de întreținere a livezilor și viilor [50].
- Pretratarea și procesarea materiei prime – include operațiuni de tocare, uscare și presare, necesare pentru obținerea peleților sau brichetelor de biomasă.
- Distribuția și utilizarea – implică dezvoltarea unei rețele eficiente de distribuție către consumatorii industriali, agricoli sau rezidențiali.

Un lanț de aprovizionare cu BCSO cuprinde mai multe activități esențiale cum sunt: producția, identificarea și colectarea materiei prime; logistica de stocare și transport a biomasei; condiționarea materiei prime și transformarea acesteia în biocombustibil; vânzarea și distribuția produsului finit utilizatorilor; iar, în final, utilizarea combustibilului [47, 51]. Cerințele impuse tuturor verigilor componente ale lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi sunt reglementate de către standardul SM EN ISO 17234-1:2017, iar asigurarea acestor cerințe a atras

atenția cercetării academice și a mediului de afaceri fiind abordată ca un subiect complex cu mai multe variabile de influență asupra calității produsului finit [52–54].

Asigurarea calității biocombustibililor solizi prin optimizarea lanțului de aprovizionare au fost explorate pe larg în literatura de specialitate [55–60]. Studiile existente au evidențiat dependența calității peleților și brichetelor de caracteristicile materiei prime și de regimurile de condiționarea și densificarea a biomasei cum ar fi a celor din paie și amestecurile pe baza acestora [61–63], a reziduurilor lemnoase [11, 64] și a reziduurilor industriale [65]. Alte aspecte includ probleme de sustenabilitate și durabilitatea [66, 67], viabilitatea economică [68] și impactul asupra mediului economic [8, 69], diminuarea riscurilor [52], evaluarea ciclului de viață [36, 70], selecția strategiei [71].

Mai mulți autori menționează posibilitatea îmbunătățirii calității BCSD prin diferite procedee termochimice [60, 72–74]. De regulă cercetările se referă la BCSD din reziduuri agricole concrete. De exemplu, a celor din paie de grâu, de orez și de secară [75, 76]; din știuleți de porumb, tulpini de bumbac și de floarea-soarelui [77]; de bumbac [78]; coji de soia, știuleți de porumb, ramuri de viță-de-vie [79].

Analiza efectuată a evidențiat că nu sunt specificate rezultate pentru cazul torefierii BCSD din biomasă vegetală generată din cultivarea diferitor arbuști fructiferi și a amestecurilor formate pe baza acestora. De asemenea un șir de cercetări se referă la condiții locale concrete [80].

Ca rezultat, s-a concluzionat că asigurarea calității lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi este specifică pentru condiții particulare de valorificare a biomasei locale și procesare în condiții optime și de incertitudinea care apare pe parcursul tuturor verigilor componente ale acestuia [81–84].

Pentru a umple golul identificat, cercetările din acest capitol își propun să analizeze lanțurile de aprovizionare pentru biocombustibili pe bază de biomasă vegetală pomi-viticole. Studiul se va concentra pe identificarea și analiza punctelor principale specifice condițiilor producerii peleților și brichetelor din reziduuri pomi-viticole în contextul Republicii Moldova.

Proprietățile majore, care acordă un anumit nivel de calitate BCSD, se referă la densitatea, rezistența mecanică, hidrofobia și conținutul de energie [85]. Nivelul calității cerut de către standardele în vigoare (vezi Tabelul 1.2) este asigurat, pe întregul flux de producere a BCSD, fiind influențat de originea biomasei, folosirea diferitor amestecuri și mixturi cu includerea a unor constituenți speciali precum aditivi, lianți și lubrifianți, de metodele și condițiile de condiționare a materiei prime și de densificare propriu zisă a acesteia, inclusiv umiditatea și granulația materiei prime înainte de densificare, temperatura, presiunea, timpul de relaxare [86].

1.1.2. Importanța biocombustibililor solizi în contextul energiilor regenerabile și al tranziției energetice

Creșterea populației și dezvoltarea economică la nivel global au dus la o cerere tot mai mare de energie, care, din păcate, este satisfăcută în principal prin surse de energie neregenerabile, cum ar fi combustibilii fosili [87]. La aceasta se mai adaugă că cca aproximativ 80% din țările de pe glob sunt importatoare de combustibili fosili adică sunt vulnerabile la șocuri politice și crize [88]. Printre țările importatoare de energie se regăsește și Republica Moldova care importă cca 70% din resursele energetice [89].

În schimb, sursele de energie regenerabilă sunt disponibile în toate țările, iar potențialul lor nu a fost încă valorificat pe deplin. Agenția Internațională pentru Energie Regenerabilă (IRENA) estimează că 90% din electricitatea mondială poate și ar trebui să provină din energie regenerabilă până în 2050 [87].

Energiile regenerabile oferă o cale sigură de asigurare a țărilor cu energie accesibilă și ecologică, permițând țărilor să micșoreze dependența de import protejându-se de fluctuațiile imprevizibile ale prețurilor la combustibilii fosili, stimulând în același timp creșterea economică incluzivă, noi locuri de muncă și reducerea sărăciei [90].

Energia regenerabilă provine din surse naturale și regenerabile, cum ar fi soarele, vântul, apa și biomasa. În comparație cu sursele tradiționale de energie, sursele regenerabile au impact redus asupra mediului, produc mai puține emisii de gaze cu efect de seră și contribuie la diminuarea schimbărilor climatice. Dintre acestea, biomasa reprezintă una dintre cele mai accesibile și flexibile surse regenerabile, având un potențial semnificativ în sectorul biocombustibililor solizi [66].

În acest context, biocombustibilii solizi, obținuți din surse biologice regenerabile, cum sunt reziduurile agricole, devin o alternativă viabilă pentru țările cu o pondere însemnată a agriculturii [91]. Aceștia joacă un rol esențial în diversificarea surselor de energie și reducerea dependenței de combustibilii fosili, contribuind la tranziția către un sistem energetic mai durabil și ecologic.

Biocombustibilii solizi sunt combustibili obținuți, direct sau indirect, din materiale organice nefosile, sub formă de lemn de foc, așchii, rumeguș, baloți de paie, peleți, brichete și alte materiale vegetale. Aceștia sunt, de regulă, utilizați pentru producerea de energie termică, gătit sau generarea de electricitate [47].

Sursele principale includ reziduuri agricole, deșeuri forestiere, resturi din procesarea alimentelor și reziduuri pomi-viticole. Prin prelucrarea și densificarea biomasei, biocombustibilii

solizi oferă o alternativă accesibilă și eficientă pentru generarea de căldură și energie electrică, în special în zonele rurale și în industrie.

Pentru condițiile Republicii Moldova reziduurile vegetale pomi-viticole reprezintă sursa de materie primă accesibilă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați cu cele mai promițătoare caracteristici calitative pentru producerea peleților și brichetelor conforme cerințelor ENplus [92].

1.1.3. Studii și cercetări relevante privind fluxul de producție a biocombustibililor solizi din biomasă, cu accent pe reziduurile pomi-viticole

Suprafața totală dedicată livezilor și plantațiilor de pomi fructiferi în Uniunea Europeană este estimată la aproximativ 1,3 milioane de hectare, conform datelor Eurostat. Cele mai mari suprafețe se regăsesc în Spania, Italia și Polonia, iar speciile predominante includ meri, peri, cireși și pruni.

În Republica Moldova, conform datelor statistice, suprafața plantațiilor de pomi și arbuști fructiferi se ridică la aproximativ 100 000 de hectare. Acestea includ livezi de fructe sămânțoase (meri, peri, gutuie), sămburoase (vișin, cireși, caiși, piersici, pruni) și nucifere (nuc, alun), arbuști fructiferi (cătină albă, murul, coacăză neagră, zmeurul) fiind o sursă importantă atât pentru consum, cât și pentru exporturi și producerea de biomasă din resturi vegetale [93].

Fluxurile tehnologice eficiente joacă un rol important în asigurarea productivității și a calității produselor, contribuind la utilizarea optimă a resurselor disponibile [52]. Cu toate acestea, există un șir de limitări care influențează fluxul de producere a peleților și brichetelor, calitatea și costurile materiei prime, incertitudinile privind fezabilitatea lanțului de aprovizionare, fiabilitatea tehnologică a condiționării materiei prime și a procesului de fabricare propriu zis. Aceste limitări, existente în producția de biocombustibili solizi, constrâng producția și utilizarea biomasei [94], inclusiv a celei rezultate din activitățile pomi-viticole .

1.1.4. Dinamica și producția utilizării biocombustibililor solizi obținute din reziduuri vegetale

Pe fondul preocupărilor tot mai mari cu privire la poluarea mediului cauzată de combustibilii fosili, biocombustibilii solizi din biomasă sunt o alternativă la biocombustibilul creat din reziduuri organice biodegradabile și ecologice. Această sursă de energie inovatoare reduce semnificativ emisiile de CO₂ și alte gaze cu efect de seră în comparație cu sursele tradiționale de combustibil, făcându-l un jucător cheie în atenuarea schimbărilor climatice.

Disponibilitatea excedentară de materie primă de biomasă derivată din reziduuri agricole contribuie la creșterea productivității culturilor și la disponibilitatea reziduurilor lemnoase. Potrivit Centrului Național pentru Informații Biotehnologice (SUA), disponibilitatea biomasei este de

așteptat să se majoreze la 281 de milioane de tone până în anii 2030-2031. Potențialul corespunzător de reducere a CO₂ rezultat din înlocuirea cărbunelui este estimat să fie de 205 milioane de tone în 2030-2031, care va fi deturnat către generarea de energie. Astfel, disponibilitatea excedentară de biomasă este de așteptat să stimuleze producția de biocombustibili solizi de biomasă în viitorul apropiat.

Conform dinamicii prezentată în *Anexa A1*, piața globală de biocombustibili solizi din biomasă a fost evaluată în anul 2024 cu cca 9815,2 mln. USD, din care America de Nord deține cea mai mare cotă de piață, reprezentând mai mult de 40% (3926,08 mln. USD) din veniturile globale, cu o prognoză a ratei de creștere anuale de 4,2% în dinamica anilor 2024 - 2031. Pe poziția a doua este situată Europa cu 30% (2944,56 mln. USD) și o cotă de majorare anuală de 4,5%.

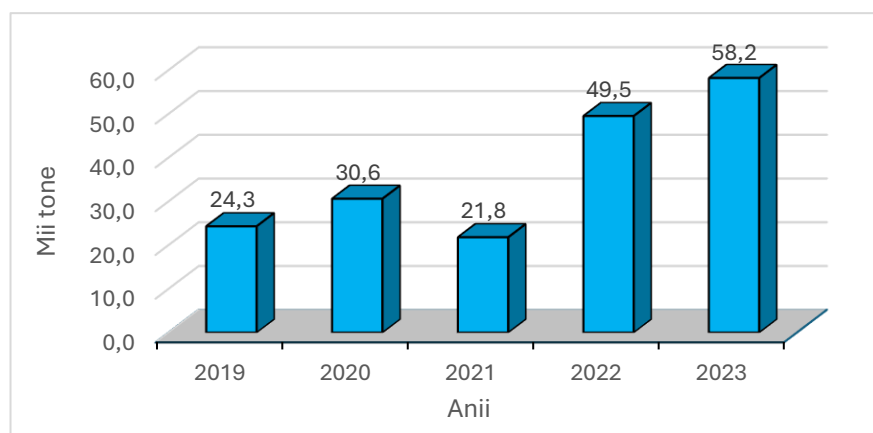
Asia Pacific este regiunea cu cea mai rapidă creștere pe piața biocombustibililor solizi din biomasă din cauza urbanizării și industrializării rapide, precum și a stimulentei guvernamentale atractive pentru utilizarea produselor din biomasă, care se așteaptă să conducă expansiunea pieței în zona Asiei Pacifice în următorii ani.

Potrivit Cognitive Market Research, următoarele poziții din clasament sunt ocupate de Asia Pacific cu 23% (2257,50 mln. USD) și America Latină (490,76 mln. USD) din veniturile globale și continuă să se majoreze cu o rată anuală de 8,0% și respectiv de 5,4% pe perioada anilor 2024-2031. Ultimele poziții ale clasamentului sunt reprezentate de Orientul Mijlociu și Africa care dețin o cotă de piață de 2% (196,30 mln. USD) din veniturile globale și au tendință de creștere de cca 5,7% pe perioada estimată (2024-2031).

Prin urmare [2], cererea pentru biocombustibili solizi din biomasă, obținuți din reziduuri agricole, este în continuă creștere. Orientarea globală tot mai accentuată spre reducerea deșeurilor determină producătorii să utilizeze aceste resurse agricole pentru a obține BCSD.

Astfel creșterea populației globale a dus la necesități mai mari de energie, iar guvernele din întreaga lume încearcă să reducă amprenta de carbon a afacerii energetice prin implementarea unor proceduri ecologice de producere a energiei.

Producerea biocombustibililor solizi din reziduuri agricole reprezintă o practică ecologică care se dezvoltă tot mai mult în Republica Moldova, având un rol important în gestionarea reziduurilor agricole și în promovarea unui sistem energetic mai sustenabil.



Producția de brichete și peleți din lemn și alte reziduuri vegetale în Republica Moldova. [95]

În perioada anilor 2019-2023, producția de brichete și peleți din lemn și alte deșeuri vegetale a cunoscut o evoluție semnificativă, marcând un trend general ascendent.

În anul 2019, producția a fost de 24,3 mln. de tone, reprezentând o bază modestă, dar stabilă. În 2020, s-a înregistrat o creștere semnificativă, atingând 30,6 mln. de tone, semn că cererea pentru surse alternative de energie era deja în creștere, posibil influențată de contextul pandemiei și de reorientarea populației către soluții de încălzire mai accesibile și ecologice.

Anul 2022 a marcat o revenire de la 21,8 mln. de tone, cea mai mică valoare din perioada analizată, producția crescând la 49,5 mln. de tone, aproape dublu față de nivelul anterior. Această evoluție este strâns legată de contextul geopolitic și economic global, în special criza energetică europeană, care a determinat o creștere accentuată a interesului pentru combustibilii solizi.

Trendul ascendent a continuat și în 2023, când producția a atins un nou record de 58,2 mln. de tone, confirmând consolidarea acestui sector ca o soluție viabilă și sustenabilă în contextul tranziției energetice.

Această evoluție evidențiază rolul tot mai important al biomasei în sectorul energetic actual, dar și potențialul ridicat de dezvoltare pentru industrie, atât pe piața internă, cât și pentru export.

1.2. Starea actuală și perspectivele viitoare ale energiei din biomasă pomi-viticolă pentru producerea biocombustibililor solizi în Republica Moldova

1.2.1. Zonele climatice și influența lor asupra disponibilității biomasei pomi-viticole în Republica Moldova

Republica Moldova, situată în sud-estul Europei, se caracterizează printr-un climat temperat-continental, cu variații semnificative ale temperaturii și precipitațiilor. Acest climat influențează direct producția agricolă și disponibilitatea biomasei rezultate din activități pomi-viticole [96].

Republica Moldova este divizată în trei zone climatice principale.

Zona de nord: Se caracterizează prin ierni reci și veri mai blânde. Precipitațiile sunt moderate, cu o medie anuală de aproximativ 550-600 mm. Perioada de vegetație este mai scurtă, ceea ce poate limita productivitatea culturilor pomi-viticole. Această zonă este cunoscută, în special, pentru livezile de meri, peri și pruni, specii care sunt mai bine adaptate la temperaturile mai scăzute. Aceste culturi generează cantități moderate de biomasă sub formă de ramuri rezultate din tăierile anuale de formare și întreținere. Producția viticolă este mai redusă comparativ cu celelalte regiuni ale țării, din cauza perioadei scurte de vegetație și a riscului de înghețuri târzii [18].

Studiile regionale, precum cel realizat de Gudîma A. [97] și Pavlenko A. [17], subliniază că biomasa vegetală a pomilor fructiferi este potrivită pentru producerea biocombustibililor solizi, având caracteristici similare cu cerințele normelor ENplus. De asemenea, resturile vegetale din zona de nord a Republicii Moldova pot acoperi o parte din cererea locală de combustibili alternativi. Datele prezentate de autorii menționați se referă la anumite specii de pomi fructiferi sau la grupe de pomi din localități specifice ale zonei de nord.

De exemplu, Gudîma A., într-un studiu de caz realizat în raionul Soroca, zona de nord a Republicii Moldova, a arătat că peleții produși din biomasa vegetală generată de pomii fructiferi din grupele sămânțoaselor și sămburoaselor posedă o valoare calorifică netă, estimată la o umiditate de 10%, de 17,1 MJ/kg [97]. Pe de altă parte, Pavlenko, într-un studiu de caz realizat tot pentru zona de nord a Republicii Moldova, a raportat că valoarea calorifică netă estimată la 10% umiditate a biomasei provenite de la pomii fructiferi variază între 17,17 și 17,82 MJ/kg [17].

Zona centrală beneficiază de un climat echilibrat, cu temperaturi moderate și precipitații medii de aproximativ 500-550 mm anual. Condițiile climatice favorabile contribuie la o productivitate ridicată a viței-de-vie și a pomilor fructiferi, în special prunul, cireșul, nucul și vișinul.

Conform datelor furnizate de mai mulți cercetători din țară și din România – țară care are regiuni cu condiții climatice similare zonei centrale a Republicii Moldova – podgoriile de viță-de-vie și plantațiile de pomi fructiferi pot genera cantități semnificative de biomasă vegetală, pretabilă pentru a fi folosită ca materie primă în producerea biocombustibililor solizi [18, 67]. Biomasa pomicolă specifică: mere, prune, nuci și vișine. Biomasa provenită din această zonă are o compoziție chimică echilibrată și o densitate energetică medie, fiind potrivită pentru utilizarea în producția de brichete și peleți.

Zona de sud are un climat mai cald, cu veri secetoase și ierni mai blânde. Precipitațiile sunt mai reduse, aproximativ 400-450 mm pe an, dar temperaturile ridicate favorizează maturarea viței-

de-vie și a altor culturi. Climatul cald favorizează creșterea viței-de-vie și a pomilor fructiferi care cer mai multă căldură. În această zonă sunt plantate cca 18 mii de hectare de viță-de-vie, de cca. 2,4 ori față de suprafețele existente în raioanele din centru și nord [18].

1.2.2. Dinamica dezvoltării sectorului pomi-viticol în Republica Moldova

Sectorul pomi-viticol are o importanță strategică în agricultura Republicii Moldova. Cu o tradiție îndelungată în viticultură și pomicultură, țara dispune de condiții climatice favorabile pentru cultivarea viței-de-vie și a diferitelor specii de pomi fructiferi. Acest sector este un pilon esențial al economiei naționale, având un potențial considerabil de creștere și dezvoltare. În ciuda provocărilor, ramurile pomicolă și viticolă continuă să ofere surse importante de venit și locuri de muncă.

În ultimele decenii, sectorul a fost influențat de factori economici, politici și ecologici, care au generat schimbări semnificative concentrate pe modernizarea livezilor și viilor deși suprafața acestora a scăzut semnificativ. Din 1990 până în prezent, a fost observată o scădere generală a suprafeței cultivate, cauzată de privatizarea terenurilor agricole și de migrarea forței de muncă.

În paralel, au fost lansate programe de revitalizare a plantațiilor viticole și pomicole, cu scopul de a stimula investițiile în sector și de a atrage antreprenori locali și străini. Astfel Strategia Națională de Dezvoltare Agricolă și Rurală pentru anii 2023-2030, adoptată prin Hotărârea Guvernului Nr. 56 din 17 februarie 2023, stabilește un cadru esențial pentru dezvoltarea sectorului agricol, cu accent pe ramurile pomicolă și viticolă. Aceasta vizează creșterea competitivității și sustenabilității în fața schimbărilor climatice, aliniind agricultura moldovenească la standardele europene [20].

Politicile economice, inclusiv subvențiile guvernamentale și accesul la fonduri europene, au avut un rol important în sprijinirea sau limitarea extinderii plantațiilor. Cererea de produse proaspete și vinuri moldovenești pe piețele internaționale a contribuit, de asemenea, la interesul pentru cultivarea soiurilor noi de viță-de-vie și a pomilor fructiferi.

În Figura 1.1 se prezintă dinamica suprafețelor totale a plantațiilor pomi-viticole în Republica Moldova, care reflectă interacțiunea dintre tradiție și modernizare, cu o orientare tot mai accentuată către sustenabilitate și calitate. Din figură se poate urmări că începând cu anul 2020 suprafețele plantațiilor pomi-viticole din Republica Moldova sau stabilizat la anumite cote care sunt bazate pe criterii tehnico-economice.

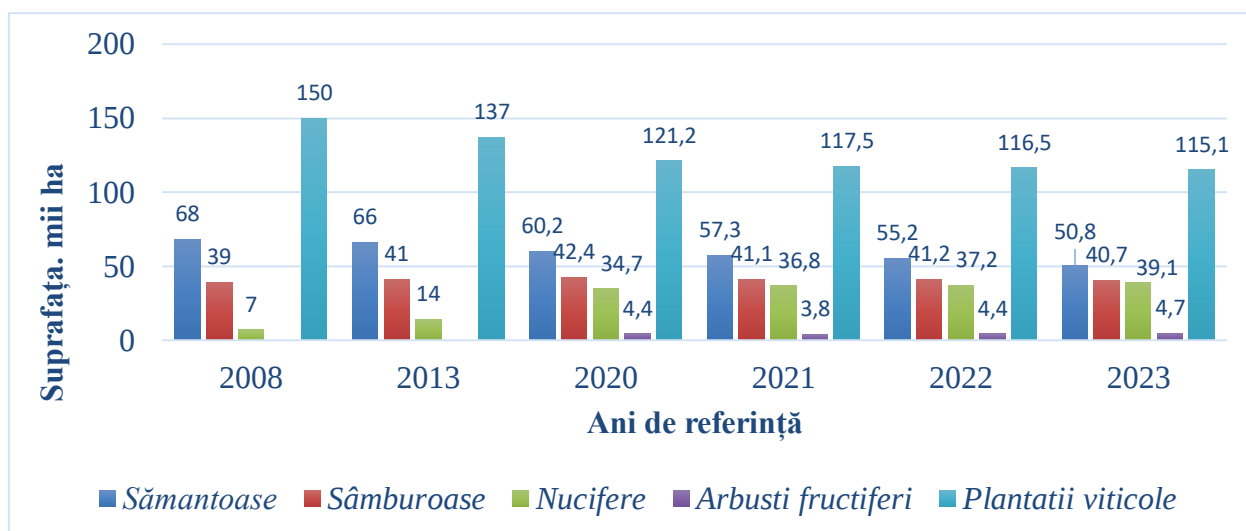


Figura 1.1. Evoluția suprafețelor plantațiilor pomi-viticole în toate categoriile de gospodării din Republica Moldova: Adaptat după [15]

Principalele tipuri de plantații pomi-viticole din Republica Moldova includ vița-de-vie, care, în anul 2023, a ocupat 115,1 mii de hectare, dintre care 97,9 mii ha au fost destinate soiurilor tehnice, iar circa 17,2 mii ha soiurilor de masă. Acestea sunt urmate de pomii fructiferi cu o suprafață totală de 91,5 mii ha, inclusiv 50,8 din grupa sămânțoaselor și 40,7 mii ha din grupa sâmburoaselor. Plantațiile de nuciferi se plasează pe locul 3 cu o suprafață de 39,1 mii ha.

O dinamică pozitivă se urmărește la arbuștii fructiferi. Astfel, în ultimii ani, plantațiile de arbuști fructiferi, inclusiv cătina albă, au cunoscut o creștere semnificativă. Factorii principali care contribuie la această expansiune sunt interesul sporit pentru produse sănătoase, cererea crescută pe piața internă și internațională și susținerea oferită de programele de dezvoltare rurală.

Arbuștii fructiferi, printre care se numără cătina albă, zmeurul, murul și coacăzul, oferă fructe valoroase pentru sănătate datorită conținutului lor ridicat de vitamine, antioxidanți și alte substanțe bioactive. În ultimii ani, consumatorii au devenit mai atenți la beneficiile acestor fructe, orientându-se către produse locale și naturale. În plus, industria farmaceutică, cosmetică și alimentară utilizează tot mai mult cătina albă datorită valorii sale terapeutice [98, 99].

Introducerea tehnologiilor moderne de irigare, fertilizare și protecție fitosanitară a contribuit la creșterea calității și productivității culturilor. De asemenea, mecanizarea și utilizarea dronelor pentru monitorizarea culturilor au fost implementate în unele regiuni pentru a reduce costurile și a optimiza resursele. Aceste tehnologii sunt tot mai accesibile fermierilor, datorită proiectelor de finanțare oferite de Uniunea Europeană și alte organizații internaționale.

Din cele relatate rezultă că dinamica plantațiilor pomi-viticole în Republica Moldova reflectă interacțiunea dintre tradiție și modernizare, cu o orientare tot mai accentuată către sustenabilitate

și calitate. Deși există provocări semnificative, investițiile în tehnologii moderne și deschiderea către noi piețe oferă potențialul de a revitaliza acest sector și de a sprijini economia rurală.

1.2.3. Studii referitoare la disponibilitatea și calitatea biomasei vegetale pomi-viticole din punct de vedere al utilizării în scopuri energetice

Cercetările din domeniu au demonstrat că sectorul pomi-viticol generează o cantitate semnificativă de biomasă reziduală, care poate fi utilizată cu succes în scopuri energetice, în special pentru producerea biocombustibililor solizi densificați [11, 98, 100, 101].

Pentru a menține plantațiile pomicole și viticole într-o stare de producere eficientă sunt necesare diverse operații de întreținere a culturilor respective cum sunt: îngrijirea plantațiilor, prin tăieri de formare, întreținere și fructificare. Aceste operații alături de defrișarea plantațiilor învechite, generează o cantitate semnificativă de biomasă vegetală. Aceasta este evaluată la aproximativ 2 milioane de tone provenite din defrișări și cca. 25 de milioane de tone din tăieri de îngrijire.

În multe cazuri, această biomasă este distrusă în câmp, fie prin ardere, fie prin mărunțire și incorporare în sol, ceea ce reduce beneficiile economice directe și poate avea un impact negativ asupra mediului [102].

Deși există foarte multe studii privind potențialul biomasei vegetale pomi-viticole disponibile, rezultatele variază foarte mult. Tabelul 1.1 prezintă o comparație detaliată a cantității de biomasă generată de diferite soiuri de pomi fructiferi, oferind o imagine clară asupra variabilității potențialului biomasei în funcție de specie, soi și densitatea pomilor pe hectar. În cazul mărului, se observă că soiul cu sistemul „wide central leader” produce cea mai mare cantitate de biomasă per pom, de 8,22 kg, ceea ce indică o dezvoltare individuală robustă a pomilor. Totuși, această valoare ridicată per pom nu se traduce neapărat în cea mai mare producție pe hectar, deoarece densitatea redusă a pomilor (367 pomi/ha) limitează cantitatea totală de biomasă la aproximativ 3020 kg/ha.

Pe de altă parte, un soi de măr cu o densitate mai mare, de peste 2300 pomi/ha, ajunge să producă o cantitate mult mai mare de biomasă pe hectar, până la 6762 kg, deși producția per pom este mai mică, în jur de 2,84 kg. Aceasta evidențiază rolul esențial pe care îl joacă densitatea pomilor în maximizarea producției totale de biomasă la nivel de teren cultivat. La polul opus, soiul Braeburn se remarcă prin cea mai mică producție atât per pom, cât și pe hectar, ceea ce subliniază diferențele importante între soiuri chiar în cadrul aceleiași specii.

Tabelul 1.1. Media biomasei vegetale pomicole prezentată de diferiți autori

Origine biomasă	Număr pomi/ha	Cantitatea de biomasă generată		Sursă
		kg/pom	kg/ha	
Măr	1200		3500	DYJAKON, Arkadiusz et al. [103]
Măr	2375	2,34	5557	BILANDZIJA, Nikola et al. [104]
Măr	-	-	2500	GRELLA, Marco et al. [105]
Măr			2400	DI BLASI, Colomba et al. [106]
Măr Idared	2190	1,42	3110	ŽIVKOVIĆ, Milovan et al. [101]
Măr Jonagold	2190	1,59	3482	ACAMPORA, Andrea et al. [107]
Măr (wide central leader)	367	8,22	3020	JUHOS, Katalin et al. [108]
Măr (central leader)	888	3,69	3280	
Măr (dwarfing central leader)	2222	1,41	3150	
Măr	2381	2,84	6762	BURG, Patrik et al. [109]
Măr Braeburn	2100	1,0	2100	ASLANI, Leila et al. [110]
Măr mix 1	2500	1,5	2500	
Măr mix 2	2100	0,5	2100	
Pară	2375	2,45	5818	BILANDZIJA, Nikola et al. [104]
Pară			2000	DI BLASI, Colomba et al. [106]
Pară Summerset	500	4,85	2425	ŽIVKOVIĆ, Milovan et al. [101]
Pară Cresthaven	500	6,43	3215	
Pară Redhaven	500	9,36	4680	
Pară wide central leader	416	9,08	3780	DE FRANCHI, Massimo et al. [111]
Pară central leader	476	6,44	3070	
Pară	2083	2,69	5603	BURG, Patrik et al. [109]
Pară Talgar beauty	2380	0,6 uscată		ASLANI, Leila et al. [110]
Pară Sweet Lucy	2380	0,8 uscată		
Pară Cepuna	2380	0,7 uscată		
Pară Conference	2380	0,7 uscată		
Pară Xenia	2380	0,7 uscată		
Pară Mix 1	2050	1,0 uscată		

În cazul părului, situația este similară. Soiul Redhaven iese în evidență prin cea mai mare cantitate de biomasă per pom, de 9,36 kg, și o producție totală ridicată pe hectar, de 4680 kg. Alte soiuri, precum Talgar Beauty sau Sweet Lucy, au o producție mult mai mică, situată în jurul valorii de 0,6-0,8 kg per pom, însă aceste valori se referă la biomasa uscată. Această variație arată că potențialul biomasei diferă semnificativ în funcție de soi, iar alegerea acestuia influențează în mod direct cantitatea totală de biomasă obținută.

Per ansamblu, datele din tabel subliniază faptul că atât cantitatea de biomasă per pom, cât și densitatea pomilor la hectar reprezintă factori-cheie pentru estimarea potențialului total de biomasă în culturile pomicole. Producția medie de masă lemnoasă variază între 1,5 și 6,8 tone pe hectar, în funcție de combinația acestor factori. Aceste informații sunt esențiale pentru planificarea și optimizarea valorificării biomasei în scopuri energetice.

Astfel, producția medie de masă lemnoasă pentru speciile individuale de pomi fructiferi și viță-de-vie variază între 1.540 kg/ha și 6.762 kg/ha, adică între 1,5 t/ha și 6,8 t/ha [109].

1.3. Generalități referitoare la calitatea biocombustibililor solizi densificați luând în considerare familia de standarde SM EN ISO 17225

Asigurarea unei calități superioare a biocombustibililor solizi densificați reprezintă un element-cheie pentru dezvoltarea sustenabilă a pieței de peleți și brichete din biomasă vegetală [112]. Acești combustibili sunt fabricați dintr-o gamă variată de materiale vegetale, cu proprietăți fizico-chimice diferite. În plus, procesele de producție și manipulare influențează semnificativ calitatea finală, ceea ce determină un caracter eterogen al biocombustibililor solizi [8]. Această variabilitate trebuie luată în considerare, mai ales în cadrul contractelor din lanțurile valorice ale biocombustibililor solizi, deoarece caracteristicile combustibilului influențează direct valoarea sa economică. În acest context, dezvoltarea și implementarea standardelor europene de calitate pentru biocombustibili solizi au ca scop stimularea participării operatorilor economici în această industrie și consolidarea încrederii pe piață [113].

Calitatea biocombustibililor solizi densificați este definită de un set de proprietăți fizico-chimice care influențează comportamentul lor în timpul utilizării. Cele mai importante caracteristici sunt: valoarea calorifică, conținutul de umiditate, conținutul de cenușă, densitatea și compoziția chimică [47, 114]. Factorii care influențează performanța biocombustibililor solizi densificați se referă la: compoziția chimică și proprietățile fizice ale biomasei utilizate; parametrii de proces a tehnologiilor de uscare, măcinare, compactare și condiționare; respectarea standardelor internaționale [115].

Calitatea biocombustibililor solizi este reglementată de familia de standarde SM EN ISO 17225. Aceste standarde stabilesc criterii specifice pentru fiecare tip de biocombustibil, asigurând compatibilitatea cu echipamentele de ardere și oferă un cadru clar referitor la cerințele de calitate pentru diferite domenii de utilizare.

Aplicarea standardelor SM EN ISO 17225 este esențială pentru asigurarea unui lanț de producție sustenabil și eficient, având beneficii economice, sociale și ecologice semnificative. Respectarea acestor standarde oferă oportunități importante pentru toate părțile implicate în producția și utilizarea combustibililor densificați [116].

Implementarea oferă producătorilor oportunitatea de a accesa piețele Uniunii Europene, facilitează extinderea bazei de clienți, participarea la licitații internaționale și consolidarea poziției competitive pe piețele interne și externe. Totodată, respectarea cerințelor prevăzute permite

producătorilor să ofere produse cu valoare adăugată, să utilizeze mai eficient resursele de biomasă disponibile și să reducă pierderile cauzate de reclamații sau produse neconforme.

Alinierea la standardele internaționale generează multiple beneficii, nu doar pentru producători, ci și pentru utilizatorii finali. Aceștia se bucură de acces la produse de calitate superioară, care asigură: o eficiență energetică sporită, creșterea fiabilității echipamentelor (inclusiv a termocentralelor), reducerea costurilor de mentenanță, protecția mediului prin reducerea emisiilor poluante [117].

Mai mult, implementarea standardelor stimulează activitățile economice în zonele rurale, contribuind la crearea de locuri de muncă și la dezvoltarea comunităților. În același timp, consumatorii casnici și industriali beneficiază de o mai mare încredere în produsele achiziționate, garantată de marcajul standardului ISO, recunoscut internațional.

În Tabelul 1.2 sunt detaliate cerințele privind calitatea brichetelor și peleților obținuți din biomasă vegetală. Aceste cerințe vor servi drept reper pentru compararea soluțiilor propuse în cadrul prezentului studiu, care vizează întreg lanțul valoric al asigurării calității biocombustibililor solizi produși din reziduuri pomi-viticole.

Standardul pune accent pe importanța originii biomasei folosite pentru producerea biocombustibililor solizi. Acesta recunoaște diverse tipuri de materii prime vegetale, inclusiv cele de proveniență acvatică. În condițiile Republicii Moldova biomasa folosită în producerea biocombustibililor solizi este reglementată de Regulamentul biocombustibililor solizi și include: produse din activitatea agricolă și silvică; reziduuri vegetale agricole și forestiere; c) reziduuri vegetale provenite din industria alimentară; d) reziduuri de lemn; e) reziduuri vegetale fibroase rezultate din producția de celuloză pură și din producția de hârtie obținută din celuloză, dacă sunt concentrate la locul de producere și dacă este valorificată căldura produsă; reziduuri de plută și biocombustibilului care provine din biomasă acvatică [118].

În ceea ce privește identificarea biocombustibililor, familia de standarde SM EN ISO 17225 stabilește cerințe pentru biocombustibili solizi densificați din biomasă lemnoasă (Partea 2 și Partea 3) și pentru cei densificați din biomasă vegetală non-lemnoasă și din blenduri și mixturi (Partea 6 și Partea 7).

Fiecare grup de biocombustibili are clase specifice de calitate (de exemplu, A1, A2 și B pentru peletele lemnoase). Totuși, unele tipuri de biomasă care nu respectă cerințele incluse în SM EN ISO17225-1, de exemplu, o parte din cele incluse în Regulamentul biocombustibililor solizi [118] pot să nu respecte cerințele pentru biocombustibili de calitate medie sau înaltă. Pentru această situație pot fi folosite cerințele expuse în standardele SM EN ISO 17225 - 6 și 7.

Tabelul 1.2. Clasificarea brichetelor și peleților din biomasă vegetală pe categorii de calitate conform SM EN ISO 17225

Clasa de calitate	Originea și sursa materiei prime	Diametru, mm	Lungimea, mm	Valoarea calorică netă la recepție, MJ/kg	Umiditate, % masic în bază umidă la recepție	Cenușa, % masic în bază uscată	Fracția fină, % masic la recepție	Rezistența mecanică, % masic la recepție	Densitatea în vrac, kg/m ³ la recepție	Densitatea particulelor, g/cm ³ la recepție	Aditivi, % masic la recepție	Azot, % masic la recepție	Sulf, % masic la recepție	Clor, % masic la recepție
Peleți din lemn pentru uz rezidențial și comerț (conform SM EN ISO 17225-2: 2021)														
A1	Trunchiuri fără coajă; Reziduuri lemnoase netratate chimic	6±1; 8±1	3,15 ≤ L ≤ 40	≥ 16,5	≤ 10	≤ 0,7	≤ 1	≥ 98,0 ¹⁾ ≥ 97,5 ²⁾	600 ≤ BD ≤ 750		≤ 2	≤ 0,3	≤ 0,04	≤ 0,02
A2	Copaci fără rădăcini; Trunchiuri fără coajă; Deșeuri din exploatații forestiere; Reziduuri lemnoase netratate chimic	6±1; 8±1	3,15 ≤ L ≤ 40	≥ 16,5	≤ 10	≤ 1,2	≤ 1	≥ 97,5	600 ≤ BD ≤ 750		≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,04	≤ 0,02
B	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Produse secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului; Lemn folosit netratat chimic	6±1; 8±1	3,15 ≤ L ≤ 40	≥ 16,5	≤ 10	≤ 2,0	≤ 1	≥ 96,5	600 ≤ BD ≤ 750		≤ 2	≤ 1	≤ 0,05	≤ 0,03
Peleți din lemn pentru uz industrial (conform SM EN ISO 17225-2: 2021)														
I1	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Reziduuri lemnoase netratate chimic	6±1; 8±1	3,15 ≤ L ≤ 40	≥ 16,5	≤ 10	≤ 1	≤ 4	97,5 ≤ DU ≤ 99	≥ 600		≤ 3	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,03
I2	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Reziduuri lemnoase netratate chimic	6±1; 8±1; 10±1	3,15 ≤ L ≤ 40	≥ 16,5	≤ 10	≤ 1,5	≤ 5	97, ≤ DU ≤ 99	≥ 600		≤ 3	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,05

I3	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Produse secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului; Lemn folosit netratat chimic	6±1; 8±1; 10±1; 12±1	3,15≤L≤40	≥16,5	≤10	≤3	≤6	97,5≤DU≤99	≥ 600		≤3	≤0,6	≤0,05	≤0,10
Brichete din lemn (conform SM EN ISO 17225-3: 2021)														
A1	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Reziduuri lemnoase netratate chimic			≥15,5	≤12	≤1				≥1		≤0,3	≤0,04	≤0,02
A2	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Reziduuri lemnoase netratate chimic			≥14,4	≤15	≤3				≥0,9		≤0,7	≤0,04	≤0,03
B	Păduri, plantații și lemn neprelucrat; Produse și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului; Lemn netratat chimic			≥14,4	≤15	≤5				≥0,9		≤1,0	≤0,05	≤0,05
Peleți din biomasă non-lemnoasă, blenduri și mixturi de biomasă (conform SM EN ISO 17225-6: 2021)														
A	Biomasă ierboasă; biomasă de fructe; biomasă acvatică și blenduri și mixturi	de la 6 până la 25, D±1	3,15≤L≤40 ³⁾ ; 3,15≤L≤50 ⁴⁾	≥14,5	≤12	≤6	≤2	≥ 97,5	≥600			≤1,5	≤0,2	≤0,1
B	Biomasă ierboasă; biomasă de fructe; biomasă acvatică și blenduri și mixturi	de la 6 până la 25, D±1	3,15≤L≤40 ³⁾ ; 3,15≤L≤50 ⁴⁾	≥14,5	≤15	≤10	≤3	≥ 96	≥600			≤2,0	≤0,3	≤0,4
Brichete din biomasă non-lemnoasă blenduri și mixturi de biomasă (conform SM EN ISO 17225-7: 2021)														
A1	Biomasă ierboasă;			≥14,5	≤12	≤3				≥0,9		≤1,5	≤2	≤0,1
A2	biomasă de fructe; biomasă acvatică și blenduri și mixturi			≥14,5	≤12	≤6				≥0,9		≤1,5	≤2	≤0,2
B				≥14,5	≤15	≤10				≥0,6		≤2,0	≤3	≤0,3
1) – pentru peleții cu D=6 mm; 2)– pentru peleții cu D=8 mm; 3)- pentru peleți cu diametrul până la 25 mm; 3)- pentru peleții cu diametrul până la 25 mm														

Standardele SM EN ISO 17225-6 și SM EN ISO 17225-7 au scopul de a standardiza și valorifica biocombustibilii solizi obținuți din biomasă vegetală considerată de calitate inferioară în comparație cu cea lemnoasă. Aceste standarde deschid noi oportunități de piață, ajutând operatorii să evalueze performanțele în centralele termice, să atribuie o valoare adecvată materiei prime și să evite probleme tehnice sau de mediu [114, 119]. Această abordare este deosebit de importantă în condițiile Republicii Moldova, întrucât o mare parte din biomasa vegetală disponibilă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați provine din reziduuri generate de diverse activități agricole.

Scopul acestui capitol este de a evalua calitatea și potențialul biomasei pomi-viticole indigene disponibile pentru producerea biocombustibililor solizi.

1.4. Practici în valorificarea reziduurilor pomicole și viticole pentru producerea biocombustibililor și unele particularități ale acestora

1.4.1. Reziduuri vegetale generate de plantațiile pomicole

Dintre reziduurile agricole, cele provenite din pomicultură prezintă caracteristici energetice promițătoare, fiind potrivite pentru fabricarea directă a peleților și brichetelor, datorită proprietăților energetice favorabile [11, 17, 120].

Biomasa pomicolă se referă la totalitatea materialelor organice obținute din pomii fructiferi, incluzând resturi rezultate din tăierile de formare și întreținere, tăierile anuale de rodire, rădirea pomilor, tăierea crengilor uscate sau bolnave, defrișarea pomilor ajunși la sfârșitul ciclului productiv, precum și curățarea și îngrijirea solului [110]. Aceasta cuprinde lemnul, ramurile și crengile, frunzele și coaja, dar și alte resturi provenite din industria procesării fructelor.

Utilizarea acestor materiale ca materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați, precum peleții și brichetele, reprezintă o soluție durabilă pentru valorificarea reziduurilor din sectorul agricol și pentru eficientizarea sectorului pomicol în ansamblu [12].

Republica Moldova, având o suprafață considerabilă ocupată de plantații pomicole, dispune de un potențial semnificativ pentru valorificarea reziduurilor vegetale ca sursă de energie regenerabilă. În acest context, este esențială cunoașterea disponibilității acestor surse, atât din punct de vedere cantitativ, cât și calitativ. Acest aspect este cu atât mai relevant cu cât, conform unor studii [54, 121], caracteristicile fizice și mecanice ale biomasei provenite din plantațiile pomicole nu asigură întotdeauna calitatea solicitată de utilizatorii finali.

1.4.2. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de nuciferi

Pomii fructiferi din grupa nuciferilor ocupă un loc important în agricultura Republicii Moldova, datorită valorii lor nutritive și comerciale. Nuciferele sunt foarte apreciate pe piața internațională, oferind prețuri competitive, ceea ce încurajează producătorii locali să extindă suprafețele cultivate [122].

În Republica Moldova, cei mai importanți pomi fructiferi din această categorie sunt nucul (*Juglans regia* L.), alunul (*Corylus avellana* L.) și, într-o măsură mai redusă, migdalul (*Prunus dulcis*). Suprafețele plantațiilor de nuciferi au cunoscut o creștere semnificativă în ultimii ani, ajungând la 39,1 mii hectare în total, dintre care 26,8 mii hectare sunt plantații pe rod [15]. Cea mai mare parte a acestor suprafețe este ocupată de nuc, care în 2023 însuma 37,6 mii hectare. Alunul, deși cultivat pe o suprafață de aproximativ 1,5 mii hectare, are perspective de extindere în viitor.

Nucile sunt cele mai consumate fructe uscate la nivel mondial fiind considerate un arbore important din punct de vedere economic și ecologic, având diverse aplicații în domenii medicale, nutriționale, agricole și industriale [123]. Este originar din regiunile lumii vechi, fiind cultivat în Europa încă din anul 1000 î.Hr. Zona sa de origine cuprinde o regiune extinsă, de la Balcani până la lanțul Himalaya de Vest [124]. Specia este bine adaptată climatului temperat-continental, având numeroase calități valoroase, printre care beneficiile pentru sănătatea umană, utilizarea în industria mobilei și rolul său important ca arbore forestier pentru prevenirea și combaterea eroziunii solului [125].

Astăzi, nucul este cultivat comercial în diverse regiuni ale lumii, inclusiv în Africa de Nord, Asia de Est, SUA, vestul Americii de Sud și în toată Europa de Sud, cu precădere în țări precum România și Republica Moldova [126].

În Republica Moldova, livezile de nuc includ atât soiuri tradiționale autohtone, cum ar fi *Pescianski*, *Cazacu* și *Călărași*, cât și soiuri de import. Plantațiile moderne sunt dominate de soiuri franceze precum *Fernor* și *Franquette*, americane ca *Chandler*, sau soiuri obținute la pepiniera Voinești, cum ar fi *Carpatica* și *Ovata*. Toate aceste varietăți sunt incluse în *Catalogul Soiurilor de Plante al Republicii Moldova* și sunt autorizate pentru cultivare în cadrul complexului agroalimentar național [127].

Reziduurile din producția de nucifere sunt valorificate, într-o anumită măsură, pentru obținerea biomasei, utilizată ulterior în producerea biocombustibililor. De exemplu, în gospodăriile rurale, nucul era un arbore des întâlnit, iar producția se axa, în principal, pe recoltarea miezului de nucă, partea comestibilă a fructului. Acesta constituia între 20% și 60,3% din greutatea

totală, cu o medie de 42,70% [128]. Cojile rezultate din procesarea miezului erau disponibile în cantități mari și erau utilizate, în mod tradițional, pentru încălzirea sobelor. Datorită valorii lor calorice ridicate, acestea constituiau o soluție practică și economică pentru gospodăriile individuale.

O aplicație inovatoare a cojilor de nucă, dincolo de utilizarea lor tradițională pentru ardere, constă în utilizarea acestora ca substrat în procesul de fermentare acetică pentru producerea oțetului de vin alb. Această metodă, specifică industriei alimentare, presupune spălarea și uscarea cojilor la o temperatură controlată pentru inocularea bacteriilor acetice. Această abordare evidențiază potențialul cojilor de nucă în procese sustenabile, valorificându-le ca material biologic activ pentru producerea unui produs alimentar de calitate [129].

Longevitatea de 200-300 de ani ai nucului permite obținerea unui flux continuu de biomasă fără necesitatea replantării frecvente [128].

Alunul este originar din Europa și Asia Mică. Este cultivat pentru alunele sale, utilizate atât în consumul direct, cât și în industria alimentară. Este bogat în minerale și vitamine, care oferă beneficii tonifiante, energetice și digestive, fiind o sursă valoroasă de nutrienți esențiali [130]. Principalele soiuri cultivate în Moldova sunt: *Tonda Gentile, Fertile de Coutard (Barcelona), Nocchione; Tonda Francescana (B)*. Aceste soiuri se dezvoltă bine în zonele cu precipitații moderate, posedă sistem radicular superficial, este sensibil la secetă.

Alunul poate fi cultivat fie cu un singur trunchi, fie cu mai multe, în funcție de preferințele și obiectivele cultivatorilor. Forma cu un singur trunchi facilitează recoltarea mecanică și asigură o expunere optimă la lumină, în timp ce forma cu mai multe trunchiuri permite regenerarea treptată prin înlocuirea lăstarilor vechi cu alții noi. Un arbust de alun produce aproximativ 3-7 kg de masă verde. Conform analizei proprii și studiului [107], cantitatea medie de biomasă tăiată per plantă este de 4,17 kg substanță proaspătă, evidențiind un potențial ridicat pentru utilizarea ca sursă sustenabilă de biomasă. Această cantitate rezultă, în principal, din tăierea periodică a ramurilor și lăstarilor în timpul lucrărilor de îngrijire și întreținere a plantației, precum și din materialele reziduale obținute în urma procesului de recoltare a nuciferelor.

