

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

C.Z.U: 631.539.3

DARADUDA NICOLAE

**VALORIFICAREA BIOMASEI CULTURILOR ENERGETICE
PENTRU PRODUCEREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI
DENSIFICAȚI**

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

Teză de doctor în științe inginerești

Conducător științific:

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

Consultant științific:

Țîței Victor,
conf. cercet., dr.

Autor:

Daraduda Nicolae

CHIȘINĂU 2024

© Daraduda Nicolae, 2024

CUPRINS

ADNOTARE	6
ABSTRACT	7
АННОТАЦИЯ	8
LISTA TABELELOR	9
LISTA FIGURILOR.....	11
LISTA ABREVIERILOR.....	13
INTRODUCERE	15
1. EVALUAREA STĂRII CURENTE ÎN FABRICAREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI OBȚINUȚI DIN CULTURI ENERGETICE.....	23
1.1. Biomasa vegetală – materie primă cheie pentru producerea BCSD în Republica Moldova.....	23
1.1.1. Situația curentă cu privire la resursele de biomasă vegetală pentru producerea biocombustibililor solizi densificați	23
1.1.2. Particularitățile principalelor tipuri de biomasă lignocelulozică cu potențial de folosire la producerea BCSD.....	24
1.1.3. Situația cu privire la producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova.....	26
1.2. Perspectivele folosirii plantelor energetice în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați	28
1.2.1. Plantele energetice cu perspectivă de folosire la producerea BCSD.....	28
1.2.2. Clasificarea culturilor energetice potrivite pentru a fi utilizate ca materie primă la fabricarea BCSD.....	29
1.2.3. Culturi energetice ierboase anuale și bianuale	31
1.2.4. Culturi energetice ierboase perene	32
1.2.5. Culturi energetice lemnoase	35
1.3. Definirea BCSD pasibili de a fi certificați EN <i>plus</i>	38
1.3.1. Generalități referitoare la calitatea BCSD și factorii de influență.....	38
1.3.2. Influența variabilelor de procesare asupra calității BCSD	42
1.3.3. Metode de optimizare a calității BCSD fabricați din materie primă autohtonă	45
1.4. Sinteză, scopul și sugestii pentru direcții de cercetare	46
2. ABORDAREA GENERALĂ ÎN CERCETARE, RESURSE UTILIZATE, TEHNICI	

DE PREPARARE ȘI METODE DE EVALUARE	48
2.1. Proiectarea experimentelor	48
2.2. Metode și instrumente de cercetare în estimarea BCSD din culturi energetice	51
2.2.1. Selectarea obiectului cercetării, eșantionarea și prepararea eșantioanelor pentru studiul experimental	51
2.2.2. Estimarea conținutului de umiditate	53
2.2.3. Estimarea conținutului de cenușă reziduală.....	54
2.2.4. Evaluarea valorii calorifice și densității energetice	56
2.2.5. Analiza chimică și analiza SEM a biomasei și a produselor finite.....	58
2.2.6. Aparatura și echipamente folosite în cercetarea experimentală	59
2.3. Concluzii la capitolul 2.....	61
3. EVALUAREA RESURSELOR DURABILE DE BIOMASĂ GENERATĂ DE CULTURILE ENERGETICE, DIN PERSPECTIVA UTILIZĂRII LA FABRICAREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI CERTIFICAȚI ENPLUS	62
3.1. Perspective referitoare la evaluarea resurselor durabile de biomasă pentru scopuri energetice.....	62
3.2. Aspecte generale privind producerea energiei regenerabile din biomasă în condițiile Republicii Moldova și asigurarea calității acesteia	63
3.2.1. Semnificația și evaluarea resurselor durabile de biomasă ca materie primă adecvată pentru producerea BCSD în Republica Moldova.....	63
3.2.2. Evaluarea indicatorilor de calitate ai biomasei obținute din plante destinate producției energetice, cu potențial de a fi utilizate ca materie primă pentru producția BCSD	68
3.2.3. Perspectivele folosirii biomasei generate de genotipurile de Miscanthus la producerea BCSD	70
3.3. Concluzii la capitolul 3.....	75
4. MĂRIREA NIVELULUI DE CALITATE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI CONFORM STRATEGIILOR PENTRU DEZVOLTAREA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE	77
4.1. Scopul și ordinea de realizare a investigațiilor.....	77
4.2. Aspectele introductive referitoare la producerea BCSD din biomasă vegetală, în general și din amestecuri cu folosirea potențialului culturilor energetice, în special.....	79
4.3. Calitatea BCSD din culturi energetice din familia Asteraceae.....	83
4.3.1. Calitatea BCSD din biomasă de Silphium perfoliatum.....	83

4.3.2. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din <i>Silphium perfoliatum</i> prin formarea de amestecuri.....	85
4.4. Calitatea BCSD din culturi energetice din familiile Poaceae și Salicaceae	87
4.4.1. Calitatea biocombustibililor solizi densificați din biomasă de <i>Miscanthus</i>	87
4.4.2. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din <i>Miscanthus</i> prin formarea de amestecuri cu diferite reziduuri agricole	94
4.4.3. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din <i>Miscanthus</i> ; Salcie energetică și plop hibrid energetic prin formarea de amestecuri cu diferite culturi energetice	99
4.5. Efectul variabilelor de proces asupra densității particulelor brichetelor produse din materie primă formată din amestecuri de culturi energetice	107
4.6. Concluzii la capitolul 4.....	113
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	115
RECOMANDĂRI ȘI PERSPECTIVE	118
REFERINȚE BIBLIOGRAFICE	119
ANEXE	149

ADNOTARE

DARADUDA Nicolae. „Valorificarea biomasei culturilor energetice pentru producerea biocombustibililor solizi densificați”.

Teză de doctor în științe inginerești, Chișinău, 2024.

Structura tezei: Introducere, 4 capitole, bibliografie din 238 titluri, 5 anexe, 104 pagini (până la bibliografie), 24 figuri, 22 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în (2 - publicații indexate în SCOPUS, 4 - baze de date internaționale, 8 - comunicări la conferințe științifice internaționale sau cu participare internațională, 3 - articole în reviste din RM, 5 - teze în lucrările conferințelor științifice internaționale (RM), un brevet de invenție (Brevet MD 1734 Y 10.01.2023), 1 capitol în monografie.

Cuvinte-cheie: Amestecuri; Biocombustibili solizi densificați; Biomasă lignocelulozică; Calitatea BCSD; Culturi energetice; ENplus; Regimuri de densificare; Rezinuuri agricole.

Scopul lucrării: Valorificarea biomasei provenite din diferite culturi energetice pentru producerea BCSD în toate aspectele prevăzute de sistemul de certificare ENplus.

Obiectivele lucrării: Evaluarea situației actuale cu privire la producerea BCSD din culturi energetice; determinarea factorilor care determină calitatea BCSD și evaluarea contribuției lor în procesul de certificare ENplus; dezvoltarea metodologiei de cercetare; evaluarea resurselor durabile de biomasă obținută din diferite culturi energetice, prin prisma utilizării lor în producția BCSD conform normelor ENplus; extinderea bazei de cunoștințe cu privire la căile de îmbunătățire a calității BCSD; diseminarea rezultatelor obținute în teza de doctorat; implementarea și adoptarea celor mai bune decizii în utilizarea biomasei generate de culturile energetice la producerea BCSD.

Noutatea științifică: examinare stadiului curent referitor la obținerea BCSD din biomasa provenită din culturi energetice și amestecuri în vederea certificării ENplus; elaborarea și utilizarea unei instalații de laborator originale pentru studierea procesului de densificare a BCSD funcție de regimurile tehnologice și starea materiei prime; identificarea specificului cantitativ și calitativ al biomasei generate de diferite culturi energetice adecvate pentru producerea BCSD certificați ENplus; obținerea de informații noi cu privire la îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din culturile; elaborarea recomandărilor pentru producerea BCSD certificați ENplus.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante: constau într-o justificare științifică solidă și într-o argumentare bazată pe experimente a căilor de valorificare a biomasei lignocelulozice provenită din culturi energetice pentru producerea BCSD în toate aspectele prevăzute de sistemul de certificare ENplus, *fapt ce a confirmat oportunitatea* folosirii biomasei de culturi energetice la producerea BCSD și furnizarea unui set de recomandări valoroase pentru specialiștii și producătorii din domeniul BCSD.