Migdalul provine din regiunile aride ale Orientului Mijlociu și Asiei Centrale, fiind răspândit spontan pe litoralul mării Mediterane, în China și India [131]. În ultimul timp au fost adaptate câteva soiuri, în special, pentru zona de sud a Republicii Moldova. Printre aceste se regăsesc soiurile: *Meteor, Victoria, Alb Moldovenesc, Hramov Standart și Pervenet Hramova* (soiuri comercializate de SRL Dumbrava Veche); *Tuono* (soi italian, cu înflorire târzie, rezistent la înghețuri târzii); *Nonpareil* (soi californian, cu migdale mari și gust dulce); *Nocchione* (soi italian

cu fructe medii, productivitate ridicată); *Tonda di Giffoni* (soi italian, este rezistent la frig unde temperatura medie anuală este 10,5 – 11°C).

Plantele de Migdal pot fi formate sub formă de copac sau gestionate ca un tufiș uriaș. În rezultatul tăierii și procesării migdalului se obține o cantitate însemnată de materie primă cu potențial de utilizare la producerea biocombustibililor solizi densificați.

La migdale, raportul dintre miezul comestibil și întreaga nucleă, inclusiv coaja și învelișul exterior, poate varia în funcție de soi și condițiile de creștere, reprezentând aproximativ 20-40% [132].

Nuciferele au mai multe trăsături comune, fiind plante lemnoase care produc fructe cu coajă lemnoasă și dură, ce le conferă o perioadă lungă de păstrare și protecție împotriva factorilor externi. În acest context, un studiu privind utilizarea biomasei rezultate din tăierea diferitelor specii de pomi fructiferi din plantațiile intensive din Croația relevă că alunul produce cea mai mare cantitate de reziduuri din categoria nuciferelor, cu 1848 kg/ha, urmat de migdal, cu 1627 kg/ha, iar nucul generează doar 538,5 kg/ha [104]. Același autor menționează că, deși migdalul are o densitate mai mică de plantare, acesta oferă cea mai mare cantitate de biomasă per arbore de 5,81 kg, făcându-l astfel o opțiune atractivă pentru utilizarea reziduurilor sale în producerea energiei termice.

Paralel cu reziduurile de la tăierile de formare și îngrijire a pomilor, nuciferele generează o cantitate însemnată de biomasă în formă de endocarp (coajă tare, lemnoasă, care protejează sămânța). În literatura de specialitate, au fost raportate mai multe modalități prin care aceste reziduuri pot fi transformate într-o sursă de energie. De exemplu, studiile arată că prin peletizarea cojilor de migdale se obțin combustibili cu o putere calorică bună, care pot fi utilizați în centrale termice sau pentru producția de energie electrică [133], iar în industrie pentru prepararea cărbunelui activ, a pietrei de șlefuit și pentru amestecuri fine de linoleum [128].

Cantitatea de biomasă obținută din tăierea nuciferilor și a endocarpurilor de nucifere este influențată de o serie de factori biologici, tehnologici și de mediu. Aceștia pot fi grupați astfel [104, 134, 135]:

1. Factori biologici:

- Specia și varietatea nuciferilor (diferite specii și varietăți au rate diferite de creștere, dimensiuni ale trunchiului, ramurilor și producție de coji);
- Vârsta pomilor (pomii tineri au o producție mai mică de biomasă decât cei maturi, care au dezvoltat deja o structură complexă de ramuri);
- Productivitatea culturii (producția de nuci este direct legată de cantitatea de coji generate - o producție mai mare de nuci implică mai multe coji);

- Starea de sănătate a pomilor (boli, dăunători sau stresul abiotic (secetă, îngheț) pot reduce biomasa disponibilă din cauza unei creșteri încetinite sau a uscării ramurilor).

2. Factori tehnologici:

- Metodele de tăiere (tehnicele utilizate pentru tăierea pomilor influențează cantitatea de biomasă recuperată, se exemplu, tăierile de întreținere produc mai puțin material decât cele de regenerare sau defrișare). Există trei tipuri principale de tăiere a nuciferilor: tăierea formativă, conservatoare și de întinerire [136] care sunt specifice pentru fiecare grup de nucifere și care rezultă cantități diferite de biomasă reziduală;
- Recuperarea materialului (uneori, nu toată biomasa este colectată, iar o parte din ramuri sau resturi pot rămâne pe câmp);
- Utilajele folosite (utilajele performante permit o tăiere eficientă și colectarea unei cantități mai mari de biomasă).

3. Factori de mediu:

- Condițiile climatice (regiunile cu precipitații și temperaturi optime favorizează creșterea rapidă a nuciferilor, ceea ce duce la o producție mai mare de biomasă);
- Tipul de sol (solurile fertile, bine drenate și bogate în nutrienți contribuie la o dezvoltare mai rapidă și mai viguroasă a pomilor);
- Frecvența fenomenelor extreme (furtunile, înghețurile sau seceta pot afecta creșterea pomilor și, implicit, cantitatea de biomasă disponibilă).

4. Factori economici și de gestionare:

- Practicile de întreținere a livezilor (îngrășămintele, irigațiile și protecția fitosanitară contribuie la o creștere optimă a nuciferilor);
- Scopul tăierilor (tăierile pot fi efectuate pentru obținerea biomasei sau pentru alte obiective, cum ar fi îmbunătățirea sănătății pomilor sau a productivității culturii);
- Potențialul de valorificare economică (cererea pentru biomasă sub formă de ramuri, lemn sau coji influențează cât de mult material este colectat și utilizat).

5. Factori legați de coaja de nucă:

- Dimensiunea și grosimea cojii (speciile de nuci cu coji mai groase produc mai multă biomasă în raport cu cele cu coji subțiri);
- Eficiența procesării (metodele utilizate pentru desfacerea nucilor și separarea cojilor influențează cantitatea recuperată).

În acest studiu, potențialul de biomasă a fost evaluat pe baza probelor reprezentative prelevate din localitățile descrise în secțiunea 2.1.1. Rezultatele obținute în cadrul acestui studiu

sunt prezentate în Tabelul 2.7. Pentru a reflecta cât mai bine condițiile practice, având în vedere că, la colectarea biomasei utilizate ca materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați, nu se practică sortarea pe soiuri sau chiar specii, s-au determinat valorile medii pentru diferite grupe de nucifere, calculându-se dispersia și intervalul de încredere.

1.4.3. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de arbuști fructiferi

Cultivarea arbuștilor fructiferi reprezintă o ramură importantă a agriculturii, având un rol semnificativ în diversificarea producției agricole și în asigurarea unui venit suplimentar pentru fermieri [137]. Datorită locației sale geografice și caracteristicilor morfologice, în special ale zonelor de Nord și Centru ale țării, Republica Moldova cunoaște o creștere a suprafețelor cultivate cu arbuști fructiferi, de la 698 ha în anul 2021 la 908 ha în anul 2023 [15].

Principalele specii de arbuști fructiferi cultivate în Republica Moldova sunt: zmeurul (*Rubus idaeus* L.), coacăzul (*Ribes spp.*), agrișului (*Ribes Grossularia* L.), murul (*Ribes fruticosus* L.) și cătina albă (*Hippophae rhamnoides*). Pe lângă aceste culturi, în Republica Moldova se mai întâlnesc astfel de specii ca măceșul (*Rosa canina*) și porumbarul (*Prunus spinosa*) care prezintă interes din punct de vedere al folosirii biomasei generate de aceștia în scopuri energetice.

Zmeurul este un arbust fructifer apreciat, în special pentru fructele sale gustoase, care se remarcă prin calități valoroase de producție, precum și prin proprietăți biologice, nutriționale și fitoterapeutice curative [138]. Este folosit pe larg pentru consum proaspăt, fabricarea sucurilor, gemurilor, dulcețurilor, siropurilor, deserturi și produse de patiserie și în industria farmaceutică. Aparține familiei *Rozaceae*, este un arbust peren tufos cu lăstari târâtoare, se înmulțește ușor, intră rapid pe rod și rezultă o cantitate destul de mare de biomasă în fiecare an [99, 139]. Cultivarea zmeurului în zonele rurale asigură sustenabilitatea zonei [140] și contribuie la economia circulară [40], care în cazul zmeurului este asigurată de utilizarea continuă a resurselor, inclusiv a reziduurilor.

Cercetările efectuate de către [141] au demonstrat că, pe lângă randamentul agricol, cultivarea zmeurului poate fi influențată și de randamentul energetic obținut din biomasă sub formă de lăstari, care poate servi drept sursă suplimentară de energie.

Coacăzul este o cultură care intră repede în rod, face parte din genul familia *Ribes*, familia *Grossulariaceae*. Fructul în formă de boabe sunt consumate proaspăt sau uscate fiind folosite în diverse gemuri și jeleuri [142].

În Republica Moldova, coacăzul este cultivat atât comercial, cât și de grădinari. Se întâlnesc cinci specii de coacăz: Coacăzul negru (*Ribes nigrum*), Coacăzul roșu (*Ribes rubrum*), Coacăzul alb (*Ribes rubrum var. alba*) și Coacăzul auriu (*Ribes aureum*). În Republica Moldova, la fel ca în

majoritatea țărilor europene, coacăzul negru este mai răspândit datorită conținutului său scăzut de calorii și bogăției în vitamina C [143, 144].

Agrișul este un arbust lemnos de dimensiuni medii, care crește până la 1,5 m. Prelucrarea fructelor generează aproximativ 20–30% subproduse, astfel încât cantități enorme de tescovină de coacăze negre rămân la sfârșitul proceselor de transformare industrială și constituie un deșeu de fabricație.

Murul este un arbust peren foios, țepos, din familia Rosaceae. Se întinde sau crește aproape vertical, cu tulpini arcuite și încâlcite, ajungând până la 3 m înălțime, cu o rată de creștere rapidă. Fructele și plantele sunt considerate ca având diverse efecte benefice asupra sănătății și proprietăți de stimulare a imunității [145], are multiple utilizări medicinale, fiind un remediu natural valoros pentru afecțiuni ale sistemului digestiv și respirator. Frunzele, fructele, sucul și extractele sale sunt folosite pentru tratarea diareei, durerilor de gât, aftelor, anemiei, problemelor respiratorii și infecțiilor pielii. Datorită proprietăților astringente, cicatrizante, antiseptice și antiinflamatoare, planta este utilizată atât intern, cât și extern, fiind un remediu tradițional eficient [146]. În țară, soiurile de mur apreciate și cultivate sunt Thornfree CL, Arapaho și Triple Crown. Murele pot fi consumate proaspete pentru conținutul ridicat de vitamine și substanțe minerale, precum magneziu, sodiu, fier, calciu, potasiu, vitaminele A, D și C.

Cătina albă este un arbust foarte ramificat și spinos. Planta crește până la 2–5 m, fructifică 20-25 ani și lăstărește în fiecare an foarte puternic. Fructele sunt o sursă importantă de compuși bioactivi precum antioxidanți, acizi grași, aminoacizi și minerale, concentrații mari de vitamina C și alți compuși bioactivi, a devenit una dintre cele mai importante specii economice de arbuști, cu un larg domeniu de utilizare [98, 147].

Primele cercetări referitoare la cultivarea cătinii albe, la noi în țară sub conducerea academicianului Gheorghe Cimpoieș în cadrul Universității Agrare de Stat a Moldovei [148], și se realizează, în continuare, în cadrul Universității Tehnice a Moldovei sub conducerea conf. univ. Popa Sergiu [98]. Cercetări cu privire la valorificarea reziduurilor de cătină albă au fost inițiate în deceniul trecut, în cadrul LȘBCS, și se refereau, în special, la caracteristicile reziduurilor în formă de ramuri de 1, 2 și 3 ani generate de soiul Cora [149], fiind dezvoltate ulterior într-un șir de studii cu participare autorului acestei lucrări pentru soiurile Mara, Cora, Leiorea și Seirola [150, 151]. În continuare s-au studiat aspecte ce țin de folosirea reziduurilor de cătină albă în formarea diferitor amestecuri de materie primă pentru producerea peleților și brichetelor [152].

În țara noastră, suprafața plantațiilor de cătină albă depășește 350 ha [98]. În prezent, sunt omologate mai multe soiuri de cătină albă, printre care Andros, Cora, Clara și Mara.

Măceșul (familia *Rosaceae*) este un arbust peren și spinos, care crește spontan în pajiști, liziere și terenuri necultivate. Rezistent la secetă și îngheț, preferă solurile sărace, nisipoase sau calcaroase. Deși este o specie sălbatică, se cultivă pentru fructele sale bogate în vitamina C. Se înmulțește ușor și poate deveni invaziv.

Fructele sunt utilizate în industria alimentară (ceaiuri, gemuri, suplimente), iar frunzele și florile în ceaiuri medicinale datorită efectelor antioxidante. Tulpinile și ramurile pot fi valorificate pentru producerea de brichete și peleți.

Porumbarul este un arbust de talie mică spre medie, cu ramuri spinoase și frunze căzătoare, din familia *Rosaceae*. Crește spontan, preferând solurile calcaroase, marginile pădurilor, pajiștile și terenurile necultivate. Este o specie rezistentă, adaptată la condițiile climatice dure, inclusiv la îngheț. Este rar cultivat în mod intenționat, dar este apreciat pentru fructele sale. Are o capacitate ridicată de regenerare prin lăstari și poate deveni invaziv pe pășuni sau terenuri abandonate.

Fructele de porumbar se folosesc în prepararea gemurilor, lichiorurilor (ex. sloe gin), vinurilor și oțeturilor aromatizate. Frunzele și scoarța sunt folosite în medicina tradițională pentru proprietățile astringente și digestive.

Lemnul de porumbar este folosit în mediul rural ca lemne de foc datorită puterii de ardere ridicată. Are perspective bune de a fi folosit în calitate de materie primă individuală sau ca amestec de biomasă la producerea biocombustibililor solizi densificați.

Deși utilizarea reziduurilor vegetale provenite de la arbuștii fructiferi prezintă un interes semnificativ în domeniul energiilor regenerabile din biomasă [153], acest subiect nu este suficient de bine studiat, în special în ceea ce privește potențialul existent de biomasă și caracteristicile calitative ale biomasei generate de diferite specii de arbuști fructiferi.

În ceea ce privește Republica Moldova, acest subiect a fost abordat într-o anumită măsură doar în cazul biomasei rezultate din cultivarea cătinii albe [149, 150].

În acest context, aspectele menționate constituie un domeniu important de cercetare, având în vedere interesul tot mai mare al producătorilor de biocombustibili pentru diversificarea surselor de materie primă și obținerea unor produse finale care să îndeplinească cerințele din ce în ce mai exigente ale beneficiarilor.

Având în vedere situația descrisă anterior putem conchide că cercetările referitoare la estimarea disponibilității biomasei generată de arbuștii fructiferi prezintă atât interes științific, cât și economic.

1.4.4. Reziduuri vegetale provenite din plantațiile de viță-de-vie

Republica Moldova, cu tradiție în producția de struguri și vin, generează anual reziduuri vitivinicole semnificative (tescovină, tulpini, coarde, drojdii). Valorificarea lor reduce impactul asupra mediului și sprijină economia circulară [10, 36].

Economia circulară presupune utilizarea eficientă a resurselor prin re folosire, reciclare și valorificare, reducând astfel generarea de deșeuri și dependența de resursele naturale primare [8]. Industria vitivinicolă din Republica Moldova poate integra acest model prin optimizarea fluxului de producție și reintroducerea reziduurilor în circuitul economic [18].

Deși există numeroase oportunități pentru integrarea lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi în industria vitivinicolă din Republica Moldova, implementarea acestuia într-o economie circulară întâmpină anumite provocări. Principalele dificultăți sunt legate de cunoașterea exactă a potențialului real al resurselor de biomasă generate de acest sector și de evaluarea oportunităților de utilizare a acestora în producerea de biocombustibili solizi.

1.5. Concluzii sintetice la capitolul 1

1. Analizând în detaliu literatura de specialitate privind producția de biocombustibili solizi din biomasă, cu accent pe reziduurile pomi-viticole, și comparând datele existente cu rezultatele obținute în LȘBCS, la care am participat, s-a subliniat importanța optimizării întregului lanț de aprovizionare pentru a sprijini tranziția către o economie circulară, precum și principalele direcții de îmbunătățire a acestuia.

2. Pe baza analizei datelor statistice din ultimii ani, a literaturii recente și a practicilor existente privind valorificarea reziduurilor pomicole și viticole din perspectivă energetică, au fost identificate aspectele mai puțin cunoscute și contradicțiile existente în domeniu, în special care țin de potențialul energetic al biomasei vegetale pomi-viticole locale și stabilirea constituției amestecurilor în funcție de biomasa existentă în anumite localități și de proprietățile scontate ale produselor finite.

3. S-a constatat că studiile recente evidențiază o tendință crescândă de integrare a criteriilor de sustenabilitate și impact al mediului în procesul de valorificare a biomasei vegetale pomi-viticole și a rolului valorificării reziduurilor pomi-viticole într-o agricultură bazată pe o economie circulară.

4. În baza analizei diferitor metode și tehnologii aplicate în lanțurile de aprovizionare cu biocombustibili solizi densificați au fost concretizate ipoteza de cercetare, scopul studiului și obiectivele înaintate pentru realizarea scopului propus.

2. DISPONIBILITATEA BIOMASEI POMI-VITICOLE LA PRODUCEREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA

2.1. Material și metode

2.1.1. Metodele de colectare a datelor despre tipurile și cantitățile de reziduuri vegetale din sectorul pomi-viticol

Identificarea și cuantificarea obiectivă a reziduurilor vegetale din sectorul pomi-viticol reprezintă un pas important în eficientizarea fluxului de producere a biocombustibililor. Metodologia colectării eșantioanelor pentru studiul din acest capitol sa realizat în câteva etape distincte. Inițial, s-au realizat observații direct în teren pentru a evalua vizual cantitatea și tipul reziduurilor care ar putea reprezentativ să personalizeze anumite tipuri de reziduuri pomi-viticole la nivel local. În continuare, au fost colectate informații prin interviuri cu proprietarii de livezi și vii. Întrebările au vizat următoarele subiecte: Suprafața cultivată și tipurile de culturi; Practicile de tăiere și volumul estimat al reziduurilor; Modul de gestionare a reziduurilor.

O altă etapă presupune analiza datelor din diferite rapoarte și statistici privind producția pomi-viticolă și domeniile de utilizare a reziduurilor pomi-viticole generate în diferite localități. Având în vedere inevitabilitatea existenței factorului subiectivist al informației s-au realizat măsurători experimentali rezultatele cărora sunt prezentate în secțiunile ce urmează.

Toate probele au fost prelevate din parcele reprezentative, iar datele obținute au fost extrapolate pentru suprafețe mai mari. Biomasa pomicolă a fost colectată din livezi pe rod, plantații viticole și plantații de arbuști fructiferi, în perioada 2020–2024 (vezi Figura 2.1) din diferite zone de dezvoltare economică ale Republicii Moldova, precum: SRL DIAMAX-Agro, s. Egoreni, r. Soroca; SRL POMRUBUS, s. Teleșeu, r. Orhei; SRL MONSTERAX-GSG, s. Pohrebea, r. Dubăsari; II Vasile TAȚU, s. Baimaclia, r. Cantemir; SRL ECO NUTS ENERGY, mun. Chișinău; gospodării individuale din com. Trușeni, mun. Chișinău; com. Todirești, r. Ungheni. Masa probelor eșantionate a fost determinată prin cântărire imediat după recoltare. O parte dintre acestea a fost conservată și transportată la LȘBCS pentru determinarea umidității la recoltare și pentru efectuarea analizelor fizice și chimice. Selectarea pomilor s-a realizat prin metoda sferturilor, utilizată de Pavlenco în studiul său privind potențialul energetic al reziduurilor agricole în regiunea de dezvoltare Nord a Republicii Moldova [17].



Figura 2.1. Secvențe din timpul colectării eșantioanelor de biomasă pomi-viticolă

Pentru acest proces au fost utilizate planurile plantațiilor aferente parcelelor reprezentative selectate. Pomii au fost numerotați folosind un sistem de două cifre: prima cifră indica numărul rândului de pomi, iar a doua, numărul pomului din rând. Toate numerele au fost scrise pe bilețele, care au fost selectate prin metoda sferturilor până când în fiecare sfert a rămas un număr reprezentativ de bilețele, care coincide cu numărul reprezentativ de pomi de la care a fost colectată biomasă după operațiile de îngrijire a acestora.

Numărul reprezentativ de pomi a fost calculat conform legii normale de distribuție, utilizată pentru o probabilitate credibilă, folosind următoarea relație pentru un masiv finit:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 p \cdot (1-p)}{E^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot (1-p)}, \quad (2.1)$$

unde: n este mărimea eșantionului; Z - valoarea critică pentru nivelul de încredere (1,645 pentru un nivel de încredere de 90%); p - proporția estimată a populației cu caracteristica de interes (pentru acest studiu $p = 0,2$, care reflectă adecvat variabilitatea necesară pentru analiză); E - marja de eroare (0,1); N – numărul total de pomi existenți pe parcela reprezentativă.

Masa probelor eșantionată s-a determinat prin cântărire cu balanța ACEN 50K, interval de măsurare 0,1 ... 50 kg, valoarea diviziunii 10 g, etalonată intern cu greutatea etalonată de 200 g

imediat după recoltare [154]. Înainte de cântărire, biomasa a fost mărunțită grosier direct în câmp cu tocătorul de talaș Murena produs în Cehia. O parte din probe au fost conservate și sigilate în saci de polietilenă și transportate în LȘBCS pentru determinarea cantității de umiditate la recoltare și alte analize fizice și chimice.

În Figura 2.2 sunt prezentate o parte din probele reprezentative studiate în acest compartiment al studiului.



Figura 2.2. Probe de biomasă vegetală pomicolă

Pentru a compara datele din literatura de specialitate cu cele obținute în cadrul acestui studiu și pentru a aproxima cantitatea reală de biomasă, calculată la umiditatea medie recomandată pentru procesarea sub formă de peleți și brichete, potențialul cantitativ al biomasei a fost ajustat la o umiditate de 10%. Pentru aceasta, s-a determinat cantitatea de biomasă considerată complet uscată (0% umiditate) cu următoarea ecuație:

$$m_d = \frac{m_{br}(100 - M_{rec})}{100}, \quad (2.2)$$

în care m_d - este masa biomasei uscate complet (0% umiditate), kg; m_{br} - masa biomasei la recoltare, kg; M_{rec} - conținutul de umiditate relativă la recoltare), %.

Cantitatea de biomasă ajustată la un conținut de umiditate $i\%$ a fost determinată cu următoarea relație:

$$m_{i,\%} = \frac{100m_d}{100 - M_{i,\%}}. \quad (2.3)$$

Pentru umiditate de 10% formula devine:

$$m_{i,10} \% = \frac{m_d}{0,9}. \quad (2.4)$$

Veridicitatea și repetabilitatea datelor experimentale au fost asigurate prin respectarea măsurilor tehnice, metodologice și organizatorice prevăzute de standardul SM EN ISO 17025:2018. Aceste măsuri au inclus:

- identificarea și controlul strict al variabilelor de influență (precum tipul de reziduu, umiditatea în momentul recoltării și reprezentativitatea eșantioanelor);
- utilizarea metodelor și echipamentelor validate, care a presupus:
 - testarea echipamentelor înaintea fiecărei serii de măsurători;
 - utilizarea exclusivă a echipamentelor etalonate și calibrate conform specificațiilor producătorilor și standardelor aplicabile;
- realizarea mai multor serii experimentale în condiții similare, pentru a confirma consistența rezultatelor;
- estimarea incertitudinii de măsurare.

Această abordare a permis obținerea unor date fiabile și reproductibile, în conformitate cu cerințele de calitate.

În total au fost analizate probe de biomasă provenită de la 20 de soiuri de pomi fructiferi din grupa sâmbântoaselor, 27 de soiuri de pomi fructiferi din grupa sâmburoaselor, 15 soiuri de nuciferi, 24 de soiuri de arbuști fructiferi și peste 30 de soiuri de viță-de-vie.

2.1.2. Studii de laborator referitoare la analiza caracteristicilor biomasei pomi-viticole

Calitatea biomasei și, implicit, a biocombustibililor solizi folosiți în centralele termice este un aspect esențial în asigurarea sustenabilității lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi [81]. Calitatea biomasei este definită, în principal, de proprietățile fizice (conținutul de umiditate, conținutul de cenușă, valoarea calorifică, conținutul de materii volatile) și de compoziția lor chimică. Acești parametri servesc drept temei la selectarea materiei prime pentru producerea BCSD și argumentarea potențialului energetic al diferitor tipuri de biomasă vegetală. În același rând, parametrii menționați afectează direct eficiența funcționării centralelor termice, fiabilitatea, comportamentul emisiilor și costurile [116].

Metodele utilizate pentru estimarea proprietăților biomasei vegetale, prezentate în acest capitol, au fost selectate în funcție de specificul materiei prime pomi-viticole și de obiectivele urmărite, asigurând o evaluare cât mai precisă a potențialului energetic și a caracteristicilor fizico-chimice ale biomasei. Procedurile de cercetare sunt detaliate în Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Rezumat al metodelor folosite pentru analiza calității eșantioanelor de biomasă studiate

Parametru	Document normativ
Analiza proximă	
Valoarea calorifică: - superioară ($q_{v,d}$, MJ/kg);	Procedura de lucru LȘBCS PL 7.2/1 SM EN ISO 18125:2017
- netă în bază uscată ($q_{v,net,d}$, MJ/kg);	$q_{p,net,d} = q_{v,gr,d} - 212,2 \times w(H)_d - 0,8 \times [w(O)_d + w(N)_d]$, $w(H)_d$; $w(O)_d$; $w(N)_d$ sunt, respectiv, conținutul de hidrogen, oxigen și azot, conținut în procente masice în bază uscată, %
- netă în bază umidă ($q_{p,net,M}$, MJ/kg).	$q_{p,net,M} = (1 - 0,01M - 24,43 \times M)$, M reprezintă conținutul de umiditate, %(w)
Conținutul de umiditate (M, %)	Procedura de lucru LȘBCS PL 7.2/2 [155] SM EN ISO 18134-2:2024; SM EN ISO 18134-3:2023
Conținutul de cenușă (A, %)	Procedura de lucru LȘBCS PL 7.2/3 SM EN ISO 18122:2023
Conținutul de materii volatile (Vd, %)	Procedura de lucru LȘBCS PL 7.2/4; SM EN ISO 18123:2023
Analiza finală	
Carbon	Procedura de lucru LȘBCS PL 7.2/10 SM EN ISO 16948:2017 SM EN ISO 16994:2017
Hidrogen	
Azot	
Sulf	
Clor	
Oxigen	O=100-A-H-C-S-N

În Figura 2.3 se pot vizualiza echipamentele folosite la analiza proximă și finală a probelor de biomasă pomi-viticolă.

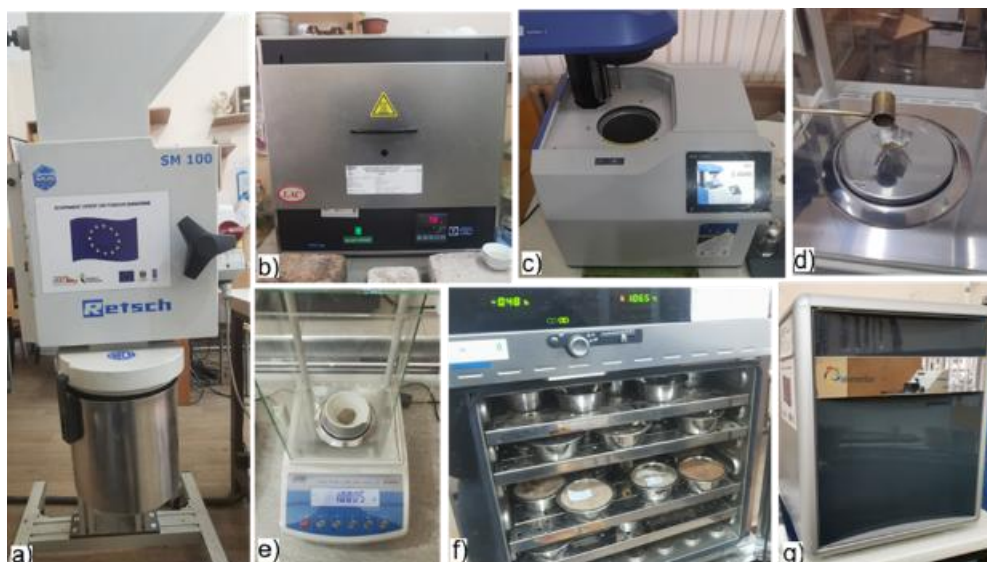


Figura 2.3. Echipamente folosite la testarea probelor de biomasă: a) moara Retsch SM 100; b) cuptor electric cu mufă LAC LH 06/13; c) calorimetrul izoperibolic IKA C6000; d) cântărirea probei; e) balanță analitică electronică AS220/C2; f) incintă termostată UNB 500 etalonată de către INM, CE MD10 3.4-031/2024; g) analizator elemental Vario MACRO cube

2.2. Evaluarea disponibilității biomasei vegetale pomicole pentru aplicații în producerea biocombustibililor solizi densificați

2.2.1. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de pomi fructiferi din grupa sămânțoaselor

În Tabelul 2.2 sunt prezentate rezultatele estimării cantității de biomasă provenite din plantațiile pomicole ale grupei sămânțoaselor. Studiul a inclus soiuri de măr, păr și gutui, specii cu o răspândire semnificativă în Republica Moldova.

Tabelul 2.2. Media cantității de biomasă generată de pomi din grupa sămânțoaselor

Soi pomi fructiferi		n_{ph} , pomi/ha	m_p , kg/pom	m_h , kg/ha	M_{rec} , %	$m_{0\%Wt}$, kg/ha	$m_{b\ M=10\%}$ kg/ha
Măr	Idared	1250	2,84	3550,00	43,17	2017,47	2241,63
	Idared	833	5,48	4564,84	42,15	2640,76	2934,18
	Reinette simirenko	1250	3,06	3825,00	43,59	2157,68	2397,43
	Reinette simirenko	833	6,03	5022,99	42,73	2876,67	3196,30
	Florina	833	6,23	5189,59	43,97	2907,73	3230,81
	Golden Delicious	833	5,68	4731,44	42,42	2724,36	3027,07
	Gala	1250	3,12	3900,00	43,21	2214,81	2460,90
	Fuji	1250	2,67	3337,50	43,11	1898,70	2109,67
	Jonathan	570	5,97	3402,90	43,11	1935,91	2151,01
	Media	989	5	4169	43	2375	2639
	Abat. Stand.	261	2	716	1	411	456
	Int. încred.	171	1	467	0	268	298
Păr	Conference	833	5,27	4389,91	45,58	2388,99	2654,43
	Noyaberskaya (Xenia)	1428	3,33	4755,24	47,77	2483,66	2759,62
	Celina	2800	1,24	3472,00	42,24	2005,43	2228,25
	Decana de iarnă	833	5,21	4339,93	47,28	2288,01	2542,23
	Passe Crassane	1250	3,75	4687,50	47,46	2462,81	2736,46
	Favorita lui Clapp	1428	3,10	4426,80	43,12	2517,96	2797,74
	Media	1429	3,65	4345,23	45,58	2357,81	2619,79
	Abat. Stand.	724	1,50	459,67	2,38	191,07	212,30
	Int. încred.	579,45	1,20	367,80	1,91	152,88	169,87
Gutui	Auriu	800	3,21	2568,00	43,21	1458,37	1620,41
	Iantarnaia Moldavii	834	2,14	1784,76	42,98	1017,67	1130,74
	Zarea	800	3,04	2432,00	44,21	1356,81	1507,57
	Cometa	800	2,32	1856,00	43,11	1055,88	1173,20
	Olga	800	2,45	1960,00	42,14	1134,06	1260,06
	Media	807	2,63	2120,15	43,13	1204,56	1338,40
	Abat. Stand.	15	0,47	355,57	0,74	193,39	214,88
	Int. încred.	13	0,41	311,67	0,65	169,51	188,35

Notă: n_{ph} – numărul mediu de pomi per hectar; m_p – cantitatea medie de biomasă generată de un pom; m_h – cantitatea medie de biomasă colectată de pe un hectar de plantație, M_{rec} – conținutul de umiditate a biomasei la recoltare; $m_{0\%Wt}$ – cantitatea medie de biomasă convertită la umiditatea 0%; $m_{b\ M=10\%}$ – cantitatea medie de biomasă convertită la 10%.

Probele au fost prelevate din plantații clasice, semi intensive și intensive, conform metodologiei descrise în secțiunea 2.1. Datele sunt exprimate în kg per arbore și kg per hectar pentru fiecare cultură investigată. Cantitatea de biomasă este raportată la trei niveluri de umiditate: la recepție, complet uscată și cu 10% umiditate.

Datele prezentate în tabel indică faptul că mărul și părul generează, în medie, cantități similare de biomasă. Astfel, biomasa utilizabilă produsă de măr, estimată la un conținut de umiditate de 10%, are o medie de $m_{b\ M=10\%} = 2639 \pm 456$ kg/ha cu un coeficient de variație de $CV = \sigma / m_{b\ M=10\%} = 17,3\%$. În cazul părului, biomasa utilizabilă este de $m_{b\ M=10\%} = 2620 \pm 212$ kg/ha având un coeficient de variație de 8,1%.

Gutuiul produce cea mai mică cantitate de biomasă cu o medie de $m_{b\ M=10\%} = 1339 \pm 214$ kg/ha. Coeficientul de variație la gutui constituie 16%, adică aproximativ egal cu cel al pomilor de măr. Deoarece primul factor care influențează calitatea peleișilor și brichetelor este calitatea materiei prime în continuare se prezintă analiza calitativă a biomasei vegetale pomicole.

În Tabelul 2.3 se prezintă rezultatele analizei calitative a biomasei generate de diferite specii de pomi din grupa sămânțoaselor. Au fost testate 7 probe de diferite soiuri de măr, 6 de păr și 5 de gutui. Toate încercările au fost realizate cu o repetabilitate de 5 ori și prin prelucrarea statistică a fost determinată valoarea medie pentru fiecare tip de biomasă studiată.

Tabelul 2.3. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de pomi din grupa sămânțoaselor

Soi pomi fructiferi		q_{vd}, J/g	$q_{vnet d}$, J/g	$q_{Pnet M=10\%}$	A, %	M_{rec}	MV, %	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O
Măr (<i>Malus domestica Borkh</i>)	Idared	18897,7	17583,28	15580,65	3,93	43,17	77,80	43,80	0,32	6,02	0,04	0,03	45,90
	Reinette simirenko	18925,33	17634,44	15626,69	4,15	43,59	77,90	43,90	0,42	5,91	0,03	0,05	45,57
	Florina	19092,1	17782,41	15759,87	2,21	42,73	77,50	43,50	0,27	5,99	0,05	0,04	47,99
	Golden Delicious	19073,2	17785,71	15762,84	2,82	43,97	78,20	44,20	0,19	5,89	0,03	0,05	46,85
	Gala	18957,98	17682,96	15670,36	2,96	42,42	77,90	43,80	0,34	5,83	0,03	0,04	47,03
	Fuji	19334,89	18020,93	15974,54	1,96	43,21	77,30	43,70	0,39	6,01	0,04	0,03	47,91
	Jonathan	18145,79	16858,47	14928,32	3,16	43,11	77,40	44,10	0,47	5,89	0,03	0,02	46,36
	Media	18918,14	17621,17	15614,75	3,03	43,17	77,71	43,86	0,34	5,93	0,04	0,04	46,80
	Abat. Stand.	371,16	365,15	328,64	0,81	0,51	0,32	0,24	0,09	0,07	0,01	0,01	0,93
	Int. încred.	274,96	270,50	243,45	0,60	0,38	0,24	0,18	0,07	0,05	0,01	0,01	0,69
Păr (<i>Pyrus communis L.</i>)	Conference	19320,21	17923,10	15886,49	3,55	45,58	78,32	43,87	0,39	6,41	0,04	0,03	45,75
	Noyaberskaya (Xenia)	19011,31	17641,33	15632,90	3,24	47,77	76,44	43,74	0,28	6,28	0,03	0,04	46,42
	Celina	18954,43	17571,89	15570,40	3,27	42,24	79,32	43,86	0,31	6,34	0,03	0,04	46,18
	Decana de iarnă	19422,54	18048,56	15999,40	3,35	47,28	75,32	43,91	0,37	6,3	0,03	0,04	46,03
	Passe Crassane	18877,76	17568,91	15567,72	2,89	47,46	78,39	43,87	0,42	5,99	0,03	0,04	46,79
	Favorita lui Clapp	17996,92	16733,19	14815,57	3,81	43,12	77,56	43,85	0,49	5,78	0,04	0,04	46,03
	Media	18930,53	17581,16	15578,75	3,35	45,58	77,56	43,85	0,38	6,18	0,03	0,04	46,20
	Abat. Stand.	505,06	460,06	414,06	0,31	2,38	1,46	0,06	0,08	0,24	0,01	0,00	0,36
	Int. încred.	404,13	368,12	331,31	0,25	1,91	1,17	0,05	0,06	0,20	0,00	0,00	0,29
Gutui (<i>Cydonia oblonga Mill</i>)	Auriu	18698,12	17370,22	15388,89	3,49	44,03	79,87	43,21	0,54	6,08	0,04	0,06	46,62
	Iantarn. Moldavii	18634,32	17346,29	15367,36	3,36	43,75	80,34	42,98	0,32	5,89	0,04	0,05	47,40
	Zarea	19092,42	17758,94	15738,75	3,47	44,12	80,12	44,21	0,65	6,11	0,05	0,04	45,52
	Cometa	18916,21	17611,51	15606,06	3,53	44,03	79,97	43,11	0,42	5,97	0,04	0,06	46,91
	Olga	17990,31	16674,20	14762,48	3,46	44,62	80,08	42,14	0,61	6,02	0,03	0,05	47,72
	Media	18666,28	17352,23	15372,71	3,46	44,11	80,08	43,13	0,51	6,01	0,04	0,05	46,83
	Abat. Stand.	419,23	416,15	374,53	0,06	0,32	0,18	0,74	0,14	0,09	0,01	0,01	0,85
	Int. încred.	367,47	308,28	277,45	0,05	0,24	0,13	0,55	0,10	0,07	0,01	0,01	0,63

Notă: q_{vd} – valoarea calorică superioară măsurată la volum constant; $q_{vnet d}$, J/g – valoarea calorică inferioară la presiune constantă; $q_{Pnet M=10\%}$ – valoarea calorică inferioară la presiune constantă calculată pentru conținutul de umiditate de 10%; A – conținutul de cenușă în bază uscată; M_{rec} – conținutul de umiditate în biomasă la recoltare; MV – conținutul de materiale volatile; C, N, H, Cl - conținutul de clor, azot, hidrogen, clor.

În baza mediei obținute pentru fiecare soi de fructe s-a determinat media pentru grupa respectivă de pomi fructiferi. Analiza datelor obținute pentru fiecare grup de pomi fructiferi denotă că media valorii calorifice net pentru biomasa vegetală cu un conținut de umiditate egal cu 10% constituie pentru meri - 15614 ± 243 J/g, pentru peri – 15579 ± 252 J/g și pentru gutui – 15373 ± 277 J/g. Astfel s-a dedus că valoarea calorifică a reziduurilor de pomi fructiferi din grupa sămânțoaselor nu deferă semnificativ constituind cca 0,24 MJ/kg cu o valoare medie dintre genuri de 15522 J/g.

Comparând datele obținute cu valorile specificate în Tabelul 1.2, se poate concluziona că reziduurile vegetale provenite de la pomii fructiferi din grupa sămânțoaselor, datorită puterii lor calorice, sunt potrivite pentru producerea brichetelor care corespund claselor de calitate A1, A2 și B. Totuși, utilizarea lor este limitată de conținutul ridicat de cenușă, care depășește 3%. În aceste condiții, această biomasă poate fi utilizată pentru producerea brichetelor din lemn din clasa B, respectând cerințele legate de valoarea calorifică și conținutul de cenușă. Alți parametri fizico-mecanici depind în mare măsură de procesul tehnologic aplicat în fabricarea biocombustibililor. De asemenea, această biomasă este foarte potrivită pentru producerea peletilor și brichetelor din categoria biocombustibililor solizi proveniți din biomasa non-lemnoasă, inclusiv pentru blenduri și mixturi.

Pentru validarea concluziilor acestui studiu, este necesar să se testeze produsele finite obținute din biomasa investigată. Proprietățile acestora pot devia, într-o măsură mai mare sau mai mică, de la caracteristicile materiei prime utilizate.

2.2.2. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de pomi fructiferi grupa din sămburoaselor

În acest subcapitol ne propunem să prezentăm rezultatele testelor efectuate asupra biomasei provenite din pomii fructiferi grupa sămburoaselor. Prin această analiză, se urmărește sublinierea contribuției biomasei din această categorie la crearea unui lanț valoric durabil în sectorul producerii biocombustibililor solizi densificați în anumite localități ale Republicii Moldova.

Biomasa provenită din pomii fructiferi grupa sămburoaselor, precum cireșul, vișinul, prunul, caisul și piersicul, atrage atenția prin cantitățile semnificative de deșeuri generate anual în urma activităților de întreținere și recoltare. Cu toate acestea, cum se poate urmări din Tabelul 1.1, informația referitoare la cantitățile de biomasă generate de acești pomi este foarte variată, iar în unele cazuri controversată. Tabelul 2.4 prezintă datele obținute de către noi în LȘBCS referitoare la cantitățile de biomasă generate de diferite soiuri de pomi fructiferi din grupa sămburoaselor.

**Tabelul 2.4. Media cantității de biomasă generată de pomii fructiferi din grupa
sâmburoaselor**

Soi pomi fructiferi		n_{ph} , pomi/ha	m_p , kg/pom	m_h , kg/ha	M_{rec} , %	$m_{0\%Wt}$, kg/ha	$m_{b\ M=10\%}$ kg/ha
Prun	Stanley	444	7,81	3467,64	47,01	1837,50	2041,67
	Valor	889	4,21	3742,69	48,12	1941,71	2157,45
	President	800	3,28	2624,00	47,17	1386,26	1540,29
	Ana Spath	1000	3,77	3770,00	47,97	1961,53	2179,48
	Piteștean	800	3,82	3056,00	45,44	1667,35	1852,62
	Renclod Althan	667	5,32	3548,44	46,38	1902,67	2114,08
	Media	767	4,70	3368,13	47,02	1782,84	1980,93
	Abat. Stand.	193	1,67	446,18	1,00	221,42	246,02
	Int. încred.	154	1,34	357,01	0,80	177,17	196,85
Cires	Kordia	333	5,91	1968,03	45,58	1071,00	1190,00
	Regina	833	3,94	3282,02	47,77	1714,20	1904,67
	Grace Star	330	6,02	1986,60	46,21	1068,59	1187,32
	Ferrovía	330	4,02	1326,60	44,79	732,42	813,80
	Sweet Heart	830	6,23	5170,90	47,32	2724,03	3026,70
	Bigarreau burlat	330	6,23	2055,90	44,16	1148,01	1275,57
	Media	498	5,39	2631,68	45,97	1409,71	1566,34
	Abat. Stand.	259	1,10	1397,28	1,41	718,12	797,91
	Int. încred.	207	0,88	1118,03	1,13	574,60	638,45
Vișin	Oblačinska	404	7,03	2840,12	48,01	1476,58	1640,64
	Morella	500	6,53	3265,00	43,91	1831,34	2034,82
	Crișana	833	4,23	3523,59	46,18	1896,40	2107,11
	Nor star	833	4,01	3340,33	45,23	1829,50	2032,78
	Mărioara	404	6,43	2597,72	49,62	1308,73	1454,15
	Media	595	5,65	3113,35	46,59	1668,51	1853,90
	Abat. Stand.	221	1,41	381,88	2,26	260,12	289,02
	Int. încred.	1934	1,24	334,73	1,98	228,00	253,33
Caisi	Kyoto	500	5,12	2560,00	41,89	1487,62	1652,91
	Krasnoșciokii	280	7,98	2234,40	47,77	1167,03	1296,70
	Platimoon	500	5,37	2685,00	48,28	1388,68	1542,98
	Orange Rubis	330	7,21	2379,30	42,24	1374,28	1526,98
	Big Red	502	5,13	2575,26	47,53	1351,24	1501,38
	Media	422	6,16	2486,79	45,54	1353,77	1504,19
	Abat. Stand.	109	1,34	178,70	3,19	116,66	129,62
	Int. încred.	95	1,17	156,63	2,79	102,25	113,61
Piersic	Cardinal	500	7,74	3870,00	44,55	2145,92	2384,35
	Maycrest	1250	4,94	6175,00	47,21	3259,78	3621,98
	Moldova	500	7,42	3710,00	42,24	2142,90	2381,00
	Redhaven	1200	4,04	4848,00	47,98	2521,93	2802,14
	Stark Sunglo	1250	4,62	5775,00	47,74	3018,02	3353,35
	Media	940	5,75	4875,60	45,94	2617,71	2908,56
	Abat. Stand.	402	1,70	1103	2	507	564
	Int. încred.	352,52	1,49	966,96	2,18	2712,07	494,14

Notă: Abrevierile sunt utilizate în mod similar celor din Tabelul 2.2.

Datele prezentate în tabel denotă că, în general, conținutul de umiditate la recepție nu variază semnificativ între speciile de pomi. Acest aspect poate fi explicat prin faptul că toate eșantioanele de biomasă au fost prelevate în aceeași perioadă a anului, respectiv primăvara în luna martie.

Se observă că piersicul generează cea mai mare cantitate de biomasă ($m_{b\ M=10\%} = 2,908 \pm 564$ kg/ha cu CV= 8,9%), urmat de prun ($m_{b\ M=10\%} = 1980 \pm 246$ kg/ha cu CV= 12,4) și de vișin ($m_{b\ M=10\%} = 1854 \pm 246$ kg/ha cu CV= 15,6) cea mai mică cantitate de biomasă este generată de cais ($m_{b\ M=10\%} = 1504 \pm 130$ kg/ha cu CV= 8,6%).

În Tabelul 2.5 sunt prezentate proprietățile biomasei arborilor fructiferi din grupa sâmburoaselor. Rezultatele analizelor proxime și finale evidențiază o variabilitate redusă a valorii calorifice a biomasei provenite din diferite specii de pomi fructiferi. De exemplu, cea mai mare valoare calorifică medie netă, estimată pentru un conținut de umiditate de 10%, a fost înregistrată pentru biomasa rezultată din speciile de prun, cu o medie de 16211 ± 518 J/g. În schimb, cea mai scăzută valoare a fost observată la biomasa de vișin, cu 15578 ± 394 J/g, ceea ce reprezintă o diferență de aproximativ 0,63 MJ/kg.

Conținutul de cenușă variază între $2,81 \pm 0,18\%$ pentru vișin și $1,9 \pm 0,41\%$ pentru piersic, cu o diferență de 0,91%.

O variabilitate mai accentuată a principalelor caracteristici care influențează procesul de ardere a biocombustibililor solizi se observă între soiurile de pomi fructiferi.

Pentru pomii din genul *Prunus domestica* L. (prun), diferența valorii calorifice nete, estimată pentru un conținut de umiditate de 10%, este de aproximativ 1,18 MJ/kg, cu un maxim de 16775 J/g pentru soiul *Ana Spath* și un minim de 15626 J/g pentru soiul *Piteștean*. În cazul pomilor din genul *Prunus avium* L. (cireș), diferența este de circa 1,57 MJ/kg, valorile variind între 16647 J/g pentru soiul *Sweet Heart* și 15078 J/g pentru soiul *Ferrovía*. La *Prunus vulgaris* Miller (vișin), diferența este de aproximativ 1,24 MJ/kg, cu un maxim de 16157 J/g pentru soiul *Morella* și un minim de 14913 J/g pentru soiul *Mărioara*.

Pentru pomii din genul *Prunus armeniaca* L. (cais), diferența ajunge la 1,57 MJ/kg, valorile oscilând între 16533 J/g pentru soiul *Platimoon* și 15568 J/g pentru soiul *Krasnoșciokii*. În cazul pomilor din genul *Prunus persica* Batsch (piersic), diferența este de aproximativ 1,24 MJ/kg, cu valori cuprinse între 16599 J/g pentru soiul *Maycrest* și 15686 J/g pentru soiul *Stark Sunglo*.

Tabelul 2.5. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de pomi fructiferi din grupa sâmburoaselor

Soi pom fructifer	q_{Vd}, J/g	q_{Vnet d}, J/g	q_{Pnet M=10%}	A, %	M_{rec}, %	MV, %	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O
Prun (<i>Prunus domestica</i> L.)												
Stanley	19614,21	18232,59	16206,74	1,7	47,01	79,69	41,30	0,31	6,32	0,04	0,03	50,34
Valor	18952,94	17602,61	15613,66	2,19	48,12	78,75	42,91	0,39	6,18	0,03	0,05	48,28
President	19896,2	18565,17	16466,52	2,24	47,17	78,86	43,21	0,37	6,09	0,06	0,04	48,05
Ana Spath	20427,6	18910,53	16948,58	2,16	47,97	79,54	43,28	0,29	6,97	0,03	0,04	47,26
Piteștean	18962,78	17601,69	15626,39	2,06	45,44	80,01	42,83	0,41	6,23	0,05	0,03	48,44
Renclod Althan	19832,83	18497,77	16405,31	1,99	46,38	81,30	43,72	0,35	6,11	0,04	0,03	47,80
Media	19614,43	18235,06	16211,20	2,06	47,02	79,69	42,88	0,35	6,32	0,04	0,04	48,36
Abat. Stand.	574,55	535,80	518,78	0,20	1,00	1,04	0,83	0,05	0,33	0,01	0,01	1,05
Int. încred.	459,73	428,72	415,11	0,16	0,80	0,83	0,67	0,04	0,26	0,01	0,01	0,84
Cireș (<i>Prunus avium</i> L.)												
Kordia	19212,13	17772,24	15750,72	2,64	45,58	78,32	44,11	0,84	6,61	0,04	0,08	45,72
Regina	19311,34	17881,79	15849,31	3,04	47,77	76,52	46,03	0,98	6,57	0,05	0,11	43,27
Grace Star	19036,48	17610,88	15605,50	2,29	46,21	79,01	43,82	0,74	6,54	0,05	0,09	46,52
Ferrovია	18428,58	17024,87	15078,08	3,02	44,79	75,86	43,99	0,97	6,44	0,07	0,12	45,46
Sweet Heart	20106,03	18768,16	16647,04	2,41	47,32	78,44	44,99	0,82	6,13	0,08	0,11	45,54
Bigarreau burlat	19186,53	17795,09	15771,28	2,52	44,16	78,26	43,98	0,94	6,38	0,09	0,12	46,06
Media	19213,52	17808,84	15783,65	2,65	45,97	77,74	44,49	0,88	6,45	0,06	0,11	45,43
Abat. Stand.	539,32	562,31	506,07	0,31	1,41	1,24	0,86	0,10	0,18	0,02	0,02	1,13
Int. încred.	431,54	449,93	404,94	0,25	1,13	1,00	0,69	0,08	0,14	0,02	0,01	0,90
Vișin (<i>Prunus vulgaris</i> Miller)												
Oblačinska	18993,16	17558,93	15558,74	2,61	48,01	79,87	43,21	0,73	6,58	0,08	0,16	46,71
Morella	19708,35	18223,47	16156,82	2,58	43,91	80,11	43,35	0,81	6,82	0,09	0,15	46,29
Crișana	19136,45	17760,37	15740,03	2,87	46,18	78,18	44,33	0,68	6,31	0,11	0,12	45,69
Nor star	18928,28	17517,67	15521,60	3,03	45,23	79,36	43,31	0,46	6,47	0,12	0,09	46,64
Mărioara	18197,37	16841,51	14913,06	2,96	49,62	80,01	43,13	0,63	6,21	0,08	0,08	46,99
Media	18992,72	17580,39	15578,05	2,81	46,59	79,51	43,47	0,66	6,48	0,10	0,12	46,46
Abat. Stand.	540,72	499,07	449,16	0,20	2,26	0,80	0,49	0,13	0,24	0,02	0,04	0,50
Int. încred.	473,95	437,44	393,70	0,18	1,98	0,70	0,43	0,11	0,21	0,02	0,03	0,44

Cais (<i>Prunus armeniaca L.</i>)												
Kyoto	19306,21	17941,75	15903,27	3,91	41,89	78,29	47,27	0,36	6,27	0,04	0,09	42,10
Krasnoşciokii	19032,34	17569,51	15568,26	2,45	47,77	76,44	47,2	0,62	6,73	0,03	0,21	42,79
Platimoon	20021,41	18641,59	16533,13	2,28	48,28	81,22	48,18	0,55	6,34	0,06	0,11	42,54
Orange Rubis	19002,58	17577,73	15575,65	2,38	42,24	77,82	47,31	0,49	6,55	0,09	0,08	43,19
Big Red	19201,76	17810,48	15785,13	2,49	47,53	78,21	46,89	0,48	6,39	0,06	0,08	43,67
Media	19312,86	17908,21	15873,09	2,70	45,54	78,40	47,37	0,50	6,46	0,06	0,11	42,86
Abat. Stand.	415,15	439,45	395,50	0,68	3,19	1,74	0,48	0,10	0,18	0,02	0,06	0,60
Int. încred.	363,89	385,19	346,67	0,60	2,79	1,53	0,42	0,08	0,16	0,02	0,05	0,53
Piersic (<i>Prunus persica Batsch.</i>)												
Cardinal	19421,26	18010,38	15965,04	2,44	44,55	79,18	48,87	0,69	6,49	0,05	0,07	41,44
Maycrest	20111,36	18714,29	16598,56	1,34	47,21	78,49	48,74	0,68	6,42	0,08	0,07	42,75
Moldova	19159,49	17777,16	15755,14	1,57	42,24	76,32	48,36	0,31	6,35	0,06	0,14	43,27
Redhaven	19408,56	18017,64	15971,58	1,85	47,98	80,02	47,97	0,49	6,39	0,07	0,09	43,21
Stark Sunglo	19171,72	17699,97	15685,67	2,32	47,74	79,49	46,88	0,56	6,77	0,11	0,08	43,39
Media	19454,48	18043,89	15995,20	1,90	45,94	78,70	48,16	0,55	6,48	0,07	0,09	42,81
Abat. Stand.	387,84	400,21	360,19	0,47	2,48	1,44	0,80	0,16	0,17	0,02	0,03	0,80
Int. încred.	339,95	350,80	315,72	0,41	2,18	1,26	0,70	0,14	0,15	0,02	0,03	0,71

Notă: Abrevierile sunt utilizate în mod similar celor din Tabelul 2.3.

Datele obținute confirmă concluziile mai multor autori, conform cărora, deși biomasa generată de această categorie de pomi are o densitate relativ scăzută, puterea calorică este comparabilă cu cea a altor specii de pomi fructiferi [109, 156]. Cercetătorii din Italia explică acest aspect prin conținutul de lignină. De exemplu, lignina reprezintă $23,31 \pm 2,21\%$ în cazul biomasei de piersic și $24,26 \pm 1,25\%$ pentru cea de prun. Valori similare au fost observate și pentru alun ($22,98 \pm 1,12\%$), măslin ($23,12 \pm 0,98\%$) și vița-de-vie ($22,93 \pm 1,00\%$) [12].

2.2.3. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de nuciferi

Tabelul 2.6 prezintă date privind recolta globală de nucifere pentru anii 2022-2023, clasificate pe categorii, evidențiind rolul esențial al gospodăriilor individuale în producție. Acestea contribuie cu aproximativ 60-65% din producția totală, ceea ce demonstrează că majoritatea nuciferelor sunt cultivate la nivel individual. Reziduurile din producția de nucifere sunt valorificate, într-o anumită măsură, pentru obținerea biomasei, utilizată ulterior în producerea biocombustibililor.

Tabelul 2.6. Recolta globală a nuciferelor în Republica Moldova pentru anii de referință.

Sursa: [15]

Anii	2022				2023			
Plantații multianuale după culturi	GTC	ÎA	GȚ	GP	GTC	ÎA	GȚ	GP
	Recolta globală, mii tone				Recolta globală, mii tone			
Nucifere	19,1	6,5	0,9	11,7	21,2	4,9	0,9	15,4

Notă: GTC - Gospodăriile de toate categoriile; ÎA - Întreprinderi agricole; GȚ - Gospodării țărănești; GP - Gospodăriile populației.

Datele referitoare la estimarea cantității reziduurilor nucifere sunt prezentate în Tabelul 2.7. Cantitatea de reziduuri generată de către diferite soiuri de nuc, alun și migdal se referă la probele prelevate din livezi cu vârsta mai mare de 10 ani. Masa de biomasă pentru fiecare probă prezintă un amestec de lăstari de un an și pereni.

Eșantionarea s-a realizat în conformitate cu metodologia descrisă în [17]. Selectarea pomilor s-a efectuat conform SM EN ISO 18135:2017. Pentru aceasta, pomilor de pe o anumită suprafață a plantației li s-a atribuit un număr din două cifre. Prima cifră indică numărul rândului de pomi din plantație, iar a doua numărul pomului din rând. Eșantioanele au fost selectate folosind metoda sferturilor.

Tabelul 2.7. Cantitatea de reziduuri generată de către diferite soiuri de nuc, alun și migdal

Varietatea pomilor fructiferi	n_{ph} , pomi/ha	m_p , kg/pom	m_h , kg/ha	M_{rec} , %	$m_{0\%Wt}$, kg/ha	$m_{bM=10\%}$, kg/ha	RE/M, %	m_e , kg/ha
Nuc								
Pescianski	200	9,63	1926,0	46	1155,6	1750	56	980
Ovata	200	8,41	1682,0	48	971,8	2200	48	1056
Fernor	250	8,52	2130,0	43	1349,0	2800	48	1344
Franquette	200	9,16	1832,0	47	1078,8	2000	57	1140
Chandler	250	8,35	2087,5	42	1345,3	2500	44	1100
Media	220,0	8,81	1931,5	45,2	1180,1	2250,0	50,6	1124,0
σ	27,4	0,56	184,3	2,6	165,9	412,3	5,6	136,60
IÎ	24,0	0,49	161,6	2,3	145,4	361,4	4,9	119,7
Alun								
Tonda Francescana	820	4	3436	44	2138	2290	56	1282
Tonda Gentile	500	4	2080	43	1317	2240	55	1232
Barcelona	500	4	2070	42	1334	2190	57	1248
Fertile de Coutard	820	4	2968	45	1814	2210	52	1149
Nocchione	820	4	3091	46	1855	2090	53	1108
Media	692,0	4,0	2729,1	44,0	1691,6	2204,0	54,6	1203,9
σ	175,3	0,3	621,2	1,6	356,6	74,0	2,1	72,7
IÎ	153,6	0,2	544,5	1,4	312,6	64,9	1,8	63,8
Migdal								
Meteor	350	7,8	2730	48	1577	2500	78	1950
Alb Moldovenesc	280	8,6	2408	52	1284	1800	77	1386
Tuona	350	7,4	2590	58	1209	2200	69	1518
Nanparil	400	6,3	2520	54	1288	2400	68	1632
Victoria	280	8,2	2296	43	1454	2400	66	1584
Media	332,0	7,7	2508,8	51,0	1362,5	2260,0	71,6	1614,0
σ	51,7	0,9	166,7	5,7	149,9	279,3	5,5	209,4
IÎ	45,3	0,8	146,1	5,0	131,4	244,8	4,8	183,5

Notă: Abrevierile sunt utilizate în mod similar celor din Tabelul 2.2; RE/M – raportul dintre endocarp și miez; m_e – cantitatea medie de biomasă în formă de endocarp.

Rezultatele obținute denotă că cantitatea de biomasă vegetală, rezultată de la operațiunile de tăierea a nuciferilor luați în studiu variază destul de mult. Cea mai mare cantitate de reziduuri vegetale a fost înregistrată la alun cu o medie de $2729,1 \pm 544$ kg/ha, iar cea mai mică - la nuc cu o medie de $1931,5 \pm 129$ kg/ha. Convertite pentru conținutul de umiditate de 10% aceste valori constituie, respectiv $1691,6 \pm 312$ kg/ha pentru alun și $1180,1 \pm 145$ kg/ha.

Cea mai mare cantitate de endocarp rezultă migdalele cu o medie de 1614 ± 183 kg/ha, iar cea mai mică nucile cu o medie de 1124 ± 129 kg/ha.

Pentru o înțelegere detaliată a potențialului de aplicare a reziduurilor nucifere în calitate de materie primă pentru producerea biocombustibililor este foarte important să se cunoască

caracteristicile termochimice ale acestora. În cele ce urmează se prezintă principalele caracteristici ale reziduurilor nucifere importante pentru a evalua aplicarea acestora în scopuri energetice.

Am determinat valoarea calorifică, conținutul de cenușă, conținutul de materii volatile și conținutul de umiditate la recepție pentru reziduurile de nuc, alun și migdal colectate din diferite localități ale Republicii Moldova. Eșantioanele experimentale au fost colectate de la *Pepiniera Voinești* din satul Voinescu, Hâncești; *SC Dumbrava Veche SRL*, satul Rădeni, Strășeni și diferite gospodării țărănești din comuna Trușeni, mun. Chișinău. În Figura 2.4 sunt prezentate secvențe din timpul colectării biomasei și probe de biomasă luate în studiu.



Figura 2.4. Probe de biomasă generată de nucifere: a) alun fructe originale și endocarp; b) migdal fructe originale și endocarp; c) miez și endocarp de nuc; d) crengi de alun; e) endocarp de alun mărunțit; f) endocarp de nuci mărunțit

Analiza probelor de biomasă a fost realizată conform metodologiei descrise în subcapitolul 2.1.2. Rezultatele acestui studiu sunt sintetizate în Tabelul 2.8, care evidențiază că din proprietățile studiate cel mai mult variază, în funcție de originea biomasei, conținutul de cenușă al reziduurilor sub formă de crengi și lăstari. Acestea variază între 1,4% pentru crengile și lăstarii de alun și 5,5% pentru crengile de nuc.

Este important de menționat că crengile de nuc prezintă cea mai mică valoare calorifică ($q_{Pnet\ M=10\%} = 15,5 \text{ MJ/kg}$) și cel mai mare conținut de sulf și azot rezultat din ardere.

Pe baza cerințelor din Tabelul 1.2, se poate concluziona că biomasa obținută din tăierea nucilor este potrivită doar pentru fabricarea peleților și brichetelor din categoria produselor din biomasă non-lemnoasă, blenduri și mixturi de biomasă, încadrându-se în categoria A pentru peleți și A2 pentru brichete. Crengile de alun și migdal reprezintă o sursă pretabilă de a fi folosită ca materie primă la producerea brichetelor din categoria brichete din lemn clasa A2.

Tabelul 2.8. Rezultate medii ale caracteristicilor biomasei vegetale generate de nucifere

Origine biomasă		q_{vd} , J/g	$q_{vnet d}$, J/g	$q_{Pret M=10\%}$, J/g	A, %	M_{rec} , %	MV, %	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O, %
Nuc	BL	18823	17494,9	15501,1	5,5	46,9	77,9	48,80	0,62	6,11	0,04	0,08	38,89
	BE	20083	18757,3	16637,3	0,9	11,0	79,0	45,90	0,18	6,07	0,03	0,04	46,89
Alun	BL	19119	17771,7	15750,3	1,4	44,5	80,2	47,50	0,57	6,18	0,05	0,07	44,26
	BE	20297	18941,2	16802,7	0,9	10,9	77,1	45,20	0,19	6,21	0,03	0,05	47,42
Migdal	BL	19421	18014,1	15968,4	2,4	44,6	79,7	51,20	0,54	6,48	0,05	0,04	39,30
	BE	19856	18462,0	16371,5	1,6	12,7	78,4	49,70	0,29	6,41	0,04	0,04	42,01

Notă: BL- biomasă lemnoasă; BE – biomasă de endocarp, restul abrevierilor conform Tabelul 2.3.

În toate cazurile, reziduurile în formă de crengi și lăstari necesită condiționare prin uscare, deoarece conținutul de umiditate la recoltare depășește semnificativ valorile recomandate pentru procesarea peleișilor și brichetelor.

Reziduurile în formă de endocarp generate de toate speciile de nucifere luate în studiu pot fi procesate direct, fără a necesita o condiționare prealabilă prin uscare, datorită conținutului de umiditate care variază între 10,9% la alun și 12,7% la migdal. Aceste valori se încadrează în limitele recomandate pentru materia primă utilizată în producerea biocombustibililor solizi densificați [47]. De menționat că endocarpul de la nuci, alun și migdal poate fi folosit direct fără densificare, atât în sobele clasice cât și în majoritatea termocentralelor moderne [157].

Comparând datele obținute în acest studiu cu cerințele stipulate în familia de standarde SM EN ISO 17225 (vezi Tabelul 1.1) se poate concluziona că biomasa obținută din tăierea nucilor este potrivită doar pentru producerea peleișilor și brichetelor din categoria produselor din biomasă non-lemnoasă, blenduri și mixturi de biomasă, încadrându-se în categoria A pentru peleiși și A2 pentru brichete. Crengile de alun și migdal pot fi folosite în calitate de materie primă la producerea brichetelor din categoria brichete din lemn clasa A2.

2.2.4. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de arbuști fructiferi

În cele ce urmează se prezintă rezultatele studiului realizat în cadrul LȘBCS cu privire la disponibilitatea și calitatea biomasei generate de către arbuștii fructiferi. Eșantioanele de biomasă au fost recoltate din diferite gospodării agricole din Republica Moldova prin metoda manuală și mecanizată.

De exemplu, probele de biomasă de cătină albă au fost prelevate în satul Clișova, raionul Orhei SRL KLEVINS. Cantitatea de biomasă a fost estimată după congelarea și batozarea fructelor.

Este important de menționat că fructele de cătină albă se colectează prin detașarea ramurilor împreună cu fructele, lăsând pe plantă 10-12 cm din baza acestora sub formă de cepuri. Acestea sunt necesare pentru refacerea coroanei în anul următor [98].

În Figura 2.5 este ilustrat procesul de recoltare, congelare și batozare a cătinii albe.



Figura 2.5. Secvențe din timpul recoltării cătinii albe în satul Clișova, Orhei: a) recoltarea prin detașarea manuală a ramurii cu fructe; b) congelarea ramurilor; c) cătină albă; d) biomasă vegetală în formă de frunze; e) biomasă vegetală în formă de ramuri după batozare

Înainte de transportarea biomasei în LȘBCS, aceasta a fost mărunțită grosier direct în câmp folosind tocătorului de talaș Murena (vezi Figura 2.6).



Figura 2.6. Secvențe din timpul pregătirii grosier a biomasei de cătină albă

În Figura 2.7 sunt prezentate probele de arbuști fructiferi testate în acest studiu. Probele de biomasă vegetală de zmeur, coacăzul negru, agrișului, mur și măceș au fost prelevate din cadrul unei gospodării individuale din comuna Trușeni, mun. Chișinău, comuna Todirești, Ungheni și SRL POMRUBUS, satul Teleșeu, Orhei.



Figura 2.7. Probe de biomasă vegetală de arbuști fructiferi studiate în această lucrare

În studiul efectuat, parametrii probelor de biomasă au fost evaluați prin analize proximale și finale realizate în LȘBCS conform metodologiilor prezentate în Tabelul 2.1 și în studiul nostru [149] Rezultatele experimentale au fost prelucrate statistic folosind instrumentele software Statgraphics și Excel.

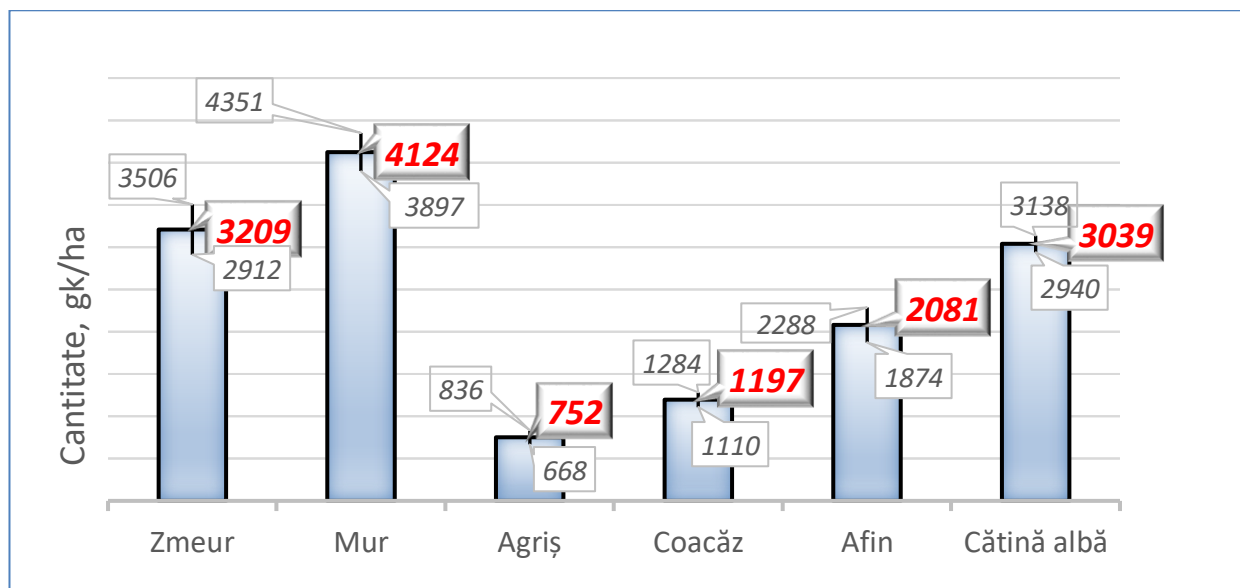


Figura 2.8. Cantitatea medie de reziduuri generate de arbuștii fructiferi

Figura 2.8 prezintă cantitatea medie și valorile maxime și minime ale reziduurilor generate de arbuștii fructiferi analizați în acest studiu. Valorile sunt exprimate în unități de masă și corespund biomasei cu un conținut de umiditate de 10%.

Se observă că cantitățile de biomasă reziduală variază semnificativ între specii, ceea ce indică faptul că tipul de arbust influențează considerabil volumul de biomasă disponibilă pentru utilizare. Cele mai mari cantități de reziduuri sunt generate de mur și zmeur, cu valori medii de 4124 ± 227 kg/ha și, respectiv, 3209 ± 297 kg/ha. Cătina albă și afinul produc cantități moderate de reziduuri, situându-se între 3039 ± 99 kg/ha și 2081 ± 207 kg/ha. Cele mai mici cantități de reziduuri sunt generate de agriș (752 ± 84 kg/ha) și coacăz (1197 ± 87 kg/ha).

Astfel, se poate deduce că speciile cu randament ridicat de reziduuri, precum murul, zmeurul, cătina albă și afinul, pot fi mai eficiente pentru valorificarea biomasei reziduale în scop energetic sau industrial. În schimb, speciile cu randament redus, precum agrișul și coacăzul, pot necesita o strategie diferită de utilizare a biomasei, de exemplu, prin combinarea cu alte surse.

Diferențele dintre cantitățile de reziduuri pot fi influențate de factori precum densitatea culturii, modul și regimul de tăiere, precum și condițiile pedoclimatice.

Pentru a obține o imagine clară asupra posibilității utilizării anumitor tipuri de biomasă generată de arbuștii fructiferi ca materie primă în producerea biocombustibililor solizi, este necesar să dispunem de informații cât mai complete privind calitatea acestora. În Tabelul 2.9 sunt prezentate rezultatele analizei proxime și finale pentru diferite specii de arbuști fructiferi, detaliate pe principalele soiuri cultivate în Republica Moldova. Datele au fost obținute pe probe colectate în anii 2020-2025 și parțial au fost publicate în mai multe lucrări cu participarea autorului [110, 112, 115, 120, 121].

Tabelul 2.9. Analiza proximală și finală a biomasei vegetale generate de diferite soiuri de arbuști fructiferi cultivați în Republica Moldova

Soi cultură	q_{vd} , J/g	$q_{vnet d}$, J/g	$q_{Pnet M=10\%}$, J/g	A, %	M_{rec} , %	MV, %	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O, %
Zmeur												
Barnaulievskaya	19207,21	17871,94	15840,44	1,71	47,01	79,69	46,35	0,58	6,12	0,02	0,06	45,18
Scromnița	19042,04	17702,53	15687,98	1,82	47,91	80,02	46,24	0,52	6,14	0,03	0,05	45,23
Laszka	19019,11	17662,75	15652,17	1,63	44,7	79,54	46,51	0,46	6,22	0,03	0,04	45,14
Sugana	18637,23	17310,69	15335,32	1,69	47,21	79,47	46,73	0,49	6,08	0,04	0,05	44,96
Glen Ample	18872,32	17557,77	15557,69	1,69	46,34	79,71	45,85	0,57	6,02	0,02	0,06	45,81
Media	18955,58	17621,14	15614,72	1,71	46,63	79,69	46,34	0,52	6,12	0,03	0,05	45,26
Abat. Stand.	213,96	207,15	186,44	0,07	1,22	0,25	0,33	0,05	0,07	0,01	0,01	0,32
Int. încred.	171,20	165,75	149,18	0,06	0,97	0,20	0,26	0,04	0,06	0,01	0,01	0,26
Mur												
Loch Tay	18325	16885,11	14952,30	2,64	45,58	78,32	44,11	0,84	6,61	0,04	0,08	45,72
Triple Crown	18422	16996,76	15052,78	2,43	46,75	78,45	44,15	0,72	6,54	0,05	0,06	46,10
Thornfree	18023	16561,94	14661,44	2,54	47,06	78,22	44,18	0,64	6,71	0,04	0,07	45,86
Arapaho	18527	17091,59	15138,13	2,97	47,21	78,39	44,08	0,79	6,59	0,05	0,09	45,48
Media	18324,25	16883,85	14951,16	2,65	46,65	78,33	44,13	0,75	6,61	0,05	0,08	45,79
Abat. Stand.	217,11	230,60	207,54	0,23	0,74	0,12	0,04	0,09	0,07	0,01	0,01	0,26
Int. încred.	173,72	184,52	166,06	0,19	0,59	0,09	0,04	0,07	0,06	0,00	0,01	0,21
Agris												
Donețki krupnoplodnii	19306,00	17871,71	15840,24	2,61	48,01	79,87	43,21	0,73	6,58	0,05	0,08	46,79
Donetski perveneț	19307,00	17919,08	15882,87	2,51	47,84	79,55	43,13	0,71	6,36	0,06	0,09	47,20
Media	19306,50	17895,39	15861,55	2,56	47,93	79,71	43,17	0,72	6,47	0,06	0,09	47,00
Abat. Stand.	0,71	33,50	30,15	0,07	0,12	0,22	0,06	0,01	0,16	0,01	0,01	0,29
Int. încred.	0,62	29,36	26,42	0,06	0,11	0,20	0,05	0,01	0,14	0,01	0,01	0,25
Coacăz												
Titania	19288	17923,54	15886,88	3,91	41,89	78,29	47,27	0,41	6,27	0,04	0,09	42,05
Roșu de Olanda	19289	17924,14	15887,42	3,41	42,24	78,32	47,21	0,38	6,18	0,05	0,10	42,72
Belorusskaia sladkaia	19290	17925,63	15888,76	4,02	41,78	78,25	47,32	0,45	6,29	0,05	0,09	41,83
Media	19289,00	17924,43	15887,69	3,78	41,97	78,29	47,27	0,41	6,25	0,05	0,09	42,20
Abat. Stand.	1,00	1,08	0,97	0,33	0,24	0,04	0,06	0,04	0,06	0,01	0,01	0,46
Int. încred.	0,88	0,94	0,85	0,28	0,21	0,03	0,05	0,03	0,05	0,01	0,01	0,41

Soi cultură	q_{Vd} , J/g	$q_{Vnet d}$, J/g	$q_{Pnet M=10\%}$, J/g	A, %	M _{rec} , %	MV, %	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O, %
Afin												
Bluegold	19342,22	17931,34	15893,90	2,44	44,55	79,18	48,87	0,69	6,49	0,05	0,07	41,44
Blue Crop	19224,13	17872,18	15840,67	2,68	44,62	79,26	48,32	0,45	6,21	0,07	0,06	42,28
Duke	18946,86	17556,66	15556,70	2,21	44,44	79,08	48,54	0,72	6,39	0,04	0,06	42,08
Media	19171,07	17786,73	15763,76	2,44	44,54	79,17	48,58	0,62	6,36	0,05	0,06	41,93
Abat. Stand.	202,95	201,43	181,28	0,24	0,09	0,09	0,28	0,15	0,14	0,02	0,01	0,44
Int. încred.	177,89	176,55	158,90	0,21	0,08	0,08	0,24	0,13	0,12	0,01	0,01	0,38
Cătină albă												
Cora	20699	19324,06	17147,35	2,44	44,55	79,18	48,87	0,69	6,32	0,05	0,07	41,61
Andros	20700	19325,06	17148,25	2,44	44,55	79,18	48,87	0,69	6,32	0,05	0,07	41,61
Clara	20700	19333,36	17155,72	2,36	44,62	79,24	48,78	0,44	6,28	0,04	0,05	42,09
Mara	20701	19289,79	17116,51	1,96	44,44	79,02	48,94	0,48	6,49	0,05	0,07	42,06
Media	20700,00	19318,07	17141,96	2,30	44,54	79,16	48,87	0,58	6,35	0,05	0,07	41,84
Abat. Stand.	0,82	19,31	17,38	0,23	0,07	0,09	0,07	0,13	0,09	0,01	0,01	0,27
Int. încred.	0,72	16,92	15,23	0,20	0,07	0,08	0,06	0,12	0,08	0,00	0,01	0,24
Măceș												
	20740	19329,12	17151,91	2,44	44,55	79,18	48,87	0,69	6,49	0,05	0,07	41,44
Porumbar												
	19747	18396,45	16312,50	5,4	41,64	76,81	47,34	0,58	6,21	0,05	0,06	40,41

Notă: Abrevierile sunt utilizate în mod similar celor din Tabelul 2.3.

Analiza comparativă a datelor din Tabelul 2.9 a arătat că cea mai mare valoare calorifică posedă biomasa de măceș ($q_{PnetM=10\%}=17,152$ MJ/kg), urmată de cea de cătină albă cu media pentru soiurile studiate ($q_{PnetM=10\%}=17,142\pm0,017$ MJ/kg). Astfel, se poate deduce că biomasa de măceș și cătină albă, oferă cea mai mare cantitate de energie per unitate de masă, fiind preferabile pentru ardere.

Dintre probele analizate, cea mai mică valoare calorifică a marcat biomasa de mur cu o medie calculată pentru soiurile examinate ($q_{PnetM=10\%}=14,95\pm0,17$ MJ/kg). Biomasa provenită din coacăz, agriș și afin prezintă valori intermediare aproximativ egale. Deci, biomasa de mur, coacăz, agriș, afin și zmeur sunt mai puțin efective ca combustibil comparativ cu alte specii fiind recomandate pentru utilizare în calitate de componente în amestecuri sau mixturi cu alte tipuri de biomasă vegetală.

Un alt inconvenient care defavorizează folosirea biomasei de coacăz este conținutul mare de cenușă cu o medie de ($3,78\pm0,28$ %), iar a celei de agriș - conținutul de umiditate la recoltare ($47,93\pm0,11$ %) ce necesită mai multă energie pentru condiționare înainte de procesare în peleți sau brichete, lucru care o face mai puțin atractivă pentru procesare.

Analiza detaliată a datelor obținute și folosind anumite criterii de compromis ne permite să recomandăm pentru utilizare în calitate de materie primă individuală sau în amestec, în primul rând, biomasa de cătină albă, de măceș și de mur (cu cea mai mare putere de ardere și cu un conținut moderat de cenușă).

Biomasa de zmeur are perspective reale de a fi folosită în amestecuri de materie primă ca componentă capabilă să reducă conținutul de cenușă. Însă trebuie de avut în vedere că celelalte componente trebuie să posede valori calorifice ridicate pentru a fi capabile să compenseze valoarea calorifică joasă a biomasei de zmeur. Biomasa de coacăz, agriș și afin sunt recomandabile pentru utilizare în amestecuri cu alte tipuri de biomasă.

În încheiere putem concluda că, în ciuda potențialului semnificativ al biomasei arbuștilor fructiferi, unele dintre proprietățile acestora nu sunt conforme cerințelor înaintate de familia de standarde SM EN ISO 17225 (vezi Tabelul 1.1), ceea ce este un dezavantaj comun al utilizării biomasei alternative în scopuri de ardere. În această situație este oportun să se studieze posibilitățile de îmbunătățire a produsului finit prin diferite metode tehnice, tehnologice pe întreg fluxul de producere.

2.2.5. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei de viță-de-vie

Studiul din această secțiune este axat pe evaluarea resurselor de biomasă generate de sectorul vitivinicol din Republica Moldova și pe oportunitatea utilizării acestora pentru producerea biocombustibililor solizi.

Tabelul 2.10 prezintă producția anuală per hectar de biomasă vegetală rezultată de la viței-de-vie și caracteristicile fizice și de combustie. Probele au fost prelevate de pe 10 câmpuri situate în diferite localități ale Republicii Moldova cu diferite scheme de plantare. Probele prezintă mixturi de biomasă divizate în două grupe: biomasă generată de soiurile tehnice și biomasă generată de soiurile de masă.

Tabelul 2.10. Cantitatea de biomasă de viță-de-vie recoltată și analiza proximă a acesteia

Schema de plantație/nr tufe examine	m_p , kg/ha	m_d , kg/ha	$m_{b\ M=10\%}$, kg/ha	q_{vd} , MJ/kg	$q_{vnet\ d}$, MJ/kg	$q_{pnet\ M=10\%}$, MJ/kg	A, %	M_{rec} , %	MV, %	CFd, %
Soiuri tehnice										
1,2x2,5/24	2486	1009	1121	18,857	17,475	15,483	2,97	59,4	78,01	19,02
1,2x2,5/36	2275	926	1029	18,959	17,589	15,586	2,88	59,3	77,91	19,21
1,2x2,5/16	2467	1004	1116	19,157	17,781	15,759	3,07	59,3	78,22	18,71
1,2x2,5/8	2707	1099	1222	18,862	17,480	15,487	2,92	59,4	79,14	17,94
1,2x2,5/12	2490	1007	1118	18,857	17,481	15,488	3,02	59,6	77,78	19,20
Media	2485	1009	1121	18,939	17,561	15,561	2,97	59,39	78,21	18,82
Abat. Stand.	153	61	68	0,130	0,132	0,119	0,08	0,11	0,54	0,53
Int. încred.	122	49	55	0,104	0,106	0,095	0,06	0,09	0,43	0,42
Soiuri de masă										
1,75x3/16	1926	1039	1155	18,827	17,443	15,454	2,77	46,05	78,24	18,99
1,75x3/23	1977	1071	1190	18,768	17,398	15,414	2,78	45,85	78,25	18,97
1,75x3/16	2202	1187	1319	18,741	17,363	15,382	2,81	46,09	78,13	19,06
1,75x3/8	2143	1154	1282	19,057	17,653	15,644	2,82	46,16	78,42	18,76
1,75x3/12	2075	1118	1242	18,827	17,438	15,450	2,72	46,11	78,43	18,85
Media	2065	1114	1238	18,844	17,459	15,469	2,78	46,05	78,29	18,93
Abat. Stand.	114	60	67	0,125	0,113	0,102	0,04	0,12	0,13	0,12
Int. încred.	91	48	53	0,100	0,091	0,082	0,03	0,10	0,10	0,10

Notă: CFd – conținutul de carbon în bază uscată, celelalte abrevieri similar ca în Tabelul 2.2 și Tabelul 2.3.

Comparând datele prezentate în tabel constatăm că soiurile tehnice au o producție medie de biomasă recoltată estimată pentru umiditate de 10% ($m_{b\ M=10\%}$) de 1121 ± 55 kg/ha, comparativ cu 1238 ± 53 kg/ha pentru soiurile de masă.

Valoarea calorică inferioară ($q_{pnetM=10\%}$) este ușor mai mare pentru soiurile tehnice ($15,561 \pm 0,095$ MJ/kg) față de soiurile de masă ($15,469 \pm 0,082$ MJ/kg), ceea ce sugerează o ușoară

superioritate energetică a acestora. Valorile sunt relativ constante, cu o abatere standard mică, ceea ce indică o stabilitate a proprietăților combustibile ale biomasei analizate.

Umiditatea medie a biomasei la recoltare (M_{rec}) este mai ridicată la soiurile tehnice ($59,39 \pm 0,09\%$) față de soiurile de masă ($46,05 \pm 0,10\%$). Această diferență poate influența cheltuielile pentru pre-uscarea înainte de densificare, însă, în cazul în care biomasa este uscată natural în câmp, impactul asupra costurilor de procesare este nesemnificativ.

Conținutul de cenușă (A) este mai ridicat la soiurile tehnice ($2,97 \pm 0,06\%$) comparativ cu cele de masă ($2,78 \pm 0,03\%$), indicând o ușoară diferență în compoziția chimică. Un conținut mai mare de cenușă poate influența eficiența arderii și poate duce la acumularea mai rapidă a reziduurilor în sistemele de combustie.

Un alt parametru important în evaluarea calității combustibilului este conținutul de carbon fix (CFd). Acesta reprezintă fracțiunea solidă rămasă după eliminarea umidității și a substanțelor volatile, având un impact direct asupra eficienței arderii. În general, un conținut mai mare de carbon fix indică un combustibil cu o ardere mai lentă și mai eficientă, generând o cantitate mai mare de energie pe unitatea de masă.

Pentru biomasa analizată, valorile medii ale carbonului fix sunt comparabile între cele două tipuri de soiuri, situându-se în jurul valorii de $18,82 \pm 0,42\%$ pentru soiurile tehnice și $18,93 \pm 0,10\%$ pentru soiurile de masă. Acest lucru indică faptul că ambele tipuri de biomasă pot avea un comportament similar în procesul de combustie, cu o ușoară tendință de eficiență energetică mai ridicată pentru soiurile de masă.

Abaterile standard sunt relativ mici, ceea ce arată o consistență a rezultatelor experimentale. Intervalele de încredere confirmă că datele sunt bine delimitate și nu prezintă deviații mari, ceea ce oferă un grad ridicat de precizie în analiza comparativă a biomasei provenite din diferite tipuri de viță-de-vie.

Tabelul 2.10 prezintă analiza finală a biomasei de viță-de-vie, incluzând concentrațiile de carbon (C), azot (N), hidrogen (H), clor (Cl), sulf (S) și oxigen (O). Aceste date sunt necesare pentru evaluarea impactului asupra mediului și eficienței energetice a biomasei utilizate ca biocombustibil.

Rezultatele obținute arată că valoarea medie a conținutului de carbon este similară pentru ambele tipuri de soiuri: $46,95 \pm 0,08\%$ pentru soiurile tehnice și $46,91 \pm 0,05\%$ pentru soiurile de masă. Valorile apropiate sugerează un potențial calorific asemănător, deoarece carbonul este principalul element responsabil pentru eliberarea energiei în timpul combustiei. Acest aspect este confirmat și de diferența minoră a conținutului de oxigen, element implicat direct în procesul de ardere.

Conținutul mediu de azot este relativ scăzut ($0,52 \pm 0,02\%$ pentru soiurile tehnice și $0,50 \pm 0,03\%$ pentru soiurile de masă), ceea ce sugerează un impact redus asupra emisiilor poluante, având un potențial mic de formare a oxizilor de azot (NO_x) în timpul arderii.

Tabelul 2.11. Analiza finală a biomasei de viță-de-vie studiată

Schema de plantație/nr. tufe examine	C, %	N, %	H, %	Cl, %	S, %	O
Soiuri tehnice						
1,2x2,5/24	47,12	0,54	6,35	0,04	0,05	42,97
1,2x2,5/36	46,94	0,51	6,29	0,03	0,04	43,34
1,2x2,5/16	46,90	0,52	6,32	0,03	0,04	43,15
1,2x2,5/8	46,92	0,54	6,35	0,04	0,05	43,22
1,2x2,5/12	46,85	0,48	6,32	0,03	0,04	43,29
Media	46,95	0,52	6,33	0,03	0,04	43,19
Abat. Stand.	0,10	0,02	0,03	0,01	0,01	0,14
Int. încred.	0,08	0,02	0,02	0,00	0,00	0,12
Soiuri de masă						
1,75x3/16	47,02	0,45	6,36	0,04	0,05	43,35
1,75x3/23	46,88	0,53	6,29	0,03	0,04	43,48
1,75x3/16	46,91	0,48	6,33	0,03	0,04	43,43
1,75x3/8	46,87	0,54	6,45	0,04	0,05	43,27
1,75x3/12	46,89	0,49	6,38	0,03	0,04	43,48
Media	46,91	0,50	6,36	0,03	0,04	43,40
Abat. Stand.	0,06	0,04	0,06	0,01	0,01	0,09
Int. încred.	0,05	0,03	0,05	0,00	0,00	0,07

Notă: Abrevierile sunt utilizate în mod similar celor din Tabelul 2.3.

O ușoară diferență a conținutului de hidrogen, în favoarea soiurilor de masă, poate indica o combustie mai eficientă și o eliberare de energie ușor mai mare.

Sulful, un element nedorit în combustibili, se regăsește în cantități reduse ($0,04\%$) în ambele tipuri de biomasă. Totuși, prezența sa nu poate fi ignorată, deoarece în timpul arderii acesta formează dioxid de sulf (SO_2), un poluant responsabil pentru apariția ploilor acide.

Conținutul mediu de clor este scăzut pentru ambele tipuri de biomasă ($0,03\%$). Acest aspect ne permite să afirmăm că biocombustibilii obținuți din reziduuri de viță-de-vie nu afectează fiabilitatea termocentralelor, deoarece nu prezintă un risc ridicat de coroziune.

Comparând datele din tabelele 2.9 și 2.10 cu cerințele înaintate BCSD din Tabelul 1.2, putem concluziona că biomasa de viță-de-vie poate fi utilizată pentru producerea BCSD, având caracteristici conforme cerințelor standardului SM EN ISO 17225.

Datele obținute în acest studiu confirmă corectitudinea datelor anterioare obținute de către noi și prezentate în lucrarea [160] și în analiza detaliată a reziduurilor generate de către soiurile Moldova și Cabernet, recoltate de pe tufe pe rod cu diferite scheme de plantație [161].

Rezultatele din acest studiu, corelate cu cele anterioare, ne permite să afirmăm că valorificarea reziduurilor vitivinicole alături de cele pomicole reprezintă un pas important în direcția unei economii circulare în Republica Moldova. Integrarea acestor resurse în circuitul economic nu doar că reduce impactul negativ asupra mediului, dar contribuie și la creșterea sustenabilității și competitivității sectorului vitivinicol.

Prin investiții în tehnologie, politici de sprijin și conștientizare, Republica Moldova poate deveni un exemplu de bune practici în domeniul economiei circulare aplicate industriei vitivinicole.

2.3. Concluzii specifice la capitolul 2

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul analizei disponibilității biomasei pomi-viticole pentru producerea biocombustibililor solizi densificați în Republica Moldova au fost structurate următoarele concluzii:

1. Reziduurile vegetale provenite de la pomii fructiferi, datorită puterii lor calorice și altor proprietăți relevante, sunt potrivite pentru producerea brichetelor care corespund claselor de calitate A1, A2 și B. Totuși, utilizarea lor este limitată de conținutul ridicat de cenușă, care depășește 3%. În aceste condiții, această biomasă poate fi utilizată pentru producerea brichetelor din lemn din clasa B, respectând cerințele legate de valoarea calorifică și conținutul de cenușă.

2. Biomasă în formă de endocarp, provenită de la procesarea tuturor speciilor de nuciferi prezente în acest studiu, pot fi procesate direct, fără a necesita o condiționare prealabilă prin uscare, datorită conținutului de umiditate care variază de la 10,9% la alun până la 12,7% la migdal.

3. Reziduurile lemnoase nucifere sunt potrivite doar pentru producerea peleților și brichetelor din categoria produselor din biomasă non-lemnoasă, blenduri și mixturi de biomasă, încadrându-se în categoria A pentru peleți și A2 pentru brichete. Crengile de alun și migdal pot fi folosite în calitate de materie primă la producerea brichetelor din categoria brichete din lemn clasa A2.

4. Reziduurile de arbuști fructiferi, deși posedă un potențial semnificativ, unele dintre proprietățile acestora nu sunt conforme cerințelor înaintate de familia de standarde SM EN ISO 17225 ceea ce este un obstacol în utilizarea directă a acestora pentru producerea BCSD. În această situație, este oportun să se studieze posibilitățile de îmbunătățire a produsului finit prin diferite metode tehnologice și tehnice pe întreg fluxul de producere.

5. Analiza probelor de biomasă de viță-de-vie, prelevate de pe 10 plantații situate din diferite localități ale Republicii Moldova, denotă că soiurile tehnice au o producție medie de biomasă recoltată, estimată pentru umiditate de 10% ($m_{b\ M=10\%}$), de 1121 ± 55 kg/ha, comparativ cu 1238 ± 53 kg/ha pentru soiurile de masă. Valoarea calorifică netă ($q_{PnetM=10\%}$) este ușor mai mare pentru soiurile tehnice ($15,561 \pm 0,095$ MJ/kg) față de soiurile de masă ($15,469 \pm 0,082$ MJ/kg), ceea ce sugerează o ușoară superioritate energetică a acestora. Valorile sunt relativ constante, cu o abatere standard mică, ceea ce indică o stabilitate a proprietăților combustibile ale biomasei analizate.

6. Utilizarea biomasei vegetale pomi-viticole la producerea BCSD reprezintă un pas important în direcția unei economii circulare în Republica Moldova. Integrarea acestor resurse în circuitul economic nu doar reduce impactul negativ asupra mediului, ci contribuie și la creșterea sustenabilității și competitivității sectorului pomi-viticol.

3. POTENȚIALUL ENERGETIC AL BIOMASEI POMI-VITICOLE DISPONIBILĂ PENTRU PRODUCEREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI

3.1. Metodica de estimare a potențialului energetic al biomasei pomi-viticole. Scopul și obiectivele studiului

Scopul acestei capitole este de a analiza potențialul biomasei vegetale pomi-viticole din Republica Moldova, identificând principalele resurse disponibile, cantitățile estimate și utilizările posibile în contextul producerii biocombustibililor solizi în anumite localități ale țării.

Diferite metode sunt folosite de autori pentru a determina potențialul energetic al biomasei. De exemplu, [162] a calculat potențialul energetic de reziduuri agricole din regiunile Mării Negre din Turcia prin multiplicarea valorii calorifice a reziduurilor agricole cu cantitatea disponibilă a acestora. Cantitatea de reziduuri a fost estimată pe baza datelor statistice privind producția culturilor respective, utilizând un raport reziduu-produs și un coeficient de disponibilitate specific fiecărei culturi. Practic, aceeași metodologie au folosit-o și [16, 17] la calcularea potențialului energetic al biomasei disponibile în diferite localități ale Republicii Moldova. Suplimentar autorii au mai adăugat un coeficient care ține cont de pierderile inevitabile ce apar în timpul recoltării, transportării și stocării biomasei.

Un șir de autori au grupat potențialul energetic al biomasei în mai multe categorii. De exemplu, [163] folosește pentru analiză detaliată a potențialului energetic bazat pe biomasă agricolă din Turcia 2 tipuri de potențial de biomasă – teoretic și disponibil, iar [164] evaluează potențialul sustenabil al biomasei pășunilor pentru aprovizionare cu energie în nord-vestul Europei cu 4 tipuri de potențial de biomasă – teoretic, tehnic, economic și sustenabil.

În acest studiu metodologia propusă pentru determinarea potențialului energetic presupune estimarea acestuia prin 3 tipuri de potențial energetic: teoretic, disponibil și sustenabil de implementare.

Analiza acestor trei tipuri de potențial energetic reprezintă un pas important în elaborarea unor strategii eficiente pentru valorificarea biomasei agricole în producția de biocombustibili solizi.

Potențialul energetic teoretic (PET) reprezintă cantitatea totală de energie conținută în biomasa generată, fără a lua în considerare factorii limitativi. Această estimare maximă se bazează pe volumul integral al biomasei rezultate din activitățile agricole și se calculează utilizând puterea calorifică a biomasei, presupunând valorificarea completă a acesteia [163]. De exemplu, dacă toate reziduurile pomi-viticole ar fi colectate și utilizate în proporție de 100%, TEP ar reflecta suma

totală a energiei încorporate în aceste reziduuri. Pentru 1 hectar de plantații de pomi-viticole, potențialul energetic teoretic a fost calculat utilizând următoarea ecuație:

$$PET = \sum m_{b\ M=10\%} \cdot q_{Pnet\ M=10\%}, \quad (3.1)$$

în care $m_{b\ M=10\%}$ - este cantitatea medie de biomasă convertită pentru conținutul de umiditate egal cu 10% colectată de pe o suprafață concretă de plantații;

$q_{Pnet\ M=10\%}$ - valoarea calorică netă a biomasei cu conținutul de umiditate egal cu 10% calculată pentru presiune constantă.