Semnificația teoretică: dezvoltarea și consolidarea cunoștințelor științifice referitoare la valorificarea biomasei provenite din culturi energetice pentru producerea BCSD pretabili certificării ENplus prin identificarea specificului calitativ și cantitativ al materiei prime și al produsului finit funcție de factorii de influență a calității acestora.

Valoarea aplicativă: capacitatea de a furniza specialiștilor și producătorilor de BCSD informații foarte importante referitoare la aspectul calitativ și cantitativ al diferitor specii de biomasă de culturi energetice și a amestecurilor formate din aceste specii și cu privire la căile de asigurare a calității produsului finit și de perfecționare a curriculumurilor universitare cu tangență la domeniul respectiv.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele obținute au fost implementate în curricula cursului Teorii și tehnologii de management al deșeurilor agricole, studii masterat, specializarea 071.MS.06. Agroinginerie. Rezultatele obținute sunt implementate la SRL ESSENTIALIS, Chișinău (Anexa 5).

ABSTRACT

DARADUDA Nicolae "Exploiting the biomass of energy crops for producing densified solid biofuels".

PhD thesis in engineering sciences, Chisinau, 2024.

Thesis structure: Introduction, 4 chapters, bibliography of 238 titles, 5 appendices, 104 pages (up to the bibliography), 24 figures, 22 tables. The obtained results are published in (2 - publications indexed in SCOPUS, 4 - international databases, 8 - communications at international scientific conferences or with international participation, 3 - articles in journals from Moldova, 5 - theses in the proceedings of international scientific conferences (Moldova), one invention patent (Patent MD 1734 Y 10.01.2023), 1 chapter in a monograph.

Keywords: Mixtures; Densified Solid Biofuels; Lignocellulosic Biomass; BCSD Quality; Energy Crops; *ENplus*; Densification Regimes; Agricultural Residues.

Purpose of the paper: Exploiting the biomass from various energy crops for producing DSB in all aspects provided by the *ENplus* certification system.

Objectives of the paper: Evaluating the current situation regarding the production of DSB from energy crops; identifying the factors determining the DSB quality and evaluating their contribution in the *ENplus* certification process; developing the research methodology; assessing the sustainable biomass resources obtained from various energy crops, considering their use in DSB production according to *ENplus* standards; gaining new insights into ways to improve DSB quality; disseminating the results obtained in the doctoral thesis; implementing and adopting the best decisions in using biomass generated by energy crops in DSB production.

Scientific novelty: Examining the current stage regarding the production of DSB from biomass derived from energy crops and mixtures for *ENplus* certification; designing and using an original laboratory installation for studying the DSB densification process depending on technological regimes and raw material state; identifying the quantitative and qualitative specifics of biomass generated by different energy crops suitable for producing *ENplus* certified DSBS; obtaining new information on improving the quality of DSB from biomass derived from crops; developing recommendations for producing *ENplus* certified DSB.

Results contributing to solving a significant scientific problem: They consist of a solid scientific justification and an argument based on experiments for exploiting lignocellulosic biomass from energy crops to produce DSB in all aspects provided by the *ENplus* certification system, which confirmed the opportunity to use biomass from energy crops in DSB production and providing a set of valuable recommendations for experts and producers in the DSB field.

Theoretical significance: Developing and consolidating scientific knowledge about exploiting biomass from energy crops to produce DSB suitable for *ENplus* certification by identifying the qualitative and quantitative specifics of raw materials and the finished product based on the influencing factors of their quality.

Practical value: The ability to provide DSB specialists and producers with crucial information regarding the qualitative and quantitative aspects of various biomass species from energy crops and mixtures formed from these species and about the ways to ensure the product's quality and refining university curricula related to the respective field.

Implementation of scientific results: The results obtained were implemented in the curriculum of the course "Theories and Technologies of Agricultural Waste Management", master's studies, specialization 071.MS.06. Agricultural Engineering. The obtained results are implemented at SRL ESSENTIALIS, Chişinău (*Annex 5*).

АННОТАЦИЯ

ДАРАДУДА Николае. «Использование биомассы энергетических культур для производства уплотненного твердого биотоплива»,

Диссертация кандидата инженерных наук, Кишинев, 2024 г.

Структура диссертации: Введение, 4 главы, библиография из 238 наименований, 5 приложений, 104 страницы (до библиографии), 24 рисунка, 22 таблицы. Полученные результаты опубликованы в (2 - публикации, индексируемые в SCOPUS, 4 - международные базы данных, 8 - сообщения на международных научных конференциях или с международным участием, 3 - статьи в журналах из Молдовы, 5 - тезисы в материалах международных научных конференций (Молдова), один патент на изобретение (Патент MD 1734 Y 10.01.2023), 1 глава в монографии).

Ключевые слова: Смеси; Уплотненные твердые биотоплива; Лигноцеллюлозная биомасса; Качество; Энергетические культуры; Режимы уплотнения; С.-х. отходы.

Цель работы: Использование биомассы, полученной из различных энергетических культур, для производства УТБ со всеми аспектами, предусмотренными системой ENplus.

Задачи работы: Оценка текущего состояния производства УТБ из энергетических культур; определение факторов, влияющих на качество УТБ и оценка их вклада в сертификации ENplus; разработка методологии исследования; оценка устойчивых источников биомассы, полученной из различных энергетических культур, с точки зрения их использования в соответствии с стандартами ENplus; получение новых знаний о способах улучшения качества УТБ; принятие и внедрение лучших решений по использованию биомассы, полученной из энергетических культур, для производства УТБ.

Научная новизна: исследование текущего состояния получения УТБ из биомассы, полученной из энергетических культур и их смесей, с целью сертификации ENplus; разработка и использование оригинального лабораторного оборудования для проведения исследований; определение количественных и качественных характеристик биомассы из различных энергетических культур, подходящих для производства сертифицированного УТБ ENplus; получение новой информации о способах улучшения качества УТБ из энергетических культур; разработка рекомендаций по производству УТБ ENplus.

Полученные результаты, которые способствуют решению важной научной проблемы: научно обоснованное и экспериментально подтвержденное использование биомассы из энергетических культур для производства УТБ во всех аспектах, предусмотренных системой сертификации ENplus, что подтвердило целесообразность использования биомассы из энергетических культур для производства УТБ и предоставило ценный набор рекомендаций для специалистов и производителей в области УТБ.

Теоретическое значение: развитие и укрепление научных знаний о использовании биомассы из энергетических культур для производства УТБ, подходящего для сертификации ENplus, путем определения качественных и количественных характеристик сырья и готового продукта в зависимости от факторов, влияющих на их качество.

Практическая ценность: возможность предоставления специалистам и производителям УТБ важной информации относительно качественных и количественных характеристик различных видов биомассы из энергетических культур и из смесей этих видов, а также методов обеспечения качества готового продукта и совершенствования университетских программ, связанных с этой областью.

Внедрение научных результатов: полученные результаты были внедрены в учебную программу курса Теории и технологии управления с.-х. отходами, магистратура, специализация 071.MS.06. Агроинженерия. Полученные результаты реализованы в SRL ESSENTIALIS, Кишинев (Приложение 5).

LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1. Valoarea calorică a peleișilor din biomasă colectată în Republica Moldova.....	25
Tabelul 1.2. Principalele specii de culturi energetice cu perspectivă reală de a fi folosite în calitate de materie primă la producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova	30
Tabelul 1.3. Particularitățile fizico-mecanice ale biomasei solide tocate și a brichetelor produse din această biomasă.....	37
Tabelul 1.4. Clasificarea peleișilor după diferite proprietăți.....	40
Tabelul 1.5. Clasificarea brichetelor după diferite proprietăți.....	41
Tabelul 3.1. Potențialul energetic al biomasei generate de reziduurile obținute de la emondarea câtorva soiuri de cătină albă	66
Tabelul 3.2. Calitatea reziduurilor vegetale rezultate de la emondarea anumitor soiuri de cătină albă	67
Tabelul 3.3. Potențialul energetic al biomasei vegetale generat de reziduurilor agricole lemnoase în Republica Moldova	68
Tabelul 3.4. Proprietățile culturilor energetice pretabile pentru a fi utilizate ca materie primă în procesul de producție a BCSD	69
Tabelul 3.5. Rezultatele analizei proximale a biomasei <i>Miscanthus x giganteus</i> și <i>Miscanthus sinensis</i>	72
Tabelul 3.6. Densitatea energetică a biomasei generate de <i>M. x giganteus</i> și <i>M. sinensis</i>	73
Tabelul 3.7. Rezultatele analizei chimice a probelor de biomasă de <i>M. x giganteus</i> și <i>M. sinensis</i>	73
Tabelul 4.1. Planul de experimente în coordonate codate pentru studiul dependenței densității particulelor (DE) de regimurile tehnologice de densificare a BCSD.....	78
Tabelul 4.2. Parametrii calitativi ai peleișilor produși din reziduuri agricole arboricole	82
Tabelul 4.3. Proprietățile brichetelor și peleișilor din <i>Silphium perfoliatum</i> prezentate de unii autori și obținute de către noi în cadrul prezentelor cercetări.....	84
Tabelul 4.4. Caracteristicile brichetelor produse din amestecuri de <i>Silphium perfoliatum</i> (SP) cu reziduuri de cătină albă (CA), reziduuri agricole arboricole (RAA) și cu reziduuri de viță-de-vie (V-V).....	86
Tabelul 4.5. Estimarea cantitativă și calitativă a biomasei, generate de genotipurile <i>Miscanthus x giganteus</i> , <i>Titan</i> și <i>Miscanthus sinensis</i>	89
Tabelul 4.6. Caracteristicile BCSD produși din <i>Miscanthus</i> conform datelor din publicațiile de	

specialitate corelate cu cele obținute de către autor	93
Tabelul 4.7. Calitatea brichetelor produse din amestecuri de <i>Miscanthus x Giganteus</i> și diferite reziduuri agricole	98
Tabelul 4.8. Calitatea brichetelor produse din amestecuri de <i>Miscanthus x Giganteus</i> cu alte tipuri de culturi energetice cu diferite proporții	101
Tabelul 4.9. Parametrii calitativi ai probelor de brichete comprimate din amestecuri de <i>Miscanthus Giganteus</i> + Hrișcă de Sahalin cu diferite cantități adăugate de reziduuri de cățina albă și plop hibrid energetic	104
Tabelul 4.10. Densitatea particulelor (DE) a probelor produse din amestec de <i>Miscanthus</i> (50%) + Reziduuri agricole arboricole (50%) funcție de temperatura (T) și presiunea densificării (P) și de conținutul de umiditate al materiei prime înainte de densificare(M).....	111

LISTA FIGURILOR

Fig. 1.1. Producția primară și consumul intern brut de biocombustibili în perioada 2016-2021..	26
Fig. 1.2. Lanțul de aprovizionare cu BCSD:	43
Fig. 2.1. Algoritmul cercetărilor tezei de doctorat	49
Fig. 2.2. Secvențe din timpul prelevării probelor pentru estimarea calitativă și cantitativă a biomasei de culturi energetice.....	52
Fig. 2.3. Eșantioanele de biomasă colectate de pe loturile experimentale, Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Republica Moldova	52
Fig. 2.4. Secvențe referitoare la estimarea conținutului de umiditate a obiectului cercetării.....	54
Fig. 2.5. Secvențe referitoare la estimarea conținutului de cenușă.....	55
Fig. 2.6. Aspecte din timpul determinării valorii calorifice superioare la calorimetrul izoperibolic IKA C6000 în LȘBCS, UTM.....	57
Fig. 2.7. Vederea generală și schema dispozitivului pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete.....	60
Fig. 3.1. Dinamica consumului de produse energetice total și celor provenite din biocombustibili solizi și deșeuri	64
Fig. 3.2. Secvențe din timpul colectării și mărunțirii grosiere a probelor de <i>Miscanthus Giganteus</i> pe loturile Grădinii Botanice din Republica Moldova în luna martie	71
Fig. 3.3. Imagini SEM ale particulelor de biomasă mărunțită de <i>Miscanthus x giganteus</i> (a.h.) .	74
Fig. 4.1. Distribuția ligninei în secțiunea transversală a peleților produși din <i>Miscanthus</i> observată prin microscopie cu fluorescență confocală.	92
Fig. 4.2. Imagini SEM ale biomasei lemnoase mărunțite la diferite mărimi:.....	95
Fig. 4.3. Difractograme cu raze X neprelucrate (a) și deconvolute ale: reziduurilor lemnoase de cais (b), de piersic (c) și de prun (d).....	96
Fig. 4.4. Probe de brichete din amestecurile studiate: a) - <i>Miscanthus x Giganteus</i> ; b) MG 50%+CA 50%; c) - MG 50%+RAA 50%;; d) - MG 50%+V-V 50%; e - MG 50%+PR 50%;	97
Fig. 4.5. Densitatea particulelor brichetelor din amestecuri de MG +HS cu adaus de reziduuri de cătină albă în diferite proporții	102
Fig. 4.6. Conținutul de sulf în brichetele produse din amestecuri de MG +HS cu adaus de reziduuri de cătină albă în diferite proporții	103
Fig. 4.7. Probe de brichete densificate din MG 100%; amestec de MG + HS și amestecuri de CA30%, restul amestec de MG și HS în proporții egale, a) înainte și b) după încercări la durabilitate.....	104

Fig. 4.8. Densitatea particulelor probelor de brichete din amestecuri de PHE +CA și PHE+RAA în diferite proporții	105
Fig. 4.9. Conținutul de cenușă al probelor de brichete din amestecuri de PHE +CA și PHE+RAA în diferite proporții	106
Fig. 4.10. Probe de brichete produse din amestecuri de Plop hibrid energetic (PHE) și reziduuri de cătină albă (CA) și de pomi fructiferi (RAA): PHE 100%; PHE 30%+CA70%; PHE 40+RAA 60%.....	107
Fig. 4.11. Diagrama Pareto și graficul efectelor temperaturii și presiunii densificării și a conținutului de umiditate.....	112
Fig. 4.12. Suprafețele de răspuns și graficele de nivel referitoare la densitatea particulelor pentru diferite condiții ale M și T.....	113

LISTA ABREVIERILOR

A	~ conținutul de cenușă
A_d [W-%]	~ conținutul de cenușă în bază uscată în procente masă
a.h.	~ "autumn harvest" - recoltare toamnă
ar	~ la recepție
BD	~ densitatea în vrac
BD_{rec}	~ densitatea în vrac a biomasei estimată imediat după recoltare
BD_d	~ densitatea în vrac a biomasei calculată în bază uscată
BD_{M=10%}	~ densitatea în vrac a biomasei calculată pentru umiditate de 10%
BCSD	~ biocombustibili solizi densificați
BLC	~ biomasă lignocelulozică
C	~ conținutul de carbon
CA	~ cătină albă
Ce	~ celuloză
C_f	~ conținutul de carbon fix
Cal.	~ calorie
Cl	~ conținutul de clor
D	~ simbol pentru diametru în stare de recepție
d	~ în stare uscată
DE	~ densitatea energetică
DU	~ durabilitatea mecanică
ED	~ densitatea particulelor
EN_{plus}	~ sistem de certificare a calității la nivel european pentru BCSD de lemn
F	~ conținutul fracției fine
GB	~ Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”
H	~ conținutul de hidrogen
HCe	~ hemiceluloză
HS	~ hrișcă de sahalin
LȘBCS	~ Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi
L	~ lignină
M	~ conținutul de umiditate, %(w)
M_{ar}	~ conținutul de umiditate la recepție

M_d	~ conținutul de umiditate în bază uscată (umiditatea absolută)
MG	~ Miscanthus giganteus
MGT	~ Miscanthus x Giganteus Titan
MJ	~ MegaJoule
MS	~ Miscanthus sinensis
MV	~ conținutul de materii volatile în procente masă estimat în bază uscată
m	~ masa
N	~ conținutul total de azot
O	~ conținutul total de oxigen
q_{p.net. ar}	~ valoarea calorifică inferioară (netă) la presiune constantă determinată pentru probe cu umiditatea stabilită la recepție
q_{p.net. dr}	~ valoarea calorifică inferioară la presiune constantă determinată în bază uscată
q_{p.net. M=i%}	~ valoarea calorifică inferioară la presiune constantă determinată pentru probe cu umiditatea i%
q_{v,gr}	~ valoarea calorifică superioară la volum constant
q_{v,gr.d}	~ valoarea calorifică superioară la volum constant determinată pentru probe uscate
PR	~ Paie de rapiță
RAA	~ reziduuri agricole arboricole
RV-V	~ reziduuri de viță-de-vie
S	~ conținutul de sulf
s.h.	~ "spring harvest"- recoltare primăvară
SEM	~ microscopie electronică cu scanare
SRE	~ surse regenerabile de energie
SP	~ Silphium perfoliatum
UASM	~ Universitatea Agrară de Stat din Moldova
UTM	~ Universitatea Tehnică a Moldovei
w%	~ procente masă

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei abordate. Utilizarea biocombustibililor solizi densificați (BCSD) în calitate de combustibil pentru uz rezidențial și industrial este tot mai răspândită pe plan mondial și în Republica Moldova datorită avantajelor pe care le posedă. Biomasă și biocombustibili solizi constituie una din alternativele importante la combustibilii fosili.