Potențialul energetic disponibil (PED) reprezintă o parte redusă din potențialul energetic teoretic, fiind limitat de factori precum utilizarea biomasei în alte scopuri decât cele energetice, eficiența procesului tehnologic și alte constrângeri [134]. De exemplu, nu întreaga cantitate de biomasă poate fi recoltată de pe câmp, deoarece o parte trebuie lăsată pentru menținerea fertilității solului. Determinarea *PED* s-a realizat ca produs între potențialul energetic teoretic și un coeficient de disponibilitate (A_i), acesta din urmă fiind stabilit conform recomandărilor din literatura de specialitate. De exemplu, pentru pomii fructiferi, valoarea coeficientului A_i a fost acceptată ca fiind 0,8 [16, 17, 163].

$$PED = PET \cdot A_i. \quad (3.2)$$

Potențialul energetic sustenabil de implementare (PESI) constituie fracțiunea din potențialul energetic disponibil care poate fi utilizată profitabil, ținând cont de costurile asociate cu colectarea, procesarea și utilizarea biomasei, precum și de factori tehnici și de sustenabilitate. Valoarea SEPI este influențată de aspecte economice, tehnologice și politice [165, 166], incluzând pierderile legate de transport, depozitare etc. [17]. De exemplu, dacă costurile de recoltare și procesare depășesc valoarea energiei obținute, biomasa respectivă nu va fi considerată parte a potențialului economic.

Potențialul energetic sustenabil de implementare s-a calculat folosind următoarea ecuație:

$$PESI = PED \cdot (1 - k_{il}), \quad (3.3)$$

în care k_{il} - este coeficientul pierderilor de implementare.

Metodologia de determinare a potențialului energetic al biomasei vegetale pomi-viticole se bazează pe 3 criterii echivalente: a) posibilitatea de reproducere și de implementare în producție; b) posibilitate estimării potențialului teoretic, disponibil și sustenabil de implementare la nivel de localitate, raion zonă de dezvoltare economică și țară; c) posibilitate estimării incertitudinii predictive atunci când caracteristicile biomasei variază între diferite loturi și tipuri de biomasă și când disponibilitatea datelor sunt limitate.

În practică, producătorii de biocombustibili solizi densificații din reziduuri agricole, de obicei, nu separă biomasa în funcție de soiuri sau grupe de pomi fructiferi, deși caracteristicile acestora pot varia semnificative. În acest context, este esențial ca modelele matematice folosite pentru calcularea potențialului energetic să reflecte corect rezultatele obținute [167]. Astfel, având în vedere aceste aspecte, lucrarea de față propune determinarea incertitudinii predictive asociate valorilor potențialului energetic al biomasei vegetale provenite din pomicultură și viticultură. Această abordare contribuie la reducerea semnificativă a riscurilor legate de asigurarea calității pe întregul lanț de aprovizionare cu peleți și brichete.

Incertitudinea predictivă, în cazul în care componentele incertitudinii sunt exprimate în aceleași unități, a fost calculată utilizând relația pentru incertitudinea extinsă. Aceasta este definită ca un interval în jurul rezultatului măsurării potențialului energetic, în interiorul căruia se așteaptă să se afle valoarea reală atribuită măsurandului. Incertitudinea extinsă se determină cu următoarea relație:

$$u_p(PE) = k \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} = k \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}, \quad (3.4)$$

în care $u_p(PE)$ - este incertitudine predictivă a potențialului energetic; k – factorul de extindere a incertitudinii predictive; u_i - incertitudinea standard.

Incertitudinea standard este abaterea standard a mediei și se calculează cu relația:

$$u(x_i) = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

în care x_i este mărimea de intrare, n – numărul de observații repetate și independente $x_{i,k}$.

Determinarea incertitudinii predictive atunci când componentele sunt exprimate în unități diferite s-a realizat prin utilizarea metodei de propagare a incertitudinii. De exemplu, în cazul determinării incertitudinii pentru PET, avem parametri exprimați în diferite unități, cum ar fi: masa biomasei în kg/ha, valoarea calorică netă în MJ/kg și potențialul energetic teoretic (PET) în GJ/ha. Pentru calcul s-a aplicat formula:

$$u_p = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot u_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot u_{x_{12}}\right)^2 + \dots}, \quad (3.6)$$

unde: f este funcția care definește variabila de interes (pentru cazul nostru $PET = \sum m_{bM=10\%} \cdot q_{pnetM-10\%}$); u_{x_i} sunt incertitudinile parametrilor implicați, $\frac{\partial f}{\partial x_1}$ sunt derivatele parțiale ale funcției față de fiecare parametru.

La determinarea incertitudinii predictive nu se iau în calcul datele aberante. Eliminarea acestora s-a realizat prin verificarea datelor experimentale la punctele extreme folosind criteriul Irwin λ . Pentru aceasta s-a determinat valoarea experimentală a criteriului Irwin din relația:

$$\lambda_{exp} = \frac{(t_i - t_{i-1})}{\sigma}, \quad (3.7)$$

în care t_i și t_{i-1} sunt primele sau ultimele două puncte ale datelor experimentale.

Valoarea criteriului Irwin experimentală se compară cu valoarea teoretică λ_t (Tabelul 3.1).

În cazul când $\lambda_{exp} \leq \lambda_t$ punctul se consideră veridic, iar dacă $\lambda_{exp} \geq \lambda_t$ atunci punctul se consideră aberant.

Tabelul 3.1. Valoarea coeficientului Irwin

N	2	3	10	20	30	50	70	100	400
λ_t pentru $\alpha=0,95$	2,8	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
λ_t pentru $\alpha=0,99$	3,7	2,9	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,3

3.2. Potențialul energetic al reziduurilor generate de pomii fructiferi

Suprafața totală a plantațiilor de pomi fructiferi (atât sămburoase, cât și sămânțoase) a fost estimată în anul 2023 la 91,5 mii hectare, dintre care 83 mii hectare erau productive [15]. Aceste suprafețe generează anual cantități semnificative de biomasă vegetală rezultate din activitățile de întreținere a livezilor. De obicei, această biomasă este fie arsă, fie încorporată în sol, deși arderea sa este ilegală și prezintă riscuri pentru mediu, sol și siguranța incendiilor.

Arderea biomasei vegetale este ilegală, deși această practică mai este utilizată de unii agenți economici. Ea afectează direct mediul, distruge microflora solului și poate duce la scăderea fertilității acestuia [168]. În plus, reprezintă un risc de incendiu, în special în perioadele secetoase [12].

Utilizarea biomasei vegetale din plantațiile pomicole ca materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi este o opțiune fezabilă și promițătoare [102]. Cu toate acestea, oportunitatea respectivă este, în mare parte, neexploatăată în multe țări, inclusiv în Republica Moldova [98]. Cu toate acestea, estimările privind potențialul energetic al biomasei rezultate din pomicultură variază semnificativ în funcție de specia pomicolă, metodologiile utilizate și condițiile de recoltare, iar în unele cazuri, chiar sunt contradictorii (vezi Tabelul 1.1).

De exemplu, Arkadiusz DYJAKON, în rezultatul analizei datelor prezentate de către cinci autori diferiți, remarcă că potențialul de biomasă colectat de pe un hectar plantații de măr, pe parcursul unui an, variază foarte mult în funcție de soi și de numărul de pomi la hectar, cu valori

limită de la 1000 kg până la 9800 kg [103, tab.1]. Potențialul energetic teoretic al biomasei în Polonia, conform aceluiași autor constituie 12325 TJ/an fiind colectată de pe 193440 ha [103, tab. 2].

Unii cercetători folosesc coeficienți de conversie pentru determinarea potențialului de biomasă în raport cu roada globală obținută din diverse culturi agricole. De exemplu, Pence și colaboratorii au propus coeficienți de conversie pentru diverse specii pomicole: măr (0,19), păr (0,22), cais (0,19), cireș (0,19) și piersic (0,5) [163].

Gudźma, la rândul său, a utilizat un factor unitar de conversie al cantității de biomasă raportat la masa producției de bază [16]. Astfel, pentru pomii fructiferi din grupa sămânțoaselor a aplicat un coeficient de 0,28, iar pentru cei din grupa sămburoaselor – 0,26. În plus, autorul a integrat în calcule un coeficient de disponibilitate de 0,8 și un coeficient de pierderi de 0,9, iar cantitatea de biomasă a fost estimată pentru un conținut de umiditate de 10%. Prin urmare, factorul unitar de conversie real utilizat de autor în calcule a fost de 0,202 pentru pomii fructiferi din grupa sămânțoaselor și de 0,187 pentru cei din grupa sămburoaselor.

O metodologie similară a fost aplicată de Pavlenco, care însă a detaliat factorii unitari de conversie pentru fiecare specie de pomi. Valorile propuse de acesta pentru grupa sămânțoaselor sunt: meri – $0,28 \pm 0,02$, peri – $0,2 \pm 0,03$ și gutui – $0,14 \pm 0,04$, iar pentru grupa sămburoaselor: vișin – $0,16 \pm 0,02$, cireș – $0,24 \pm 0,03$, cais – $0,26 \pm 0,05$, piersic și prun – $0,26 \pm 0,04$ [17]. La fel ca în cazul precedent, autorul a utilizat un coeficient de disponibilitate de 0,8 și un coeficient de pierderi de 0,9.

Discrepanțele existente în datele privind potențialul energetic al biomasei vegetale provenite din livezile de pomi fructiferi pot fi explicate printr-o serie de factori. Unul dintre aceștia este reprezentat de variațiile anuale ale cantității de ramuri rezultate în urma lucrărilor de întreținere, care diferă semnificativ în funcție de specie, vârstă, tehnologia de tăiere aplicată, dar și de condițiile pedoclimatice specifice fiecărui an. Un alt aspect relevant îl constituie procesul de înlocuire treptată a livezilor îmbătrânite, care de obicei oferă un volum mare de material lemnos disponibil pentru valorificare energetică, cu plantații tinere, aflate în faza de formare a coroanei, caracterizate printr-un potențial inițial redus de tăiere și, implicit, printr-o cantitate mai mică de biomasă disponibilă.

La aceste variabilități se adaugă și anumite neclarități metodologice, întâlnite în unele studii de specialitate, care afectează comparabilitatea și acuratețea datelor. Spre exemplu, nu este întotdeauna specificat gradul de umiditate al biomasei pentru care a fost calculat potențialul energetic, deși acest parametru influențează semnificativ valoarea finală a energiei conținute. În plus, persistă uneori ambiguități privind tipul de valoare calorifică utilizată – dacă este vorba

despre puterea calorică superioară (brută) sau inferioară (netă), respectiv dacă aceasta este exprimată în bază uscată sau raportată la un anumit conținut de umiditate.

În continuare se prezintă rezultatele estimării potențialului energetic al biomasei generate de diferite specii de pomi fructiferi pomilor fructiferi, incluzând parametrii cantitativi ai biomasei, valoarea calorică, precum și estimările teoretice și sustenabile ale energiei disponibile. În studiu au fost folosite datele experimentale prezentate în subcapitolul 2.2.

Tabelul 3.2. Potențialul energetic al reziduurilor de pomi fructiferi

Parametri		Sămânțoase			Sâmburoase				
		Măr	Păr	Gutui	Prun	Cireș	Vișin	Cais	Piersic
$m_{b\ M=10\%}$, kg/ha	m	2639	2620	1338	1981	1566	1854	1504	2909
	σ	456	212	215	246	798	289	130	564
$q_{Pnet\ M=10\%}$, MJ/kg	m	15,615	15,579	15,372	16,211	15,784	15,578	15,873	15,995
	σ	0,365	0,414	0,416	0,539	0,506	0,449	0,396	0,36
A_i		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
k_{il}		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PET, GJ/ha		41,21	40,91	20,90	30,93	24,46	28,95	23,49	46,53
up , GJ/ha		7,19	3,49	3,40	3,99	12,49	4,59	2,12	9,08
PED, GJ/ha		32,97	32,73	16,72	24,75	19,57	23,16	18,79	37,22
up , GJ/ha		5,75	2,79	2,72	3,19	9,99	3,67	1,69	7,27
PESI, GJ/ha		29,67	29,45	15,05	22,27	17,61	20,84	16,91	33,50
up , GJ/ha		5,17	2,51	2,45	2,87	8,99	3,30	1,52	6,54

Notă: $m_{b\ M=10\%}$ - este cantitatea medie de biomasă convertită pentru conținutul de umiditate egal cu 10%; $q_{Pnet\ M=10\%}$ - valoarea calorică netă a biomasei cu conținutul de umiditate egal cu 10% calculată pentru presiune constantă; PET - potențialul energetic teoretic; PED - Potențialul energetic disponibil; PESI - potențialul energetic sustenabil de implementare; A_i - coeficientul de disponibilitate, egal cu 0,8; k_{il} - coeficientul pierderilor de implementare, egal cu 0,1; up - incertitudinea predictivă; m - valoarea medie, σ - abaterea standard.

S-a constatat că reziduurile de piersic, măr și păr au cel mai ridicat potențial energetic real și sunt cele mai potrivite specii pentru valorificare energetică dintre reziduurile pomicole. Astfel, energia care poate fi obținută în condiții reale de exploatare, luând în calcul eficiența proceselor tehnologice și sustenabilitatea recoltării biomasei, este estimată la $33,50 \pm 6,54$ GJ/ha pentru piersic $29,67 \pm 5,17$ GJ/ha pentru măr, $29,45 \pm 2,51$ GJ/ha pentru păr.

De menționat că, deși reziduurile de cireș au un PESI mai redus, acestea prezintă și cea mai mare incertitudine predictivă ($up = 8,99$ GJ/ha). Acest aspect indică o variabilitate semnificativă a datelor, care poate fi atribuită diferențelor dintre specii, schemelor de plantare, metodelor de tăiere, condițiilor de creștere și locațiilor din care au fost prelevate probele.

Cele mai mici valori au fost înregistrate la gutui ($15,05 \pm 2,45$ GJ/ha), cais ($16,91 \pm 1,52$ GJ/ha) și cireș ($17,71 \pm 8,99$ GJ/ha), dar și cu incertitudini mai mici în estimare. Acest fapt indică o probabilitate mai mare de obținere a unor cantități constante de biomasă din plantațiile respective.

Totodată, trebuie avut în vedere că aceste specii de biomasă au valori calorifice favorabile, ceea ce sugerează că nu trebuie neglijate și pot fi folosite ca materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi.

Corelarea incertitudinii cu potențialul energetic arată că speciile cu randament ridicat prezintă și cele mai mari variații în estimări, ceea ce impune o evaluare mai precisă la nivel de plantații și localități specifice, înainte de inițierea producției de biocombustibili solizi densificați din aceste reziduuri vegetale.

3.3. Potențialul energetic al reziduurilor generate de pomii fructiferi din grupa nuciferilor

În linii generale, potențialul energetic al reziduurilor generate de nuciferi depinde de masa de reziduuri generate de o anumită suprafață de plantații și de calitatea acestei biomase, în special de valoarea calorifică și gradul de umiditate [17]. Datele referitoare la cantitatea și calitate eşantioanele de biomasă generată de culturile nucifere sunt prezentate și analizate în subcapitolul 2.2.3. Sintetizând datele din Tabelul 2.7 și Tabelul 2.8 s-a evaluat potențialul energetic al biomasei generate de nucifere, raportat la un hectar de plantații.

Analiza acestui potențial a fost realizată din mai multe perspective, fiecare având un rol important în evaluarea resurselor și planificarea utilizării lor eficiente pentru producerea biocombustibililor solizi. Similar cazului precedent, s-au identificat trei tipuri de potențial: teoretic, disponibil și sustenabil de implementare.

Datele din Tabelul 3.3 oferă o perspectivă cuprinzătoare asupra potențialului energetic al biomasei pentru nuc, alun și migdal, diferențiate pe două componente principale: biomasa lemnoasă (BL) și biomasă endocarp (BE). Pentru a înțelege mai bine implicațiile acestor date, analizăm comparativ valorile cheie și impactul acestora asupra utilizării biomasei ca sursă de energie regenerabilă.

Tabelul 3.3. Potențialul energetic al biomasei generate de nuciferi

Origine biomasă		$m_{b, M=10\%}$ kg/ha	σ	$q_{Pret, M=10\%}$ MJ/kg	A_i	k_{il}	PET, GJ/ha	u_p , GJ/ha	PED, GJ/ha	u_p , GJ/ha	PESL, GJ/ha	u_p , GJ/ha
Nuc	BL	1180,1	165,9	15,5	0,9	0,1	18,29	2,58	16,46	2,32	14,82	2,09
	BE	1124,0	136,6	16,6	0,9	0,1	18,66	2,27	16,79	2,04	15,11	1,84
Alun	BL	1691,6	356,6	15,8	0,9	0,1	26,73	5,64	24,05	5,07	21,65	4,57
	BE	1203,9	72,7	16,8	0,9	0,1	20,23	1,23	18,20	1,11	16,38	1,00
Migdal	BL	1362,5	149,9	16,0	0,9	0,1	21,80	2,40	19,62	2,16	17,66	1,95
	BE	1614,0	209,4	16,4	0,9	0,1	26,47	3,44	23,82	3,10	21,44	2,79

Notă: abrevierile sunt folosite similar cu cele din Tabelul 3.2; BL - biomasa lemnoasă BE - biomasa endocarp.

Analiza acestor date evidențiază diferențele semnificative dintre biomasa lemnoasă și endocarp în funcție de cantitatea de biomasă, valoarea calorifică și potențialul energetic teoretic (PET), disponibil (PED) și sustenabil de implementare (PESI).

Cea mai mare valoare de PET se înregistrează pentru biomasa lemnoasă de alun ($26,73 \pm 5,64$ GJ/ha), urmată de migdal ($21,80 \pm 2,40$ GJ/ha) și nuc ($18,29 \pm 2,58$ GJ/ha). Aceasta indică o capacitate energetică superioară a alunului datorită masei mai mari de biomasă generată pe hectar ($1691,6 \pm 356$ kg/ha) și a valorii calorifice ridicate.

Referitor la biomasa de endocarp se constată că cel mai mare PET posedă cel de migdal ($26,47 \pm 3,44$ GJ/ha), urmat de cel de alun ($20,23 \pm 1,23$ GJ/ha). Cel mai mic PET generează endocarpul de nuc ($18,29 \pm 1,23$ GJ/ha).

După aplicarea coeficienților de pierderi și constrângeri tehnologice, PED scade, dar păstrează aceeași ierarhie ca și în cazul PET: alun ($24,05 \pm 5,07$) GJ/ha, migdal ($19,62 \pm 2,16$) GJ/ha, nuc ($16,46 \pm 2,32$) GJ/ha). Reducerea relativ moderată a PED indică faptul că biomasa nuciferelor este destul de eficientă în procesare, pierderile fiind relativ mici comparativ cu alte tipuri de biomasă agricolă.

Cantitatea reală de energie care poate fi utilizată în mod durabil, luând în considerare factorii de sustenabilitate și impactul asupra mediului este asigurată de către reziduurile de migdal cu un PESI total de ($39,10$ GJ/ha), urmat de alun ($38,03$ GJ/ha) și nuc ($29,93$ GJ/ha).

Aceste valori sugerează că migdalul și alunul sunt opțiuni extrem de atractive pentru producția de biocombustibili solizi, oferind un echilibru optim între potențialul energetic și sustenabilitate.

Comparând valorile potențialului energetic furnizat de către tipurile de biomasă luate în studiu se poate concluziona următoarele:

- Migdalul și alunul ar trebui să fie prioritizate în strategiile de valorificare a biomasei pomi-viticole datorită randamentului energetic ridicat;
- Pentru nuc, deși potențialul este mai scăzut, biomasa rezultată ar putea fi combinată cu alte surse vegetale pentru optimizarea eficienței globale. Endocarpul, având o putere de ardere ridicată poate fi folosit în termocentralele moderne fără a fi densificat în peleți sau brichete;
- Factorii precum umiditatea, costurile logistice și adaptabilitatea tehnologică trebuie să fie integrați în planificarea proceselor de densificare și producere a biocombustibililor solizi densificați;

- Analiza efectuată poate servi un sprijin în luarea unor decizii informate pentru valorificarea sustenabilă a biomasei nuciferelor, contribuind la diversificarea și consolidarea sectorului bioenergetic în Republica Moldova.

3.4. Analiza rezultatelor testelor efectuate asupra biomasei provenite din arbuști fructiferi

Informațiile prezentate în Tabelul 3.4 oferă o imagine detaliată cu privire la potențialul energetic al biomasei vegetale generate de șase specii de arbuști fructiferi, care sunt cultivați în diferite zone ale Republicii Moldova: zmeur, mur, agriș, coacăz, afin și cătină albă.

Analiza datelor obținute denotă că cel mai mare potențial energetic înregistrează biomasa de mur, urmată de îndeaproape de cea de zmeur și de cătină albă, Cele mai reduse valori se întâlnesc la biomasa vegetală de afin și cea de coacăz, fapt influențat fie de o cantitate mai mică de biomasă produsă pe hectar sau de o putere calorică mai joasă.

Tabelul 3.4. Potențialul energetic al reziduurilor de arbuști fructiferi

Parametri		Zmeur	Mur	Agriș	Coacăz	Afin	Cătină albă
m_b $M=10\%$, kg/ha	m	3209	4124	752	1197	2081	3039
	σ	297	227	84	87	207	99
q_{Pnet} $M=10\%$, MJ/kg	m	15,61	14,95	15,86	15,89	15,76	17,14
	σ	0,19	0,21	0,03	0,01	0,18	0,02
A_i		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
k_{il}		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PET, GJ/ha		50,11	61,66	11,93	19,02	32,80	52,10
up , GJ/ha		4,68	3,50	1,33	1,37	3,28	1,69
PED, GJ/ha		45,10	55,49	10,74	17,12	29,52	46,89
up , GJ/ha		4,21	3,15	1,19	1,24	2,95	1,52
PESI, GJ/ha		40,59	49,94	9,67	15,40	26,57	42,20
up , GJ/ha		3,79	2,83	1,07	1,11	2,66	1,37

Notă: Abrevierile similar cu cele din Tabelul 3.2.

După aplicarea coeficienților de pierderi și restricții tehnologice, PED rămâne ridicat pentru mur (61,66±3,50 GJ/ha), cătină albă (52,19±1,69 GJ/ha) și zmeur (50,11±4,69 GJ/ha), confirmând eficiența acestor specii pentru utilizare energetică. Cele mai mici valori de PED sunt raportate pentru agriș (10,74±1,19 GJ/ha) și coacăz (17,12±1,24 GJ/ha), ceea ce le face mai puțin eficiente din perspectiva utilizării energetice.

PESI confirmă aceeași ierarhie ca în cazul precedent, cu mur (49,94±2,83) GJ/ha, cătină albă (42,20±1,37 GJ/ha) și zmeur (40,59±3,79 GJ/ha) având cele mai mari valori ale energiei sustenabile utilizabile.

Afinul cu o valoare a PESI de (26,57±2,66 GJ/ha) rămâne o opțiune viabilă, în timp ce agrișul (9,67±1,07 GJ/ha) și coacăzul (15,40±1,11 GJ/ha) au un potențial energetic mai redus.

Rezultatele obținute ne permite să facem următoarele interpretări și recomandări:

- *Murul, cătina albă și zmeurul* reprezintă cele mai promițătoare resurse pentru producerea de biocombustibili solizi datorită randamentului energetic ridicat.
- *Afinul, agrișul și coacăzul*, având un potențial mai scăzut, ar putea fi combinate cu alte resurse vegetale care posedă o valoare calorică mai mare.
- Factorii precum umiditatea, costurile logistice și compatibilitatea tehnologică trebuie luați în considerare pentru optimizarea procesului de valorificare a biomasei.
- Analiză efectuată oferă un suport esențial pentru luarea unor decizii bazate pe date reale informate privind gestionarea resurselor de biomasă, contribuind astfel la dezvoltarea sectorului bioenergetic prin valorificarea sustenabilă a reziduurilor provenite din arbuști fructiferi în Republica Moldova.

3.5. Potențialul energetic al biomasei vegetale generate de vița-de-vie

Tabelul 3.5 evidențiază potențialul energetic al biomasei vegetale provenite din vița-de-vie, grupată în soiuri tehnice și soiuri de masă. Valorile pentru cantitatea de biomasă și puterea calorică sunt preluate din studiul nostru prezentat în Tabelul 2.11. Rezultatele obținute sugerează că biomasa vegetală provenită din vița-de-vie are un potențial energetic comparabil cu alte surse utilizate în producerea biocombustibililor solizi. Valorile medii ale PESI au fost de $16,73 \pm 1,36$ MJ/kg pentru ansamblul soiurilor analizate, cu o medie de $15,94 \pm 0,97$ MJ/kg pentru soiurile tehnice și $17,51 \pm 0,96$ MJ/kg pentru soiurile de masă.

Comparând datele obținute și prezentate în Tabelul 3.5 cu cerințele standardului SM EN ISO 17225 (vezi Tabelul 1.2), se poate deduce că valoarea calorică a reziduurilor de vița-de-vie se încadrează în intervalul acceptabil pentru producerea peleților și brichetelor. Totuși, pentru utilizarea industrială ar fi necesare analize suplimentare ale produsului finit, completate cu analize fizico-chimice detaliate specifice produsului finit respectiv.

Disponibilitatea biomasei rezultate din tăierile anuale ale viței-de-vie și valorile PESI indică faptul că aceste reziduuri reprezintă o sursă regenerabilă și relativ constantă de materie primă. Din cantitatea de biomasă recoltată de pe un hectar de plantații pot fi fabricate aproximativ 1-1,2 tone de peleți sau brichete de calitate Premium.

Tabelul 3.5. Potențialul energetic al biomasei vegetale generate de viță-de-vie

Origine biomasă	m_b M=10%, kg/ha	σ	$Q_{\text{net M=10\%}}$ MJ/kg	σ	A_i	k_{il}	PET, GJ/ha	up , GJ/ha	PED, GJ/ha	up , GJ/ha	PESI, GJ/ha	up , GJ/ha
Soiuri tehnice	1121	68	17,56	0,12	0,9	0,1	19,68	1,20	17,72	1,08	15,94	0,97
Soiuri de masă	1238	67	17,50	0,10	0,9	0,1	21,62	1,18	19,45	1,06	17,51	0,96
Media	1180	-	17,51	-	0,9	0,1	20,65	-	18,59	-	16,73	-
Incertitudine extinsă	-	95	-	0,16	-	-	-	1,68	-	1,52	-	1,36

Notă. Abrevierile similar cu cele din Tabelul 3.2.

Fluxul de producere a BCS va include, în mod obligatoriu, operațiuni suplimentare de uscare pentru a aduce biomasa la umiditatea necesară procesării. Acest lucru implică, însă, costuri suplimentare, aspect valabil, de altfel, pentru majoritatea reziduurilor agricole.

Pe baza celor constatate, se poate concluziona că există argumente credibile în favoarea utilizării reziduurilor de viță-de-vie ca materie primă pentru producerea BCSD, datorită potențialului energetic ridicat și caracteristicilor calitative conforme sau apropiate de cerințele standardelor SM EN ISO 17225. Pentru a exclude sau a minimiza factorii de risc, sunt necesare teste suplimentare detaliate ale produsului finit.

3.6. Eficientizarea potențialului energetic al biomasei vegetale pomi-viticole prin formarea de amestecuri din perspectiva producerii BCSD cu caracteristici conforme familiei de standarde SM EN ISO 17225:2021

3.6.1. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD pe baza biomasei vegetale pomicole

Succesul satisfacției cerințelor potențialilor beneficiare de BCSD și al producătorilor de brichete și peleți depinde de o aprovizionare economică și fiabilă cu biomasă de înaltă calitate [169]. La rândul său biomasa este obținută din surse diverse, fiecare asociată cu anumit nivel de calitate, disponibilitate și costuri economice specifice [170]. Aceste variabile generează diferențe semnificative în asigurarea calității produsului finit și eficiența utilizării acestora. Aspectele menționate pot influența în mod pozitiv sau negativ rentabilitatea producerii biocombustibililor solizi din anumite tipuri de materie primă, efectele economice asupra altor sectoare, precum și impactul asupra mediului [66].

În acest context, optimizarea constituției materiei prime, utilizate la producerea BCSD, prezintă una din cele mai importante etape ale LABCS.

În cazul BCSD obținuți din reziduuri pomicole, este necesar să ne raportăm la cerințele impuse de către SM EN ISO 17225-6 pentru peleți și SM EN ISO 17225-7 pentru brichete, care includ și cerințele pentru BCSD din blenduri și mixturi (vezi Tabelul 1.2). Respectarea cerințelor din standardele respective este relevantă pentru obținerea unui produs cu caracteristici constante, compatibil cu cerințele pieței și ale echipamentelor de ardere.

În acest studiu, obiectivul țintă pentru formarea amestecurilor este obținerea peletilor de clasa A și brichetelor de cel puțin clasa A2. Astfel, criteriile de optimizare a amestecurilor sunt: valoarea calorică de cel puțin 14,5 MJ/kg, conținutul de cenușă cel mult 6%, conținutul fracției fine cel mult 3% (se referă doar la peleți), rezistența mecanică de minimum 96% (pentru peleți), densitate în vrac $\geq 600 \text{ kg/m}^3$ (pentru peleți) și densitatea particulelor $\geq 0,9 \text{ g/cm}^3$.

În calitate de adaus pentru formarea amestecurilor pe baza biomasei vegetale de pomi fructiferi am folosit două componente: paie de grâu și reziduurile de floarea-soarelui.

Paiele de grâu este considerat un produs secundar și prezintă o alternativă biomasei vegetale arboricole, în principal datorită disponibilității și accesibilității lor în regiunile agricole [171]. În Republica Moldova paie de grâu sunt disponibile practic în toate regiunile de dezvoltare [172]. Acestea se deosebesc printr-o cantitate mai mare de cenușă rezultată de la ardere, iar compoziția chimică a acestora variază foarte mult în dependență de caracteristicile solului, condițiile climaterice, locație etc. [173]. În același rând, paie prezintă anumite dificultăți la densificare în virtutea prezenței cuticulei [174].

Reziduurile de floarea-soarelui sunt disponibile în rezultatul recoltării producției de bază și, de regulă, prezintă un amestec de tulpini și pălării fărâmițate. Din industria producătoare de uleiuri rezultă o cantitate semnificativă de coji de semințe. Cercetările care vizează folosirea reziduurilor de floarea-soarelui în calitate de materie primă la producerea BCSD denotă că reziduurile de la recoltarea producției de bază nu sunt recomandate de a fi folosite individual la producerea brichetelor și peletilor [16, 100, 175].

Deși în prezent lipsesc date referitoare la utilizarea reziduurilor rezultate în urma recoltării florii-soarelui, volumul considerabil al acestora sugerează oportunitatea valorificării lor ca material de adaos în amestecurile de biomasă pe bază de reziduuri vegetale provenite din culturi pomi-viticole. În Republica Moldova și în țările învecinate, utilizarea tulpinilor și pălăriilor de floarea-soarelui pentru producerea de peleți este, în continuare, aproape inexistentă. Această situație se explică prin umiditatea ridicată a acestor materiale la momentul recoltării, puterea calorică relativ scăzută și conținutul mare de cenușă generat în urma arderii. În schimb, cojile de semințe de floarea-soarelui sunt valorificate pe scară largă, atât pentru producerea brichetelor, cât și a peletilor.

În același rând coaja de semințe de floarea-soarelui prezintă o sursă sigură pentru producerea BCSD cu caracteristici cerute de piața de BCSD [176]. Brichetele și peleții din aceste reziduuri prezintă caracteristici valoroase și fac posibilă utilizarea acestora atât pentru uz rezidențial, cât și industrial [177].

Reieșind din cele constatate, au fost studiate și testate mostre sub formă de brichete, obținute din diverse amestecuri compuse din reziduuri agricole arboricole (RAA) în combinație cu reziduuri de floarea-soarelui provenite din recoltarea producției de bază (RF-S). Pentru a compara efectele obținute, au fost analizate în paralel și amestecuri pe bază de paie de grâu (PG).

Analizând datele prezentate în capitolul 2 (Tabelul 2.3 și Tabelul 2.5) concluzionăm că atât reziduurile de pomi fructiferi din grupă sămânțoaselor, cât și cele din grupa sămburoaselor pot fi utilizate pentru producerea de peleți și brichete cu caracteristicile impuse de standardele respective. Având în vedere disponibilitatea RF-S și a celor PG, este important să determinăm ce cantitate din aceste reziduuri poate fi inclusă în amestecuri, astfel încât să se obțină BCSD conforme cu cerințele standardului SM EN ISO 17225.

Au fost studiate 10 probe de amestecuri cu diferite proporții masice ale componentelor, inclusiv și a componentelor în stare individuală. Experimentele s-au realizat pe brichete de tip „Nestro”, obținute la presa hidraulică „Brikles” din dotarea LȘBCS, cu utilizarea unui plan polifactorial prezentat în Tabelul 3.6.

Tabelul 3.6. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea brichetelor din reziduuri pomicele, paie de grâu și reziduuri de floarea-soarelui

Nr probă	Factori de influență			Factori de răspuns		
	RAA	PG	RF-S	Q, MJ/kg	A, %	DE, g/cm ³
1	0,00	0,00	1,00	13,90	10,80	0,81
2	0,33	0,67	0,00	15,43	4,61	1,04
3	0,33	0,33	0,33	15,03	6,31	0,99
4	0,33	0,00	0,67	14,63	8,01	0,93
5	0,67	0,00	0,33	15,37	5,22	1,04
6	0,00	1,00	0,00	15,10	5,70	0,96
7	0,00	0,33	0,67	14,30	9,10	0,86
8	0,67	0,33	0,00	15,77	3,52	1,14
9	1,00	0,00	0,00	16,10	2,43	1,17
10	0,00	0,67	0,33	14,70	7,40	0,94

Notă: Q – valoarea calorifică netă estimată pentru conținutul de umiditate egal cu 10%; A – conținutul de cenușă în bază uscată; DE – densitatea particulelor. Conținutul constituenților este prezentată în formă zecimală (1 = 100%).

În rezultatul prelucrării statistice a datelor experimentale au fost obținute următoarele ecuații de regresie:

$$Q = 16,1019 \cdot RAA + 15,099 \cdot PG + 13,899 \cdot RF-S - 0,00214213 \cdot RAA \cdot PG - 0,0021429 \cdot RAA \cdot RF-S + 0,00428504 \cdot PG \cdot RF-S - 0,0895944 \cdot RAA \cdot PG \cdot RF-S, \quad (3.8)$$

$$A = 2,43 \cdot RAA + 5,7 \cdot PG + 10,8 \cdot RF-S - 0,00000288643 \cdot RAA \cdot PG + 3,92144E-7 \cdot RAA \cdot RF-S + 0,00000249429 \cdot PG \cdot RF-S + 0,000170371 \cdot RAA \cdot PG \cdot RF-S, \quad (3.9)$$

$$DE = 1,17286 \cdot RAA + 0,96 \cdot PG + 0,807143 \cdot RF-S + 0,106072 \cdot RAA \cdot PG - 0,0225 \cdot RAA \cdot RF-S + 0,0739285 \cdot PG \cdot RF-S - 0,202473 \cdot RAA \cdot PG \cdot RF-S. \quad (3.10)$$

În care: Q este valoarea calorifică netă estimate pentru conținutul de umiditate de 10%, MJ/kg; A- conținutul de cenușă, %; DE – densitatea particulelor, g/cm³; RAA - reziduuri arboricole de pomi fructiferi; PG - paie de grâu; RF-S - reziduuri de floarea soarelui. Valorile pentru cantitatea de reziduuri este exprimată prin reprezentare fracțională a procentului (100% = 1; 50% = 50/100 = 0,5 etc.).

Din Figura 3.1 se poate urmări modificarea valorii calorifice și a conținutului de cenușă a probelor în formă de brichete pentru diferite constituții ale amestecurilor studiate.

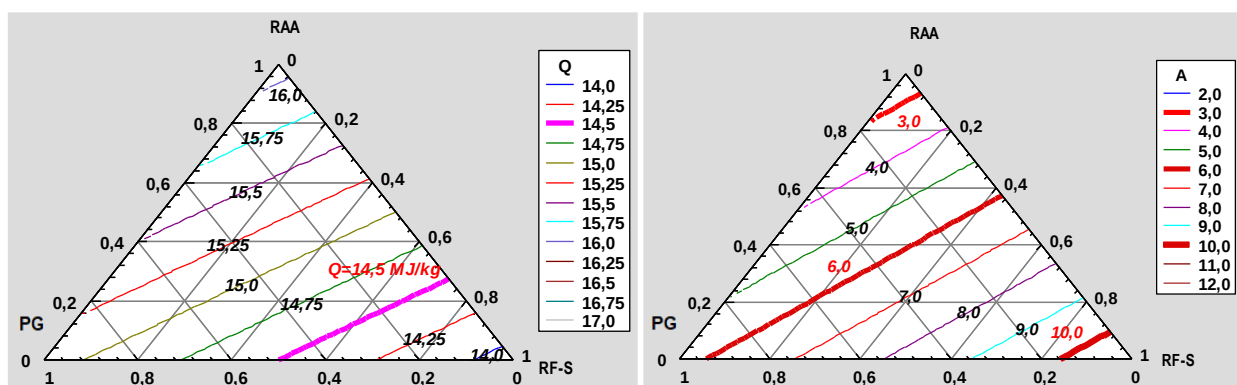


Figura 3.1. Modificarea valorii calorifice (Q, MJ/kg) și a conținutului de cenușă (A, %) a probelor de brichete „Nestro” în funcție de constituția amestecului: reziduuri arboricole de pomi fructiferi (RAA), paie de grâu (PG) și reziduuri de floarea soarelui (RF-S)

Având în vedere că standardul SM EN ISO 17225-7:2021 recomandă pentru brichetele de clasa A o valoare calorifică de cel puțin 14,5 MJ/kg (vezi Tabelul 1.2), constatăm că RAA în stare individuală asigură această cerință, pe când probele din RF-S și cele PG în stare individuală posedă o valoare calorifică mai mică de 14,5 MJ/kg (zona din dreapta liniei marcate cu roșu pe graficul planurilor de răspuns Figura 3.1). De asemenea, din rezultatele obținute, putem deduce că amestecurile de RAA + cel mult 70% de RF-S asigură o valoare calorifică $\geq 14,5$ MJ/kg. Aproximativ aceeași situație se repetă și în cazul formării amestecurilor din RA și PG.

De menționat că pot fi folosite și amestecuri din trei componente, dar în suma RF-S +PG nu trebuie să depășească 30%. Aceste constatări sunt valabile doar pentru valoarea calorifică.

Dacă analizăm rezultatele obținute referitoare la influența constituției amestecurilor asupra conținutului de cenușă, atunci constatăm că, la fabricarea brichetelor de clasa A1, cantitatea de RF-S sau de PG nu trebuie să depășească 7-8%, iar pentru clasa A2 (se admite 6% cenușă) se admite cca. 40 de RF-S, pe când PG pot fi folosite până la 90%.

În Figura 3.2 poate fi urmărită evoluția densității particulelor brichetelor în dependență de procentajul componentelor amestecurilor studiate. Acest parametru este unul din parametrii care sunt obligatorii de indicat în documentele însoțitoare de calitate [178] fiind stabilit pentru brichetele din amestecuri și mixturi de cel puțin $0,9 \text{ g/cm}^3$.

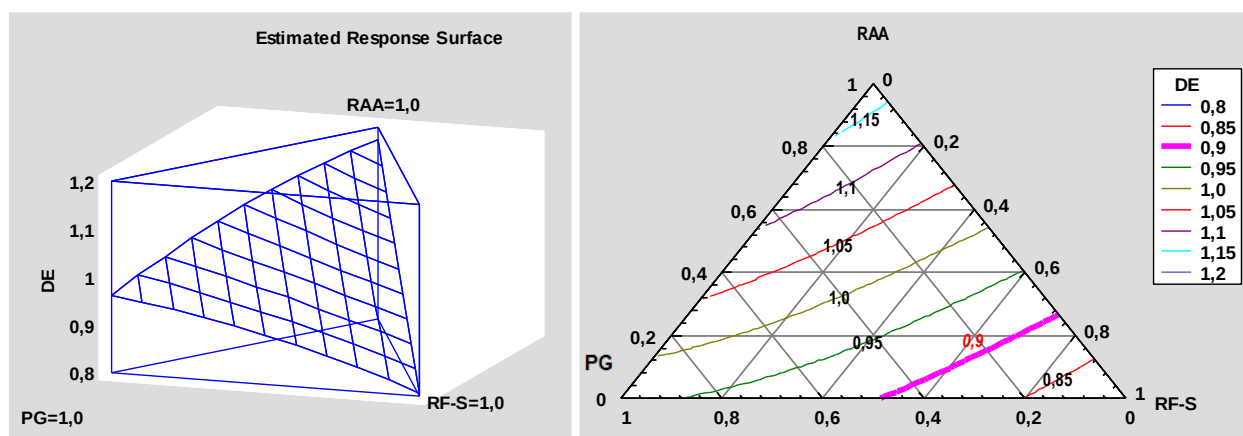


Figura 3.2. Dependența valorii densității particulelor ($DE, \text{g/cm}^3$) a probelor de brichete „Nestro” funcție de constituția amestecului: reziduuri arboricole de pomi fructiferi (RAA), paie de grâu (PG) și reziduuri de floarea soarelui (RF-S)

Rezultatele obținute arată că RAA măresc densitatea particulelor, pe când RF-S și PG reduce acest parametru. Totuși, un adaos de până la cca. 70% RF-S în combinație cu RAA permite obținerea unor brichete cu o densitate a particulelor $DE \geq 0,9 \text{ g/cm}^3$. De asemenea, se constată că PG influențează mai accentuat densitatea particulelor brichetelor și pot fi adăugate până la 50% în amestecuri din RAA +PG. Diagrama ne oferă oportunități pentru a stabili și alte proporții, în funcție de materia primă disponibilă și de cerințele de calitate înaintate produsului finit.

3.6.2. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD pe baza biomasei vegetale generate de nuciferi

Posibilitatea folosirii reziduurilor de nuciferi în calitatea de materie primă prin formarea de amestecuri a fost studiată prin folosirea reziduuri în formă de endocarp (RNEC) + reziduuri de nuc în formă de ramuri (RNR) combinate cu paie de grâu (PG). Necesitatea formării acestor amestecuri vine din interesul pentru majorarea capacității de densificare a endocarpului, care prezintă un

material valoros datorită valorii calorifice ridicate și conținutului de cenușă redus (vezi Tabelul 2.8).

Tabelul 3.7. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea peleților din reziduuri de nuciferi și paie de grâu

Nr. amestec	Factori de influență			Factori de răspuns				
	Reziduuri nuc		PG, %	Q, MJ/kg	A, %	BD, kg/m ³	DU, %	F, %
	RNEC, %	RNR, %						
1	0,00	0,00	1,00	14,93	5,39	652,2	99,80	1,81
2	0,33	0,67	0,00	15,84	3,05	630,5	98,18	1,22
3	0,33	0,33	0,33	15,58	3,55	621,7	98,88	1,39
4	0,33	0,00	0,67	15,44	4,11	616,3	98,58	1,62
5	0,67	0,00	0,33	16,09	2,74	577,7	85,25	1,31
6	0,00	1,00	0,00	15,48	3,85	675,0	99,90	1,41
7	0,00	0,33	0,67	15,13	4,92	658,3	99,20	1,59
8	0,67	0,33	0,00	16,26	2,27	587,0	89,55	1,21
9	1,00	0,00	0,00	16,59	1,46	543,0	76,93	1,12
10	0,00	0,67	0,33	15,33	4,36	664,7	99,60	1,46

Notă: Q – valoarea calorifică netă estimată pentru conținutul de umiditate egal cu 10%; A – conținutul de cenușă în bază uscată; BD – densitatea în vrac, kg/m³; DU – durabilitatea mecanică, %; F – conținutul fracției fine, %. Conținutul constituenților este prezentată în formă zecimală (1 = 100%).

Combinarea acestor trei elemente va contribui la echilibrarea conținutului de lignină și celuloză, datorită conținutului ridicat al acestora în RNR și a PG [11] cu stabilitatea rezistenței mecanice datorită specificului endocarpului.

În rezultatul prelucrării statistice a datelor obținute experimental și prezentate în Tabelul 3.7 au fost obținute următoarele ecuații de regresie:

$$Q = 16,6086 \cdot RNEC + 15,4757 \cdot RNR + 14,9157 \cdot PG + 0,0355383 \cdot RNEC \cdot RNR + 0,0129163 \cdot RNEC \cdot PG + 0,155073 \cdot RNR \cdot PG + 1,3311 \cdot RNEC \cdot RNR \cdot PG, \quad (3.11)$$

$$A = 1,45983 \cdot RNEC + 3,84 \cdot RNR + 5,40017 \cdot PG + 0,0456139 \cdot RNEC \cdot RNR - 0,0226065 \cdot RNEC \cdot PG + 0,0900637 \cdot RNR \cdot PG + 0,186064 \cdot RNEC \cdot RNR \cdot PG, \quad (3.12)$$

$$BD = 542,987 \cdot RNEC + 674,604 \cdot RNR + 652,609 \cdot PG - 0,205482 \cdot RNEC \cdot RNR - 3,60879 \cdot RNEC \cdot PG - 9,52811 \cdot RNR \cdot PG + 166,597 \cdot RNEC \cdot RNR \cdot PG, \quad (3.13)$$

$$DU = 76,0065 \cdot RNEC + 100,072 \cdot RNR + 100,552 \cdot PG + 26,3493 \cdot RNEC \cdot RNR + 16,4447 \cdot RNEC \cdot PG - 4,12372 \cdot RNR \cdot PG + 94,0787 \cdot RNEC \cdot RNR \cdot PG, \quad (3.14)$$

$$F = 1,12191 \cdot RNEC + 1,39803 \cdot RNR + 1,82005 \cdot PG - 0,203404 \cdot RNEC \cdot RNR - 0,0270623 \cdot RNEC \cdot PG - 0,380117 \cdot RNR \cdot PG + 0,675976 \cdot RNEC \cdot RNR \cdot PG. \quad (3.15)$$

În care: Q este valoarea calorifică, MJ/kg; A – conținutul de cenușă, %; BD – densitatea în vrac, kg/m³; DU – durabilitatea mecanică, %; F – conținutul fracției fine, %; RNEC – reziduuri nucifere de endocarp; RNR – reziduuri nucifere în formă de ramuri; PG – paie de grâu.

Vizualizarea dependenței celor mai importanți parametri calitativi al probelor în formă de peleți este prezentată în Figura 3.3.

Comparând datele obținute cu cerințele din Tabelul 1.2 se constată că, indiferent de conținutul elementelor, componentele amestecurilor asigură valoarea calorică și conținutul de cenușă cerute pentru peleții produși din amestecuri de către SM EN ISO 17225-6:2021.

De asemenea, se poate urmări reducerea densității în vrac și a rezistenței mecanice concomitent cu mărirea conținutului de endocarp.

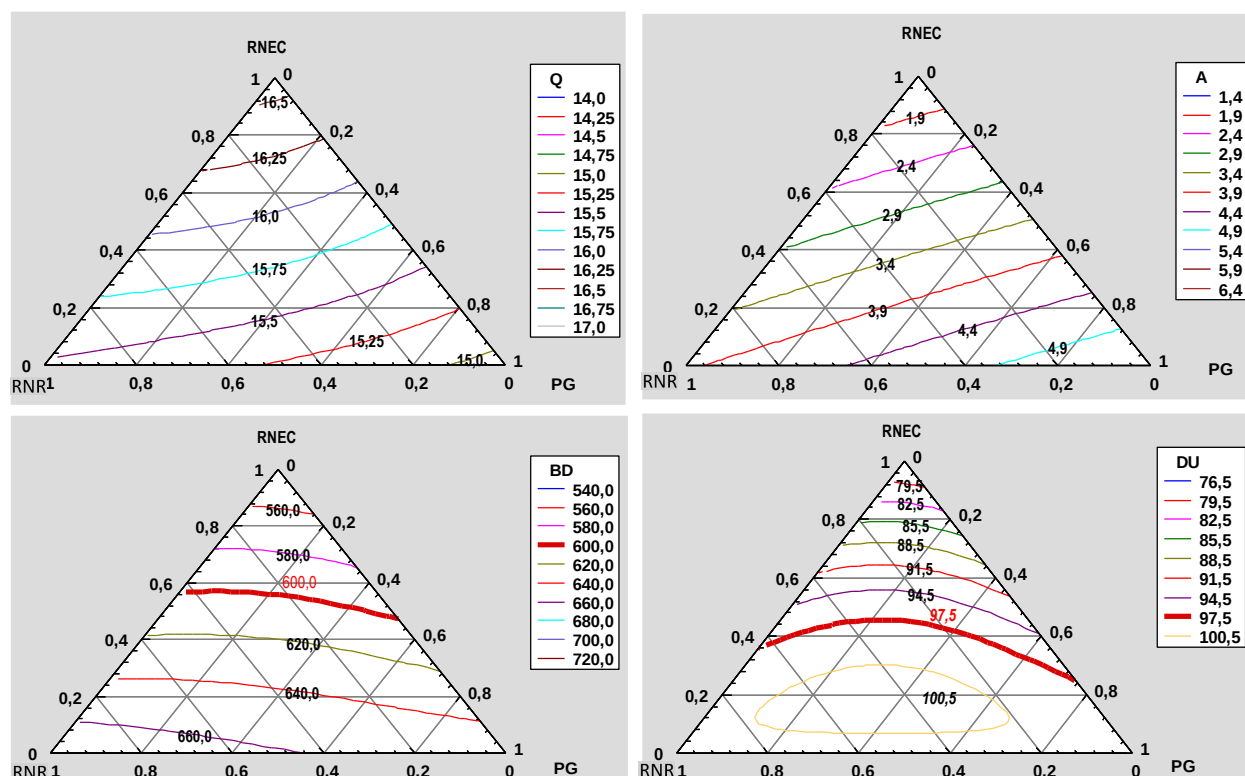


Figura 3.3. Variația proprietăților peleților produși din amestecuri de reziduuri nucifere de endocarp (RNEC) + reziduuri nucifere în formă de ramuri (RNR) + paie de grâu (PG):

Q - Valoarea calorică estimată la umiditatea de 10%, MJ/kg; A - conținutul de cenușă în bază uscată, %; BD – densitatea în vrac, kg/m³; DU – durabilitatea mecanică, %

Pentru obținerea peleților cu o densitate în vrac care depășește 600 kg/m³, conținutul de endocarp nu trebuie să depășească 60%, iar dacă restricțiile se pun pe rezistența mecanică, atunci conținutul de endocarp trebuie să fie mai mic de 40%.