De mai mult timp, politicile europene contribuie la creșterea producției energiei regenerabile din biomasă. Drept rezultat ale acestor politici este generarea a unui șir de prevederi legislative ale UE și, implicit, ale Republicii Moldova privind promovarea SRE și protecția mediului. Astfel, în cartea albă privind sursele regenerabile, UE și-a punctat ca până în 2010 cel puțin 12 % din consumul de energie să provină din surse regenerabile, în 2009 s-a stabilit obiectivul 20-20 care prevedea ca, până în anul 2020, consumul de energie al UE provenite din SRE să constituie cel puțin 20% (PARLAMENTUL EUROPEAN, 2018). În anul 2018, s-a stabilit pentru următorii zece ani un obiectiv și mai ambițios, care prevede ca, până în anul 2030, 32% din consumul de energie al UE să provină din surse regenerabile (PARLAMENTUL EUROPEAN, 2023).

Potrivit mai multor autori (ANDRONIC și ANDRONIC, 2015; CEBAN, 2014; Hăbășescu et al., 2009; MARIAN, IANUȘ, et al., 2022; CIOLACU et al., 2022; PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018; MARIAN, 2016) se aduc argumente concrete despre faptul că folosirea biomasei vegetale este o cale suplimentară și sigură pentru atingerea obiectivelor țintă privind dezvoltarea SRE și privind protecția mediului stabilite prin Strategia Energetică a Republicii Moldova până în anul 2030 (SE 2030, 2013), și prin conceptul Strategiei Energetice a Republicii Moldova (SEM 2050, 2023) precum și Strategia de dezvoltare cu emisiile reduse a Republicii Moldova până în anul 2030 (HOTĂRÂREA DE GUVERN, 2016) (Anexa nr.1 la HG nr. 1470 din 30.12.2016) și Strategia de mediu pentru anii 2014-2023 aprobată prin HG nr. 301 din 24.04.2014 (HOTĂRÂREA DE GUVERN, 2014), Regulamentul cu privire la biocombustibilul solid (HOTĂRÂREA DE GUVERN, 2013).

În același rând, mai multe studii realizate cu privire la folosirea biomasei vegetale ca element de bază pentru fabricarea BCSD în Republica Moldova au demonstrat că, în ciuda faptului că există o cantitate enormă de biomasă adecvată de a fi folosită ca material de bază pentru producerea BCSD, doar o parte din aceasta poate fi folosită direct pentru a produce peleți și brichete certificate conform normelor EN*plus* (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021; PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018; GUDÎMA, 2017).

O alternativă pentru asigurarea industriei de producere a BCSD cu materie primă este

biomasa generată de diferite culturi energetice. Această biomasă prezintă caracteristici distincte față de biomasa tradițională, utilizată în procesul de fabricație a BCSD din reziduuri agrosilvice. Diferențele sunt evidențiate de compoziția chimică specifică a biomasei și de variația sa eterogenă în ceea ce privește capacitatea de compactare (DARADUDA și MARIAN, 2022; ANGELOVA, 2020; HAAG et al., 2015; ȚIȚEI, ROSCA, et al., 2021; IVANOVA et al., 2015). Particularitățile menționate fac dificilă standardizarea și modelarea BCSD din anumite culturi energetice.

Pentru a aduce clarificări în această situație a fost elaborată și implementată seria de standarde ISO 17225, acceptate și în Republica Moldova cu numărul de identificare SM EN ISO 17225 1-9 2021, iar în baza acestor standarde a fost creat sistemul de certificare a calității la nivelul Uniunii Europene – *ENplus*. Acest sistem presupune garantarea aprovizionării beneficiarilor cu BCSD cu o calitate clar definită. Inițial, certificarea *ENplus* se referea la peleții de lemn, însă, apoi, în mai multe țări, a fost extins și pentru certificarea altor tipuri de biocombustibili în sensul corespunderii cerințelor standardului SM EN ISO 17225:2021.

Parametrii calitativi precizați de către *ENplus* prezintă o țintă spre care trebuie să tindă producătorii de BCSD, dar și cercetătorii din domeniu, atunci când abordează subiecte ce țin de calitatea BCSD. Dacă aspectele privind respectarea standardelor EN Plus în ceea ce privește calitatea biomasei vegetale și a produselor finale produse din resturi agrosilvice, sunt tratate în mod exhaustiv în literatura științifică (MARIAN, DARADUDA, et al., 2021; JEWIARZ, MUDRYK, et al., 2020; FERREIRA et al., 2018; ALAKANGAS și IMPOLA, 2020; ALAKANGAS, 2016; NUNES et al., 2021), atunci discuțiile referitoare la utilizarea eficientă a biomasei provenite din culturile energetice sunt mai modeste în acest context. Această situație devine și mai evidentă atunci când se abordează subiectul utilizării eficiente a biomasei autohtone.

Având în vedere informația prezentată anterior se poate afirma că subiectul prezentat în această lucrare corespunde preocupărilor internaționale și naționale referitoare la eficientizarea surselor de energie din biomasă, este actual și este motivat pentru o analiză mai aprofundată. Argumentarea studiului este justificată de semnificația pe care o are eficientizarea folosirii biomasei generate de culturile energetice la producerea BCSD cu caracteristici confirmate standardelor *ENplus* pentru progresul dezvoltării SRE în Republica Moldova.

Lucrarea propune o abordare comprehensivă a problematicii studiului, demers pornit de la evaluarea detaliată a aspectelor legate de calitatea biomasei și a produsului finit în formă de brichete și peleți. Se intenționează să se înțeleagă fezabilitatea folosirii biomasei generate de culturile energetice în producția de BCSD cu certificare *ENplus*, fie ca materie primă individuală, fie în amestecuri, folosind și alte tipuri de biomasă prezente în Republica Moldova.

Teza de doctorat, se înscrie în Prioritatea strategică V „Competitivitate economică și

tehnologii inovative” din Domeniile cercetării și inovării din Republica Moldova, direcția strategică „Materiale, tehnologii și produse inovative” (HOTĂRÂREA DE GUVERN, 2019).

Scopul lucrării. Obiectivul general al prezentei lucrări este valorificarea biomasei generate de culturile energetice pentru producerea BCSD în toate aspectele prevăzute de sistemul de certificare ENplus.

Obiectivele lucrării. În vederea realizării scopului stabilit au fost formulate următoarele obiective:

1. Evaluarea situației actuale cu privire la producerea BCSD din culturi energetice;
2. Identificarea factorilor care determină calitatea BCSD și evaluarea contribuției lor în procesul de certificare ENplus;
3. Dezvoltarea metodologiei de cercetare și amenajarea laboratorului necesar pentru realizarea obiectivelor propuse;
4. Evaluarea resurselor durabile de biomasă generată de culturile energetice, prin prisma utilizării lor în producția BCSD conform normelor ENplus;
5. Extinderea bazei de cunoștințe cu privire la căile de îmbunătățire a calității BCSD în conformitate cu obiectivele politicilor naționale și internaționale cu privire la dezvoltarea SRE;
6. Diseminarea rezultatelor obținute în teza de doctorat prin publicarea de lucrări științifice, participarea la diferite manifestări științifice cu tematica tezei de doctorat;
7. Implementarea și adoptarea celor mai bune decizii în utilizarea biomasei generate de culturile energetice la producerea BCSD cu caracteristici conforme ENplus, furnizarea de soluții și răspunsuri pentru producătorii de BCSD în vederea unei utilizări eficiente a biomasei generate de culturile energetice.

Obiectul cercetărilor este biomasa provenită din culturi energetice și BCSD din această biomasă. Cercetările se concentrează pe aspectul concordării calității BCSD din culturile energetice în comparație cu cerințele standardelor în vigoare și evidențierea măsurilor de îmbunătățire a calității produselor finite.

Subiectul cercetărilor include evaluarea cantitativă și calitativă a obiectului cercetărilor din perspectiva valorificării acestuia pentru producerea de BCSD certificați ENplus.