De asemenea, se poate confirma că peleții produși din amestecuri de endocarp de nucă, combinat cu alte componente, asigură valorile tuturor parametrilor calitativi ceruți de către SM EN ISO 17225-6:2021 dacă conținutul de endocarp nu depășește 40%. În cazul dacă rezistența mecanică nu este un parametru important pentru consumatori, atunci procentul de endocarp poate fi majorat până la 60%.

Rezultatele obținute în cadrul acestui studiu denotă faptul că folosirea amestecuri de biomasă generată de reziduurile nucifere, în combinație cu paie de grâu, ca materie primă la producerea peleților permite obținerea unui produs finit de calitate superioară. Pentru a obține aceste performanțe, este esențială selectarea adecvată a compoziției amestecurilor, proces care poate fi realizat cu succes prin utilizarea diagramelor ternare elaborate în cadrul acestui studiu. De menționat că calitatea scontată nu poate fi asigurată fără utilizarea unor tehnologii avansate de producere a peleților.

3.6.3. Alcătuirea mixturilor și amestecurilor de biomasă vegetală pentru producerea BCSD pe baza biomasei vegetale generată de arbuștii fructiferi

Cercetările anterioare, realizate de către noi, au demonstrat eficiența folosirii diferitor amestecuri pe bază de reziduuri vegetale de cătină albă, reziduuri vegetale de mur și paie de grâu [159]. În acest studiu s-a examinat posibilitatea folosirii reziduurilor de arbuști fructiferi, care au marcat cele mai favorabile caracteristici ca materie primă la producerea BCSD (vezi secțiunea 2.2.4).

Tabelul 3.8. Programul pentru optimizarea amestecurilor de biomasă vegetală folosită la producerea peleților din reziduuri de arbuști fructiferi și paie de grâu

Nr. amestec	Factori de influență			Factori de răspuns				
	RVCA	RVM	PG	Q, MJ/kg	A, %	BD, kg/m ³	DU, %	F, %
1	0,00	0,00	1,00	14,52	7,111	627,6	94,664	2,46
2	0,33	0,67	0,00	15,58	2,58	588,4	98,9	0,20
3	0,33	0,33	0,33	15,48	3,912	605,2	96,5	3,11
4	0,33	0,00	0,67	15,17	6,516	578,4	99,203	0,28
5	0,67	0,00	0,33	15,9	4,296	572,0	98,097	0,46
6	0,00	1,00	0,00	14,95	2,65	560,0	98,7	0,21
7	0,00	0,33	0,67	14,8	6,552	605,6	97,485	0,76
8	0,67	0,33	0,00	15,61	3,048	617,6	97,497	0,50
9	1,00	0,00	0,00	16,86	2,44	646,0	99,2	0,18
10	0,00	0,67	0,33	14,81	4,12	582,4	97,4	0,95

În calitate de componente pentru formarea amestecurilor de materie primă au fost folosite reziduuri vegetale de cătină albă (RVCA), reziduuri vegetale de mur (RVM) și paie de grâu (PG). Cercetările s-au realizat prin analiza probelor în formă de peleți cu folosirea unui plan polifactorial alcătuit din 10 variante de amestecuri (Tabelul 3.8). Pentru fiecare amestec au fost analizate valoarea calorică estimată la umiditatea de 10%, conținutul de cenușă în bază uscată, densitatea în vrac și rezistența mecanică.

Rezultatele obținute au permis obținerea următoarelor ecuații de regresie:

$$Q = 16,7662*RVCA + 15,0176*RVM + 14,5462*PG - 1,33607*RVCA*RVM - 0,545357*RVCA*PG + 0,103927*RVM*PG + 6,32293*RVCA*RVM*PG, \quad (3.16)$$

$$A = 2,51729*RVCA + 2,53329*RVM + 7,43586*PG + 0,657007*RVCA*RVM + 1,29022*RVCA*PG + 0,939223*RVM*PG, \quad (3.17)$$

$$BD = 642,754*RVCA + 564,754*RVM + 621,497*PG + 6,94357*RVCA*RVM - 245,828*RVCA*PG + 115,972*RVM*PG, \quad (3.18)$$

$$DU = 98,8172*RVCA + 98,9353*RVM + 95,4577*PG - 4,50373*RVCA*RVM + 5,35256*RVCA*PG - 0,347017*RVM*PG, \quad (3.19)$$

$$F = 0,358572*RVCA + 0,3*RVM + 2,19143*PG + 0,0932125*RVCA*RVM - 4,0725*RVCA*PG - 1,75821*RVM*PG + 75,5327*RVCA*RVM*PG. \quad (3.20)$$

Influența constituției amestecurilor asupra proprietăților peleților fabricați din amestecurile studiate poate fi urmărită în Figura 3.4.

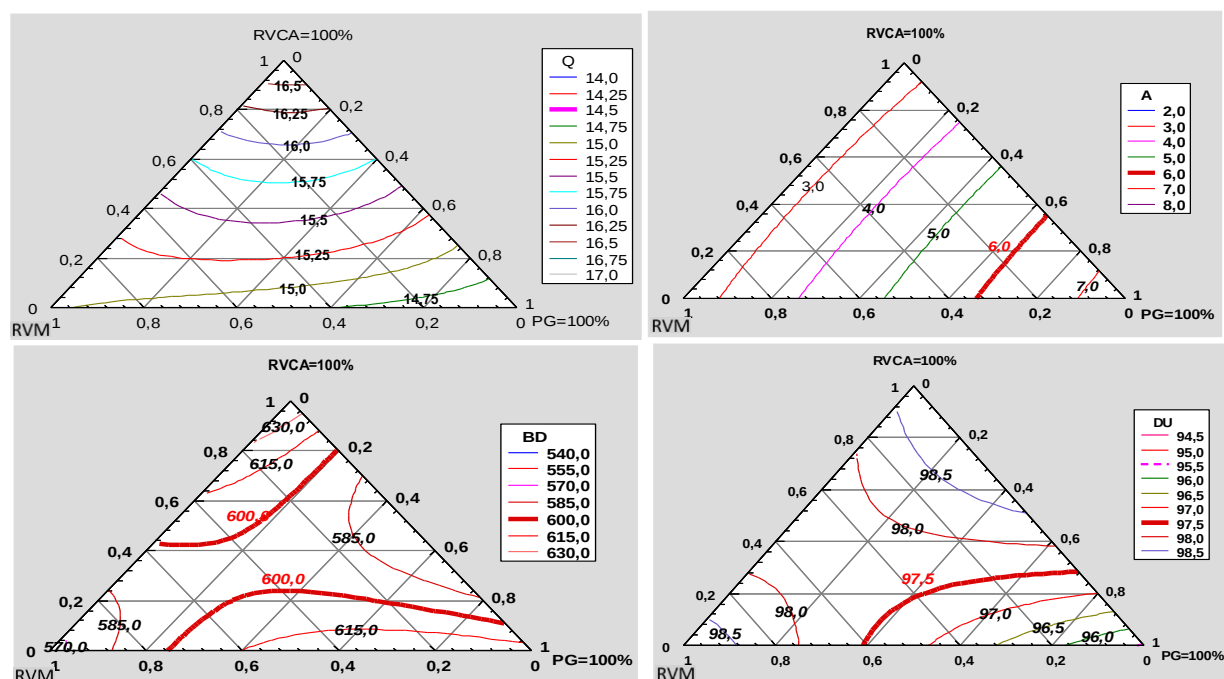


Figura 3.4. Variația proprietăților peleților produși din amestecuri de reziduuri vegetale de cătină albă (RVCA) + reziduuri vegetale de mur (RVM) + paie de grâu (PG): Q - Valoarea calorică estimată la umiditatea de 10%, MJ/kg; A - conținutul de cenușă în bază uscată, %; BD – densitatea în vrac, kg/m³; DU – durabilitatea mecanică, %

În rezultatul analizei imaginilor din Figura 3.4 se constată că toate probele luate în studiu au marcat o valoare calorică mai mare de 14,5 MJ/kg, adică orice proporție ale componentelor folosite la formarea amestecurilor asigură obținerea peleților cu o valoare calorică cerută de către SM EN ISO 17225-6:2021. Aceiași situați se referă și la conținutul de cenușă, deoarece toate

probele au marcat un conținut de cenușă mai mic de 6%, valoare cerută de către SM EN ISO 17225-6:2021 (vezi Tabelul 1.2).

Celelalte caracteristici pot fi asigurate doar prin formarea amestecurilor cu anumit procentaj al constituenților. De exemplu, densitatea în vrac, cu valori mai mari de 600 kg/m^3 , în cazul când în amestec nu sunt incluse PG, poate fi asigurată dacă conținutul de RVM nu depășește 40%. Dacă amestecul este format din PG și din RVCA, o densitate în vrac mai mare de 600 kg/m^3 , practic este asigurată de toate probele studiate, cu excepția celor situate între liniile marcate cu roșu având valori mai mici de 600 kg/m^3 .

3.7. Concluzii specifice la capitolul 3

Studiul din acest capitol explorează potențialul energetic al biomasei vegetale generate de sectorul pomi-viticol din Republica Moldova. Cercetările au implicat o analiză detaliată a potențialului energetic al tuturor reziduurilor vegetale generate de către pomii fructiferi, nuciferi, arbuștii fructiferi și vița-de-vie, inclusiv al amestecurilor formate pe baza acestora. Studiul s-a axat pe datele referitoare la cantitatea și proprietățile fizice și chimice ale speciilor de biomasă analizate în capitolul 2.

Principalele rezultate obținute în acest capitol au permis formularea următoarelor concluzii:

1. Analiza potențialului energetic al biomasei vegetale provenite de la pomii fructiferi a arătat că reziduurile de măr, păr și piersic au cel mai ridicat potențial energetic real și sunt cele mai potrivite specii pentru valorificare energetică dintre reziduurile pomicole. Energia care poate fi obținută în condiții reale de exploatare, luând în calcul eficiența proceselor tehnologice și sustenabilitatea recoltării biomasei, este estimată la $33,50 \pm 6,54 \text{ GJ/ha}$ pentru piersic $29,67 \pm 5,17 \text{ GJ/ha}$ pentru măr, $29,45 \pm 2,51 \text{ GJ/ha}$ pentru păr.

2. Corelarea incertitudinii determinării potențialului energetic al biomasei generate de către pomii fructiferi indică faptul că speciile cu un potențial energetic ridicat prezintă și cele mai mari variații ale incertitudinii în estimări. Acest aspect impune necesitatea unei evaluări mai precise la nivel de plantații și localități specifice înainte de inițierea activităților de producere a biocombustibililor solizi densificați din reziduurile vegetale analizate.

3. Comparând valorile obținute în studiul potențialului energetic al pomilor din grupa nuciferilor, se poate concluziona că, dintre pomii fructiferi cultivați în Republica Moldova, migdalul și alunul ar trebui prioritizate în strategiile de valorificare a biomasei pomi-viticole datorită randamentului energetic ridicat. Deși nucul posedă un potențial energetic mai scăzut, acesta ar putea fi combinat cu alte surse vegetale pentru optimizarea eficienței globale.

4. Dintre reziduurile generate de arbuștii fructiferi, murul, cătina albă și zmeurul reprezintă cele mai promițătoare resurse pentru producerea de BCSD datorită randamentului energetic ridicat și accesibilității acestora în diferite localități ale Republicii Moldova.

5. Există argumente credibile în favoarea utilizării reziduurilor de viță-de-vie ca materie primă pentru producerea BCSD, datorită potențialului energetic ridicat și caracteristicilor calitative conforme sau apropiate de cerințele standardelor SM EN ISO 17225.

6. În urma examinării a 30 de probe de amestecuri formate din diferite tipuri de biomasă vegetală pomi-viticolă, precum și din reziduuri de floarea-soarelui și paie de grâu, au fost construite diagrame ternare care permit alegerea compoziției optime a amestecurilor de materie primă în funcție de parametrii calitativi solicitați.

4. PERFECȚIONAREA FLUXULUI DE PRODUCERE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DIN REZIDUURI VEGETALE POMI-VITICOLE

4.1. Material și metode

Au fost analizate 30 de probe distincte, care au cuprins peleți și brichete produse din diferite tipuri de biomasă vegetală pomi-viticolă și amestecuri pe baza acestora fabricate la diferite regimuri tehnologice și supuse tratării termochimice ulterioare.

Studierea influenței regimurilor tehnologice asupra eficienței procesului de densificare s-a realizat la instalația de laborator originală elaborată de către noi care permite compactarea BCSD în formă de brichete cu monitorizarea temperaturii de compactare [179].

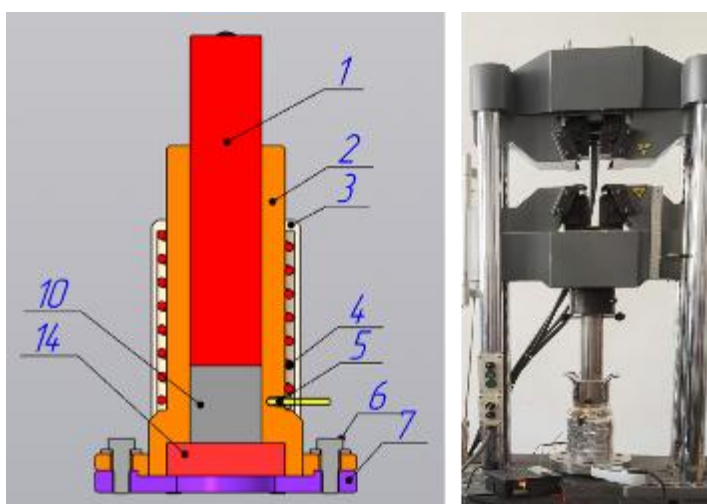


Figura 4.1. Vederea generală și schema dispozitivului pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete: 1 - poanson cilindric; 2 - camera superioară; 3 - element izolator; 4 - element termic; 5 – termocuplu; 6 – buloane; 7 - placă-suport; 10 – biomasă presată; 14 - dop detașabil

Echipamentul este alcătuit dintr-un piston cilindric acționat de o presă hidraulică, care comprimă biomasa într-o matriță formată din două camere: una superioară, prevăzută cu un element termic și un termocuplu, și una inferioară, care permite procesul de densificare în flux. Temperatura este reglată și monitorizată cu ajutorul unei unități de control, iar datele sunt înregistrate și analizate de un calculator, care gestionează parametrii procesului.

În timpul experimentelor, biomasa este introdusă printr-o pâlnie și încălzită la temperatura prestabilită de unitatea de control. Pe ecranele calculatorului, datele colectate de la traductorii tensorezistivi indică modificările forțelor de presiune, evidențiind modul în care temperatura influențează compactarea, rezistența mecanică și stabilitatea brichetelor.

Astfel au fost identificate combinațiile ideale de temperatură și presiune necesare pentru obținerea unor biocombustibili solizi eficienți, sustenabili și compatibili cu cerințele industriei.

Cercetările referitoare la torefierea BCS au fost desfășurate în LȘBCS al UTM și în Laboratorul de Ingineria Suprafeței din cadrul Facultății de Mecanică a Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași. Studiul a vizat două tipuri de probe de peleți:

1. Amestec de reziduuri vegetale de cătină albă (RVCA) 30% și reziduuri vegetale de mur (RVM) 70%, denumit RVCA+RVM.

2. Amestec de RVCA 30% și paie de grâu (PG) 70%, denumit RVCA+PG.

Torefierea peletilor s-a realizat într-un cuptor de tratament termic Nabertherm N41/H, echipat cu incintă separată și atmosferă controlată, permițând simularea procesului de torefiere în mediu cu argon într-un spațiu închis (Figura 4.2).

Cercetările s-au bazat pe un plan experimental polifactorial de tip 2^2 , cu trei niveluri. Factorii de influență considerați au fost temperatura de torefiere, variind între 200 și 300 °C, și durata de expunere, cuprinsă între 10 și 30 de minute. Analiza statistică a datelor a fost realizată cu software-ul STATGRAPHICS Centurion versiunea 18.

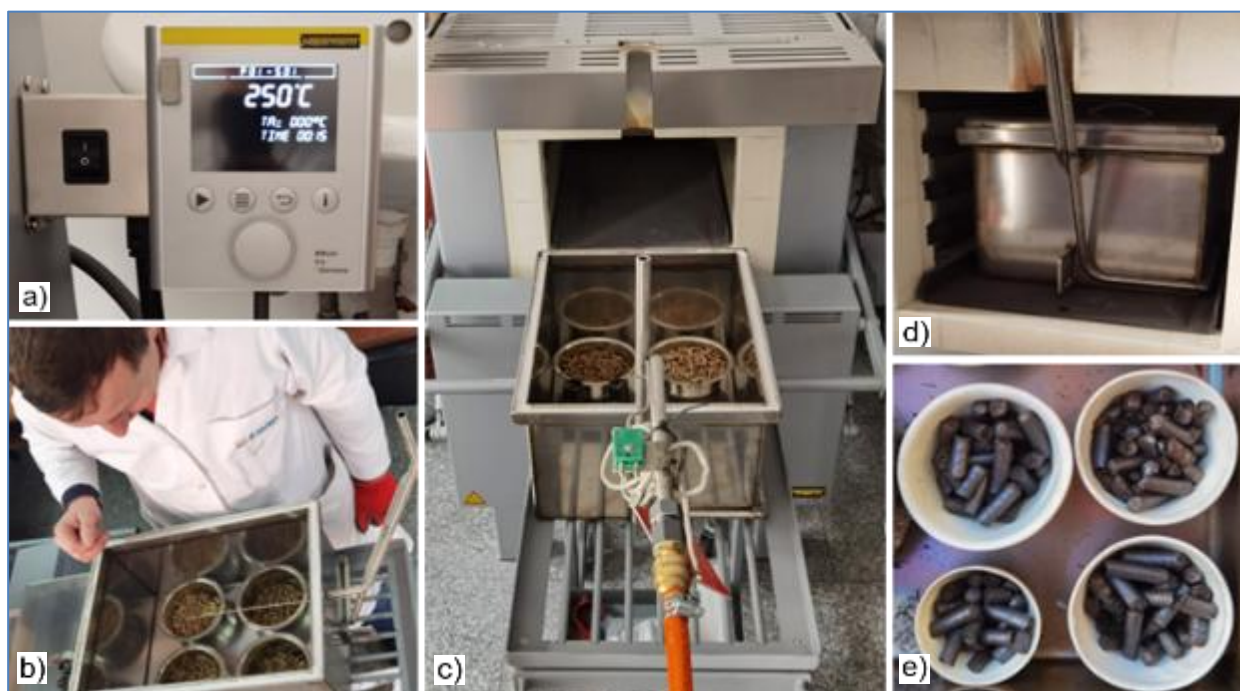


Figura 4.2 Secvențe referitoare la procesul de torefiere a peletilor din cadrul laboratorului de Ingineria suprafeței a facultății de Mecanică de la Universitatea Tehnică ”Gheorghe Asachi” din Iași: a) panou electronic de comandă a duratei de expunere și a temperaturii; b) și e) probele investigate; c) cuptorul de tratament termic Nabertherm N41/H înainte de încărcare probelor d) cutia de protecție cu intrare și ieșire gaz echipată cu senzori de temperatură

Pentru toate probele analizate au fost determinate valoarea calorică și conținutul de cenușă. Valoarea calorică brută a fost măsurată cu ajutorul calorimetrului izoperibolic IKA C6000, utilizat în mediu cu volum constant, conform standardului SM EN ISO 18125:2017. În acest studiu, valoarea calorică este exprimată ca valoare calorică netă, raportată la o umiditate de 10%.

Conținutul de cenușă a fost determinat conform standardului SM EN ISO 18122:2023, utilizând un cuptor cu mufă LH 05/13. Procedura detaliată de determinare a conținutului de cenușă este descrisă în lucrarea noastră [149].

Înainte de testare, probele de peleți torefiați au fost mărunțite utilizând moara Retsch SM 100, echipată cu o sită cu dimensiunea ochiurilor de 1 mm. Toate încercările au fost repetate de cinci ori, iar rezultatele au fost analizate prin determinarea abaterii standard și a intervalului de încredere.

Analiza probelor studiate s-a realizat conform metodologiei descrise în 2.1.2 cu folosirea echipamentelor validate în conformitate cu cerințele SM EN ISO 17025:2008 disponibil în LȘBCS UTM.

4.2. Perfecționarea lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi produși din biomasă vegetală pomi-viticolă

4.2.1. Structura generală cu privire la lanțul de aprovizionare cu biocombustibili solizi

Realizarea obiectivelor și politicilor referitoare la dezvoltarea surselor de energie regenerabilă din biomasă este direct dependentă de dezvoltarea lanțurilor de aprovizionare cu biocombustibili solizi cu parametri calitativi garantați [52].

Un lanț eficient de aprovizionare cu biocombustibili solizi trebuie să se bazeze pe alegerea traseului acestuia și pe nivelul deciziilor acceptate pentru diferite etape [180]. Alegerea traseului depinde de deciziile strategice ale întreprinderii respective, care trebuie să previzioneze mai multe aspecte pe termen lung, dintre care posibilitatea de aprovizionare cu materie primă ocupă un loc de frunte [181]. În acest sens, datele privind potențialul de biomasă disponibilă sustenabil în anumite localități și nivelul de calitate al acesteia servesc drept bază pentru deciziile strategice [14, 182].

Un alt factor care influențează nivelul unui LABCS este reprezentat de aspectele tactice, care trebuie să acopere un orizont de timp mai scurt și să se bazeze pe planificarea producției pe termen mediu [43].

După stabilirea deciziilor strategice și tactice, se trece la concretizarea fluxului de producție propriu-zis, care trebuie să se bazeze pe date concrete referitoare la materia primă disponibilă pentru producerea biocombustibililor solizi. În Figura 4.3 este prezentată schema fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri agricole.

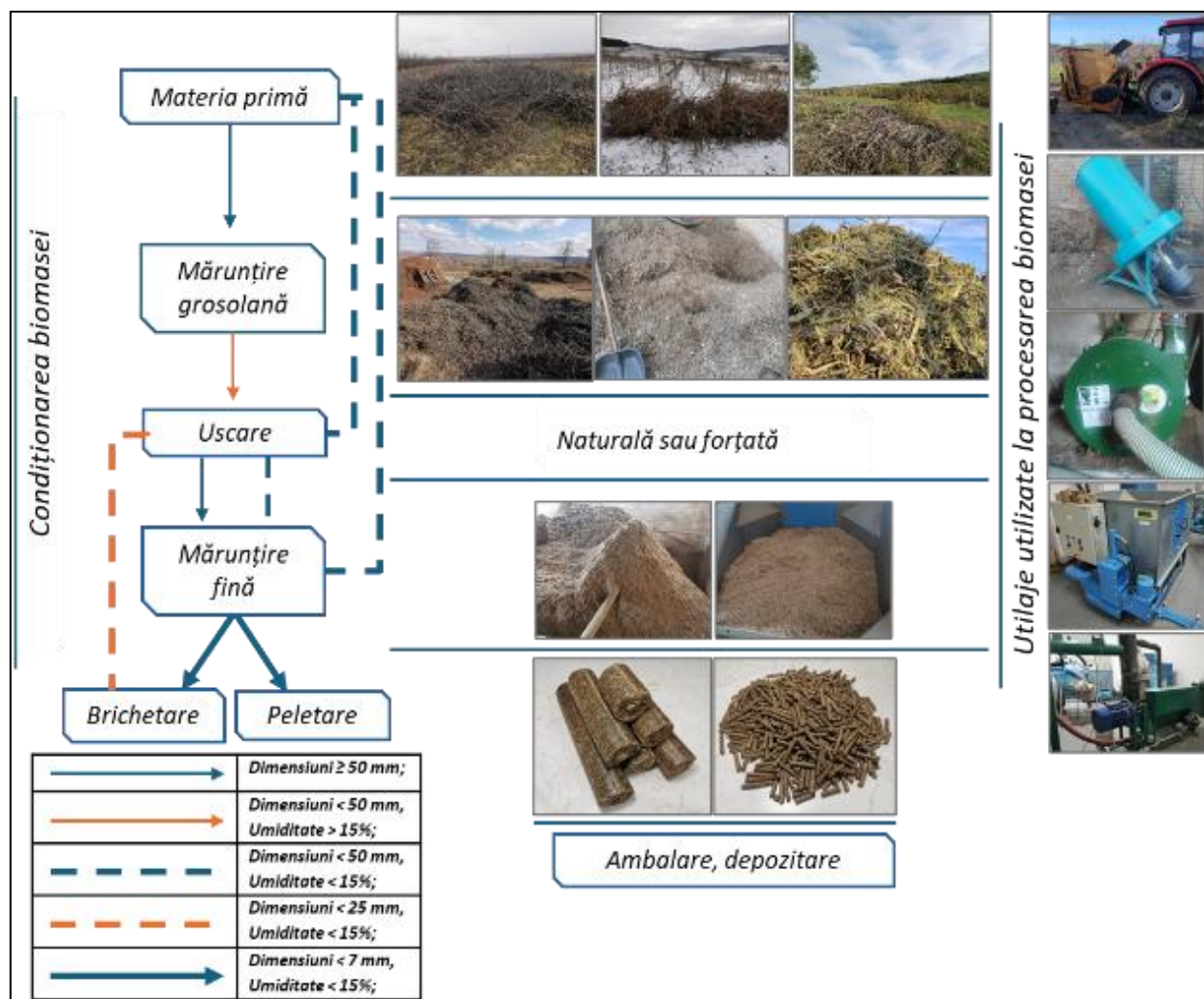


Figura 4.3. Schema fluxului de producție cu BCSD din reziduuri pomi-viticole

În funcție de tipul produsului finit, peleți sau brichete, se alege traseul de producere, care include diferite etape. Etapa inițială se referă la identificarea și colectarea materiei prime, care ulterior este condiționată prin aducerea la dimensiuni și umiditate convenabile pentru procesare. În unele cazuri, se recurge la amestecarea mai multor tipuri de biomasă prin formarea de amestecuri (rețetele sunt prezentate în subcapitolul 3.6) sau la utilizarea diferiților lianți, precum lignina, maniocul, porumbul, gelatina, melasa, amidonul și alții [44].

Densificarea propriu-zisă a biomasei trebuie realizată cu respectarea anumitor regimuri de compactare, care influențează tehnologia de procesare [45].

4.3. Asigurarea calității biocombustibililor solizi din biomasă vegetală pomi-viticolă prin asigurarea tehnologică a fluxului de producere a BCSD: studiu de caz pentru brichete de tipul Nestor

4.3.1. Densificarea biocombustibililor solizi din reziduuri pomi-viticole: factori de influență și regimuri tehnologice de densificare

Toate reziduurile vegetale au potențial energetic, însă eficiența folosirii acestora depinde de valorificarea întregului flux tehnologic [48], Densificarea biomasei vegetale în brichete și peleți aduce valoare adăugată biomasei vegetale [49], conduce la creșterea densității energetice ceea ce contribuie la micșorarea cheltuielilor de manipulare, transportare și depozitare [33], Cu toate acestea, durabilitatea mecanică și densitatea în vrac scăzută, conținutul ridicat de cenușă și valorile calorice scăzute ale biocombustibililor solizi produși din reziduuri pomi-viticole pot cauza probleme în timpul arderii acestora [42].

Optimizarea regimurilor tehnologice de densificare a biocombustibililor solizi din reziduuri pomi-viticole este una din căile importante de îmbunătățire a calității produsului finit [51]. Prin ajustarea corectă a parametrilor tehnologici, se poate obține un produs de înaltă calitate, cu o utilizare eficientă în sectorul energetic. Optimizarea regimurilor tehnologice de densificare contribuie, creșterea eficienței arderii și reducerea impactului asupra mediului. Acest studiu explorează principalele aspecte ale procesului de densificare și factorii care influențează optimizarea acestuia [54].

Procesul de densificare este influențat de trei grupuri de variabile: variabilele materiei prime; compoziția biomasei și variabilele procesului [86].

4.3.2. Influența stării materiei prime asupra calității BCSD produse din biomasă vegetală pomi-viticolă

Starea fizică a biomasei vegetale înainte de densificare este determinată de doi parametri importanți, care adesea nu sunt luați în considerare de către producătorii de biocombustibili solizi, dar aceștia exercită o influență semnificativă asupra produsului rezultat în urma densificării. Acești parametri influențează direct calitatea BCSD și se referă la granulația materiei prime și umiditatea acesteia [50].

În continuare se prezintă rezultatele, obținute de către noi, referitoare la stabilirea influenței dimensiunilor particulelor biomasei asupra calității BCSD s-a analizat distribuția granulometrică pentru biomasa rezultată de la emondarea de primăvara a arbuștilor de cătină albă și de la recoltarea fructelor prin detașarea ramurilor și batozării acestora în stare congelată [158].

Biomasa a fost mărunțită la moara cu ciocane SV 7, utilizând site de 6 mm și 4 mm. Înainte de mărunțire, probele au fost aduse la o umiditate de $10 \pm 2\%$ prin condiționare timp de 60 min la 20°C și $60 \pm 5\%$ umiditate relativă. Distribuția granulometrică a fost determinată prin cernere pe site vibratorii cu dimensiuni între 0,25 și 3,15 mm, iar rezultatele sunt prezentate în Figura 4.4.

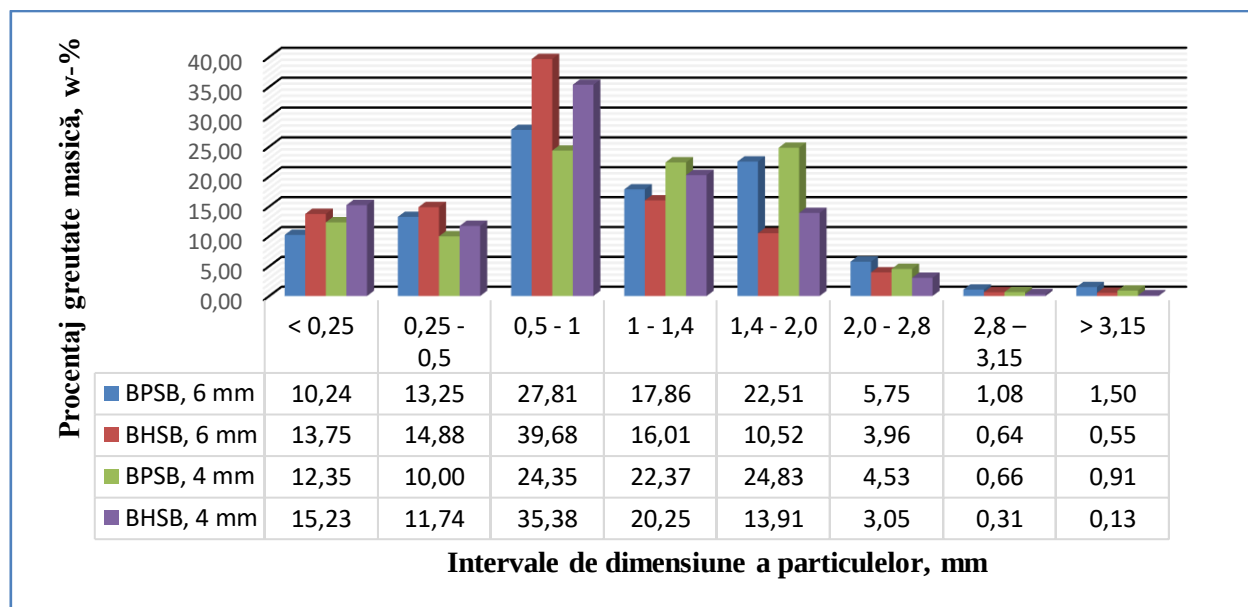


Figura 4.4. Distribuția dimensiunilor particulelor de biomasă vegetală de cătină albă pentru diferite site de cernere: w-% - procentaj greutate masică; BPSB- biomasă de la emondare; BHSB – biomasă de la procesarea recoltei. Sursă: [158]

Rezultatele experimentale arată că biomasa provenită din emondarea cătinii albe, măcinată cu site de 4 și 6 mm, are o distribuție granulometrică mai uniformă decât cea obținută prin recoltarea roadei prin congelare. Ponderea particulelor între 0,5 și 2,8 mm este de 73,93% (site de 6 mm) și 76,08% (site de 4 mm) pentru biomasa provenită din emondare, comparativ cu 70,17% și 72,59% pentru cea recoltată prin congelare.

Măcinarea cu site de 4 sau 6 mm este eficientă, întrucât peste 95% din particule sunt sub dimensiunea necesară pentru compactarea BCSD. Utilizarea sitei de 6 mm este mai productivă, însă la producerea peleiților cu dimensiuni mai mici de 8 mm nu asigură întocmai rezultatele scontate [183].

Este cunoscut că parametrii granulometrici influențează rezistența mecanică și durabilitatea produsului finit [53, 54], iar o umiditate optimă asigură o bună adeziune și coeziune a particulelor, minimizând formarea fisurilor [55]. Astfel, aglomerarea biomasei vegetale în formă de brichete sau peleți se bazează pe apariția legăturilor de adeziune dintre particulele mai mici, care se grupează în structuri cu formă specială și densitate [56], aspect ce depinde direct de factorii menționați anterior.

Pentru a concretiza efectul granulației și conținutului de umiditate asupra calității BCSD, s-a studiat influența acestora asupra densității particulelor brichetelor produse din reziduuri arboricole de pomi fructiferi. Cercetările s-au realizat folosind instalația de laborator elaborată și confecționată de către noi [179], și prezentată în Figura 4.1.

Rezultatele cercetărilor au arătat că granulația optimă pentru densificarea biomasei vegetale din reziduuri arboricole pomicole variază între 4 și 8 mm (vezi Figura 4.5, a), iar conținutul de umiditate poate fi stabilit în limitele 6-14% (vezi Figura 4.5, b). În cazul densificării endocarpului de nucă, densificarea acestuia a fost posibilă doar dacă dimensiunile particulelor nu depășeau 6 mm, și pentru un conținut de umiditate constant care, practic, nu se modifică și este folosit la producerea BCSD în stare inițială (cca. 11%) [184].

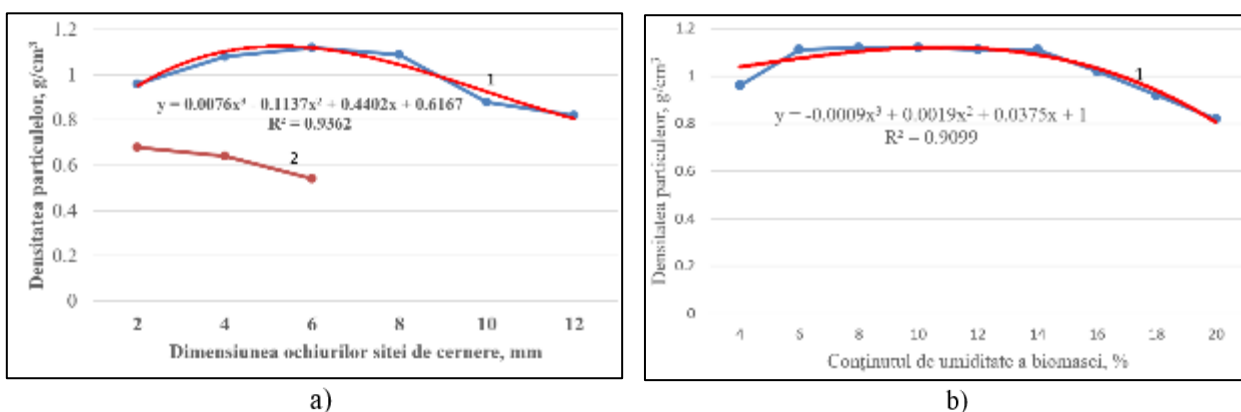


Figura 4.5. Influența granulației (a) și umidității materiei prime (b) asupra densității particulelor brichetelor produse din biomasă vegetală pomicolă: 1 – probe din reziduuri arboricole din pomi fructiferi; 2 – probe din endocarp pe nucă

Cercetarea realizată în acest studiu a evidențiat clar că granulația și conținutul de umiditate sunt factori esențiali care influențează capacitatea de densificare a biocombustibililor solizi densificați (BCSD) sub formă de brichete. Pentru a obține brichete cu densitate optimă, biomasa trebuie mărunțită astfel încât să treacă printr-o sită cu ochiuri de maximum 8 mm, iar umiditatea să nu depășească 14%. Aceste condiții asigură o compactare eficientă și o structură stabilă a brichetelor, caracteristici cruciale pentru performanța lor energetică și manipularea ulterioară.

Rezultatele obținute s-au confirmat și în cazul producerii brichetelor din alte tipuri de biomasă, precum culturi energetice, conform referinței [82], dar și pentru peleții fabricați din diverse reziduuri pomi-viticole [32]. Astfel, analiza influenței acestor factori asupra calității peleților obținuți din biomasa vegetală pomi-viticolă colectată de pe ambele maluri ale râului Prut a demonstrat parametri calitativi consistenți, detaliați în Tabelul 4.1. Peleții au fost fabricați din biomasă mărunțită printr-o sită de 4 mm, la o temperatură a matricei de 80°C, condiții care au contribuit la obținerea unor produse cu proprietăți fizice și energetice superioare. Această abordare

detaliată a procesului de producție subliniază importanța controlului precis al parametrilor tehnici pentru a maximiza calitatea și eficiența biocombustibililor solizi.

Tabelul 4.1. Parametrii peleișilor produși din reziduuri agricole lemnoase. Sursă: [32]

Proveniența biomasei	$Q_{\text{Pnet M=10\%}}$, MJ/kg	A, %	DU, %	DB, kg/m ³	F, %	E, GJ/m ³	N, %	S, %	Cl, %
Meri	17,72	0,9	98,25	680	0,42	12,05	0,25	0,03	0,02
Peri	17,31	1,47	97,9	674	0,44	11,67	0,26	0,03	0,03
Vișini	17,10	1,11	98,1	682	0,51	11,66	0,27	0,03	0,03
Cireși	18,00	1,42	98,0	680	0,52	12,24	0,3	0,03	0,03
Caiși	17,04	1,08	98,3	654	0,48	11,14	0,3	0,03	0,03
Piersici și nectarine	17,07	1,38	97,9	658	0,54	11,23	0,28	0,03	0,03
Pruni	17,70	0,74	98,2	684	0,41	12,11	0,3	0,03	0,03
Cătină albă	17,05	1,3	98,1	685	0,38	11,68	0,98	0,05	0,04
Mure	15,7	1,62	97,4	656	0,66	10,30	0,88	0,06	0,04
Coacăză	15,3	2,53	97,2	654	0,72	10,01	0,87	0,05	0,03
Vii, soiuri de masă	16,8	2,6	98,10	702	0,66	11,79			
Vii, soiuri tehnice	16,5	2,5	97,9	696	0,67	11,48			

Notă: DU – durabilitatea mecanică, %; BD – densitatea în vrac, kg/m³; F - conținutul fracției fine, %; E - densitatea energetică sau cantitatea de energie stocată pe unitatea de volum, GJ/m³.

Rezultatele prezentate în Tabelul 4.1 demonstrează corectitudine stabilirii regimurilor de densificare a biomasei obținute în acest studiu.

4.3.3. Influența temperaturii matriței asupra calității brichetelor produse din biomasă vegetală pomi-viticolă

Temperatura matriței înainte de brichetare și în timpul brichetării influențează direct calitatea produsului finit. Temperaturile mai ridicate îmbunătățesc transformările fazice a hemicelulozei, celulozei și, în mod deosebit a ligninei [82]. În același rând, unii cercetători consideră că temperaturile ridicate a matriței conduc la descompunerea materialelor conducând la aparițiilor defectelor superficiale pe suprafețele exterioare ale brichetelor [51].

În Figura 4.6 se prezintă dependența polinomială de ordinul trei al densității particulelor și durabilității mecanice ale brichetelor din reziduuri arboricole de pomi fructiferi în funcție de temperatura de compactare.

Pentru ambele tipuri de probe (1 – reziduuri arboricole din pomi fructiferi și 2 – endocarp de nucă), densitatea crește inițial cu temperatura, atinge un punct maxim, apoi descrește. Această evoluție poate fi explicată prin faptul că la temperaturi moderate, lignina și alte componente ale biomasei încep să se înmoaie, favorizând coeziunea particulelor și compactarea eficientă iar la temperaturi prea ridicate, se poate produce descompunerea parțială a materialului, generând porozitate crescută și o scădere a densității.

Durabilitatea mecanică urmează un model similar cu densitatea: crește cu temperatura până la un punct optim, apoi scade. Temperaturile excesiv de mari pot conduce la formarea de fisuri sau defecte superficiale, afectând integritatea mecanică a brichetelor.

Probele din endocarp de nucă (2) pot prezenta valori diferite față de cele din reziduuri de pomi fructiferi (1), datorită compoziției chimice distincte (proporții diferite de lignină, celuloză, hemiceluloză). Este posibil ca endocarpul de nucă, având o structură mai dură și conținut ridicat de lignină, să reziste mai bine la temperaturi mai mari sau să aibă o fereastră optimă diferită.

Se constată că, atât pentru densitatea particulelor, cât și pentru durabilitatea mecanică există o zonă de confort, în cadrul căreia parametrii măsurați se stabilizează, având valori destul de apropiate. Această zonă începe cu cca. 60 °C până la 180 °C. La temperaturi mai mici de 60°C transformările fazice ale ligninei nu au loc și această încă nu devine suficient de amorfă pentru a putea mări legăturile de adeziune între particule. Este evident că asupra procesului influențează și presiunea densificării, lucru demonstrat în cercetările anterioare realizate în cadrul LȘBCS UTM [183].

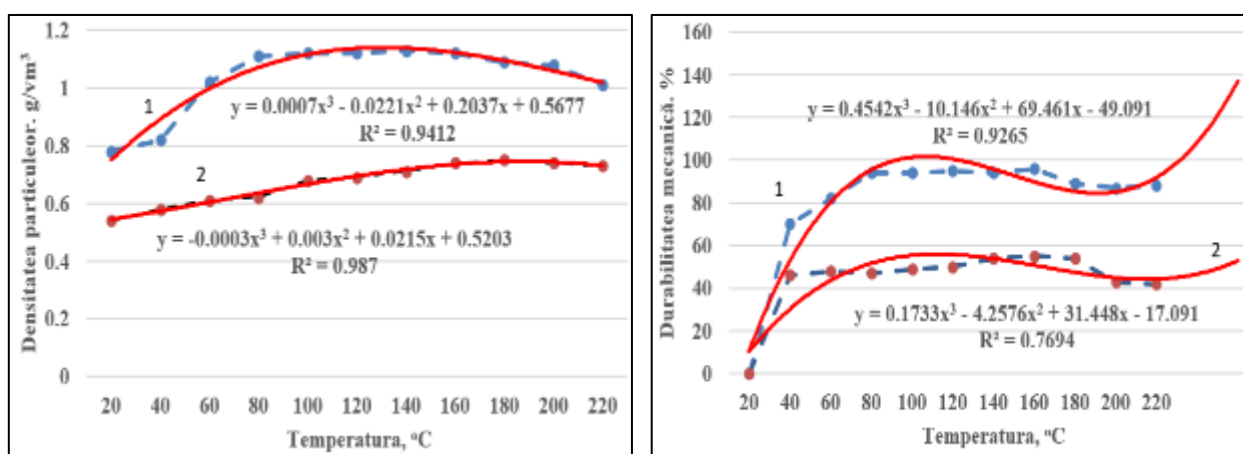


Figura 4.6. Influența temperaturii densificării asupra densității particulelor și durabilității mecanice a brichetelor produse din biomasă vegetală pomicolă: 1 - probe din reziduuri arboricole din pomi fructiferi; 2 – probe din endocarp de nucă

Urmărirea termografică a modificării temperaturii matricei de la presa „Brikles” din dotarea LȘBCS UTM la producerea brichetelor din reziduuri arboricole de pomi fructiferi a demonstrat că stabilizarea producerii brichetelor cu caracteristici constante începe la temperatura matricei egală cu 69°C (vezi Figura 4.7).



Figura 4.7. Imaginea termografică a matricei și secvențe din timpul monitorizării variației temperaturii matricei pe parcursul producerii brichetelor din reziduuri vegetale pomicole

4.4. Îmbunătățirea calității biocombustibililor solizi din biomasă vegetală pomi-viticolă prin tratări termochimice

4.4.1. Generalități referitoare la torefierea reziduurilor agricole și produselor din acestea

Tratamentele termochimice ale biomasei includ torefierea, piroliza, gazificarea, carbonizarea hidrotermică și lichefierea directă. În industria producătoare de biocombustibili solizi, biomasa vegetală agricolă este, de regulă, tratată termochimic prin torefiere și piroliză. Ambele metode presupun degradarea termică a biomasei în absența oxigenului, doar că torefierea are loc la temperaturi moderate (200–300 °C), iar piroliza la temperaturi mai ridicate (300–700°C) [185].

În acest studiu, vom examina în detaliu procesul de torefiere a biocombustibililor solizi densificații din reziduuri agricole, pe exemplul unui studiu de caz referitor la peleții produși din biomasă vegetală generată de arbuști fructiferi.

Există mai multe date despre eficiența folosirii peleților de lemn pentru încălzire în sectorul rezidențial și pentru uz industrial [85]. Totuși, producerea peleților din reziduuri agricole, inclusiv din biomasă de arbuști fructiferi, prezintă anumite dezavantaje, precum hidrofilia, valoarea calorică redusă și capacitatea slabă de densificare [186, 187].

Torefierea, un proces de tratare termochimică, poate atenua aceste probleme prin modificarea caracteristicilor esențiale ale biomasei [85]. Aceasta constă în încălzirea lentă a

materialului, fie înainte de densificare, fie după, într-un mediu inert sau cu deficit de oxigen, la temperaturi cuprinse între 200 și 300°C [72, 73, pp.30-31].

În literatura de specialitate sunt identificate trei tipuri de torefiere: umedă [57], uscată [58] și ionică [59]. Dintre acestea, torefierea uscată este cea mai utilizată metodă de tratare termochimică pentru producerea biocombustibililor solizi [60].

Indiferent de metoda aplicată, procesul de torefiere parcurge mai multe etape distincte, inclusiv încălzirea inițială, pre-uscarea, post-uscarea și încălzirea intermediară [74]. Cu toate acestea, mecanismul tofierii rămâne un subiect de interes științific și tehnologic, fiind specific fiecărui tip de biomasă.

Este relevant de subliniat că cercetările din acest domeniu variază considerabil în funcție de soluțiile tehnologice adoptate [83, 84]. În acest context, studiile axate pe cazuri specifice au reprezentat o preocupare constantă pentru numeroși cercetători.

De exemplu, cercetătorii canadieni au analizat impactul tofierii asupra cojilor de orez și de arahide, rumegușului de lemn și bagasei într-un mediu cu azot, variind temperatura și durata procesului. Studiul a arătat că bagasa tofreată la 300°C a atins cea mai mare valoare calorifică (highest heating value, HHV = 25,68 MJ/kg), comparabilă cu cea a ligninei [188]. Kumar a demonstrat că densificarea biomasei tofreate la 225°C reduce consumul de energie și îmbunătățește productivitatea procesului [68]. De asemenea, [189] au evidențiat efectele benefice ale tofierii pre-procesare asupra reziduurilor de cereale, inclusiv tulpinile de porumb și de bumbac.