Ipoteza de cercetare înaintată este concentrată pe studiul obiectului de cercetare axată pe fezabilitatea utilizării biomasei generate de culturile energetice omologate în Republica Moldova pentru producerea BCSD cu caracteristici care îndeplinesc cerințele ENplus.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese. Structura investigațiilor este rezultatul unui studiu detaliat efectuat în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi, UTM, în Laboratorul de Microscopie Electronică, Facultatea de Mecanică și Departamentul de Polimeri Naturali și Sintetici din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului „Cristofor Simionescu” Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”.

Cercetările experimentale s-au efectuat cu utilizarea metodelor standard acceptate și

folosite în cadrul LȘBCS. Toate metodele de cercetare și utilajul folosit au fost validate conform normelor stabilite de către legislația Republicii Moldova și cerințele standardului (SM EN ISO/IEC 17025:2018, 2018).

Valoarea calorifică superioară s-a estimat folosind calorimetrul izoperibolic IKA C6000 evaluată pentru mediu cu volum constant, conform cerințelor standardului (SM EN ISO 18125:2017, 2017).

Conținutul de umiditate s-a determinat conform cerințelor standardului (SM EN ISO 18125:2017, 2017), iar conținutul de cenușă a fost determinat prin calcinarea treptată a probelor într-un cuptor electric tip LAC LH 05/13 la 550°C pe parcursul minimum a 6 ore conform prevederilor standardului (SM EN ISO 18122:2023, 2023). Conținutul de substanțe volatile a fost dedus prin incinerarea a $(1 \pm 0,1)$ g dintr-o probă analitică cu particule de maxim 1 mm, pregătită conform cerințelor din standardul (SM EN ISO 14780:2017, 2017).

Repetabilitatea experiențelor a fost din 5 replici, iar pentru media acestora a fost determinată abaterea standard și domeniul de încredere.

Morfologia suprafeței lemnului a fost investigată prin microscopie electronică cu scanare în Laboratorul de Microscopie Electronică a UT Gh. Asachi Iași, iar analiza chimică (conținutul de C, H, N, S, Cl) la analizorul Elemental Vario Macro Cube din dotarea LȘBCS și în laboratoarele Departamentului „Polimeri Naturali și Sintetici” din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului „Cristofor Simionescu (conținutul de extractive, lignină, celuloză și hemiceluloză).

Noutatea științifică presupune următoarele:

- examinarea stadiului curent referitor la obținerea BCSD din biomasa generată de culturile energetice și din amestecuri în vederea certificării *ENplus* a produsului finit;
- elaborarea și utilizarea unei instalații de laborator originală (Brevet MD 1734 Y 10.01.2023) care a permis studierea mecanismului de densificare a BCSD funcție de regimurile tehnologice și starea materiei prime;
- identificarea specificului cantitativ și calitativ al biomasei generate de diferite culturi energetice specifice condițiilor Republicii Moldova adecvate pentru a fi folosite ca materie primă în procesul de producție BCSD cu caracteristici care permit certificarea *ENplus*;
- obținerea de informații noi cu privire la îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din culturile energetice în concordanță cu direcțiile de dezvoltare a SRE;
- elaborarea recomandărilor referitoare la definirea compoziției pentru amestecuri de materii prime locale pe bază de biomasă de culturi energetice pentru producerea BCSD certificați *ENplus*.

Teza de doctorat este organizată în 4 capitole: 1. Evaluarea stării curente în fabricarea

biocombustibililor solizi densificați obținuți din culturi energetice; 2. Abordarea generală în cercetare, resurse utilizate, tehnici de preparare și metode de evaluare; 3. Evaluarea resurselor durabile de biomasă generată de culturile energetice, din perspectiva utilizării la fabricarea biocombustibililor solizi densificați certificați *ENplus*; 4. Mărirea nivelului de calitate a biocombustibililor solizi densificați conform strategiilor pentru dezvoltarea surselor regenerabile de energie; Concluzii generale și recomandări.

Capitolul I prezintă o analiză detaliată referitoare la stadiul actual al situației cu privire la producerea BCSD din biomasă provenită din culturi energetice. Materialul este structurat în 4 subcapitole.

Primul subcapitol este dedicat analizei situației curente cu privire la folosirea biomasei indigene la producerea BCSD, însoțită de o evaluare cantitativă și calitativă a surselor de biomasă potrivite pentru a fi folosite ca elemente componente de ranforsare la formarea de amestecuri de materie primă pe baza culturilor energetice.

Investigațiile realizate în acest subcapitol prezintă noutate prin faptul că abordează subiecte ce țin de estimarea specificului principalelor tipuri de biomasă indigenă potrivită pentru a fi folosită la fabricarea BCSD cu caracteristici conforme cu normele specificate *ENplus* și sunt parte componentă pentru realizarea scopului înaintat în teza de doctorat.

Al doilea subcapitol abordează probleme ce țin de studiul datelor existente în literatura științifică referitoare la plantele energetice ca sursă de materie primă folosită la producerea BCSD cu sublinierea importanței originii și speciei pentru asigurarea calității produsului finit. S-a pus accent pe datele referitoare la plantele energetice cu perspectivă de a fi cultivate în Republica Moldova și de a fi utilizate în diferite scopuri. S-a scos în evidență productivitatea acestor plante și cantitatea lor cu perspectivă de a fi folosite la producerea BCSD. În același timp, s-a dat și o clasificare a speciilor de plante energetice din perspectiva utilizării acestora.

Subcapitolul 3 abordează subiectele ce țin de definirea BCSD din perspectiva certificării *ENplus*. Se analizează factorii de influență cu pondere semnificativă asupra calității produsului finit și importanței pentru atingerea scopului propus în această lucrare. Au fost identificate metodele eficiente de optimizare a calității BCSD produși din biomasă indigenă provenită din culturi energetice și din amestecuri cu diferite proporții ale componentelor.

Subcapitolul 4 intitulat „Sinteză, scopul și sugestii pentru direcții de cercetare” este adresat înaintării ipotezei de lucru, formulării scopului tezei de doctorat. În vederea confirmării ipotezei propuse, și realizării scopului înaintat s-au organizat metodele prin care să se atingă obiectivele prestabilite. Acestea includ analiza componentelor care au un impact asupra calității BCSD din biomasă de culturi energetice și estimarea contribuției acestora în procesul de certificare *ENplus*;

dezvoltarea metodicii de cercetare și organizarea laboratorului necesar pentru realizarea obiectivelor propuse; justificarea folosirii resurselor durabile de biomasă derivată din diferite culturi energetice, prin prisma utilizării lor în producția BCSD, conform normelor EN*plus*; Obținerea de informații noi cu privire la îmbunătățirea calității BCSD în conformitate cu obiectivele de promovare a SRE. Prin examinarea detaliată, realizată în acest segment, s-au formulat concluzii și s-au delimitat direcțiile pentru aprofundarea cercetărilor.

Toate subiectele analizate în acest capitol au fost direcționate spre realizarea scopului propus în teza de doctorat și corelate cu obiectivele structurate pentru confirmarea ipotezei de lucru.

Capitolul II este preocupat de descrierea pașilor întreprinși pentru realizarea obiectivelor studiului, a particularităților metodelor și instrumentelor de cercetare folosite în estimarea calitativă și cantitativă a obiectului cercetării și a criteriilor de asigurare a veridicității rezultatelor obținute.

Pentru clarificarea consecutivității cercetărilor a fost creat un algoritm de cercetare care se concentrează pe elucidarea traseului investigațiilor în vederea sporirii calității BCSD produși din diverse surse energetice punând accentul pe cei produși din culturi energetice.

Inițial, a fost definit obiectul și subiectul cercetărilor și au fost culese date relevante din literatura de specialitate și din bunele practici ale sectorului economic care au servit pentru formularea ipotezei și a căilor de confirmare a acesteia.

Pentru cercetările experimentale au fost identificați factorii de influență și cei de răspuns folosiți la studiul cantitativ și calitativ al biomasei care poate fi utilizată la fabricarea BCSD cu caracteristici care corespund cerințelor standardelor în vigoare.

Calitatea obiectului cercetării a fost estimată prin analize proximale și finale realizate conform metodelor standarde validate în LȘBCS UTM cu folosirea echipamentelor din dotarea laboratorului.

Cercetările de laborator au fost realizate prin experimente mono factoriale, iar în cazul necesității estimării influenței simultane a mai multor factori de influență s-au folosit facilitățile experimentelor polifactoriale cu prelucrarea ulterioară a datelor obținute folosind programul STATGRAPHIS.