În Thailanda, cercetătorii au studiat tofierea a patru tipuri de deșeuri agricole (știuleți de porumb, coajă de nucă de cocos, rizomi de manioc și coji de orez) într-un mediu inert, la temperaturi de 200–300°C, timp de 30 de minute. Rezultatele au confirmat că tofierea este o tehnologie promițătoare pentru conversia deșeurilor agricole în biocombustibili solizi, oferind o alternativă viabilă la cărbune [80].

Mai mulți cercetători au studiat efectul tofierii asupra diverselor tipuri de biomasă agricolă. De exemplu, cercetătorii din Polonia și Suedia au examinat pleava și paie de grâu, orez și secară [75, 76]; știuleții de porumb, tulpinile de bumbac și floarea-soarelui [77]; tulpinile de porumb și bumbac [78]; cojile de soia, știuleții de porumb, paie de orez și ramurile de viță-de-vie [79].

Efectul tofierii asupra peleților produși din paie de grâu și reziduuri lemnoase a fost analizat în cadrul LȘBCS, utilizând un higrostat cu capacitatea de forma o atmosferă de vid. Echipamentul a fost modificat astfel încât să simuleze condițiile de tofiere, având și capacitatea de monitorizare a temperaturii și duratei expunerii [190]. Rezultatele obținute au arătat o creștere de aproximativ 16% a valorii calorifice a biomasei lemnoase, confirmând eficiența procesului de

toferiere în producția de peleți din reziduuri agricole. Aceste concluzii sunt susținute și de cercetările realizate de [53, 72].

Deși există numeroase cercetări privind toferierea reziduurilor agricole, studiile privind particularitățile toferierii peletilor din biomasă provenită de la arbuștii fructiferi sunt mai puțin frecvente. Scopul acestui studiu este de a evalua impactul procesului de toferiere asupra peletilor obținuți din amestecuri de reziduuri de arbuști fructiferi.

4.4.2. Efectul toferierii BCS produși din biomasă vegetală pomi-viticolă: Studiu de caz pentru peletii produși din amestecuri de biomasă alcătuite pe baza reziduurilor vegetale de cătină albă

Pentru exemplificarea efectului toferierii asupra BCSD în formă de peleți, în acest subcapitol se prezintă un studiu de caz care vizează modificările valorii calorifice și a conținutului de cenușă pentru două tipuri de probe și anume: Amestec de reziduuri vegetale de cătină albă 30% + reziduuri vegetale de mur 70%, denumit (RVCA+RVM) și Amestec de reziduuri vegetale de cătină albă 30% și paie de grâu 70%, denumit RVCA+PG.

În urma prelucrării statistice a datelor experimentale obținute în acest studiu avem următoarele ecuații de regresie, care exprimă în mod adecvat dependența factorilor examinați de regimurile toferierii:

$$Q = 6,46167 + 0,0471T + 0,359583DE - 0,000052T^2 - 0,000135T \cdot DE - 0,00535DE^2, \quad (4.1)$$

$$A = 0,67333 + 0,0108T + 0,052833DE - 0,00002T^2 + 0,00002T \cdot DE - 0,00105DE^2. \quad (4.2)$$

în care Q - este valoarea calorifică netă, raportată la o umiditate de 10%, în MJ/kg; A - conținutul de cenușă rezultat în urma arderii probelor, %; T - temperatura de toferiere, °C; DE - durata expunerii, min.

Analiza acestor ecuații permite înțelegerea fenomenelor fizico-chimice care au loc pe parcursul toferierii peletilor examinați. Astfel, analiza ecuației (4.1), ale cărei rezultate sunt prezentate în (Figura 4.8), arată că atât creșterea temperaturii de toferiere, cât și durata expunerii determină o creștere a valorii calorifice nete. În același timp, termenii de ordinul doi ai ecuației sugerează o relație neliniară, indicând că, la temperaturi și durate foarte mari, valoarea calorifică începe să scadă. Interacțiunea dintre temperatură și durata expunerii arată că efectele combinate ale acestora nu sunt pur aditive, ceea ce înseamnă că, în anumite condiții, pot influența negativ eficiența procesului.

Analizând dinamica procesului (Figura 4.8), se constată că valoarea calorifică începe să crească încă din prima fază a experimentului. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că, în

intervalul de temperaturi 200-250 °C, hemiceluloza începe să se degradeze, eliminând compuși volatili și îmbunătățind raportul carbon/hidrogen.

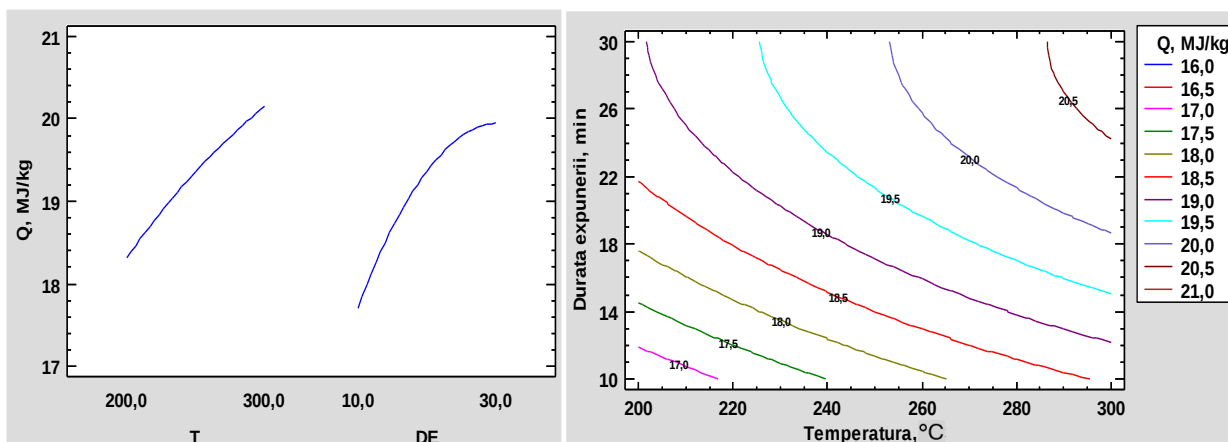


Figura 4.8. Diagrama efectelor și contururile suprafețelor de răspuns pentru valoarea calorică netă (Q), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+RVM, în funcție de temperatura de tofieri (T) și durata expunerii (DE)

În intervalul 250-300 °C, celuloza suferă piroliză parțială, ceea ce duce la o reducere a masei și la formarea unor structuri mai carbonizate. Lignina, datorită stabilității sale termice, suferă o degradare mai lentă, contribuind astfel la creșterea valorii calorifice. Cu toate acestea, la temperaturi ce depășesc 300 °C, are loc o pierdere excesivă de masă, ceea ce determină o reducere a valorii calorice. Când temperatura și durata de expunere sunt prea mari, pierderile de masă sunt amplificate de eliberarea gazelor combustibile (CO , CH_4 , H_2), ceea ce afectează negativ eficiența energetică a produsului final. Acest fenomen este reflectat de termenii negativi de ordinul doi ai ecuației de regresie.

Aceste constatări sunt în concordanță cu rezultatele obținute de colaboratorii LȘBCS UTM în studiile privind biomasa agricolă, precum paie de grâu și reziduurile arboricole [190].

Este de menționat că creșterea temperaturii tofierii și a duratei de expunere determină o creștere lentă a conținutului de cenușă (vezi Figura 4.9), ceea ce indică pierderi de masă organică. Termenii de ordinul doi arată că, după un anumit prag, creșterea temperaturii și a duratei poate încetini acumularea de cenușă.

Interacțiunea dintre temperatură și durata expunerii este nesemnificativă, ceea ce sugerează că aceste două variabile au un efect aproape independent asupra conținutului de cenușă. Creșterea conținutului de cenușă poate fi explicată prin faptul că, pe măsură ce temperatura crește, compușii organici volatili sunt eliberați, iar biomasa devine mai bogată în carbon fix și cenușă. La temperaturi mai mari și durate lungi, pierderile de materie organică accentuează raportul dintre cenușă și masa totală.

Termenii de ordin superior negativi sugerează că, după un anumit prag, creșterea temperaturii nu mai determină o creștere semnificativă a conținutului de cenușă, deoarece componentele minerale ajung la o stare stabilă.

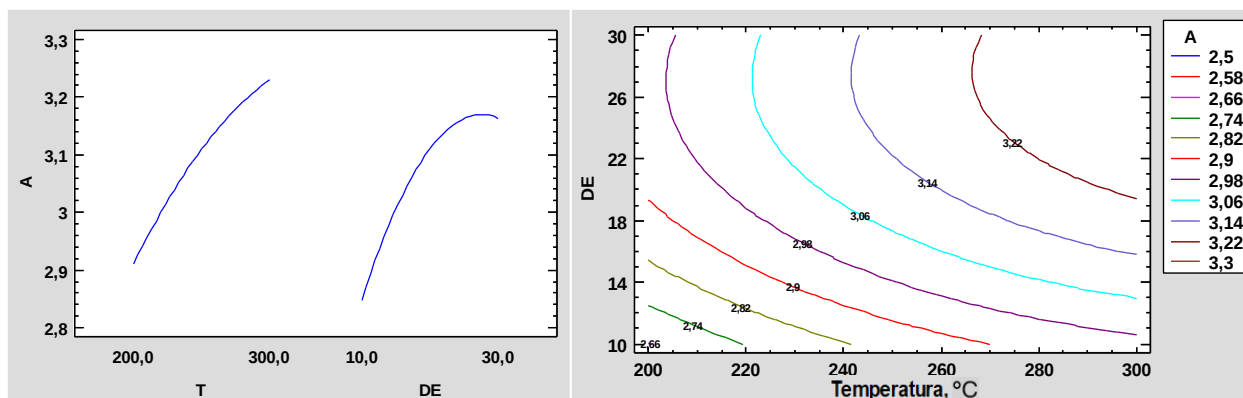


Figura 4.9. Diagrama efectelor și contururile suprafețelor de răspuns pentru conținutul de cenușă (A) a peleților obținuți din RVCA+RVM, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE)

În continuare se prezintă modificările în valoarea calorifică netă (Q) și conținutul de cenușă (A) ale peleților obținuți din RVCA + PG, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE). Ecuatiile de regresie care descriu aceste dependențe sunt:

$$Q = 4,53333 + 0,05187T + 0,34767DE - 0,00006T^2 - 0,00014T \cdot DE - 0,0054DE^2, \quad (4.3)$$

$$A = 4,45278 + 0,0112T + 0,05458DE - 0,00002T^2 + 0,00002T \cdot DE - 0,00107DE^2. \quad (4.4)$$

Diagrama Pareto și contururile suprafețelor de răspuns din (Figura 4.8; 4.9 și 4.10) oferă o vizualizare clară a influenței temperaturii și duratei expunerii asupra parametrilor studiați.

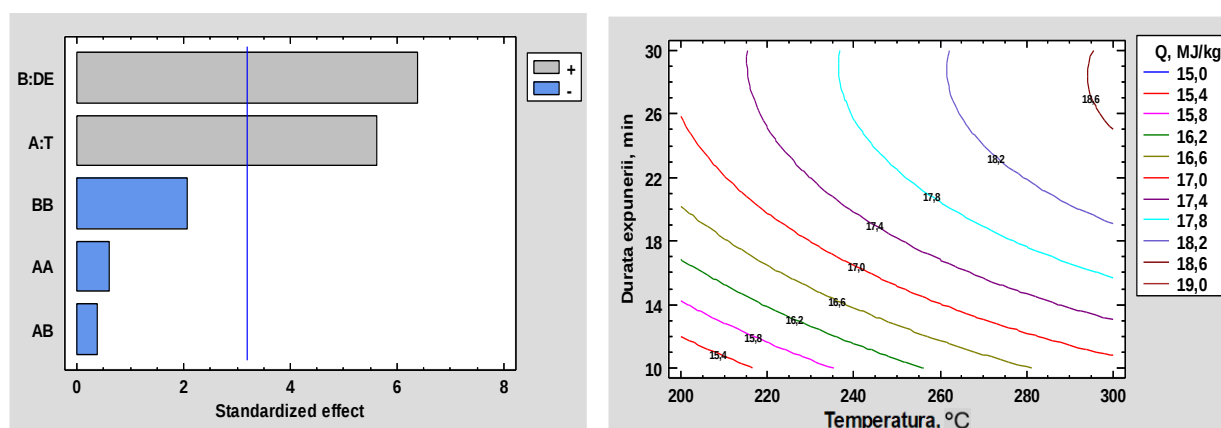


Figura 4.10. Diagrama Pareto și contururile suprafețelor de răspuns pentru valoarea calorifică netă (Q), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+PG, în funcție de temperatura de torefiere (T) și durata expunerii (DE)

Coefficienții pozitivi ai termenilor liniari ai ecuațiilor de regresie (4.3) și (4.4) indică faptul că atât creșterea temperaturii, cât și a duratei expunerii contribuie la creșterea inițială a valorii calorifice și a conținutului de cenușă. În același timp, coeficienții negativi din ecuația (4.3) sugerează o relație neliniară, indicând că, după o anumită valoare, creșterea temperaturii și a duratei începe să aibă un efect negativ asupra valorii calorifice. De asemenea, din ecuația (4.4), se constată că, după un anumit prag, efectul creșterii temperaturii și duratei asupra conținutului de cenușă devine mai puțin pronunțat, aspect confirmat de coeficienții negativi ai termenilor de ordin superior.

Se observă, de asemenea, o influență aproape independentă a celor doi parametri asupra valorii calorifice și a conținutului de cenușă, iar o creștere simultană a acestora poate reduce nesemnificativ eficiența procesului.

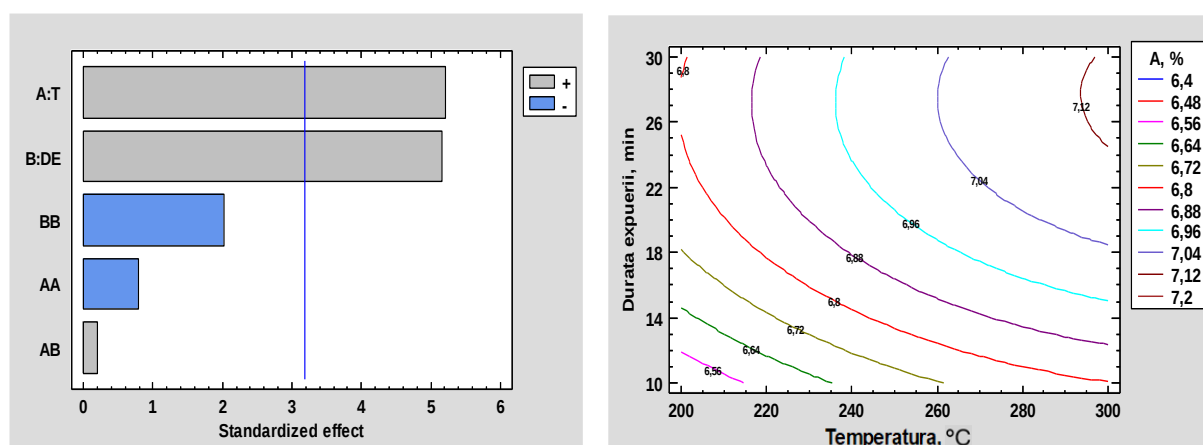


Figura 4.11. Diagrama Pareto și contururile suprafețelor de răspuns pentru conținutul de cenușă (A), raportată la o umiditate de 10%, a peleților obținuți din RVCA+PG, în funcție de temperatură

Analiza diagramelor Figura 4.8 ... Figura 4.11 evidențiază o similitudine ridicată între dinamica torefierii peleților din RVCA+RVM și cea a peleților din RVCA+PG, având la bază procese termice similare. Totuși, trebuie menționat că torefierea amestecurilor care conțin paie de grâu determină o creștere semnificativă a conținutului de cenușă, ajungând la valori de peste 7,14% pentru regimurile care asigură cea mai mare valoare calorifică a peleților.

De menționat că standardul SM EN ISO 17225-6:2021 atribuie acestui tip de peleți clasa B, care permite un conținut de cenușă de până la 10%. Pentru a putea clasifica peleții în categoria A, este necesară creșterea proporției de RVCA sau utilizarea altor tipuri de reziduuri, reducând în același timp procentul de PG.

În baza celor constatate se poate concluziona că:

1. Temperatura optimă de torefiere a peleților produși din RVCA+RVM este între 250 și 280°C, unde valoarea calorifică este maximă și creșterea conținutului de cenușă este moderată.

2. Durata eficientă de expunere din RVCA+RVM se situează în intervalul 15-25 min, deoarece creșterea valorii calorice devine nesemnificativă după acest punct, în timp ce pierderile de masă pot deveni prea mari.

3. Pentru a preveni pierderi necontrolate de masă și reducerea eficienței energetice, trebuie evitate temperaturile peste 300°C și duratele excesive (>30 min).

4. Informația obținută poate fi folosită de către producătorii de biocombustibili solizi pentru maximizarea calității peleților din reziduuri de arbuști fructiferi.

4.4.3. Aspecte tehnice, economice și sustenabile ale fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole

În capitolele precedente au fost analizate detaliat aspectele tehnice ale verigilor tehnologice ce țin de asigurarea cu materie primă și subiectele legate de asigurarea tehnologică a lanțului de aprovizionare cu BCSD. De asemenea, a fost determinat potențialul energetic al biomasei vegetale pomi-viticole din punct de vedere al sustenabilității acesteia, luând în considerare faptul că utilizarea reziduurilor vegetale reduce cantitatea de deșeuri vegetale arse necontrolat, contribuie la combaterea schimbărilor climatice și are emisii reduse în raport cu combustibilii fosili.

Un aspect mai puțin dezvoltat pentru condițiile Republicii Moldova este modul în care se leagă aspectele tehnice ale producerii BCSD cu cele economice și de sustenabilitate. În literatura de specialitate, aspectele economiei sustenabile sunt privite prin prisma economiei circulare, considerată un model viabil pentru Republica Moldova [41].

În același rând, în majoritatea publicațiilor referitoare concret la biocombustibili, conceptul de sustenabilitate este considerat cu beneficii economice, sociale și sustenabile [191]. Aceste beneficii sunt mai vizibile în țările aflate în curs de dezvoltare și bazate pe agricultură [192].

În continuare, se prezintă descrierea verigilor componente ale fluxului de producere a BCSD din reziduuri vegetale, bazată pe activitățile obținute în prezentul studiu. Rezultatele sintetizate, cu indicarea surselor de proveniență a informațiilor, sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Alegerea sursei de biomasă se bazează pe rezultatele obținute în capitolele 2 și 3. Datele obținute în studiul din capitolele menționate corelează cu cele prezentate de mai mulți autori din domeniu și sintetizate în Tabelul 1.1.

Producătorul în funcție de materia primă disponibilă și utilizând informații referitoare la calitatea diferitelor tipuri de biomasă vegetală în raport cu originea acesteia, poate previziona calitatea produsului finit obținut. De asemenea, beneficiarul materiei prime poate recurge la

formarea diferitelor amestecuri, pe baza informațiilor prezentate în §3.6, utilizând reziduuri provenite de la pomi fructiferi, nuciferi, arbuști fructiferi și viță-de-vie.

Preprocesarea materiei prime constă, de obicei, din două faze: sortarea și curățirea acesteia, asigurându-ne că materia primă livrată pentru verigile ulterioare ale LABCS D are dimensiuni adecvate pentru transport și procesare ulterioară și nu conține impurități nedorite, pietre, bucăți de metal, sticlă etc. [47, p. 85-90, 193].

După cum s-a raportat în [47, p.90 - 91], sortarea poate fi realizată cu echipamente pentru sortare mecanică (separatoare plate, vibratoare, giratorii cu tambur), echipamente pentru sortare pneumatică (dispozitive cu circulație turbulentă a aerului) și pentru sortare magnetică (separatoare electromagnetice).

Uscarea materiei prime este una din operațiile importante care influențează calitatea brichetelor și peletilor. Conținutul de umiditate a materiei prime înainte de comprimare ar trebui să fie cât mai scăzut, în general 6-14% pentru brichetare (Figura 4.5) și 8-12% pentru peletizare [183].

Cercetările noastre au arătat că conținutul de umiditate a reziduurilor pomicole variază în limitele 40 ... 50% (Tabelul 2.4 ... Tabelul 2.9), iar umiditatea la recoltare a lăstarilor și corzilor de viță-de-vie poate ajunge până la 60% (Tabelul 2.10).

Uscarea biomasei vegetale provenite din plantații pomicole și viticole înainte de densificare poate fi realizată prin mai multe metode: uscarea naturală, care poate dura până la 90 de zile [67], uscare forțată la locul de procesare și uscare mixtă [47 p. 91-94].

Uscarea naturală a biomasei pomi-viticole care mai este numită și aerare poate fi realizată direct în câmp în aer liber sau în adăposturi bine ventilate, pentru asigurarea evaporării umidității.

Uscarea naturală, denumită și aerare, se poate efectua direct în câmp, în aer liber, sau în adăposturi bine ventilate, pentru a favoriza evaporarea treptată a umidității din biomasă.

Uscarea forțată implică utilizarea unor instalații specializate, precum:

- uscătoarele cu tambur rotativ, ideale pentru rumeguș, paie sau tocătură de viță-de-vie;
- uscătoarele cu bandă transportoare, recomandate pentru materiale fragile;
- uscătoarele cu flux de aer, potrivite pentru rumeguș fin;
- uscătoarele cu microunde sau infraroșu, utilizate mai rar, în aplicații speciale sau de laborator.

Procesul de uscare și utilajele folosite pentru realizarea acestei verigi tehnologice din fluxul de producere a biocombustibililor solizi densificați este destul de complet prezentat în literatura de specialitate [194–196].

Biomasa de tip endocarp, rezultată în urma procesării speciilor de nuciferi, poate fi supusă procesului de densificare fără o etapă prealabilă de uscare, având în vedere conținutul natural de umiditate relativ scăzut, care variază între 10% în cazul alunului și 12,7% în cazul migdalului Tabelul 2.8.

Reducerea dimensiunilor biomasei înainte de densificare se numără printre etapele hotărâtoare pentru conversia biomasei pomi-viticole în peleți și brichete [197]. Este demonstrat că această verigă tehnologică ocupă locul doi în ceea ce privește consumul de energie după uscare într-un flux tehnologic de peletizare [198].

În fluxul de producere a BCSD se folosește o gamă variată de echipamente diferențiate prin principiile de funcționare utilizate în procesul de mărunțire. Pentru mărunțire biomasei vegetale, de regulă se folosesc utilaje bazate pe principiul tăierii sau forfecării [47, 197].

Dintre numeroasele echipamente disponibile pentru reducerea dimensiunii biomasei, cele mai frecvent utilizate sunt: moara cu ciocane, moara cu cuțite, grilajele cu cuțite liniare și morile cu discuri de frecare [199]. Biomasa astfel prelucrată este clasificată, în funcție de dimensiunea particulelor, în următoarele categorii: tocată (50–250 mm), tocată mărunț (8–50 mm) și măcinată (<8 mm) [25, 200].

Este demonstrat că dimensiunea particulelor influențează în mod semnificativ formarea legăturilor de adeziune în timpul procesului de densificare. De exemplu, în cazul peletizării, condițiile optime de compactare sunt atinse atunci când biomasa este mărunțită și cernută prin site cu dimensiunea ochiurilor de 4 mm [183].

Cercetările noastre au evidențiat că densitatea maximă a brichetelor se obține prin utilizarea sitei cu dimensiunea ochiurilor de 6 mm (Figura 4.5). Dimensiunile particulelor rezultate în urma folosirii acestor site favorizează formarea eficientă a legăturilor de adeziune între particule, precum și a coeziunii interne a acestora.

Particulele de dimensiuni mai mari determină un consum energetic mai ridicat atât în procesul de brichetare, cât și în cel de peletizare. De asemenea, este important ca dimensiunile particulelor să fie distribuite uniform, pentru a asigura omogenitatea proprietăților în secțiunea transversală a BCSD și, implicit, o durabilitate mecanică superioară.

Peletizarea. Peleții sunt biocombustibili solizi densificați, sub formă cilindrică, fabricați prin presarea biomasei uscate (lemnoase sau non-lemnoase), fără adaosuri sau cu adaosuri admise conform standardelor cu dimensiuni tipice: lungimea 5 – 40 mm; diametru până la 25 mm. Aceștia

trebuie să îndeplinească cerințe stricte de calitate referitoare la dimensiune, umiditate, conținut de cenușă, durabilitate mecanică, putere calorifică și conținut de elemente chimice (cum ar fi azot, sulf, clor, metale grele etc.), în funcție de categoria și clasa specificată în standard.

Cerințele pentru peleții din biomasă vegetală agricolă și din amestecuri de biomasă sunt specificate în Tabelul 1.2. În cadrul LȘBCS, UTM au fost realizate mai multe studii care țin de asigurarea calității peletilor din biomasă vegetală disponibilă în Republica Moldova. De exemplu, Gudîma și colegii în rezultatul studiilor proprii și analizei datelor din literatura de specialitate au arătat că producerea peletilor prin metode tradiționale, cu caracteristici conforme cerințelor standardelor ENPlus, din biomasă vegetală agricolă agricole este problematică, deoarece un șir de reziduuri agricole posedă caracteristici inferioare în comparație cu biomasa lemnoasă. De asemenea, au fost evidențiați principalii factori tehnologici care influențează calitatea peletilor, printre aceștia regăsindu-se, temperatura peletizării și granulația materiei prime înainte de peletizare [54].

În rezultatul analizei influenței dimensiunii particulelor asupra calității peletilor produși din reziduuri vegetale de cătină albă, varietate Cora, s-a constatat că cea mai uniformă distribuție a dimensiunilor particulelor se obține în rezultatul mărunțirii biomasei cu trecere prin sită cu dimensiunile ochiurilor de 4 și 6 mm. În acest caz proprietățile peletilor produși din biomasă de cătină albă se înscriu în normele impuse de cerințele EN Plus [158].

În urma studiului realizat de către noi privind procesul de densificare a peletilor, efectuat pe probe din biomasă vegetală de cătină albă, s-a constatat că densitatea particulelor este influențată în mod semnificativ de umiditatea biomasei înainte de peletizare și de temperatura procesului. Cea mai bună densitate a particulelor s-a obținut la un conținut de umiditate al biomasei de $(7,8 \pm 1,6)\%$ și o temperatură de peletizare de $(96 \pm 14) ^\circ\text{C}$. Aceste regimuri tehnologice sunt valabile pentru biomasa cu granulație obținută prin cernere prin sită cu dimensiunea ochiurilor de 4 mm și aplicarea unei forțe de apăsare de cel puțin 8 kN, ceea ce corespunde unei presiuni de aproximativ 160 MPa pentru peleții cu diametrul de 8 mm [201].

Brichetarea. Conform standardului SM EN ISO 17225-3:2021, brichetele sunt biocombustibili densificați, obținuți cu sau fără utilizarea aditivilor, sub o formă geometrică predeterminată. Acestea se caracterizează prin cel puțin două dimensiuni (lungime, lățime sau înălțime) mai mari de 25 mm și sunt produse din biomasă comprimată.

Procesul de brichetare transformă biomasa vegetală pomi-viticolă într-un produs compact, ușor de transportat, depozitat și utilizat în scopuri energetice. Caracteristicile brichetelor, fabricate din reziduuri vegetale pomi-viticele și amestecuri sunt reglementate de către standardul SM EN

ISO 17225-7 2021 (vezi Tabelul 1.2), în timp ce brichetele obținute exclusiv din biomasă lemnoasă sunt reglementate de SM EN ISO 17225-3:2021.

În Republica Moldova, cerințele privind etichetarea, condițiile de depozitare, păstrare, plasare pe piață și supravegherea biocombustibililor solizi, atât de producție autohtonă, cât și din import, sunt stabilite prin Regulamentul cu privire la biocombustibilul solid [118].

Documentele normative menționate oferă un cadru tehnic clar pentru producerea și comercializarea brichetelor din biomasă vegetală, asigurând calitatea, eficiența energetică și compatibilitatea cu cerințele pieței. Conform acestor documente, brichetele se clasifică în funcție de:

- *Originea materiei prime* (lemnoasă, agricolă, amestecuri);
- *Compoziție*: monomaterial (ex. doar paie) sau amestecuri de diferite tipuri de material;
- *Clasa de calitate*: A1 – biomasă curată, umiditate și cenușă scăzute; A2 – toleranțe mai largi, aplicabil uzului rezidențial sau mic industrial; B – pentru uz industrial, permite materii prime cu conținut mai ridicat de cenușă și contaminanți (vezi Tabelul 1.2).

În funcție de formă, brichetele pot fi: Cilindrice, Pătrate/dreptunghiulare, Hexagonale (cu sau fără orificiu central).

- Alegerea utilajului de brichetare se face în funcție de mai mulți factori:
- Tipul materiei prime (lemnoasă, agricolă, fibroasă);
- Gradul de umiditate și necesitatea pretratării (uscătoare, mori de mărunțire);
- Forma dorită a brichetelor;
- Capacitatea de producție și regimul de lucru (artizanal, semi-industrial sau industrial);
- Costul de achiziție și întreținere a utilajului;
- Accesibilitatea sursei de energie (electricitate trifazată sau motor termic).

La producerea brichetelor se folosesc mai multe tipuri de prese. Cele mai utilizate sunt:

Prese cu piston mecanic. Utilizate pentru producerea brichetelor cilindrice, fără lianți, cu densitate ridicată și durabilitate mecanică crescută. Necesită biomasă cu umiditate controlată (8–15%).

Prese hidraulice. Pot produce brichete cilindrice sau pătrate. Presiunea este medie (50–60 MPa) și pot necesita lianți, mai ales în cazul paielor, cojilor de semințe sau altor reziduuri greu compactabile.

Prese cu șnec (extruder). Sunt folosite pentru producerea brichetelor cilindrice sau hexagonale lungi, cu sau fără orificiu central. Brichetele rezultate sunt ușor de aprins, dar pot avea o durabilitate mecanică mai scăzută.

Prese cu matriță plană. Sunt adaptate pentru biomasă fibroasă (iarbă, Miscanthus, frunze etc.). Pot necesita adaos de lianți sau pretratare suplimentară.

În literatura de specialitate, brichetele sunt adesea clasificate în funcție de tehnologia de presare și forma rezultată, iar unele tipuri poartă denumirea firmelor care au dezvoltat echipamentele respective [47 p. 135 - 140].

Tipologia brichetelor include: *Nestro* – obținute prin presare mecanică, de formă cilindrică, fără orificiu, caracterizate prin compactitate ridicată; *RUF* – produse prin presare hidraulică, cu formă pătrată sau dreptunghiulară; *Pini-Kay* – realizate cu extruder, având formă hexagonală cu orificiu central și suprafață arsă pentru creșterea rigidității; *Nielsen* – brichete cilindrice, dense și durabile, obținute cu presă cu piston de mare capacitate. Denumirile sunt comerciale și indică tipul de tehnologie, nu neapărat o rețetă de material.

Pentru alegerea regimurilor de brichetare în fluxul de producere a BCSD din reziduuri vegetale pomi-viticole se vor folosi recomandările prezentate în Tabelul 4.2.

Etichetarea biocombustibililor solizi nu reprezintă doar un act formal [118], ci o componentă a sistemului de garantare a calității, întrucât oferă utilizatorului datele necesare pentru o utilizare eficientă și sigură. Astfel, fiecare produs trebuie să conțină, mențiunea privind țara de origine, iar în cazul produselor fabricate în Republica Moldova, formula standard utilizată „*Fabricat în Moldova*”.

În plus, eticheta trebuie să includă informații tehnice relevante, conform anexelor documentelor normative de referință: valoarea calorifică netă, conținutul de cenușă, umiditatea produsului și alți parametri care definesc calitatea combustibilului solid.

Un element fundamental al etichetării este reprezentat de numărul raportului de încercare, emis de un laborator de încercări acreditat, în acest caz (LȘBCS) UTM, care constituie o garanție a conformității produsului cu standardele de calitate aplicabile și contribuie la consolidarea încrederii beneficiarilor în produsul comercializat.

Tabelul 4.2. Fluxul de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole (alcătuit pe baza rezultatelor obținute în acest studiu)

Veriga din LABCS D				Referință		
1. Selectarea materiei prime						
1.1 Cerințe generale: disponibilitate în cantități suficiente pentru realizarea programului de producere în raza de cel mult 70 km						
1.2 Cerințe specifice:		Peleți	Q≥14,5 MJ/kg		Tabelul 1.2	
		Brichete	Q≥14,5 MJ/kg			
1.3 Surse biomasă vegetală:	Reziduuri pomicole: caracteristici, potențial			Rezultate proprii: § 2.2.1; § 2.2.2; § 3.2; Tabelul 2.3; Tabelul 2.5 Tabelul 3.2		
	Reziduuri de nuciferi: caracteristici, potențial			Rezultate proprii: § 2.2.3; § 3.3; Tabelul 2.8; Tabelul 3.3		
	Reziduuri de arbuști fructiferi: caracteristici, potențial			Rezultate proprii: § 2.2.4; § 3.4; Tabelul 2.9; Tabelul 3.4		
	Reziduuri de viță de vie: caracteristici, potențial			Rezultate proprii: § 2.2.5; § 3.5; Tabelul 2.11; Tabelul 3.5		
	Amestecuri din: reziduuri pomicole; paie de grâu; reziduuri de floarea-soarelui			Rezultate proprii: § 3.6.1; Figura 3.1 - Figura 3.2; Tabelul 3.6		
	Amestecuri din: biomasă vegetală de nuciferi (endocarp, ramuri); paie de grâu			Rezultate proprii: § 3.6.2; Figura 3.3; Tabelul 3.7		
	Amestecuri din: reziduuri de arbuști fructiferi și paie de grâu			Rezultate proprii: § 3.6.3; Figura 3.4, Tabelul 3.8		
2. Preprocesarea materiei prime						
2.1 Sortare. Se selectează individual metoda din considerente tehnice și economice (mecanică, pneumatică, magnetică)						
2.2 Curățare. Se selectează individual metoda din considerente tehnice și economice						
3. Uscarea materiei prime						
3.1 Uscare. Se selectează metoda din considerente tehnice și economice (uscare naturală direct în câmp, uscarea forțată la locul de procesare, uscare mixtă)						
3.2 Cerințe specifice:		Peleți	M _{rec} = 8-12%		Rezultate proprii: § 4.3.2; Surse: [149, 183]	
		Brichete	M _{rec} = 6-14%			
4. Reducerea dimensiunilor						
4.1 Mărunțire grosolană dimensiuni ≥ 50 mm				Sursă: [43]		
4.2 Mărunțire semifină dimensiuni < 25 mm						
4.3 Mărunțire fină: Recomandări		Peleți	Sită D ≤ 4 mm		Rezultate proprii: Figura 4.5 Sursă: [183]	
		Brichete	Sită D ≤ 8 mm			
5.1 Peletizare						
5.1.1 Cerințe specifice		Clasa de calitate A	Q ≥ 14,5 MJ/kg	M _{rec} ≤ 12%	A ≤ 6%	Tabelul 1.2
		Clasa de calitate B	Q ≥ 14,5 MJ/kg	M _{rec} ≤ 15%	A ≤ 10%	
Recomandări		temperatura	(96 ± 14)°C			Rezultate proprii: § 4.3.2; Surse [32, 54, 154, 158]
		umiditate	(7,8 ± 1,6)%			
		granulația	4 mm			
5.1 ^a Torefiere opțional						
5.1 ^a .1 Tratamente termice		temperatura	250-280°C;		Rezultate proprii: § 4.1; § 4.4; Figura 4.2;Tabelul 4.1; Figura 4.8; Figura 4.9; Figura 4.10; Figura 4.11; Sursă: [202].	
		durata de expunere	15-20 min			
5.2 Brichetare						
5.2.1 Cerințe specifice		Clasa de calitate A1	Q ≥ 14,5 MJ/kg	M _{rec} ≤ 12%	A ≤ 3%	Tabelul 1.2
		Clasa de calitate A2	Q ≥ 14,5 MJ/kg	M _{rec} ≤ 15%	A ≤ 6%	
		Clasa de calitate B	Q ≥ 14,5 MJ/kg	M _{rec} ≤ 15%	A ≤ 10%	
Recomandări		temperatura	≥ 69°C			Rezultate proprii: § 4.1; 4.3.3; Figura 4.1; Figura 4.5; Figura 4.6; Figura 4.7 Sursă: [82, 183]
		granulația biomasei	≤ 8 mm			
6. Ambalare, etichetare						
6.1 Regulamentul cu privire la biocombustibilul solid				Sursă: [118]		

Notă: Q – valoarea calorică netă, conținutul de umiditate de 10%, MJ/kg; A – conținutul de cenușă în bază uscată, %; M_{rec} - conținutul de umiditate la recoltare, %.

4.5. Concluzii specifice la capitolul 4

În acest capitol, obiectivul central al cercetării îl reprezintă lanțul de aprovizionare cu biocombustibili, care contribuie la creșterea competitivității bioenergiei și, implicit, a bioeconomiei. De asemenea, este esențială îmbunătățirea sustenabilității ecologice, economice și sociale a acestor lanțuri. Pe fondul necesității reducerii emisiilor provenite din combustibilii fosili, care contribuie la schimbările climatice, cercetările privind lanțurile de aprovizionare pentru biocombustibili au cunoscut o expansiune rapidă, atât în mediul academic, cât și în industrie.

1. În urma studiului privind influența stării materiei prime asupra calității biocombustibililor solizi densificați, realizat pe baza unui studiu de caz pentru probe de brichete din biomasă vegetală pomicolă, s-a constatat că, din punctul de vedere al densității particulelor și al durabilității mecanice, există o zonă de confort în care parametrii mășurați se stabilizează, înregistrând valori relativ apropiate. De exemplu, o temperatură a matricei între 60 și 180 °C este optimă pentru formarea unor legături de adeziune stabile, ce contribuie la obținerea unui produs compact, cu proprietăți conforme cerințelor privind densitatea și durabilitatea. La temperaturi sub 60 °C, nu au loc transformările fazice ale ligninei, aceasta nefiind suficient de amorfă pentru a asigura o adeziune eficientă între particule.

2. Includerea în fluxul tehnologic al LABCS D a unei operații de tratare termochimică prin torefiere reprezintă o soluție eficientă pentru îmbunătățirea calității biocombustibililor solizi densificați. Totuși, implementarea acestei verigi tehnologice este justificată economic doar în condiții de producție la scară mare.

3. Pe baza unui studiu de caz efectuat pe probe sub formă de peleți obținuți din amestecuri de biomasă vegetală de cătină albă și mur, s-a constatat că temperatura optimă de torefiere pentru amestecul analizat se situează în intervalul 250–280 °C. În acest interval, valoarea calorică atinge un maxim, iar creșterea conținutului de cenușă rămâne moderată. Durata optimă de expunere a probelor este între 15 și 25 de minute, deoarece după acest interval creșterea valorii calorice devine nesemnificativă, în timp ce pierderile de masă pot deveni considerabile. Se recomandă evitarea temperaturilor mai mari de 300 °C și a duratelor de expunere mai lungi de 30 de minute, pentru a preveni pierderile excesive de masă și reducerea randamentului energetic.

4. În urma analizării și sintetizării datelor prezentate în acest capitol, a fost posibilă optimizarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi densificați, prin stabilirea regimurilor tehnologice adecvate și evidențierea posibilității de selectare a tipului de materie primă disponibilă. Informațiile obținute pot fi valorificate de către producătorii de biocombustibili solizi, în vederea maximizării calității produselor obținute din reziduuri provenite de la arbuști fructiferi.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

I. Recapitularea rezultatelor obținute și atingerea obiectivelor cercetării

Studiul prezentat în această lucrare a fost motivat de importanța energiei regenerabile din biomasă pentru securitatea energetică a Republicii Moldova, precum și de necesitatea adaptării fluxului de producere a biocombustibililor solizi densificați din materie primă indigenă la condițiile locale, în funcție de disponibilitatea și de cerințele impuse privind calitatea produsului finit.

Cercetările au fost direcționate spre confirmarea ipotezei conform căreia perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi densificații din reziduuri vegetale pomi-viticole poate asigura obținerea de peleți și brichete cu caracteristici adecvate de cele impuse de standardele SM EN ISO 17225-6 și 17225-7:2025. De asemenea, ipoteza a fost confirmată prin obținerea unor date noi și veridice referitoare la potențialul biomasei indigene, precum și prin perfecționarea verigilor componente ale lanțului de aprovizionare cu biocombustibili solizi densificați.

Contribuțiile aduse în teza de doctorat sunt corelate cu scopul lucrării, care se referă la *Perfecționarea fluxului de producere a biocombustibililor solizi din reziduuri vegetale pomi-viticole* și 5 obiective distincte care sunt prezentate în cele ce urmează.

Contribuțiile personale sunt sumarizate în concordanță cu obiectivele înaintate și sunt rezumate împreună cu indicarea locului unde sunt prezentate în teza de doctorat și publicațiile aferente la acestea.

1. Pentru realizarea primului obiectiv, care vizează *analiza stadiului actual al cercetărilor în domeniul tezei de doctorat*, sa efectuat o analiză detaliată a literaturii de specialitate privind studiile și cercetările referitoare la fluxul de producție a biocombustibililor solizi din biomasă, cu accent pe reziduurile pomi-viticole. Confruntarea datelor existente în literatura de specialitate cu cele obținute de către noi în cadrul LȘBCS UTM a evidențiat necesitatea optimizării întregului lanț de aprovizionare cu biocombustibili solizi pentru tranziția către o economie circulară, având în vedere potențialul energetic al resurselor de biomasă disponibile la nivel local, precum și principalele căi de îmbunătățire a acestuia. Concluzia este argumentată de rezultatele dezvoltate și prezentate în secțiunile 1.2 -1.5 și publicate parțială în [32, 159].

2. În cadrul studiului disponibilității biomasei pomi-viticole în Republica Moldova pentru producerea biocombustibililor solizi densificați s-au caracterizat cantitativ și calitativ probe de biomasă pomi-viticole colectate în anii 2020 – 2024 din diferite zone de dezvoltare economică a țării. În total, au fost examinate probe de biomasă provenită de la 20 de soiuri de pomi fructiferi din grupa sămânțoaselor, 27 de soiuri de pomi fructiferi din grupa sămburoaselor, 15 soiuri de

nuciferi, 24 de soiuri de arbuști fructiferi și peste 30 de soiuri de viță-de-vie. *Concluzia este formulată pe baza materialului prezentat în capitolul 2, p. 2.1, completată de datele prezentate în p. 1.5 și parțial publicate în [202, 203].*

3. În baza testărilor de laborator s-a stabilit că majoritatea reziduurilor vegetale provenite de la pomii fructiferi și de la viță-de-vie, datorită valorii lor calorifice și altor proprietăți relevante, sunt potrivite pentru producerea brichetelor care corespund claselor de calitate A1, A2 și B și peleișilor din clasele A și B (conform cerințelor SM EN ISO 17225-6 și 7:2021). Totuși, utilizarea lor este parțial limitată de conținutul ridicat de cenușă, care, pentru unele soiuri, depășește 3%. În aceste condiții, biomasa respectivă poate fi utilizată pentru producerea brichetelor din lemn din clasa B, respectând cerințele legate de valoarea calorifică și conținutul de cenușă, sau poate fi recomandată pentru formarea de amestecuri cu alte tipuri de biomasă vegetală. *Rezultatele sunt prezentate în tabelele 2.2 - 2.5, 2.10 și 2.11 și sunt publicate în [32, 203].*

4. Reziduurile provenite de la nuciferi sub formă de endocarp pot fi procesate direct, fără a necesita o condiționare prealabilă prin uscare, datorită conținutului de umiditate care variază de la 10,9% la alun până la 12,7% la migdal. Reziduurile lemnoase nucifere sunt potrivite doar pentru producerea peleișilor și brichetelor din categoria produselor din biomasă non-lemnoasă, blenduri și mixturi de biomasă, încadrându-se în categoria A pentru peleiși și A2 pentru brichete. Crengile de alun și migdal pot fi folosite ca materie primă pentru producerea brichetelor din categoria brichete din lemn clasa A2. *Concluzia se bazează pe datele obținute în cap.2, p. 2.23 și prezentate în tabelele 2.6 – 2.8, care sunt publicate în [184].*

5. Biomasa vegetală provenită de la arbuștii fructiferi posedă un potențial semnificativ, cea mai mare cantitate de reziduuri fiind generată de plantațiile de mur (4124 ± 227 kg/ha), urmate de cele de zmeur (3209 ± 227 kg/ha) și cătină albă (3039 ± 99 kg/ha). Totuși, practic toate reziduurile vegetale de arbuști fructiferi, cu excepția celor de cătină albă, au caracteristici care nu permit utilizarea lor directă pentru producerea BCSD. În această situație, având în vedere cantitatea mare a acestora, este oportună utilizarea lor ca componente în diferite amestecuri de materie primă. *Rezultatele în bază cărora a fost formulată această concluzie sunt prezentate în cap. 2, p. 2.24, fig. 2.8 și tab. 2.9 și publicate în [151].*

6. Au fost obținute date noi referitoare la potențialul energetic al biomasei vegetale pomivitice pentru diferite scheme de plantație. S-a constatat că, dintre pomii fructiferi, cel mai mare potențial energetic posedă piersicul ($33,50 \pm 6,54$ GJ/ha) urmat de măr ($29,67 \pm 5,17$ GJ/ha), păr ($29,45 \pm 2,51$ GJ/ha) și prun ($22,27 \pm 2,87$ GJ/ha) cu o variație destul de apropiată a valorilor pentru celelalte specii de pomi fructiferi. De menționat că, speciile cu potențial energetic ridicat prezintă și cele mai mari variații ale incertitudinii în estimări. Acest aspect impune necesitatea unei evaluări

mai precise la nivel de plantații și localități specifice înainte de inițierea activităților de producere a BCSD. *Rezultatele acestei concluzii sunt prezentate în cap. 3, p. 3.2 și parțial publicate în [159, 160].*

7. Analizând rezultatele studiului privind potențialul energetic al pomilor din grupa nuciferilor, se constată că migdalul și alunul reprezintă cele mai promițătoare opțiuni pentru valorificarea biomasei pomi-viticole în Republica Moldova, datorită randamentului lor energetic superior. Cantitatea reală de energie care poate fi utilizată în mod durabil, luând în considerare factorii de sustenabilitate și impactul asupra mediului este asigurată de către reziduurile de migdal cu un PESI total de (39,10 GJ/ha), urmat de alun (38,03 GJ/ha) și nuc (29,93 GJ/ha). În schimb, deși nucul are un potențial energetic mai redus, integrarea acestuia alături de alte surse vegetale ar putea contribui la îmbunătățirea eficienței generale a utilizării biomasei. *Concluzia se bazează pe datele prezentate în p. 3.3, tab. 3.3 și sunt publicate în [184].*

8. Dintre reziduurile generate de arbuștii fructiferi și vița-de-vie, cele mai promițătoare pentru producerea BCSD sunt murul și zmeurul, având cel mai ridicat randament energetic (PESI $\approx$ 49,6 GJ/t), urmate de cătina albă (42,2 GJ/t) și vița-de-vie (16,6 GJ/t). Aceste resurse sunt accesibile în diverse zone ale Republicii Moldova și prezintă caracteristici calitative conform cerințelor standardelor SM EN ISO 17225. Ele pot fi utilizate atât individuale, cât și în diverse amestecuri pentru optimizarea producției de BCSD. *Concluzia se bazează pe datele prezentate în p. 3.4, 3.5 tabelele 3.4 și 3.5. Principalele aspecte sunt publicate în [151, 158, 203].*

9. În urma examinării a 30 de probe de amestecuri formate din diferite tipuri de biomasă vegetală pomi-viticolă, precum și din reziduuri de floarea-soarelui și paie de grâu, au fost construite diagrame ternare care permit alegerea compoziției optime a amestecurilor de materie primă în funcție de parametrii calitativi solicitați și potențialul de biomasă disponibil pentru procesare în BCSD. Rezultatele sunt bazate pe studiul din p. 3.6, tabelele 3.6 – 3.8, figurile 3.1 – 3.4 cu aspect publicate în [159, 201].

10. Cercetările privind influența stării materiei prime asupra calității biocombustibililor solizi densificați, obținuți din biomasă vegetală pomi-viticolă, au evidențiat că granulația optimă pentru densificarea biomasei arboricole în brichete variază între 4 și 8 mm, iar conținutul de umiditate poate fi menținut în limitele 6–14%. În cazul endocarpului de nucă, densificarea sub formă de brichete a fost posibilă doar atunci când dimensiunile particulelor nu depășeau 6 mm. Pentru producerea peleților, biomasa trebuie mărunțită astfel încât să treacă prin site cu deschiderea ochiurilor de cel mult 4 mm. *Concluzia se bazează pe datele prezentate în p. 4.3.2, figurile 4.4 și 4.5, tabelul 4.1. Principalele aspecte sunt publicate în [32, 82].*

11. În urma cercetărilor experimentale realizate cu ajutorul unui dispozitiv original destinat studierii procesului de densificare a biomasei vegetale sub formă de brichete, precum și a confirmării rezultatelor în condiții reale de producție, s-a constatat că o temperatură a matricei cuprinsă între 60 și 180 °C asigură formarea unor legături de adeziune eficiente. Aceste condiții favorizează obținerea unor biocombustibili solizi din biomasă pomicolă cu densitate și durabilitate mecanică stabilă. La temperaturi sub 60 °C, lignina nu suferă transformările fazice necesare, nefiind suficient de amorfă pentru a asigura coeziunea între particule. *Concluzia se bazează pe datele prezentate în p. 4.1, 4.3.3, figurile tabelele 4.6 și 4.7 [179].*

12. Cercetările realizate cu scopul îmbunătățirii calității biocombustibililor solizi din biomasă vegetală pomi-viticolă prin tratări termochimice denotă că torefierea amestecurilor de reziduuri vegetale de cătină albă și mur în intervalul de temperatură 250–280 °C, pentru 15–25 minute, contribuie la mărirea valorii calorifică a peleților, menținând în același timp un conținut moderat de cenușă și pierderi de masă reduse. Temperaturile peste 300 °C și duratele mai lungi de 30 minute sunt contraindicate din cauza pierderii excesive de material. *Concluzia este formulată pe baza materialului prezentat în p. 4.4.2, figurile 4.9 – 4.11, și publicate în [202].*

13. Rezultatele cercetărilor realizate în cadrul acestei lucrări s-au concretizat prin din reziduuri vegetale pomi-vitice, prin concretizarea stării materiei prime înainte de densificare, definirea regimurilor tehnologice adecvate și identificarea sursei materiei prime, în funcție de potențialul de biomasă vegetală disponibilă, caracteristicile ce pot fi obținute din această biomasă și rețetele de amestecuri care pot fi realizate din resursele de biomasă locale. Principalele rezultate au fost implementate la SRL STAR TECH act de implementare nr. 1 din 15.03.2025 și SRL ECO NUTS ENERGY act de implementare nr. 2 din 17.03.2025.

II. Rezultate științifice majore care au contribuit la soluționarea problemei valorificării energetice durabile a biomasei agricole locale

1. Justificarea folosirii reziduurilor pomi-vitice locale la producerea BCSD cu caracteristici conforme cerințelor SM EN ISO 17225;
2. Crearea de rețete și amestecuri de biomasă optimizate pentru obținerea de combustibili compatibili cu standardele ISO;
3. Îmbunătățirea calității BCSD prin optimizarea fluxului de producere complet și validat, incluzând parametri tehnologici de densificare și tratamente termochimice.
4. Implementarea industrială a soluțiilor dezvoltate, cu beneficii economice și ecologice concrete.

RECOMANDĂRI ȘI PERSPECTIVE

Pe baza experienței dobândite în elaborarea prezentei lucrări, se conturează o serie de considerații care pot fi utile atât producătorilor de biocombustibili solizi, cât și cercetătorilor din domeniu:

1. Este necesară dezvoltarea unei baze de date exhaustive care să conțină informații concrete privind disponibilitatea tuturor tipurilor de biomasă vegetală potrivită pentru producerea biocombustibililor solizi în Republica Moldova. Această bază de date ar trebui să includă localizarea resurselor în funcție de distanța față de producătorii de biocombustibili, precum și o justificare tehnico-economică a valorificării acestora.

2. Continuarea cercetărilor privind potențialul energetic al biomasei vegetale provenite din sectoare mai puțin studiate, precum biomasa forestieră sau cea rezultată din industria de prelucrare a alimentelor.

3. Studiul posibilității utilizării diferiților lianți organici pentru îmbunătățirea calității biocombustibililor solizi densificați, în vederea alinierii acestora la cerințele specificate de standardele ENPlus.

4. Inițierea unor cercetări originale referitoare la dezvoltarea unor soluții software pentru determinarea rețetelor optime de materie primă la producerea BCSD cu caracteristici reglementate de standardele ENPlus.

5. În vederea valorificării eficiente a potențialului de producere a biocombustibililor solizi din materie primă locală, se recomandă ca planurile de afaceri aferente organizării întreprinderilor sau sectoarelor de profil să fie structurate în baza următoarelor principii:

- utilizarea materiei prime locale, disponibilă în proximitatea unităților de procesare, pentru a reduce dependența de resurse externe și a diminua impactul asupra mediului;
- implementarea unor procese tehnologice moderne, fundamentate pe cele mai recente realizări științifice și tehnologice din domeniu, inclusiv pe cele prezentate în cadrul acestei lucrări;
- optimizarea costurilor de transport, prin alegerea unor amplasamente strategice pentru unitățile de producție și dezvoltarea unor lanțuri scurte de aprovizionare,
- integrarea producției de biocombustibili în strategii locale de dezvoltare durabilă, cu accent pe economia circulară și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră;
- monitorizarea continuă a eficienței tehnologice și economice a proceselor de producție, cu scopul îmbunătățirii performanței și adaptării la cerințele pieței.

SURSE BIBLIOGRAFICE

1. KALOUDAS, D., PAVLOVA, N., PENCHOVSKY, R. Lignocellulose, algal biomass, biofuels and biohydrogen: a review. *Environmental Chemistry Letters* [online], 2021, 19 (4), 2809–2824. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01213-y>
2. MIGNOGNA, D., SZABÓ, M., CECI, P., AVINO, P. Biomass Energy and Biofuels: Perspective, Potentials, and Challenges in the Energy Transition. *Sustainability* [online], 2024, 16 (16), 1–33. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su16167036>
3. ERDIWANSYAH, GANI, A., MAMAT, R., BAHAGIA, NIZAR, M., SYAIFUDDIN, Y., MAT YASIN, M. H., MUHIBBUDDIN, ROSDI, S. M. Prospects for renewable energy sources from biomass waste in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [online], 2024, 10, 1-14. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100880>
4. MARREIRO, H. M. P., PERUCHI, R. S., LOPES, R. M. B. P., ANDERSEN, S. L. F., ELIZIÁRIO, S. A., ROTELA, P. J. Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies* [online], 2021, 14 (24), 8320 1-40. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en14248320>
5. ATABANI, A. E., TYAGI, V. K., FONGARO, G., TREICHEL, H., PUGAZHENDHI, A., HOANG, A. T. Integrated biorefineries, circular bio-economy, and valorization of organic waste streams with respect to bio-products. *Biomass Conversion and Biorefinery* [online], 2022, 12, 565. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-02017-4>
6. TSHIKOVHI, A., MOTAUNG, T. E. Technologies and Innovations for Biomass Energy Production. *Sustainability* [online], 2023, 15 (16), 1–21. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su151612121>
7. ZARDZEWIAŁY, M., BAJCAR, M., SALETNIK, B., PUCHALSKI, C., GORZELANY, J. Biomass from Green Areas and Its Use for Energy Purposes. *Applied Sciences* [online], 2023, 13 (11), 1–14. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/app13116517>
8. 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* [online], 2024, 17 (14), 1-19. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en17143368>
9. SILVESTRI, C., SILVESTRI, L., PICCAROZZI, M., RUGGIERI, A. Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review. *Life Cycle Sustainability Assessment* [online], 2024, 29 1446-1484. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02032-1>
10. DÍAZ, L., SEÑORANS, S., GONZÁLEZ, L. A., ESCALANTE, D. J. Assessment of the

energy potential of agricultural residues in the Canary Islands: Promoting circular economy through bioenergy production. *Journal of Cleaner Production* [online], 2024, 437. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.Jclepro.2024.140735>

11. 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* [online], 2022, 13 (3), 405. <https://doi.org/10.3390/f13030405>

12. CAVALAGLIO, G., FABBRIZI, G., CARDELLI, F., LORENZI, L., ANGRISANO, M., NICOLINI, A. Lignocellulosic Residues from Fruit Trees: Availability, Characterization, and Energetic Potential Valorization. *Energies* [online], 2024, 17 (11), 1–14. <https://doi.org/10.3390/en17112611>

13. BRAGA, D., HLUSOV, V. Studiu privind evaluarea posibilităților de valorificare a biomasei solide în sistemele de alimentare centralizată cu energie termică din Republica Moldova. Chișinău, 2024. <https://www.undp.org/ro/moldova/publications/studiu-privind-evaluarea-posibilitatilor-de-valorificare-biomasei-solide-sistemele-de-alimentare-centralizata-cu-energie-termica>

14. OBI, O.F., PECENKA, R., CLIFFORD, M.J. A review of biomass briquette binders and quality parameters. *Energies* [online], 2022, 15 (7), 2426. <https://doi.org/10.3390/en15072426>

15. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova. Chișinău 2024. Disponibil: https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/60%20Statistica%20regionala/60%20Statistica%20regionala__16%20AGR/AGR020900reg.px/table/tableViewLayout2/?rxid=9a62a0d7-86c4-45da-b7e4-fecc26003802

16. GUDÎMA, A. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova. *Meridian Ingineresc* [online], 2017, 1, pp. 26-29, ISSN 1683-853X. Disponibil: <https://repository.utm.md/handle/5014/291>

17. PAVLENCO, A., MARIAN, G., GUDÎMA, A. Potențialul energetic al reziduurilor agricole: studiu de caz pentru regiunea de dezvoltare nord, Republica Moldova. *Știința Agricolă* [online], 2018, 2, pp. 141–148. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/141-148-compressed.pdf

18. MARIAN, G., IVANOVA, T.A., GUDÎMA, A., NAZAR, B., MALAI, L., MARIAN, T., PAVLENCO, A. Biomass Resources from Vineyard Residues for the Production of Densified Solid Biofuels in the Republic of Moldova. *Agronomy* [online], 2024, 14 (10), 2183. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102183>

19. NAZIM, A. Pellet or briquette : an efficient way of utilizing agricultural pellet or briquette : an efficient way of utilizing agricultural residue in power generations. *International Journal of*

Scientific & Innovative Research [online], 2019, 1, (7), pp. 38-44, ISSN : 2347-7660

20. Hotărâre de Guvern nr. 102 din 05.02.2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030. *Monitorul Oficial*, 2013, Nr. 27-30 art. 146. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=68103&lang=ro

21. Strategia Energetică a Republicii Moldova până în anul 2050. 2024. Disponibil: https://energie.gov.md/sites/default/files/concept_strategia_enenergetica_act._clean_1.pdf

22. KONSTANTINAVIČIENČ, J., VITUNSKIENĖ, V. Definition and Classification of Potential of Forest Wood Biomass in Terms of Sustainable Development: A Review. *Sustainability* [online], 2023, 15 (12). <https://doi.org/10.3390/su15129311>

23. AYUB, A., ALI SHAH, S. F., QYYUM, M. A., HABIB, D. E. Y., MURTAZA, M. A., REHAN, M., TABATABAEI, M., AGHBASHLO, M., NIZAMI, A. S. Sustainable economic growth potential of biomass-enriched countries through bioenergy production: State-of-the-art assessment using product space model. *Frontiers in Energy Research* [online], 2023, 11-1123262. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1123262>

24. MUHAMMAD, S. Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. *Heliyon* [online], 2022, 2 (8), e08905. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08905>

25. PRADHAN, P., MAHAJANI, S. M., ARORA, A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Processing Technology* [online], 2018, vol 181, pp. 215-232. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.021>

26. PICCHIO, R., Di MARZIO, N., COZZOLINO, L., VENANZI, R., STEFANONI, W., BIANCHINI, L., PARI, L., LATTERINI, F. Pellet Production from Pruning and Alternative Forest Biomass: A Review of the Most Recent Research Findings. *Materials* [online], 2023, 16 (13). <https://doi.org/10.3390/ma16134689>

27. *Fossil Fuel Reliance Stalls EU Pellet Market Growth*. Bioenergy Europe Statical Report 2024. Disponibil: <https://bioenergyeurope.org/wp-content/uploads/2024/06/Pellet-SR-Press-Release.pdf>

28. CAPUANO, L. International energy outlook 2020 (IEO2020). *US Energy Information Administration* [online], 2020, 14, 1–7. Disponibil: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2020.pdf>

29. GHIGLIENO, I., SIMONETTO, A., FACCIANO, L., TONNI, M., DONNA, P., VALENTI, L., GILIOLI, G. Comparing the Carbon Footprint of Conventional and Organic Vineyards in Northern Italy. *Sustainability* [online], 2023, 15 (6) 5252. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su15065252>

30. TILVIKIENE, V., KADZIULIENE, Z., LIAUDANSKIENE, I., ZVICEVICIUS, E., CERNIAUSKIENE, Z., CIPLIENE, A., RAILA, A. J., BALTRUSAITIS, J. The quality and energy potential of introduced energy crops in northern part of temperate climate zone. *Renewable Energy* [online], 2020, 151, pp. 887–895. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.080>
31. ADELEKE, A.A., IKUBANNI, P.P., ORHADAHWE, T.A., CHRISTOPHER, C.T., AKANO, J.M., AGBOOLA, O.O., ADEGOKE, S.O., BALOGUN, A.O., IBIKUNLE, R.A. Sustainability of multifaceted usage of biomass: A review. *Heliyon* [online], 2021, 7 (9). <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2021.E08025>
32. MARIAN, G., IANUȘ, G., ISTRATE, B., GUDIMA, A., NAZAR, B., PAVLENCO, A., **BANARI, A.**, DARADUDA, N. Quality of pellets produced from agricultural wood residues specific to the Prut river basin. *Вісник аграрної науки Причорномор'я* [online], 2021, 1, pp. 84–93. Disponibil: <https://cris.utm.md/bitstream/5014/2205/1/n109v1r2021marian.pdf>
33. JADWISIEŃCZAK, K., OBIDZIŃSKI, S., CHOSZCZ, D. Assessment of the Physical and Energetic Properties of Fuel Pellets Made from Sage Waste Biomass with the Addition of Rye Bran. *Materials*, 2023, 16 (1), 1–17. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/ma16010058>
34. CAVALLO, E., PAMPURO, N. Effects of compressing pressure on briquettes made from woody biomass. *Chemical Engineering Transactions* [online], 2017, 58, pp. 517–522, ISBN 978-88-95608-52-5. Disponibil: <https://doi.org/10.3303/CET1758087>
35. KHLIFI, S., LAJILI, M., BELGHITH, S., MEZLINI, S., TABET, F., JEGUIRIM, M. Briquettes production from olive mill waste under optimal temperature and pressure conditions: Physico-chemical and mechanical characterizations. *Energies* [online], 2020, 13 (5). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en13051214>
36. KOVACS, E., HOAGHIA, M.A., SENILA, L., SCURTU, D.A., VARATICEANU, C., ROMAN, C., DUMITRAS, D.E. Life Cycle Assessment of Biofuels Production Processes in Viticulture in the Context of Circular Economy. *Agronomy* [online], 2022, 12 (6). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061320>
37. ALI, A., AYUB, K. S., TAHSEEN SADIQ, M., TANVEER, M., NASEER, H., NADEEM, Z., AAMIR, H. M. Potential and prospects of biomass as a source of renewable energy in Pakistan. *Frontiers in Chemical Engineering* [online], 2023, 5. Disponibil: <https://doi.org/10.3389/fceng.2023.1193806>
38. CAMIA, A., GIUNTOLI, J., JONSSON, R., ROBERT, N., CAZZANIGA, N.E., JASINEVIČIUS, G., AVITABILE, V., GRASSI, G., BARREDO, J. I., MUBAREKA, S. The use of woody biomass for energy purposes in the EU. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, JRC122719, 2021. Disponibil: <https://doi.org/10.2760/831621>

39. NUNES, L.J.R., LOUREIRO, L.M.E.F., SÁ, L.C.R., MATIAS, J.C.O., RODRIGUES, A.C.P.B. Energy recovery of agricultural residues: incorporation of vine pruning in the production of biomass pellets with ENplus® certification. *Recycling* [online], 2021, 6 (2), 28. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/recycling6020028>
40. POPA, R. G., ȘCHIOPU, E. C., PĂTRAȘCU, 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. *Agriculture* [online], 2024, 14 (10). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/agriculture14101822>
41. GANEA, V., TRUSHKINA, N., ȚÎRLEA, M. R., BIRCA, I. Economia circulară – un model de perspectivă pentru Republica Moldova. *Univers Strategic* [online], 2022, 4 (52), pp. 52–68. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-52-68.pdf
42. BOSONA, T., GEBRESENBET, G., OLSSON, S.O. Traceability system for improved utilization of solid biofuel from agricultural prunings. *Sustainability* [online], 2018, 10 (2), pp. 1–12. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su10020258>
43. 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. *International Journal of Production Research* [online], 2021, 59 (10), pp. 3084–3108. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1746427>
44. OLUGBADE, T., OJO, O., MOHAMMED, T. Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. *Bioenergy Research* [online], 2019, 12 (2), pp. 241–259. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>
45. VAISH, S., SHARMA, N.K., KAUR, G.A review on various types of densification/briquetting technologies of biomass residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, [online] 2022, 1228 (1), 012019. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1228/1/012019>
46. 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 fieldBiofuel supply chain management in the circular economy transition. *Chemosphere* [online], 2022, 296, 133968. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133968>
47. MARIAN, G. Biocombustibilii solizi: producere și proprietăți. Proiectul Energie și biomasă în Republica Moldova, Chișinău: Bons Offices, 2016. 172 p. ISBN 978-9975-87-166-2
48. CAJOVA KANTOVA, N., CAJA, A., BELANY, P., KOLKOVA, Z., HRABOVSKY, P.,

HECKO, D., MICKO, P. Mechanical and Energy Properties of Pellets Formed from Walnut Shells Blended with Spruce Sawdust. *BioResources* [online], 2022, 17 (1), pp. 1881–1891. Disponibil: <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.1881-1891>

49. 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 corncob briquette. *Energy Reports* [online], 2019, 5, pp. 909–918. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.07.011>

50. ARSHADI, M., GREF, R., GELADI, P., DAHLQVIST, S.A., LESTANDER, T. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology* [online], 2008, 89 (12), pp. 1442–1447. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.07.001>

51. MASSE, A.A., SIKAZWE, K.S., LICHINGA, K.N., NAZAYOELI, L.R. *Biomass Briquettes Production Handbook*. Tanzania: TIRDO REPOA, 2023 49p. Disponibil: <https://www.tirdo.or.tz/storage/publications/1E59YikFaoV4aaS21uVayYUuhMfere0HrxalV3bP.pdf>

52. HELAL, M. A., ANDERSON, N., WEI, Y., THOMPSON, M. A Review of Biomass-to-Bioenergy Supply Chain Research Using Bibliometric Analysis and Visualization. *Energies* [online], 2023, 16 (3). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en16031187>

53. 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, Bioproducts and Biorefining* [online], 2011, 5 (6), pp. 683–707. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/bbb.324>

54. 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 Ingineresc* [online], 2017, 1, pp. 51–60, ISSN 1683-853X. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/53575

55. STELTE, W., SANADI, A.R., SHANG, L., HOLM, J.K., AHRENFELDT, J., HENRIKSEN, U.B. Recent developments in biomass pelletization - a review. *BioResources* [online], 2012, 7 (3), pp. 4451–4490. Disponibil: <https://doi.org/10.15376/biores.7.3.stelte>

56. 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* [online], 2019, 130, 105368. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105368>

57. ONSREE, T., TIPPAYAWONG, N., WILLIAMS, T., MCCULLOUGH, K., BARROW,

E., POGAKU, R., LAUTERBACH, J. Torrefaction of pelletized corn residues with wet flue gas. *Bioresource Technology* [online], 2019, 285, 121330 pp. 1-26. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121330>

58. LASEK, J.A., KOPCZYŃSKI, M., JANUSZ, M., ILUK, A., ZUWAŁA, J. Combustion properties of torrefied biomass obtained from flue gas-enhanced reactor. *Energy* [online], 2017, 119, pp. 362–368. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.079>

59. SARVARAMINI, A., GRAVEL, O., LARACHI, F. Torrefaction of ionic-liquid impregnated lignocellulosic biomass and its comparison to dry torrefaction. *Fuel* [online], 2013, 103, pp. 814–826. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.037>

60. OLUGBADE, T.O., OJO, O.T. Biomass Torrefaction for the Production of High-Grade Solid Biofuels: a Review. *Bioenergy Research* [online], 2020, 13, pp. 999–1015. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10138-3>

61. NATH, B., CHEN, G., BOWTELL, L., MAHMOOD, R.A. Assessment of densified fuel quality parameters: A case study for wheat straw pellet. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [online], 2023, 8 (1), pp. 45–58. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.10.001>

62. EL-SAYED, S.A., ELSAID MOHAMED, M.K. Mechanical properties and characteristics of wheat straw and pellets. *Energy and Environment* [online], 2018, 29 (7), pp. 1224–1246. Disponibil: <https://doi.org/10.1177/0958305X18772414>

63. 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. *Renewable Energy* [online], 2020, 145, pp. 500–507. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.048>

64. THIFFAULT, E., BARRETTE, J., BLANCHET, P., NGUYEN, Q.N., ADJALLE, K. Optimizing quality of wood pellets made of hardwood processing residues. *Forests* [online], 2019, 10 (7), 607. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/f10070607>

65. KALAK, T. Potential Use of Industrial Biomass Waste as a Sustainable. *Energies* [online], 2023, 16 (4), pp. 1–25. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en16041783>

66. ALPER, K., TEKIN, K., KARAGÖZ, S., RAGAUSKAS, A. J. Sustainable energy and fuels from biomass: A review focusing on hydrothermal biomass processing. *Sustainable Energy and Fuels*, 2020, 4 (9), 4390–4414. Disponibil: <https://doi.org/10.1039/d0se00784f>

67. ȚENU, I., ROMAN, C., SENILA, L., ROȘCA, R., CĂRLESCU, P., BĂETU, M., ARSENOAIA, V., DUMITRACHI, E., OANA-RALUCA, O. Valorization of Vine Tendrils Resulted from Pruning as Densified Solid Biomass Fuel (Briquettes). *Processes* [online], 2021, 9 (8), 1409. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/pr9081409>

68. YASHWANT KUMAR, E. Torrefaction of Agricultural Residues. *International Journal of Multidisciplinary Approach and Studies* [online], 2014, 01 (4), pp 295–311, ISSN NO: 2348 – 537X Disponibil: <http://ijmas.com/upcomingissue/27.04.2014.pdf>
69. RODRÍGUEZ ROMERO, T.E., CABELLO ERAS, J.J., SAGASTUME GUTIERREZ, A., MENDOZA FANDIÑO, J.M., RUEDA BAYONA, J.G. The Energy Potential of Agricultural Biomass Residues for Household Use in Rural Areas in the Department La Guajira (Colombia). *Sustainability* 2025, [online], 17, 974. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su17030974>
70. DEN BOER, J., DYJAKON, A., DEN BOER, E., GARCÍA-GALINDO, D., BOSONA, T., GEBRESENBET, G. Life-Cycle Assessment of the Use of Peach Pruning Residues for Electricity Generation. *Energies* [online], 2020, 13, 2734. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en13112734>
71. VELASCO-MUÑOZ, J.F., MENDOZA, J.M.F., AZNAR-SÁNCHEZ, J.A., GALLEGOSCHMID, A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation and Recycling* [online], 2021, 170, 105618. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618>
72. TUMULURU, J.S., GHIASI, B., SOELBERG, N.R., SOKHANSANJ, S. Biomass Torrefaction Process, Product Properties, Reactor Types, and Moving Bed Reactor Design Concepts. *Frontiers in Energy Research* [online], 2021, 9 pp. 1–20. Disponibil: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.728140>
73. DUMITRU, E., BĂDAN D., TUREK-RAHOVEANU P., BEREVOIANU R., GĂGEANU I. *Identificarea tehnicilor de conversie energetică a biomasei*, Iași, România: Editura Terra Nostra, 2020, 40 p. Disponibil: <https://iceadr.ro/wp-content/uploads/2024/02/Anexa-11.pdf>
74. MOCHIZUKI, Y., MA, J., KUBOTA, Y., UEBO, K., TSUBOUCHI, N. Production of high-strength and low-gasification reactivity coke from low-grade carbonaceous materials by vapor deposition of tar. *Fuel Processing Technology* [online], 2020, 203, 106384. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106384>
75. JAGODZIŃSKA, K., CZEREP, M., KUDLEK, E., WNUKOWSKI, M., YANG, W. Torrefaction of wheat-barley straw: Composition and toxicity of torrefaction condensates. *Biomass and Bioenergy* [online], 2019, 129, 105335. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105335>
76. JAGODZIŃSKA, K., CZEREP, M., KUDLEK, E., WNUKOWSKI, M., PRNOBIS, M., YANG, W. Torrefaction of agricultural residues: Effect of temperature and residence time on the process products properties. *Journal of Energy Resources Technology* [online], 2020, 142 (7), pp. 1–8. Disponibil: <https://doi.org/10.1115/1.4046275>
77. AKHTAR, J., IMRAN, M., ALI, A.M., NAWAZ, Z., MUHAMMAD, A., BUTT, R.K.,

JILLANI, M.S., NAEEM, H.A. Torrefaction and thermochemical properties of agriculture residues. *Energies* [online], 2021, 14, pp. 1–13. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en14144218>

78. CHEN, W.H., LIN, B.J., LIN, Y.Y., CHU, Y.S., UBANDO, A.T., SHOW, P.L., ONG, H.C., CHANG, J.S., HO, S.H., CULABA, A.B., PÉTRISSANS, A., PÉTRISSANS, M. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. *Progress in Energy and Combustion Science* [online], 2021, 82. ISSN 0360-1285. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100887>

79. PARK, S., KIM, S.J., OH, K.C., KIM, S.Y., KIM, H.E., KIM, D.H. Utilising Torrefaction to Determine the Fuel Characteristics of Forestry and Agricultural Biomass for Solid Biofuel. *Journal of Biosystems Engineering* [online], 2024, 49 pp. 167–185. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s42853-024-00225-0>

80. NAKASON, K. PATHOMROTSAKUN, J. KRAITHONG, W., KHEMTHONG, P., PANYAPINYOPOL, B. Torrefaction of Agricultural Wastes: Influence of Lignocellulosic Types and Treatment Temperature on Fuel Properties of Biochar. *International Energy Journal* [online], 2019, 19 (4), pp. 253–266. Disponibil: <http://www.rericjournal.ait.ac.th/index.php/reric/article/view/2163>

81. AWUDU, I., ZHANG, J. Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online], 2012, 16 (2), pp. 1359–1368. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.10.016>

82. MARIAN, G., DARADUDA, N., GUDIMA, A., NAZAR, B., **BANARI, A.**, PAVLENCO, A. Quality of densified solid biofuels produced from some energy crops specific to the conditions of the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 2021, X, pp. 54–59 ISSN 2393-5138. Disponibil: <https://www.landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2021/Art7.pdf>

83. CREMERS, M., KOPPEJAN, J., MIDDELKAMP, J., WITKAMP, J., SOKHANSANJ, S., MELIN, S., MADRALI, S. *Status overview of torrefaction technologies A review of the commercialisation status of biomass torrefaction*, IEA Bioenergy, 2015. ISBN 978-1-910154-23-6 Disponibil: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/11/IEA_Bioenergy_T32_Torrefaction_update_2015b.pdf

84. DEVARAJA, U.M.A., DISSANAYAKE, C.L.W., GUNARATHNE, D.S., CHEN, W.H. Oxidative torrefaction and torrefaction-based biorefining of biomass: a critical review. *Biofuel Research Journal* [online], 2022, 9 (3), pp. 1672–1696. Disponibil: <https://doi.org/10.18331/BRJ2022.9.3.4>

85. SARKER, T.R., NANDA, S., MEDA, V., DALAI, A.K. Densification of waste biomass

for manufacturing solid biofuel pellets: a review. *Environmental Chemistry Letters* [online], 2023, 21, pp. 231–264. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01510-0>

86. AZARGOHAR, R., NANDA, S., DALAI, A.K. Densification of agricultural wastes and forest residues: A review on influential parameters and treatments. *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization* [online], 2018, pp. 27–51. Disponibil: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1307-3_2

87. HASSAN, Q., VIKTOR, P., AL-MUSAWI, T.J., ALI, B.M., ALGBURI, S., ALZOUBI, H. M., AL-JIBOORY, A.K., SAMEEN, A.Z., SALMAN H.M., JASZCZUR, M. The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus* [online], 2024, 48, 100545. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>

88. *Renewable energy – powering a safer future*. United Nations, 2024. Disponibil: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

89. *Balanța energetică a Republicii Moldova*. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova. Chișinău, 2023 ISBN 978-9975-53-418-5. 67 p.

90. SERTOLLI, A., GABNAI, Z., LENGYEL, P., BAI, A. Biomass Potential and Utilization in Worldwide Research Trends—A Bibliometric Analysis. *Sustainability* [online], 2022, 14 (9). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su14095515>

91. TOPIC 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. *Sustainability* [online], 2024, 16 (4). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su16041687>

92. PAVLENCO, A. Calitatea biocombustibililor solizi în acord cu politicile de dezvoltare a surselor regenerabile de energie: studiu bibliografic de specialitate. *Lucrări științifice*, UASM, Chișinău, 2018, 51, pp. 402–408, ISBN 978-9975-64-300-9

93. DARADUDA, N., MARIAN, G. Perspectives for the use of biomass generated by some Miscanthus genotypes in the production of densified solid biofuels. *Journal of Engineering Science* [online], 2022, 29 (2), pp. 133–143. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).13](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).13)

94. YUE, D., YOU, F., SNYDER, S.W. Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. *Computers and Chemical Engineering* [online], 2014, 66, pp. 36–56. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.11.016>

95. Biroul Național de Statistică. [online] *Banca de date statistice*. Disponibil: https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/40_Statistica_economica/40_Statistica_economica_14_IND_IND030/IND030100.px/table/tableViewLayout2/

96. PAVLENCO, A. Calitatea biocombustibililor solizi produși din reziduuri agricole. Articol de sinteză. *Știința Agricolă* [online], 2018, 2, pp. 128–140. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/128-140-compressed.pdf
97. GUDÎMA, A. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova. *Meridian Ingineresc*, 2017, 1, pp. 26–29 ISSN 1683-853X. Disponibil: <https://repository.utm.md/handle/5014/291>
98. POPA, S., CIMPOIEȘ, G., RÎBENȚEV, I. et al. *Cultivarea și valorificarea cătinii albe*. Chișinău: Print-Caro, 2024, 380 p. ISBN 978-9975-180-91-7
99. BALAN, V., SAVA, P., CALALB, T. et al. *Cultura arbuștilor fructiferi și căpșunului*. Chișinău 2017, 434 p. Disponibil: <https://repository.utm.md/handle/5014/29988>
100. 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. *Applied Sciences* [online], 2023, 13 (5). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/app13053195>
101. 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. *Agriculture & Forestry*, 2013, 59 (1), pp. 167–182, UDK 631.542:620.952
102. ALIAÑO-GONZÁLEZ, M.J., GABASTON, J., ORTIZ-SOMOVILLA, V., CANTOS-VILLAR, E. Wood Waste from Fruit Trees: Biomolecules and Their Applications in Agri-Food Industry. *Biomolecules*, 2022, 12 (2), 1–46. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/biom12020238>
103. DYJAKON, A., BOER, J.D., BUKOWSKI, P., ADAMCZYK, F., FRĄCKOWIAK, P. Wooden biomass potential from apple orchards in Poland. *Drewno* [online], 2016, 59 (198), pp. 73–86. Disponibil: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.162.09>
104. BILANDZIJA, N., VOCA, N., KRICKA, T., MATIN, A., JURISIC, V. Potencial energético de la biomasa procedente de árboles frutales podados en Croacia. *Spanish Journal of Agricultural Research* [online], 2012, 10 (2), pp. 292–298. Disponibil: <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-126-11>
105. GRELLA, M., MANZONE, M., GIOELLI, F., BALSARI, P. Harvesting orchard pruning residues in southern Piedmont: A first evaluation of biomass production and harvest loss. *Journal of Agricultural Engineering* [online], 2013, 44 (3), pp. 97–102. Disponibil: <https://doi.org/10.4081/jae.2013.e14>
106. DI BLASI, C., TANZI, V., LANZETTA M. A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy* [online], 1997, 12 (5), pp. 321–331. Disponibil:

[https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(96\)00073-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(96)00073-6)

107. ACAMPORA, A., CIVITARESE, V., SPERANDIO, G., REZAEI, N. Qualitative characterization of the pellet obtained from hazelnut and olive tree pruning. *Energies* [online], 2021, 14 (14), 4083. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en14144083>

108. JUHOS, K., TŐKEI, L.D. *Carbon content of the biomass of vineyards and orchards in Hungary*. [online] 2012. Disponibil: <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/862096/Carbon+content+of+biomass+of+vineyard+s+amd+orchards+in+Hungary.pdf/>

109. BURG, P., MAŠÁN, V., DUŠEK, M., ZEMÁNEK, P., RUTKOWSKI, K. Review of energy potential of the wood biomass of orchards and vineyards in the Czech Republic. *Research in Agricultural Engineering* [online], 2017, 63 (10), S1–S7. Disponibil: <https://doi.org/10.17221/30/2017-RAE>

110. WINZER, F., KRASKA, T., ELSENBERGER, C., KÖTTER, T., PUDE, R. Biomass from fruit trees for combined energy and food production. *Biomass and Bioenergy* [online], 2017, 107, pp. 279–286. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.027>

111. DE FRANCHI, M., BOUBAKER, K. Valorization of Hazelnut Biomass Framework in Turkey : Support and Model Guidelines From the Italian Experience in the Field of Renewable Energy. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research* [online], 2014, 3 (3), pp. 130–144, ISSN(e): 2306-6253 Disponibil: <https://ideas.repec.org/a/pkp/ijseer/v3y2014i3p130-144id2096.html>

112. ASLANI, L., HASAN-ZADEH, A., KAZEMZADEH, Y., SHEIKH-AZADI, A.H. Design of a sustainable supply chain network of biomass renewable energy in the case of disruption. *Scientific Reports* [online], 2024, 14 (1), pp. 1–18. Disponibil: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64341-9>

113. *SolidStandards. Enhancing the implementation of quality and sustainability standards and certification schemes for solid biofuels*, [online] (EIE/11/218). 2014, 47 p. Disponibil: <https://biomassmurder.org/lobbyfacts/2012-11-02-edu-nl-uu-enhancing-the-implementation-of-quality-and-sustainability-standards-and-certification-schemes-for-solid-biofuels.pdf>

114. TOSCANO, G., DE FRANCESCO, C., GASPERINI, T., FABRIZI, S., DUCA, D., ILARI, A. Quality Assessment and Classification of Feedstock for Bioenergy Applications Considering ISO 17225 Standard on Solid Biofuels. *Resources* [online], 2023, 12 (6). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/resources12060069>

115. OBI, O.F., OLUGBADE, T.O., ORISALEYE, J.I., PECENKA, R. Solid Biofuel Production from Biomass: Technologies, Challenges, and Opportunities for Its Commercial

Production in Nigeria. *Energies* [online], 2023, 16 (24). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en16247966>

116. 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 Ingenieur Technik* [online], 2023, 95 (10), 1503-1525. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/cite.202200214>

117. *Biofuel quality standards: Challenges, impacts and possible pathways towards harmonization*. United Nations, Economic and Social Council, ECE/ENERGY/GE. 7.2024. Disponibil: https://unece.org/sites/default/files/2024-08/ECE_ENERGY_GE.7_2024_3_EN.pdf

118. Hotărâre de Guvern pentru aprobarea Regulamentului cu privire la biocombustibilul solid și abrogarea Hotărârii Guvernului nr. 1070/2013 (722/MEn/2024). Disponibil: <https://cancelaria.gov.md/sites/default/files/document/attachments/722-men.pdf>

119. KHANNA, M., CHEN, L., BASSO, B., CAI, X., FIELD, J. L., GUAN, K., JIANG, C., LARK, T. J., ZIPP, K. Y. Redefining marginal land for bioenergy crop production. *GCB Bioenergy* [online], 2021, 13 (10), pp. 1590–1609. Disponibil: <https://doi.org/10.1111/GCBB.12877>

120. ALAKANGAS, E. 3 - Biomass and agricultural residues for energy generation. *Fuel Flexible Energy Generation*, Boston: (Woodhead Publishing) 2016. pp. 59-96, ISBN 9781782423782. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-378-2.00003-1>

121. GELU, I., MUNTEANU, C., MĂLUȚAN, T., MARIAN, G., CIOLACU, F., PALEU, V., ISTRATE, I. Morphological and microstructural aspects of some specific vegetal biomass and their structural. *Tehnomus* 2021, 28, pp. 128-136. Disponibil: http://www.fim-old.usv.ro/conf_1/tehnomusjournal/pagini/journal2021/files/22.pdf

122. Hotărâre de Guvern nr. HG56/2023 din 17.02.2023 cu privire la aprobarea Strategiei Naționale de Dezvoltare Agricolă și Rurală 2023-2030. *Monitorul Oficial* 2023, nr. 117-118 art. 244. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=136318&lang=ro

123. FORDOS, S., ABID, N., GULZAR, M., PASHA, I., OZ, F., SHAHID, A., KHAN, M.K.I., MOUSAVI KHANEGHAH, A., AADIL, R.M. Recent development in the application of walnut processing by-products (walnut shell and walnut husk). *Biomass Conversion and Biorefinery* [online], 2023, 13, pp. 14389–14411. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04778-6>

124. TAHA, N.A., AL-WADAAN, M.A. Significance and use of walnut, *Juglans regia* Linn: A review. *Advanced Journal of Microbiology Research* [online], 2021, 15 (1), 1–010 ISSN 2736-1756. Disponibil: <https://www.internationalscholarsjournals.org/articles/8851917408012021>

125. SOTA, V., BENELLI, C., MYRSELAJ, M., KONGJIKA, E., GRUDA, N.S. Short-Term Conservation of *Juglans regia* L. via Synthetic Seed Technology. *Horticulturae* [online], 2023, 9

(5), pp.1–13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050559>

126. PÎNTEA, M. Cultivarea nukului (*Juglans regia* L.): Aspecte biologice și de producție. *Academus* [online], 2015, 1, pp. 119–123. Disponibil: http://akademos.asm.md/files/Cultivarea_nukului.pdf

127. MACHIDON, M. *Catalogul soiurilor de plante pentru anul 2024*. [online]. Chișinău: Ministerul Agriculturii și Industriei Alimentare, 2024. [citat 02.10.2024] Disponibil: https://cstsp.md/uploads/files/Catalog_2024.pdf

128. COCIU, V. *Nucul*. Ministerul Agriculturii și Silviculturii București, Romania, 1980, 167 p.

129. BOIȘTEAN, A., CHIRSANOVA, A., GAINA, B., SIMINIUC R. Procedeu de obținere a oțetului din vin alb. Brevet de invenție de scurtă durată: MD 1517(13)Y Nr. depozit: s 2020 0090. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2021.04.30. BOPI nr. 4/2021

130. ROȘCA, I., MÎȚU, V., MÎRZA, A. Genus *Corylus* L., importance for culture in the Republic of Moldova. *Revista Botanică* [online], 2020, 1 (20) pp. 109-122. Disponibil: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4095841>

131. DADU, C., DONEA, V., ONICA, E., DONEA, E., OBOROC, I. Migdalul comun (*Amygdalus communis* L.) – specie de perspectivă pentru Republica Moldova. *Pomicultura, Viticultura și Vinificația*, 2022, 88 (2), pp. 62-72. Disponibil: <https://doi.org/10.53082/1857-3142.22.88.10>

132. PRGOMET, I., GONCALVES, B., DOMÍNGUEZ-PERLES, R., PASCUAL-SEVA, N., BARROS, A.I.R.N.A. Valorization challenges to almond residues: Phytochemical composition and functional application. *Molecules* [online], 2017, 22 (10):1774. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/molecules22101774>

133. BAUM, R., WAJSZCZUK, K., PEPLIŃSKI, B., WAWRZYNOWICZ, J. Potential for agricultural biomass production for energy purposes in Poland: A review. *Contemporary Economics* [online], 2013, 7 (1), pp. 63–74. DOI:10.5709/ce.1897-9254.74

134. FITRI, H., GÜRDIL, G.A.K., DEMIREL, B., CEVHER, E.Y., ROUBÍK, H. Biomass potential from agricultural residues for energy utilization in West Nusa Tenggara (WNT), Indonesia. *GCB Bioenergy* [online], 2023, 15 (11), pp. 1405–1414. Disponibil: <https://doi.org/10.1111/gcbb.13100>

135. BORKOWSKA, A., MAJ, G., KLIMEK, K.E., KAPŁAN, M. The Determination of Woody Biomass Resources and Their Energy Potential from Hazelnut Tree Cultivation. *Energies* [online], 2024, 17 (18), 4536. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en17184536>

136. SILVESTRI, C., SANTINELLI, G., PICA, A. L., CRISTOFORI, V. Mechanical pruning

of european hazelnut: Effects on yield and quality and potential to exploit its by-product. *European Journal of Horticultural Science* [online], 2021, 86 (2), pp. 189–196. Disponibil: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2021/86.2.9>

137. ENES, T., LOUSADA, J., FONSECA, T., VIANA, H., CALVÃO, A., ARANHA, J. Large scale shrub biomass estimates for multiple purposes. *Life* [online], 2020, 10 (4), pp. 1–12. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/life10040033>

138. OZHERELIEVA, Z. E., LUPIN, M. V., BOGOMOLOVA, N. I. Study of Raspberry Genotypes by Biologically Valuable Traits under Conditions of Central Russia. *Agronomy* [online], 2022, 12 (3):630. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030630>

139. SAVA, P. Cercetări orientate la dezvoltarea culturilor bacifere. *Akadosmos* [online], 2015, 2, pp. 111–116. Disponibil: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/37885

140. ISPIRYAN, A., GIEDRAITIS, A., SERMUKSNYTE-ALESIUNIENE, K., BUTU, M., ATKOCIUNIENE, V., BUTU, A., VISKELIS, J., MICEIKIENE, A. Sustainable Development Solutions: Growing and Processing Raspberries on Lithuanian Farms. *Foods* [online], 2023, 12 (21):3930. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/foods12213930>

141. MAJ, G., BUCZYŃSKI, K., KLIMEK, K. E., KAPŁAN, M. Evaluation of Growth and Energy Parameters of One-Year-Old Raspberry Shoots, Depending on the Variety. *Energies* [online], 2024, 17 (13):3153. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en17133153>

142. PETRESCU, A., HOZA, D. A review of blackcurrant culture technology. *Horticulture* [online], 2024, LXVIII (1), pp. 111–121. Disponibil: https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2024/issue_1/Art14.pdf

143. KIEROŃSKA, E., SKOCZYLAS, J., DZIADEK, K., POMIETŁO, U., PIĄTKOWSKA, E., KOPEĆ, A. Basic Chemical Composition, Selected Polyphenolic Profile and Antioxidant Activity in Various Types of Currant (*Ribes* spp.) Fruits. *Applied Sciences* [online], 2024, 14 (19). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/app14198882>

144. SAVA, P., BULGAC, N. Înființarea plantației experimentale de coacăz-negru în zona de centru a Republicii Moldova. *Pomicultura, Viticultura și Vinificația*, 2023, 90 (2), pp. 13–18. Disponibil: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/194291

145. ZIA-UL-HAQ, M., RIAZ, M., DE FEO, V., JAAFAR, H.Z.E., MOGA, M. *Rubus fruticosus* L.: Constituents, biological activities and health related uses. *Molecules* [online], 2014, 19 (8), pp. 10998–11029. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/molecules190810998> .

146. PUCEL, N., SARKAR, D., LABBE, R.G., KHANONGNUCH, C., SHETTY, K. Improving Health Targeted Food Quality of Blackberry: Pear Fruit Synergy Using Lactic Acid Bacterial Fermentation. *Frontiers in Sustainable Food Systems* [online], 2021, 5, pp. 1–15.

Disponibil: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.703672>

147. TIITINEN, K., VAHVASELKÄ, M., LAAKSO, S., KALLIO, H. Malolactic fermentation in four varieties of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.). *European Food Research and Technology* [online], 2007, 224 (6), pp. 725–732. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0365-2>

148. CIMPOIEȘ, G., POPA, S., MANZIUC, V., RÎBINȚEV, I., BURDUJA, V. Particularitățile de creștere a cătinei albe (*hippophae rhamnoides* l.) în funcție de soi și modul de conducere a pomilor. *Știința agricolă* [online], 2018, 1, pp. 33–37. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/65026

149. MARIAN, G., **BANARI, A.**, GUDÎMA, A. DARADUDA N., PAVLENCO, A. Caracterizarea reziduurilor provenite din lanțul de producere a cătinii albe. *Știința agricolă* [online], 2020, 2, pp. 91-96. ISSN 1857-0003. Disponibil: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/124984

150. MARIAN, G., **BANARI, A.**, NAZAR, B., GUDIMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Prospects for the use of seabuckthorn residues in the production of densified solid biofuels. *Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering* 2021, X, pp 60–63, ISSN 2393-5138. Disponibil: <https://www.landreclamationjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/past-issues?id=463>

151. MARIAN, G., **BANARI, A.**, NAZAR, B., GUDÎMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Perspectivele valorificării reziduurilor de cătină albă în scopuri energetice. *Lucrări științifice*, Simpozion științific internațional „Sectorul agroalimentar - realizări și perspective”, Chișinău, 2022 pp. 297–301

152. MARIAN, G., **BANARI, A.**, GUDIMA, A., NAZAR, B., PAVLENCO, A. Îmbunătățirea calității peleților produși din biomasă de cătină albă prin formarea de amestecuri. *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*, 2022, pp. 119–121. Disponibil: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/176639

153. KUKIĆ, D., IVANOVSKA, A., VASIĆ, V., LAĐAREVIĆ, J., KOSTIĆ, M., ŠĆIBAN, M. The overlooked potential of raspberry canes: from waste to an efficient low-cost biosorbent for Cr(VI) ions. *Biomass Conversion and Biorefinery* [online], 2024, 14 (4), 4605–4619. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02502-4>

154. MARIAN G., **BANARI A.**, MARIAN T. Sustainable Utilization of Agricultural Residues from Fruit Shrubs: Energy Potential and Physical-Chemical Properties. *International Journal of Conservation Science* [online], 2025, 17. Disponibil: *în curs de publicare*

155. **BANARI, A.** PL 7.2/2. Determinarea conținutului de umiditate în biocombustibili prin

metoda de referință. LȘBCS, UTM, 2025

156. MATŁOK, N., ZAGUŁA, G., GORZELANY, J. Analysis of the Energy Potential of Waste Biomass Generated from Fruit Tree Seedling Production. *Energies* [online], 2024, 17(23), 5964; Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en17235964>

157. ALFATTANI, R., SHAH, M.A., SIDDIQUI, I.H., ASHRAF, M.A., ALNASER, I. Bio-char characterization produced from walnut shell biomass through slow pyrolysis: Sustainable for soil amendment and an alternate bio-fuel. *Energies* [online], 2022, 15 (1). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en15010001>

158. MARIAN, G., **BANARI, A.**, NAZAR, B., GUDIMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Prospects for the use of Seabuckthorn residues in the production of densified solid biofuels. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 2021, X, pp. 60–63, ISSN 2393-5138. Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/26796>

159. MARIAN, G., IANUȘ, G., ISTRATE, B., **BANARI, A.**, NAZAR, B., MUNTEANU, C., MĂLUȚAN, T., GUDÎMA, A., CIOLACU, F., DARADUDA, N., PALEU, V. Evaluation of agricultural Residues as organic green energy source based on seabuckthorn, blackberry, and straw blends. *Agronomy* [online], 2022, 12 (9):2018. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092018>

160. 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. *Journal of Engineering Science* [online], 2022, 29 (4), 126–137. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).10](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).10).

161. *Sortimentul de cais, piersic, migdal și alte sâmburoase înmulțite la stațiunea de cercetare-dezvoltare pentru pomicultură Constanța*. [online] Constanța: Editura PIM, 2022 118p. Disponibil: <https://scdpconstanta.ro/wp-content/uploads/2024/09/Sortimentul-de-cais-piersic-si-migdal-inmultit-la-SCDP-C-ta-.pdf>

162. KARACA, C., GÜRDİL, G.A.K., OZTURK, H.H. The Biomass Energy Potential from Agricultural Production in the Black Sea Region of Turkey. *ICOEST 3rd International Conference on Environmental Science and Technology* Budapest, 19-23 october 2017. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/322118189_The_Biomass_Energy_Potential_from_Agricultural_Production_in_the_Black_Sea_Region_of_Turkey

163. PENCE, I., KUMAS, K., SISECI CESMELI, M., AKYÜZ, A. Detailed analysis of Türkiye's agricultural biomass-based energy potential with machine learning algorithms based on environmental and climatic conditions. *Clean Technologies and Environmental Policy* [online],

2024, 26, pp 4177–4195. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02822-1>.