Pentru studierea influenței regimurilor tehnologice de densificare a biomasei s-a folosit un dispozitiv original pentru studierea procesului de compactare singulară a biomasei în cavitate închisă și în flux cu capacitatea de a monitoriza forța de presiune, temperatura matriței, viteza de compactare, raportul dintre diametrul matriței la intrare și la ieșire și caracteristicile biomasei vegetale supuse procesului de compactare, cum ar fi granulația, conținutul de umiditate, originea

și specificul biomasei.

În capitolul III sunt prezentate aspecte referitoare la evaluarea resurselor durabile de biomasă provenită din diferite culturi energetice, prin prisma folosirii acestora pentru producerea BCSD capabili de a fi certificați *ENplus*.

Obiectivele acestui capitol se referă la obținerea, pe baza studiului literaturii de specialitate și a cercetărilor proprii, a unor date relevante cu privire la semnificația și potențialul resurselor durabile de biomasă cu perspective de folosire în calitate de materie primă adecvată pentru producerea BCSD în Republica Moldova.

În continuare s-au efectuat evaluări atât cantitative, cât și calitative asupra mai multor surse de biomasă autohtone, cu un accent deosebit pus pe biomasă provenită din diverse culturi energetice. A fost acordată o atenție specială identificării perspectivei utilizării biomasei generate de diferitele genotipuri de *Miscanthus* în producția de BCSD, precum și analizei opțiunilor pentru promovarea și optimizarea producției locale de SRE bazate pe biomasă.

Rezultatele obținute au identificat specificul cantitativ și calitativ al biomasei generate de diferite culturi energetice specifice condițiilor Republicii Moldova care pot fi utilizate cu succes ca materie primă în producția de BCSD. Aceste rezultate arată că biomasa provenită din aceste culturi reprezintă o sursă durabilă și adecvată de materie primă pentru fabricarea BCSD.

În plus rezultatele obținute în acest capitol au confirmat viabilitatea ipotezei cu privire fezabilitatea utilizării biomasei generate de culturile energetice omologate în Republica Moldova pentru producerea BCSD cu caracteristici conforme *ENplus*.

Capitolul IV cuprinde cercetările experimentale realizate cu scopul îmbunătățirii calității BCSD în acord cu politicile de dezvoltare a SRE. Se prezintă obiectivele formulate pentru atingerea scopului propus, care presupun analiza stadiului actual; perspectivele utilizării biomasei provenite din culturile energetice și a amestecurilor acestora în procesul de producție a BCSD cu estimarea caracteristicilor acestora; studiul capacității de miscibilitate a celor mai răspândite tipuri de biomasă de culturi energetice cu alte specii de biomasă; perfecționarea tehnologiilor de producere a BCSD prin studiul efectului variabilelor de proces asupra densității particulelor BCSD din materie primă formată din amestecuri de culturi energetice. Pentru realizarea obiectivelor înaintate se specifică particularitățile ordinii de realizare a investigațiilor.

Sintetizând datele prezente în literatura de specialitate și a unor rezultate proprii cu privire la producerea BCSD din biomasă vegetală, în general și din amestecuri cu folosirea potențialului culturilor energetice, în special s-a dedus că reziduurile de cătină albă, a celor rezultate de la emondarea pomilor fructiferi și a viței-de-vie pot reprezenta o sursă viabilă de materie primă pentru producerea BCSD, fie ca material individual, fie ca parte a amestecurilor cu alte tipuri de

biomasă disponibile în Republica Moldova, inclusiv cu cele generate de culturile energetice.

În continuare se prezintă o analiză detaliată a calității BCSD din culturi energetice din familiile Asteraceae, poaceae și salicaceae, folosind mai multe specii de culturi cum sunt *Miscanthus x giganteus*, *Titan* și *Miscanthus sinensis*; sorg zaharat *Sorghum bicolorum var. saccharatum*; hrișcă de Sahalin (*Polygonum sachalinense*), salcie energetică *Salix viminalis 'Turbo'* și plop hibrid energetic (*Populus sp*) utilizate individual, dar și în amestecuri cu alte plante energetice și cu reziduuri agricole care au prezentat o capacitate de miscibilitate mai bună.

Investigațiile efectuate demonstrează eficiența folosirii amestecurilor de culturi energetice fiind compatibile cu reziduurile agricole cum sunt cele rezultate de la cultivarea cătinii albe, cele de la emondarea pomilor și a viței-de-vie afirmând că producția de energie derivată din creșterea culturilor energetice, în special *Miscanthus*, *Silfia perfoliatum*, *Salcie energetică*, *Hrișca de Sahalin*, *Sorg zaharat*, va contribui la diversificarea agriculturii și prezintă un imens potențial pentru ca aceste culturi să fie integrate și acceptate ca resurse durabile de biomasa pentru producerea de BCSD folosiți în procesul de combustie, atât în sistemele de încălzire rezidențiale, cât și în cele industriale.

Un segment al acestui capitol a fost alocat evaluării impactului variabilelor de proces asupra densității particulelor brichetelor fabricate din materie primă compusă din amestecuri de culturi energetice. Concluziile obținute au indicat că optimizarea parametrilor tehnologici ai procesului de producție al BCSD reprezintă un mod eficient de a garanta calitatea BCSD. Prin intermediul unui experiment multifactorial, s-au dezvoltat diagrame care facilitează identificarea parametrilor tehnologici ce oferă cele mai bune condiții pentru atingerea anumitor parametri prestabiliți de către producător.

Capitolul 5 reprezintă un rezumat al concluziilor și sugestiilor extrase din cercetarea realizată în cadrul tezei de doctorat. Se sintetizează rezultatele obținute, corelate cu tema tezei, ipoteza formulată, precum și scopul și obiectivele stabilite inițial. De asemenea, se subliniază contribuțiile personale, punând un accent deosebit pe importanța teoretică și aplicativă a rezultatelor obținute, se identifică contribuțiile științifice proprii care au contribuit la rezolvarea problemei de cercetare din cadrul tezei de doctorat. Capitolul se încheie cu o serie de recomandări și perspective, care pot reprezenta subiecte de cercetare pentru viitoarele studii în domeniu.

Autorul consideră că prezenta teza de doctorat aduce o contribuție modestă la înțelegerea unor aspecte semnificative asociate valorificării biomasei provenite din culturile energetice pentru obținerea de BCSD care pot fi certificați conform standardului ENplus.

1.EVALUAREA STĂRII CURENTE ÎN FABRICAREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI OBȚINUȚI DIN CULTURI ENERGETICE

1.1.Biomasa vegetală – materie primă cheie pentru producerea BCSD în Republica Moldova

1.1.1.Situația curentă cu privire la resursele de biomasă vegetală pentru producerea biocombustibililor solizi densificați

În ultimele decenii, cercetarea biomasei vegetale prin aspectul utilizării la fabricarea BCSD a înregistrat progrese semnificative (ADELEKE et al., 2021; PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018; BRIDGWATER, 2006; SENILA et al., 2022; MARIAN, MUNTEAN, GUDÎMA, et al., 2013; MARIAN, IANUȘ, et al., 2022).

Scopul principal al producerii BCSD din biomasă este înlocuirea resurselor energetice fosile cu resurse biologice (XUE et al., 2015)

Biomasa cuprinde toate formele de produse de origine vegetală și animală care se află pe suprafața terestră, în apă și pe apă (MARIAN, 2014, p. 66) cu perspective bune de a fi folosită în Republica Moldova pentru a substitui parțial combustibilii fosili, în mare măsură, importați din exterior. Este o sursă regenerabilă și durabilă de energie. Biomasa vegetală are o structură lignocelulozică deoarece este alcătuită, în mare parte, din lignină, celuloză și hemiceluloză (HABERZETTL et al., 2021). Cercetările științifice publicate se referă în mai multe studii la subiectele ce țin de grupurile funcționale, transformările morfologice, atributele de compoziție și modificările elementare ale unor combustibili din biomasa pentru diverse aplicații (WAHEED et al., 2023).

Utilizarea biomasei pentru a înlocui parțial combustibilii fosili are multiple avantaje cum ar fi impactul în reducerea încălzirii globale deoarece arderea biomasei are potențialul de a fi neutră din punct de vedere al emisiilor de CO₂. Cu toate că atunci când biomasa este arsă sau descompusă în mod natural eliberează dioxid de carbon în atmosferă, această emisie este considerată neutră din punct de vedere al carbonului, deoarece cantitatea de CO₂ eliberată este echivalentă cu cantitatea de CO₂ pe care planta sau organismul din care provine a capturat-o din atmosferă prin fotosinteză în timpul creșterii sale. Astfel, utilizarea sustenabilă a biomasei nu adaugă carbon nou în ciclul carbonului. (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021, p. 5; ONIFADE et al., 2021).