164. KETZER, D., RÖSCH, C., HAASE, M. Assessment of sustainable Grassland biomass potentials for energy supply in Northwest Europe. *Biomass and Bioenergy* [online], 2017, 100, pp. 39–51, ISSN 0961-9534. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.009>

165. BRYAN, B.A., WARD, J., HOBBS, T. An assessment of the economic and environmental potential of biomass production in an agricultural region. *Land Use Policy* [online], 2008, 25 (4), pp. 533–549. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.003>

166. PORTUGAL-PEREIRA, J., SORIA, R., RATHMANN, R., SCHAEFFER, R., SZKLO, A. Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. *Biomass and Bioenergy* [online], 2015, 81, pp. 521–533. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.010>

167. GONZALEZ-SALAZAR, M.A., MORINI, M., PINELLI, M., SPINA, P.R., VENTURINI, M., FINKENRATH, M. Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. *Applied Energy* [online], 2014. 131, pp. 781-796. Disponibil: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.004>

168. RURAC, M., ZBANCĂ, A., BALTAG, G., BACEAN, I., CAZMALÎ, N., BSOTAN, M. *Ghid practic în domeniul agriculturii conservative*. Chișinău: Print-Caro, 2021 87 p. ISBN 978-9975-56-860-9

169. 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 Volume Estimation and Valorization for Energy* [online], 2017. Disponibil: <https://doi.org/10.5772/67207>

170. KPALO, S. Y., ZAINUDDIN, M. F., MANAF, L. A., ROSLAN, A. M. A review of technical and economic aspects of biomass briquetting. *Sustainability* [online], 2020, 12 (11), 4609. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/su12114609>

171. MIŠLJENović, N., ČOLOVIĆ, R., VUKMIROVIĆ, D., BRLEK, T., BRINGAS, C.S. The effects of sugar beet molasses on wheat straw pelleting and pellet quality. A comparative study of pelleting by using a single pellet press and a pilot-scale pellet press. *Fuel Processing Technology* [online], 2016, 144, pp. 220–229. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.01.001>

172. MALCOCI, I. Biomasa și potențialul în Republica Moldova. *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 23-25 martie 2021 Chișinău, Moldova, vol I, pp. 23–25. Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/16299>

173. COLLINS, S.R., WELLNER, N., BORDONADO, I.M., HARPER, A.L., MILLER, C.N., Bancroft, I., Waldron, K. W. Variation in the chemical composition of wheat straw: The role of

tissue ratio and composition. *Biotechnology for Biofuels* [online], 2014, 7 (1), pp. 1–14. Disponibil: <https://doi.org/10.1186/s13068-014-0121-y>

174. STELTE, W., CLEMONS, C., HOLM, J.K., AHRENFELDT, J., HENRIKSEN, U.B., SANADI, A.R. Fuel Pellets from Wheat Straw: The Effect of Lignin Glass Transition and Surface Waxes on Pelletizing Properties. *Bioenergy Research* [online], 2012, 5 (2), pp. 450–458. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s12155-011-9169-8>

175. PAVLENCO, A. Îmbunătățirea calității biocombustibililor solizi densificați în acord cu politicile de dezvoltare a surselor regenerabile de energie: tz. de doct. în tehnică. Chișinău, 2018. 123p.

176. ANISIMOVA, O.S., KOLOMYTSA, V.A. Biofuel productuin from sunflower husk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online], 2021, 659. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012115>

177. SPIRCHEZ, C., LUNGULEASA, A., CROITORU, C. Ecological briquettes from sunflower seed husk. *E3S Web of Conferences* [online], 2019, 80, pp 1–5. Disponibil: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001001>

178. Hotărâre de Guvern nr. 778 din 20-11-2024 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la biocombustibilul solid. *Monitorul Oficial*, 2024, Nr. 482-485 art. 889. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=145817&lang=ro

179. DARADUDA, N., MARIAN, G., NAZAR, B., GUDÎMA, A., GHEORGHÎȚA, A., **BANARI, A.**, GELU, I. *Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete*. Brevet de invenție de scurtă durată MD 1734 Y 2023. Nr. depozit: s 2023 0002. Data depozit: 2023.01.10. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2023.12.31, BOPI nr. 12/2023

180. ROUDNESHIN, M., SOSA, A. Optimising Agricultural Waste Supply Chains for Sustainable Bioenergy Production: A Comprehensive Literature Review. *Energies* [online], 2024, 17 (11):2542. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en17112542>

181. HOLO BA, B., PRINS, C., PRODHON, C. Models for optimization and performance evaluation of biomass supply chains: An Operations Research perspective. *Renewable Energy*, 2016, 87, pp. 977–989. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.045>

182. CESPRINI, E., GRECO, R., CAUSIN, V., URSO, T., CAVALLI, R., ZANETTI, M. Quality assessment of pellets and briquettes made from glued wood waste. *European Journal of Wood and Wood Products* [online], 2021, 79 (5), pp. 1153–1162. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01695-1>

183. MARIAN, G., GUDÎMA, A., PAVLENCO, A. Influența calității densificării asupra

calității peleților produși din reziduuri agricole. *Știința Agricolă* [online], 2017, 1, pp. 82–87. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/52504/gscholar

184. MARIAN, G., **BANARI, A.** Comparative evaluation of energy potential and composition of walnut, hazelnut, and almond residues for solid biofuel production. *Journal of Engineering Science*, 2025, 32 (1), pp. 111 – 124. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2025.32\(1\).09](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2025.32(1).09)

185. WANG, Y., WU, J.J. Thermochemical conversion of biomass: Potential future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online], 2023, 187, 113754. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113754>

186. SARKER, T.R., NANDA, S., DALAI, A.K., MEDA, V. A Review of Torrefaction Technology for Upgrading Lignocellulosic Biomass to Solid Biofuels. *Bioenergy Research* [online], 2021, 14, pp. 645–669. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10236-2>

187. ZANZI, R., TITO FERRO, D., TORRES, A., BEATON SOLER, P., BJÖRNBOM E. Biomass Torrefaction. *2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection* [online], 2014. Disponibil: <https://www.researchgate.net/publication/236954041>

188. PIMCHUAI, A., DUTTA, A., BASU, P. Torrefaction of agriculture residue to enhance combustible properties. *Energy and Fuels* [online], 2010, 24 (9), pp. 4638–4645. Disponibil: <https://doi.org/10.1021/ef901168f>

189. CHEN, Y., YANG, H., YANG, Q.Y., HAO, H., ZHU, B., CHEN, H. Torrefaction of agriculture straws and its application on biomass pyrolysis poly-generation. *Bioresource Technology* [online], 2014, 156, pp. 70–77, ISSN 0960-8524. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.088>

190. MARIAN, G., PAVLENCO, A., GUDÎMA, A., GOROBET, V. Torefierea – o nouă direcție de sporire a calității peleților de foc produși din biomasă autohton. *Știința Agricolă*, 2017, 1 pp. 74–81. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/52503

191. CORREA, D.F., BEYER, H.L., FARGIONE, J.E., HILL, J.D., POSSINGHAM, H.P., THOMAS-HALL, S.R., SCHENK, P.M. Towards the implementation of sustainable biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online], 2019, pp. 250–263. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.005>

192. HASAN, M., ABEDIN, M.Z., AMIN, M.B., NEKMAHMUD, M., OLÁH, J. Sustainable biofuel economy: A mapping through bibliometric research. *Journal of Environmental Management*, 2023, 336, ISSN 0301-4797. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117644>

193. OLADEJI, J.T. Theoretical aspects of biomass briquetting : A Review Study. *Journal of Energy Technologies and Policy* [online], 2015, 5 (3), pp. 72–82 ISSN 2225-0573. Disponibil:

<https://www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/view/20797>

194. NAZEMI, M. *A Comprehensive Guide to Biomass Dryer: Types, Operating Principles, and Applications*. [online] 2023. Disponibil: <https://tcpel.com/comprehensive-guide-to-biomass-dryer/>

195. MURUGAN, P., DHANUSHKODI, S., SUDHAKAR, K., WILSON, V.H. Industrial and small-scale biomass dryers: An overview. *Energy Engineering* [online], 2021, 118 (3), pp. 435–446. Disponibil: <https://doi.org/10.32604/EE.2021.013491>

196. NAZEMI, M. *Biomass Drying Cabinet - Design, Construction, and Evaluation*. University of Iceland, Reykjavik, 2021. 82 p. Diponibil: <https://sw-grow.eu/wp-content/uploads/2023/05/Nazemi-Biomass-drying-cabinet-design.pdf>

197. IGATHINATHANE, C., YU, M., Biomass Size Reduction Energy - Multiple and Generalized Regression Models Development. *Agricultural Research Technology* [online], 2024; 28 (3): 556410, pp 1–21 ISSN: 2471-6774 Disponibil: <https://juniperpublishers.com/artoaj/pdf/ARTOAJ.MS.ID.556410.pdf>

198. NAIMI, L.J. *A study of cellulosic biomass size reduction*. University of British Columbia, Vancouver. 2016, 183 p. Disponibil: <https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/24/1.0224813/3>

199. KIRSTEN, C., LENZ, V., SCHRÖDER, H. W., REPKE, J.U. Hay pellets - The influence of particle size reduction on their physical-mechanical quality and energy demand during production. *Fuel Processing Technology* [online], 2016, 148, pp. 163–174. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.02.013>

200. PRADHAN, P., ARORA, A., MAHAJANI, S.M. Factors affecting the quality of fuel pellets produced from waste biomass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 463 p. 6. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012013>

201. **BANARI, A.**, MARIAN, G., NAZAR, B., GUDÎMA, A. Studiul procesului de densificare a peleișilor produși din biomasă de cătină albă. *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*, 2022, Chișinău 11-12 noiembrie 2022, pp. 156–157, ISSN 1857-0003. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/52504

202. MARIAN, G., **BANARI, A.** The effect of torrefaction on pellets made from vegetal biomass generated by fruit shrubs. *Journal of Engineering Science* [online], 2025. Disponibil: în curs de publicare

203. MARIAN, G., NAZAR, B., GUDÎMA, A., ALEXIOU IVANOVA, T., MARIAN, T., PAVLENCO, A., **BANARI, A.**, MALAI L. Quality assurance of densified biofuels from vineyard residues : case study for „Cabernet” and „Moldova” varieties cultivated in the Republic of Moldova. *Lucrări științifice seria horticultură*, 2024, 67 (1), Iași, pp 51–62.

LISTA PUBLICAȚIILOR

ale dlui BANARI Alexandru,

1. Articole în reviste științifice

• Articole în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS

1. MARIAN, G., IANUȘ, G., ISTRATE, B., **BANARI, A.**, NAZAR, B., MUNTEANU, C., MĂLUȚAN, T., GUDIMA, A., CIOLACU, F., DARADUDA, N., PALEU, V. Evaluation of Agricultural Residues as Organic Green Energy Source Based on Seabuckthorn, Blackberry, and Straw Blends. In: Agronomy. 2022, nr. 9(12), pp. 1-14. ISSN 2073-4395. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092018>

• Articole în reviste din străinătate recunoscute

2. MARIAN, G., **BANARI, A.**, NAZAR, B., GUDIMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Prospects for the use of sea buckthorn residues in the production of densified solid biofuels. In: Scientific Papers, UASVM of Bucharest. Series E. Land Reclamation, Earth Observation and Surveying, Environmental Engineering. 2021, vol. X, pp. 60-63. ISSN 2285-6064;

3. MARIAN, G., DARADUDA, N., GUDIMA, A., NAZAR, B., **BANARI, A.**, PAVLENCO, A. Quality of densified solid biofuels produced from some energy crops specific to the conditions of the Republic of Moldova. In: Scientific Papers, UASVM of Bucharest. Series E. Land Reclamation, Earth Observation and Surveying, Environmental Engineering. 2021, vol. X, pp. 54-59. ISSN 2285-6064;

4. MARIAN, G., IANUȘ, G., ISTRATE, B., GUDIMA, A., NAZAR, B., PAVLENCO, A., **BANARI, A.**, DARADUDA, N. Quality of pellets produced from agricultural wood residues specific to the Prut river basin. In: Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2021, nr. 1, pp. 84-93. ISSN 2313-092X. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-11](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-11);

• Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria B+

5. MARIAN, G., IANUȘ, G., GUDIMA, A., NAZAR, B., ISTRATE, B., **BANARI, A.**, PAVLENCO, A., DARADUDA, N. The calorific value of pellets produced from raw material collected from both sides of the Prut river. In: Journal of Engineering Science. 2022, vol. 29, nr. 4, pp. 126-137. ISSN 2587-3474. DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).10](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).10);

• Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria B

6. MARIAN, G., **BANARI, A.**, GUDIMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Caracterizarea reziduurilor provenite din lanțul de producere a cătinii albe. In: Știința Agricolă. 2020, nr. 2, pp. 91-96. ISSN 1857-0003. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4321228>;

2. Articole în culegeri științifice

• Alte publicații la manifestări științifice de peste hotare

7. MARIAN, G., NAZAR, B., GUDIMA, A., ALEXIOU-IVANOVA, T., MARIAN, T., PAVLENCO, A., **BANARI, A.**, MALAI, L. The quality assurance of densified solid biofuels produced from vineyard residues in the Republic of Moldova: a case study for the "Cabernet" and "Moldova" varieties. In: Life sciences today for tomorrow. 24-25 octombrie 2024, Iași. Iași: 2024, p. 70. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/222528;

8. GUDIMA, A., DARADUDA, N., ABABII, A., DOROFTEI, V., ȚÎȚEI, V., COZARI, S., GADIBADI, M., **BANARI, A.**, NAZAR, B. The quality indices of biomass from Miscanthus

giganteus ‘Titan’. In: Biology and sustainable development. Ediția 22, 21-22 noiembrie 2024, Bacău. Bacău: 2024, p. 61. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/221491;

9. DARADUDA, N., ABABII, A., DOROFTEI, V., ȚIȚEI, V., COZARI, S., GADIBADI, M., **BANARI, A.**, GUDIMA, A., NAZAR, B. The evaluation of the quality indices of fruit trees pruning residues for briquettes production. In: Biology and sustainable development. Ediția 22, 21-22 noiembrie 2024, Bacău. Bacău: 2024, p. 64. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/221499;

10. ABABII, A., DARADUDA, N., GORE, A., DOROFTEI, V., ȚIȚEI, V., COZARI, S., ANDREOIU, A. C., GADIBADI, M., **BANARI, A.**, GUDIMA, A., NAZAR, B. The cell wall components and energy value of Triticum spelta l. straw. In: Biology and sustainable development. Ediția 22, 21-22 noiembrie 2024, Bacău. Bacău: 2024, pp. 65-66. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/221501;

• În lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

11. MARIAN, G., **BANARI, A.**, NAZAR, B., GUDÎMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Perspectivele valorificării reziduurilor de cătină albă în scopuri energetice. In: Lucrări științifice, Univ. Agrară de Stat din Moldova. 2022, vol. 56: materialele Simpozionului Științific Internațional „Sectorul agroalimentar – realizări și perspective”, 19-20 noiembrie 2021, pp. 297-301. ISBN 978-9975-64-329-0

12. MARIAN, G., DARADUDA, N., GUDÎMA, A., NAZAR, B., **BANARI, A.**, PAVLENCO, A. Dezvoltarea capacității de valorificare a potențialului energetic al resurselor genetice vegetale generate de unele culturi energetice. In: Lucrări științifice, Univ. Agrară de Stat din Moldova. 2022, vol. 56: materialele Simpozionului Științific Internațional „Sectorul agroalimentar – realizări și perspective”, 19-20 noiembrie 2021, pp. 292-296. ISBN 978-9975-64-329-0.

3. Teze în culegeri științifice

• în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

13. MARIAN, G., **BANARI, A.**, GUDIMA, A., NAZAR, B., PAVLENCO, A. Îmbunătățirea calității peleților produși din biomasă de cătină albă prin formarea de amestecuri. In: Sectorul agroalimentar – realizări și perspective. 11-12 noiembrie 2022, Chisinau. "Print-Caro" SRL, 2023, pp. 119-121. ISBN 978-9975-165-51-8. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/176639;

14. **BANARI, A.**, MARIAN, G., NAZAR, B., GUDIMA, A. Studiul procesului de densificare a peleților produși din biomasă de cătină albă. In: Sectorul agroalimentar – realizări și perspective. 11-12 noiembrie 2022, Chisinau: "Print-Caro" SRL, 2023, pp. 156-157. ISBN 978-9975-165-51-8. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/176741;

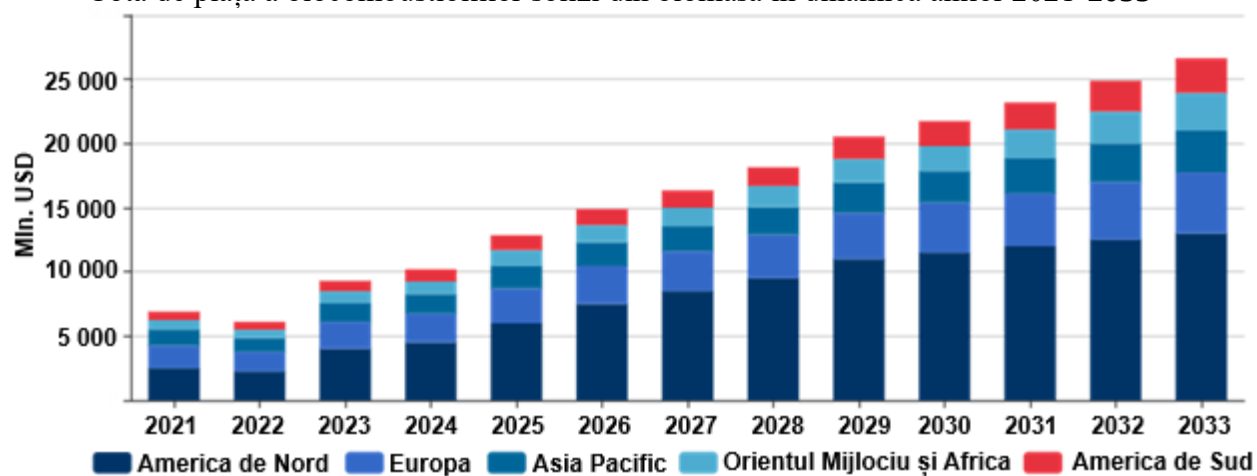
4. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții

15. DARADUDA, N., MARIAN, G., NAZAR, B., GUDÎMA, A., GHEORGHÎȚA, A., **BANARI, A.**, GELU, I., ISTRATI, B.. Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete. Brevet MD 1734Y 10.01.2023.

ANEXE

Anexa A1. Dinamica și producția biocombustibililor solizi

Cota de piață a biocombustibililor solizi din biomasă în dinamica anilor 2021-2033



Sursa: Cognitive Market Research.

Anexa A2. Act de implementare a rezultatelor SRL STAR TECH

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI  <i>Aprobat:</i> <i>Prorector pentru cercetare</i> <i>Prof. univ. dr. hab. Vasile TRONCIU</i> _____ 2025	SRL SRL STAR TECH  <i>Aprobat:</i> <i>Director PARFENE Gheorghe</i> <i>[Signature]</i> _____ 2025
--	--

ACT DE IMPLEMENTARE

a rezultatelor cercetării științifice în activitatea de producție

Nr. 1 / Data: 15.03.2025

1. Părțile implicate:

2. Acest act se încheie între:

• **Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi din cadrul Universității Tehnice a Moldovei**, cu sediul în or. Chișinău, str. Mircești, 56, reprezentat de profesorul universitar doctor habilitat MARIAN Grigore, în calitate de șef al Laboratorului de Biocombustibili Solizi, denumit în continuare *Furnizor de rezultate științifice*;

și

• **Unitatea de producție: SRL STAR TECH**, cu sediul în s. Cîrpești, raionul Cantemir, reprezentată de dl. PARFENE Gheorghe, în calitate de director, denumită în continuare *Beneficiar*.

2. Obiectul actului:

Prezentul act are ca obiect **implementarea în activitatea de producție a rezultatului științific intitulat:**

„Flux de producere a brichetelor din amestecuri de biomasă vegetală disponibilă în zonele adiacente s. Cârpești, r-nul Cantemir, cu utilizarea diagramelor ternare pentru determinarea compoziției optime a amestecurilor în funcție de parametrii calitativi solicitați și potențialul local de materie primă”, elaborat în cadrul cercetării desfășurate în LȘBCS UTM

Autori:

BANARI Alexandru - Cercetător științific în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi, UTM;

Prof. univ. dr. hab. MARIAN Grigore – coordonator proiect

Temei pentru implementare: - Contractul de colaborare între Universitatea Tehnică a Moldovei și SRL STAR TECH nr. 1 din 18 octombrie 2024.

3. Forma de implementare:

Implementarea rezultatului științific se va realiza prin:

Pagina 1 din 2

- aplicarea unui flux tehnologic adaptat pentru densificarea biomasei vegetale provenite din zonele adiacente s. Cârpești, r-nul Cantemir;
- utilizarea diagramelor ternare pentru selectarea proporțiilor optime ale amestecurilor de biomasă (ex. Reziduuri vegetale de pomi fructiferi + reziduuri de floarea-soarelui + paie de grâu);
- ajustarea parametrilor tehnologici (umiditate, presiune, temperatură) în funcție de compoziția amestecului ales;
- valorificarea potențialului de biomasă identificat în cadrul studiului, prin integrarea materiei prime locale în producția de brichete în cadrul SRL STAR TECH.

4. Scopul implementării:

Implementarea vizează creșterea eficienței energetice a brichetelor produse, optimizarea costurilor de producție prin utilizarea resurselor locale și asigurarea unui produs finit de calitate superioară, cu proprietăți fizico-mecanice stabile și adaptat cerințelor pieței.

5. Drepturi și obligații:

- Furnizorul de rezultate științifice se angajează să ofere consultanță tehnică și suport științific pe durata implementării.
- Beneficiarul va pune la dispoziție infrastructura tehnologică necesară testării și va colabora la monitorizarea rezultatelor în producție.

6. Data începerii implementării:

Implementarea va începe la data semnării actului și se va desfășura pe o perioadă de 6 luni, cu posibilitatea extinderii în funcție de rezultate.

7. Clauze finale:

Acest act constituie document justificativ privind transferul rezultatului cercetării științifice în producție și poate fi utilizat în rapoarte de activitate științifică sau de inovare.

Actul este perfectat în două exemplare originale, câte unul pentru fiecare parte.

Furnizor de rezultate științifice

Nume, prenume: MARIAN Grigore

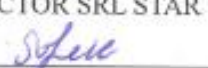
Funcție: șef LȘBCS UTM

Semnătură: 

Beneficiar

Nume, prenume: PARFENE Gheorghe

Funcție: DIRECTOR SRL STAR TECH

Semnătură: 

ANEXA nr. 1 la Actul de Implementare nr. 1 din 15.03.2025

Comisia de implementare și evaluare a rezultatului științific

Pentru asigurarea unei implementări corecte și eficiente a rezultatului științific în activitatea de producție, se constituie o comisie mixtă formată din reprezentanți ai **Furnizorului** și ai **Beneficiarului**, după cum urmează:

Componența comisiei:

Din partea Furnizorului (Universitatea Tehnică a Moldovei, Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi):

- Prof. univ. dr. hab. MARIAN Grigore – coordonator științific al proiectului
- Conf. univ. dr. NAZAR Boris – responsabil de managementul calității în LȘBCS UTM
- Conf. univ. dr. GUDÎMA Andrei – locțiitorul șefului LȘBCS
- Cercetător științific BANARI Alexandru responsabil cu implementarea în producție a rezultatelor științifice

Din partea Beneficiarului (Întreprinderea STAR TECH SRL):

1. PARFENE Gheorghe – director STAR TECH SRL

Atribuțiile comisiei:

- Verificarea capacității tehnologice a beneficiarului pentru implementarea fluxului propus;
- Validarea rețetelor de amestecuri stabilite pe baza diagramelor ternare;
- Monitorizarea parametrilor de producție (umiditate, presiune, temperatură) și a calității brichetelor;
- Evaluarea conformității produsului finit cu indicatorii stabiliți în cercetare;
- Întocmirea unui **raport de implementare**, care va include: descrierea etapelor realizate, parametrii tehnologici utilizați, rezultate obținute, concluzii și recomandări.

Etape planificate:

1. **Analiza biomasei disponibile** în zona s. Cârpești (identificare, evaluare umiditate, caracteristici fizico-chimice)
2. **Selectarea compozițiilor optime** pe baza diagramei ternare
3. **Testarea amestecurilor** la scară semi-industrială în cadrul BCSD SRL
4. **Evaluarea calității brichetelor**: valoarea calorifică, conținutul de cenușă, conținutul de umiditate, densitatea particulelor, comportament la depozitare
5. **Finalizarea raportului tehnic de implementare și validare**

Președintele comisiei:

MARIAN Grigore

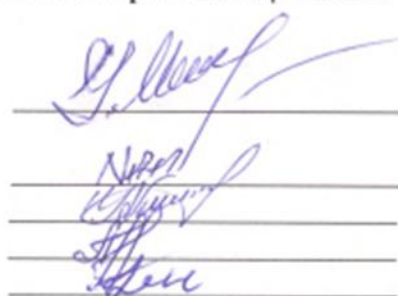
Membrii comisiei:

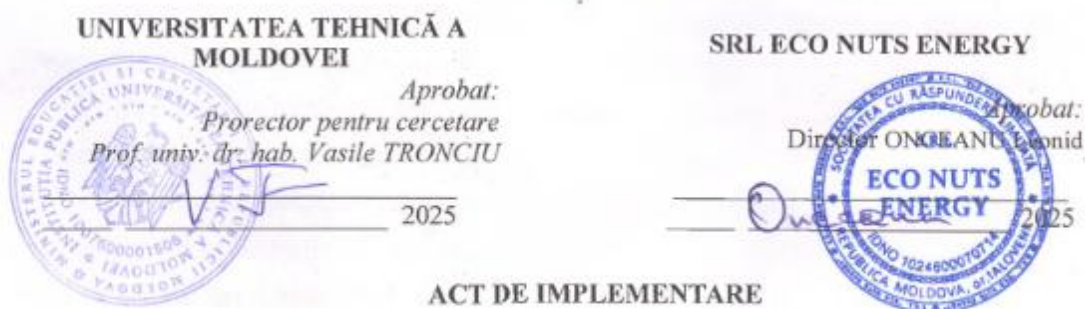
NAZAR Boris

GUDÎMA Andrei

BANARI Alexandru

PARFENE Gheorghe





ACT DE IMPLEMENTARE

a rezultatelor cercetării științifice în activitatea de producție

nr. 2 din 17.03.2025

1. Părțile implicate:

2. Acest act se încheie între:

- **Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi din cadrul Universității Tehnice a Moldovei**, cu sediul în or. Chișinău, str. Mircești, 56, reprezentat de profesorul universitar doctor habilitat MARIAN Grigore, în calitate de șef al Laboratorului de Biocombustibili Solizi, denumit în continuare *Furnizor de rezultate științifice*;

și

- **Unitatea de producție: SRL ECO NUTS ENERGY**, adresa Ialoveni, str. Păcii, 12, reprezentată de domnul ONCEANU Leonid, în calitate de director, denumită în continuare *Beneficiar*.

2. Obiectul actului:

Prezentul act are ca obiect **implementarea în activitatea de producție a rezultatului științific intitulat:**

„Flux de producere a peleiților din amestecuri de biomasă vegetală din reziduuri nucifere disponibilă în cadrul companiei, cu utilizarea diagramelor ternare pentru determinarea compoziției optime a amestecurilor în funcție de parametrii calitativi solicitați”, elaborat în cadrul cercetării desfășurate în LȘBCS UTM.

Autori:

BANARI Alexandru - Cercetător științific în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi, UTM;

Prof. univ. dr. hab. MARIAN Grigore – coordonator proiect

Temei pentru implementare: - Contractul de colaborare între Universitatea Tehnică a Moldovei și ECO NUTS ENERGY nr. 2 din 10 ianuarie 2025.

3. Forma de implementare:

Implementarea rezultatului științific se va realiza prin:

Pagina 1 din 2

- aplicarea unui flux tehnologic adaptat pentru densificarea reziduurilor nucifere;
- utilizarea diagramelor ternare pentru selectarea proporțiilor optime ale amestecurilor de biomasă (ex. Reziduuri vegetale de pomi nucifere + paie de grâu);
- adaptarea parametrilor tehnologici (umiditate, presiune, temperatură) în raport cu compoziția amestecului selectat;
- valorificarea potențialului de biomasă identificat în cadrul studiului, prin integrarea materiei prime în producția de peleți în cadrul SRL ECO NUTS ENERGY.

4. Scopul implementării:

Implementarea are ca obiectiv creșterea eficienței energetice a peleților produși, optimizarea parametrilor de producție și obținerea unui produs finit de calitate superioară, cu proprietăți fizico-mecanice stabile, adaptat cerințelor pieței.

5. Drepturi și obligații:

- Furnizorul de rezultate științifice se angajează să asigure consultanță tehnică și suport științific pe întreaga durată a implementării.
- Beneficiarul va pune la dispoziție infrastructura tehnologică necesară pentru testare și va colabora activ la monitorizarea rezultatelor în procesul de producție.

6. Data începerii implementării:

Implementarea va începe la data semnării actului și se va desfășura pe o perioadă de 3 luni, cu posibilitatea extinderii în funcție de rezultate.

7. Clauze finale:

Prezentul act constituie document justificativ pentru transferul rezultatului cercetării științifice către producție și poate fi utilizat în rapoarte de activitate științifică sau de inovare.

Prezentul act a fost întocmit în două exemplare originale, câte unul pentru fiecare parte semnatară.

Furnizor de rezultate științifice

Nume, prenume: MARIAN Grigore

Funcție: șef LȘBCS, UTM

Semnătură: 

Beneficiar

Nume, prenume: ONCEANU Leonid

Funcție: Director SRL „ECO NUTS ENERGY”

Semnătură: _____

ANEXA nr. 1 la Actul de Implementare nr. 2 din 17.03.2025

Comisia de implementare și evaluare a rezultatului științific

Pentru asigurarea unei implementări corecte și eficiente a rezultatului științific în activitatea de producție, se constituie o comisie mixtă formată din reprezentanți ai **Furnizorului** și ai **Beneficiarului**, după cum urmează:

Componenta comisiei:

Din partea Furnizorului (Universitatea Tehnică a Moldovei, Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi):

- Prof. univ. dr. hab. MARIAN Grigore – coordonator științific al proiectului;
- Conf. univ. dr. GUDÎMA Andrei – locțiitorul șefului LȘBCS;
- Conf. univ. dr. NAZAR Boris – responsabil de managementul calității în LȘBCS UTM;
- Cercetător științific BANARI Alexandru responsabil cu implementarea în producție a rezultatelor științifice.

Din partea Beneficiarului (Întreprinderea ECO NUTS ENERGY SRL):

1. ONCEANU Leonid – director ECO NUTS ENERGY SRL

Atribuțiile comisiei:

- Analiza capacității tehnologice a beneficiarului în vederea implementării fluxului tehnologic propus;
- Verificarea și validarea rețetelor de amestec pe baza diagramelor ternare;
- Supravegherea parametrilor de producție (umiditate, presiune, temperatură) și a calității peletilor realizați;
- Evaluarea conformității produsului finit în raport cu indicatorii stabiliți în cadrul cercetării;
- Elaborarea unui **raport de implementare** care să includă: descrierea etapelor parcurse, parametrii tehnologici utilizați, rezultatele obținute, concluziile formulate și recomandările aferente.

Etape planificate:

1. **Analiza biomasei disponibile** în cadrul întreprinderii (identificare, evaluare umiditate, caracteristici fizico-chimice);
2. **Selectarea compozițiilor optime** pe baza diagramei ternare;
3. **Testarea amestecurilor** la scară semi-industrială în cadrul ECO NUTS ENERGY SRL;
4. **Evaluarea calității brichetelor**: valoarea calorifică, conținutul de cenușă, conținutul de umiditate, densitatea particulelor, comportament la depozitare;
5. **Finalizarea raportului tehnic de implementare și validare.**

Președintele comisiei:

MARIAN Grigore

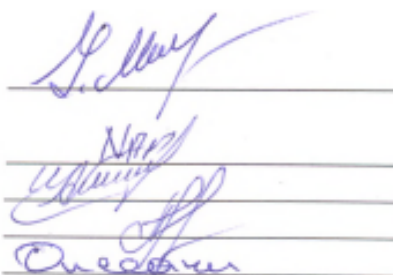
Membrii comisiei:

NAZAR Boris

GUDÎMA Andrei

BANARI Alexandru

ONCEANU Leonid



CONTRACT Nr. 2

de colaborare pentru realizarea cercetărilor științifice și implementarea rezultatelor obținute în producție

10 ianuarie 2025_

mun. Chișinău

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, care activează în baza Cartei Universitare, înregistrată la Ministerul Justiției nr.121 din 05.06.2015, cu sediul: mun. Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168, denumită în continuare, **UTM**, în persoana **Rectorului UTM, dr. hab. Bostan Viorel**, pe de o parte,

și

S.R.L. ECO NUTS ENERGY care activează în baza Statutului, IDNO companie 1024600070714 cu sediul: MD-6801, str.Păcii, 12, Ialoveni, Republica Moldova, denumită în continuare „**S.R.L. ECO NUTS ENERGY**”, în persoana **director ONCEANU Leonid** pe de altă parte, au încheiat prezentul Contract.

I. OBIECTUL CONTRACTULUI

1.1. Părțile convin să colaboreze pentru realizarea unor cercetări referitoare la valorificarea reziduurilor vegetale pomi-viticole și optimizarea constituției amestecurilor de biomasă pe baza biomasei vegetale generată de nuciferi disponibilă în cadrul **S.R.L. ECO NUTS ENERGY** pentru producerea de biocombustibili solizi densificați cu caracteristici conforme cerințelor normelor europene ENplus și să implementeze rezultatele cercetărilor în producția **S.R.L. ECO NUTS ENERGY**.

II. DURATA CONTRACTULUI

2.1. Prezentul contract este valabil pe o perioadă de doi ani, începând cu data semnării acestuia, cu posibilitatea de prelungire prin acordul scris al ambelor părți.

III RESPONSABILITATEA PĂRȚILOR

3.1. Obligațiile UTM:

3.1.1. Realizarea cercetărilor în cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi UTM cu privire la valorificarea reziduurilor vegetale pomi-viticole și optimizarea constituției amestecurilor de biomasă pe baza biomasei vegetale generată de nuciferi pentru producerea biocombustibililor solizi densificați;

3.1.2. Analizarea și testarea amestecurilor de biomasă, inclusiv cele alcătuite pe baza reziduurilor nucifere pentru obținerea unor amestecuri de materie primă pentru producerea biocombustibililor solizi densificați cu caracteristici conforme cerințelor normelor ENplus;

3.1.3. Informarea **S.R.L. ECO NUTS ENERGY** cu privire la rezultatele cercetării, ce va include recomandări pentru implementarea amestecurilor de biomasă optimizate;

3.1.4. Asigurarea transferului de cunoștințe și suport tehnic în vederea implementării rezultatelor în producție.

3.2. Obligațiile **S.R.L. ECO NUTS ENERGY**:

3.2.1. Furnizarea de materii prime sub formă de biomasă (reziduuri vegetale) necesare cercetării, în cantitățile și la termenele stabilite de comun acord;

3.2.2. Participarea activă la implementarea soluțiilor și recomandărilor rezultate din cercetare;

3.2.3. Asigurarea condițiilor optime pentru desfășurarea cercetărilor în producție și monitorizarea aplicării acestora;

3.2.4. Punerea la dispoziție a echipamentelor și utilajelor necesare pentru realizarea testelor în producție, acolo unde este posibil;

3.2.5. Asigurarea condiționării biomasei prin mărunțire direct în câmp și transportare biomasei la locul de destinație;

3.2.6. Participare la prelevarea biomasei și estimarea cantitativă a acesteia.

IV. MODALITĂȚI DE FINANȚARE

4.1. Gospodăria va suporta costurile aferente furnizării materialelor și implementării rezultatelor cercetării în producție, iar UTM va suporta costurile cercetării științifice propriu-zise. Alte costuri suplimentare vor fi convenite separat.

V. CONFIDENȚIALITATEA

5.1. Informația științifică obținută în cadrul acestui contract aparține UTM și poate fi diseminată prin publicații sau rapoarte științifice;

5.2. **S.R.L. ECO NUTS ENERGY** se angajează să păstreze confidențialitatea cu privire la toate informațiile și datele obținute pe parcursul derulării cercetărilor, cu excepția cazurilor în care dezvăluirea acestora este cerută de legislația în vigoare.

VI. PROPRIETATE INTELECTUALĂ

6.1. Toate drepturile asupra rezultatelor cercetării aparțin UTM, în conformitate cu legislația în vigoare. **S.R.L. ECO NUTS ENERGY** are dreptul de a implementa soluțiile rezultate în propria activitate.

VII. LITIGII

7.1. Orice litigiu apărut în legătură cu prezentul contract va fi soluționat pe cale amiabilă. În cazul în care acest lucru nu este posibil, litigiile vor fi soluționate de instanțele competente din Republica Moldova.

VIII. SEMNĂTURI

Rector U.T.M. Prof. univ., dr. hab. BOSTAN Viorel Tronciu Vasile Digitally signed by Tronciu Vasile DN: cn=Tronciu Vasile, o=UTM, c=MD, email=tronciuvasile@utm.md Date: 2025.01.10 16:24:13 +02'00' Șef LSBCS Prof. univ., dr. hab. Grigore MARIAN <i>(semnătura)</i>	Director ONCEANU Leonid _ <i>(numele, prenumele)</i> <i>(semnătura)</i>
--	--

L.Ș.

L.Ș.


REPUBLICA MOLDOVA
Agenția de Stat pentru
Proprietatea Intelectuală

BREVET
DE INVENȚIE
DE SCURTĂ DURATĂ

Nr. **1734**

eliberat în temeiul Legii nr. 50/2008 privind protecția invențiilor

Titlu: **Dispozitiv pentru procesul de densificare a biomaselor în formă de brichete**

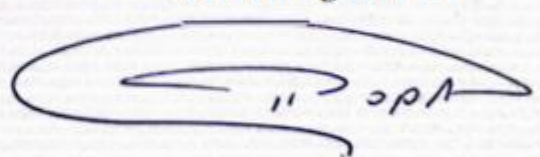
Titular: **INSTITUȚIA PUBLICĂ UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD**

Data de depozit: **2023.01.10**

Durata brevetului : **6 ani**

Descrierea invenției, revendicările și desenele constituie parte integrantă a prezentului brevet de invenție de scurtă durată

 **Director general**



CHIȘINĂU





USV 11842

"ION IONESCU de la BRAD" IASI UNIVERSITY of LIFE SCIENCES
FACULTY of HORTICULTURE

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This is to certify that

*authors: Marian Grigore, Nazar Boris, Gudima Andrei, Alexiou Ivanova Tatiana,
Marian Teodor, Pavlenco Andrei, Banari Alexandru, Malai Leonid presented*

**THE QUALITY ASSURANCE OF DENSIFIED SOLID BIOFUELS PRODUCED FROM VINEYARD
RESIDUES IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA:
A CASE STUDY FOR THE "CABERNET" AND "MOLDOVA" VARIETIES and**

have participated in the activities of the Conference "THE ART OF NATURE – Fundamental
research in Horticulture, Landscaping, Environmental Engineering and Agricultural
Biotechnologies" organised by Faculty of Horticulture within the Scientific Congress
"Life Sciences Today for Tomorrow".

Dean,
Prof. Liviu-Maria IRIȘIA, PhD



Vice-dean for scientific research activities,
Assoc. Prof. Lucia-Cintia COLIBABA, PhD



24-25 October 2024, Iasi, Romania

SCIENTIFIC CONGRESS



October 2024

 UNIVERSITY OF AGRONOMIC SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST
THE INTERNATIONAL CONFERENCE
AGRICULTURE FOR LIFE, LIFE FOR AGRICULTURE
JUNE 3-5, 2021 – BUCHAREST, ROMANIA 

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

FOR THE SCIENTIFIC PAPER:

QUALITY OF DENSIFIED SOLID BIOFUELS PRODUCED FROM SOME ENERGY CROPS SPECIFIC TO THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

AUTHORS:

MARIAN GRIGORE, DARADUDA NICOLAI, GUDIMA ANDREI, NAZAR BORIS, BANARI ALEXANDRU, PAVLENCO ANDREI,

 JUNE, 2021
BUCHAREST

Răzvan Ionuț Teodorescu
RĂZVAN IONUȚ TEODORESCU, PROFESSOR, PHD
RECTOR OF THE UNIVERSITY OF AGRONOMIC SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST

 UNIVERSITY OF AGRONOMIC SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST
THE INTERNATIONAL CONFERENCE
AGRICULTURE FOR LIFE, LIFE FOR AGRICULTURE
JUNE 3-5, 2021 – BUCHAREST, ROMANIA 

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

FOR THE SCIENTIFIC PAPER:

PROSPECTS FOR THE USE OF SEABUCKTHORN RESIDUES IN THE PRODUCTION OF DENSIFIED SOLID BIOFUELS

AUTHORS:

MARIAN GRIGORE, BANARI ALEXANDRU, NAZAR BORIS, GUDIMA ANDREI, DARADUDA NICOLAI, PAVLENCO ANDREI

 JUNE, 2021
BUCHAREST

Răzvan Ionuț Teodorescu
RĂZVAN IONUȚ TEODORESCU, PROFESSOR, PHD
RECTOR OF THE UNIVERSITY OF AGRONOMIC SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

BANARI Alexandru

CURRICULUM VITAE



Alexandru Banari

Data nașterii: 03/02/1986 | **Cetățenie:** moldoveană | **Număr de telefon:**

(+373) 069386587 (Număr de telefon mobil) | **E-mail:** a.banari10@gmail.com |

Adresă: stada Mircești 22/2, 2049, Chișinău, Moldova (Chisinău)

● DESPRE MINE

Aici puteți să vă descrieți pe scurt...

● EDUCAȚIE ȘI FORMARE PROFESIONALĂ

2009 – 2010 Chișinău, Moldova

DIPLOMĂ DE MASTER

Site de internet: UASM.MD | Clasificare națională UASM

2004 – 2009 Chișinău, Moldova

DIPLOMĂ DE LICENȚĂ Universitatea agrară de Stat din Moldova

Site de internet: UASM.MD

● EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

2022 – ÎN CURS Chișinău, Moldova

CERCETĂTOR ȘTIINȚIFIC STAGIAR UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

01/09/2022 – 01/11/2024 Chisinău, Moldova

INGINER VÂNZĂRI ENERGEN LUX SRL

- verificare și suplinire stocuri;
- proiecte de iluminare;
- proiecte fotovoltaice.

30/04/2020 – 30/12/2022 Chișinău

CERCETĂTOR ȘTIINȚIFIC UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

Proiect: 20.80009.5107.13 Elaborarea tehnologiei de producere a cătinii albe în sistem ecologic și a prelucrării fructelor și biomasei

31/08/2020 – 31/07/2022 Chișinău

ASISTENT UNIVERSITAR UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

Memtenanța mașinilor și Ingineria Materialelor

05/2018 – 06/2020

MAISTRU DE INSTRUIRE ȘI ASISTENT UNIVERSITAR (CUMUL) UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

04/2015 – 06/2018

SPECIALIST ÎN DOMENIUL SECURITĂȚII ȘI SĂNĂTĂȚII ÎN MUNCĂ UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

08/2011 – 05/2015

ȘEF ATELIER DIDACTIC ȘI ASISTENT UNIVERSITAR (CUMUL) AL CATEDREI MENTENANȚA MAȘINILOR UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

● COMPETENȚE LINGVISTICE

Limbă(i) maternă(e): **ROMÂNĂ**

Altă limbă (Alte limbi):

	COMPREHENSIUNE		VORBIT		SCRIS
	Comprehenșiune orală	Citit	Exprimare scrisă	Conversație	
UCRAINEANĂ	B2	B1	A2	A2	A1
ENGLEZĂ	A1	A1	A1	A1	A1

Niveluri: A1 și A2 Utilizator de bază B1 și B2 Utilizator independent C1 și C2 Utilizator experimentat

● COMPETENȚE

Microsoft Office | auto CAD | ScketchUp

● COMPETENȚE DE COMUNICARE ȘI INTERPERSONALE

Competențe de comunicare și interpersonale

Comunicare verbală și în scris;
Adaptarea mesajului în funcție public și context;
Lucru în echipă;
Construirea și menținerea relațiilor profesionale.

● PROIECTE

2024 – ÎN CURS

Elaborarea și implementarea bunelor practici de aGRicultură durabilă și rEZiliENță climatică

2020 – 2022

Elaborarea tehnologiei de producere a cătinii albe în sistem ecologic și a prelucrării fructelor și biomasei

2020 – 2022

Mobilizarea resurselor genetice vegetale, ameliorarea soiurilor de plante, valorificarea lor ca culturi furajere, melifere și energetice în circuitul bioeconomic

2020 – 2022

Improving the Quality of Solid Biofuels Produced from Raw Material Collected from Both Sides of Prut River

● PUBLICAȚII

2024

The quality assurance of densified solid biofuels produced from vineyard residues in the Republic of Moldova: a case study for the "Cabernet" and "Moldova" varieties

Autori: MARIAN, Grigore, NAZAR, Boris, GUDIMA, Andrei, ALEXIOU-IVANOVA, Tatiana, MARIAN, Teodor, PAVLENCO, Andrei, BANARI, Alexandru, MALAI, Leonid | **Denumirea publicației/conferinței:** Life sciences today for tomorrow

2022

Evaluation of Agricultural Residues as Organic Green Energy Source Based on Seabuckthorn, Blackberry, and Straw Blends

Autori: MARIAN, Grigore, IANUȘ, Gelu, ISTRATE, Bogdan, BANARI, Alexandru, NAZAR, Boris, MUNTEANU, Corneliu, MĂLUȚAN, Teodor, GUDIMA, Andrei, CIOLACU, Florin, DARADUDA, Nicolae, PALEU, Viorel | **Denumirea publicației/conferinței:** Agronomy | **Volum, număr, pagini:** 9 | **Editura:** 12

MULȚUMIRI

Exprim sincere mulțumiri și profundă recunoștință conducătorului științific, dr. hab., prof. univ. Grigore MARIAN, pentru sprijinul constant, îndrumarea riguroasă și sfaturile valoroase oferite de-a lungul activității mele de cercetare. Contribuția domniei sale a fost esențială în elaborarea acestei teze, iar exigența științifică și susținerea permanentă au avut un rol definitoriu în formarea mea profesională și academică.

Adresez mulțumiri colegilor din cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi al UTM: dr. în științe tehnice, conf. univ. Boris NAZAR, precum și domnilor Andrei GUDÎMA și Leonid MALAI, pentru sprijinul acordat, colaborarea profesională și contribuțiile valoroase la desfășurarea cercetărilor.

Mulțumesc domnilor dr. în științe ingineresti Eduard BANARI, Nicolae DARADUDA și Andrei GHEORGHÎȚA pentru asistența oferită pe parcursul întregului proces de cercetare, precum și pentru suportul acordat în rezolvarea diverselor aspecte tehnice.

Adresez mulțumiri doamnei Irina POMPUȘ, administrator al SRL POMRUBUS din s. Teleșeu, r. Orhei, și domnului Oleg TÎRSÎNA, președintele Uniunii Asociațiilor Producătorilor de Culturi Nucifere, pentru disponibilitatea de a furniza date referitoare la culturile incluse în acest studiu, precum și pentru punerea la dispoziție a materiilor prime sub formă de biomasă (reziduuri vegetale), necesare cercetării.

Mulțumesc colaboratorilor întreprinderii SRL STAR TECH, în persoana domnului director Gheorghe PARFENE, și ai SRL ECO NUTS ENERGY, în persoana domnului inginer Mihail ONCEANU, pentru colaborarea deosebită și pentru punerea la dispoziție a infrastructurii tehnologice. Sprijinul acordat în monitorizarea rezultatelor în producție a fost esențial pentru realizarea cercetărilor și obținerea unor rezultate precise și relevante.

Îi mulțumesc domnului dr. hab. în științe tehnice, Valerian CEREMPEI, pentru îndrumarea critică și, totodată, încurajatoare, precum și pentru cuvintele de zidire, transmise cu înțelepciune și discernământ, care au avut un efect catalizator în pregătirea și susținerea tezei.

Mulțumesc familiei mele pentru încurajarea continuă.

Mulțumesc mamei și tatei pentru sprijinul lor necondiționat.

Mulțumesc lui **DUMNEZEU**.