Nu mai puțin important este și faptul că utilizarea biomasei ca sursă energetică diminuează dependența importului de combustibilii fosili, care sunt o resursă neregenerabilă și contribuie semnificativ la emisiile de gaze cu efect de seră și la poluarea aerului. Utilizarea biomasei ca sursă de energie poate contribui la diversificarea mixului energetic și la creșterea securității energetice a unei țări (BAJURA și GANDACOVA, 2020; ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021, p. 5; ȘALARU și

BAHNARU, 2013, pp. 77-80; CAISIN et al., 2014, p. 109).

Cu toate acestea, în Republica Moldova există mari rezerve în domeniul eficientizării utilizării biomasei vegetale în scopuri energetice. Sistemele bioenergetice din Republica Moldova au acces, în special, la biomasa vegetală terestră provenită din activități agricole, silvice și din industria de prelucrare a lemnului (MARIAN, MUNTEAN, GUDIMA, et al., 2013), iar folosirea biomasei lignocelulozice ca materie primă la fabricarea BCSD, în Republica Moldova, a obținut amploare doar în ultimele două decenii (MARIAN, 2016, p. 30).

Având în vedere că în Republica Moldova predomină agricultura, în calitate de materie primă se utilizează, în special, reziduurile agricole și, într-o măsură modestă - biomasa din culturi energetice.

În același timp subiectele ce țin de eficientizarea folosirii biomasei generate de culturile energetice nu este suficient de complet tratată în literatura de specialitate. Mai ales subiectele ce țin de fezabilitatea folosirii acestui tip de biomasă în Republica Moldova.

1.1.2. Particularitățile principalelor tipuri de biomasă lignocelulozică cu potențial de folosire la producerea BCSD

În lanțul de producere a combustibililor din biomasă o atenție deosebită se concentrează pe identificarea originii și sursei de biomasă care pot furniza cantități suficiente pentru organizarea producției de BCSD capabili să concureze cu combustibilii solizi tradiționali (ALAKANGAS și IMPOLA, 2020).

Selectarea originii și specificului biomasei de către producătorii de BCSD depinde în primul rând de potențialul cantitativ și calitativ al acesteia și, nu în ultimul rând, de disponibilitatea biomasei în zonele adiacente ale întreprinderilor producătoare de biocombustibili. Este cunoscut că, din punct de vedere economic, se recomandă să se minimizeze distanța de transport pentru a reduce costurile și impactul asupra mediului (PAOLOTTI et al., 2017; LEE et al., 2017).

Clasificarea biocombustibililor solizi după originea și sursa de biomasă folosită ca materie primă este reglementată de către standardul SM EN ISO 17225-1:2021. Conform acestui standard biomasa este împărțită în 5 categorii: 1. Biomasa din lemn; 2. biomasa erbacee; 3. biomasă de fructe; 4 biomasă acvatică și 5. amestecuri și mixturi.

Conform acestei sistematizări, termenul "amestec" se referă la combinații de biomase formate intenționat cu compoziție cunoscută, în timp ce "mixturile" desemnează amestecuri de biomase formate neintenționat cu compoziție necunoscută.

În cazul producerii BCSD cele mai bune rezultate sunt atunci când în calitate de materie primă se folosesc reziduurile lemnoase. De regulă, biomasa lemnoasă provine din defrișarea și

emondarea pomilor, a viței-de-vie și arbuștilor fructiferi, îngrijirea grădinilor, parcurilor, întreținerea drumurilor, din silvicultură și industria de prelucrare a lemnului.

În Republica Moldova, de regulă, la producerea BCSD se folosește biomasa rezultată din activități agricole. O analiză mai detaliată al diferitelor tipuri de biomasă utilizată la fabricarea peleților din perspectiva estimării valorii calorifice este prezentată în lucrarea noastră (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022). Utilizând informațiile colectate în studiul menționat, am identificat categoriile de biomasă care, datorită valorii lor calorifice, pot fi integrate ca componente de ranforsare în amestecurile folosite la producerea BCSD (Tabelul 1.1).

Tabelul 1.1. Valoarea calorifică a peleților din biomasă colectată în Republica Moldova

Sursă (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022)

Sursa de prelevare a biomasei	Tip biomasă	qV, gr, d	σ	qp, net, d	σ	qp, net, m=10%	σ
		MJ/kg					
Semințe de floarea-soarelui	Coajă de semințe	20.24	± 0.19	18.91	± 0.19	16.78	± 0.171
Biomasa reziduurilor agricole arboricole prelevate în Republica Moldova, primăvara 2022							
Cais	Tăieturi	20.81	± 0.24	19.50	± 0.24	17.31	± 0.21
Cireș		22.06	± 0.19	20.71	± 0.19	18.40	± 0.18
Gutui		20.22	± 0.24	18.89	± 0.24	16.76	± 0.22
Mere		20.26	± 0.33	18.94	± 0.33	16.80	± 0.31
Pere		20.72	± 0.21	19.39	± 0.21	17.21	± 0.20
Piersici și nectarine		21.40	± 0.19	20.07	± 0.19	17.82	± 0.18
Prune		21.40	± 0.18	20.08	± 0.19	17.82	± 0.18
Vișin		20.81	± 0.19	19.46	± 0.19	17.27	± 0.18
Biomasa reziduurilor agricole de viță de vie prelevate în Republica Moldova, primăvara 2022							
Alb de Suruceni	Tăieturi	20.19	± 0.22	18.84	± 0.22	16.71	± 0.21
Apiren roz		20.19	± 0.21	18.84	± 0.21	16.71	± 0.20
Cardinal		20.44	± 0.24	19.09	± 0.24	16.94	± 0.22
Chismis moldovenesc		20.13	± 0.20	0.00	± 0.20	16.44	± 0.19
Codreanca (Blac Magic)		20.39	± 0.26	19.04	± 0.26	16.89	± 0.24
Italia		20.22	± 0.23	18.87	± 0.23	16.74	± 0.22
Moldova		20.29	± 0.24	18.94	± 0.24	16.80	± 0.23
Muscat de Hamburg		20.19	± 0.22	18.84	± 0.22	16.71	± 0.21
Muscat timpuriu		20.21	± 0.19	18.86	± 0.19	16.73	± 0.19
Prezentabil		20.30	± 0.28	18.95	± 0.28	16.81	± 0.26
Cabernet		20.00	± 0.16	18.65	± 0.16	16.54	± 0.15
Rcatsiteli		20.01	± 0.12	18.66	± 0.12	16.55	± 0.12
Biomasa de arbuști fructiferi prelevată în Republica Moldova, primăvara 2022							
Cătina albă	Tăieturi	20.00	± 0.16	18.73	± 0.16	16.62	± 0.15

Analizând informațiile din Tabelul 1.1, putem concluziona că biomasa provenită din

reziduurile de cătină albă, pomi fructiferi, viță-de-vie și cojile semințelor de floarea-soarelui are o valoare calorică care depășește cerințele minime stabilite pentru BCSD de normele europene ENplus 3. Cu alte cuvinte, ca valoare calorică, aceste tipuri de biomasă pot fi utilizate pentru a produce BCSD în mod independent sau ca amestecuri cu alte tipuri de biomasă care au caracteristici mai puțin favorabile.

Amestecurile formate intenționat, cu rapoarte ale componentelor cunoscute, se pot crea din diferite tipuri de biomasă. Acest lucru necesită cunoașterea particularităților calitative și cantitative ale materiei prime folosite dar și subiectele ce țin de aspectul economic și de sustenabilitate.

1.1.3. Situația cu privire la producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova

În ultimul timp, în virtutea situațiilor excepționale legate de securitatea energetică, piața BCSD este în creștere, iar producătorii caută noi căi de eficientizare a procesului de producere și de asigurare a calității conforme cerințelor beneficiarilor.

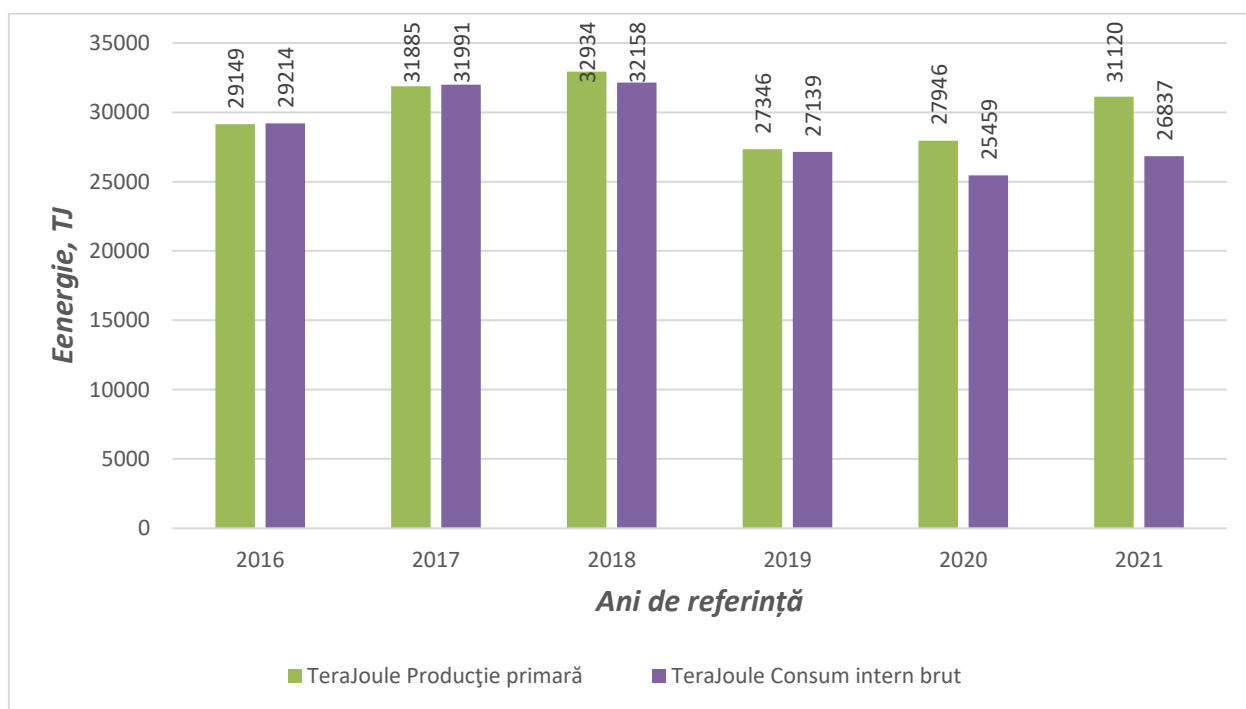


Fig. 1.1. Producția primară și consumul intern brut de biocombustibili în perioada 2016-2021.

Sursă: (BNS, 2022)

În Republica Moldova, metoda cea mai frecvent utilizată pentru valorificarea biomasei este conversia pentru încălzire. Biomasa poate fi folosită direct în forma sa naturală sau densificată din particule mărunțite. Valorificarea eficientă a biomasei în cazul producerii BCSD necesită

gestionarea corectă a lanțului de aprovizionare biomasă-biocombustibil (LABB), care cuprinde procesele legate de cultivarea, recoltarea, stocarea, transportarea materiei prime la locul de prelucrare și procesarea propriu zisă a produsului final (ALBASHABSHEH și HEIER STAMM, 2021).

În LABB, un factor cheie care contribuie la formarea prețului de producție a BCSD este legat de stocarea și transportarea materiei prime. Cheltuielile pentru acest segment variază de la 36-65% din costul total (FALES et al., 2007) cu toate că aceste cheltuieli nu ar trebui să depășească 20...25 % din costul de producție (LARASATI et al., 2012; SOKHANSANJ et al., 2006).

Una din căile de micșorarea a cheltuielilor de transport este micșorarea densității în vrac a biomasei direct în câmp (LARASATI et al., 2012). Există mai multe cercetări ce țin de densitatea în vrac a diferitor culturi cu perspectivă de a fi folosite la producerea BCSD. De exemplu, cercetătorii de la Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciobotaru” din Republica Moldova prezintă următoarele date referitoare la valorile medii a densității în vrac pentru diferite reziduuri agricole: paie de cereale 55 kg/m³, tulpini de floarea-soarelui 40 kg/m³, ciocleji de porumb 45 kg/m³, coarde de vita-de-vie după taiere în uscat 650 kg/m³, crengi de pomi fructiferi după taiere în uscat 750 kg/m³ și masa lemnoasă de pomi defrișați din livada 750 kg/m³ (ȚÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021, p. 55) iar pentru tulpinile tocate de *Silphium perfoliatum* 241 kg/m³, *Sida hermaphrodita* 268 kg/m³, *Inula helenium* 259 kg/m³ și pentru *Zea mays* 100 kg/m³ (ȚÎȚEI, 2019).

Noi, de asemenea, am realizat mai multe cercetări în care am determinat densitatea în vrac a biomasei de diferite culturi tocate grosier și măcinate la dimensiunile de procesare. Astfel, pentru *Cannabis sativa* și *Zea mays* densitatea biomasei tocate în raport cu cea măcinată a constituit, respectiv 117/132 pentru *Cannabis sativa* și 87/100 – pentru *Zea mays* (ȚÎȚEI et al., 2020), iar pentru un șir de culturi energetice din colecția Grădinii Botanice pot fi urmărit din Tabelul 3.4.

Deciziile legate de mărunțirea biomasei direct în câmp și de modul de uscare a acesteia înainte de procesare, inclusiv și tipul unității de densificare, locația și capacitatea, adaugă complexitate gestionării sistemelor LABB și este necesar să fie concretizată pentru fiecare situație în parte. Pentru argumentarea alegerii sistemului cel mai potrivit de LABB sunt necesare date concrete referitoare la potențialul de biomasă existent în locația respectivă și zonele adiacente, precum și atributelor cantitative și calitative ale materiilor prime și, evident, posibilitățile de logistică ale întreprinderii respective.

În acest context este argumentată cercetarea mai detaliată a segmentului din LABB ce ține de subiectele abordate anterior punând accent pe biomasă provenită de la culturile energetice care tot mai insistent sunt promovate în calitate de materie primă la producerea BCSD (ȚÎȚEI et al.,

2019), însă există multe momente care necesită clarificări, în special, în aspectul asigurării de către LABB a obținerii unui produs finit cu caracteristici pasibile de a fi certificate ENplus (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022).

1.2.Perspectivile folosirii plantelor energetice în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați

1.2.1.Plantele energetice cu perspectivă de folosire la producerea BCSD

Plantele energetice, de regulă, sunt cultivate în scopul obținerii de biocombustibili lichizi și biocombustibili solizi. Biocombustibilii lichizi cum sunt biodieselul și bioetanolul, mai sunt cunoscuți sub denumirea de biocombustibili de prima generație. Biocombustibilii solizi sunt produși pentru generarea căldurii și sunt cunoscuți sub denumirea de biocombustibili de a doua generație, fiind produși în formă de peleți și de brichete (MAHAPATRA et al., 2021).

Folosirea biomasei vegetale, inclusiv celei generate din agricultură, la fabricarea biocombustibililor de generația a doua nu este o noutate, însă subiectele ce țin de asigurarea calității produsului finit și de echilibrul dintre securitatea energetică, securitatea alimentară, impactul asupra mediului înaintea un șir de probleme care necesită să fie analizate din mai multe puncte de vedere (HERRMANN et al., 2017; FERNANDO et al., 2018; ADELEKE et al., 2021).

Cercetările anterioare, realizate în cadrul LȘBCS UTM, au arătat că pentru producerea BCSD cu caracteristici care permit certificarea ENplus pot fi folosite direct doar anumite specii de reziduuri agricole și anume cele arboricole și cele provenite de la cultivarea porumbului și florii-soarelui. Potențialul energetic de implementare pentru producerea BCSD al reziduurilor arboricole constituie cca 9%, iar cel al reziduurilor de porumb și floarea-soarelui – cca 5% din potențialul energetic total provenit din reziduurile agricole (GUDÎMA, 2017; PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018). De menționat că coeficientul de disponibilitate al biomasei agricole folosite în scopuri energetice poartă un caracter descendent, datorită utilizării acestora în alte scopuri decât cele energetice. Această situație este condiționată de necesitatea folosirii unei cantități tot mai importante de biomasă agricolă ca îngrășământ organic, fertilizant al solului, în diverse activități industriale, în sectorul zootehnic etc.

Situația descrisă a condus la accentuarea interesului pentru culturile energetice al căror pondere în mixul culturilor agricole este tot mai mare. Cu toate că domeniul culturilor energetice, în Republica Moldova, este relativ nou și astăzi poartă un caracter mai mult experimental, totuși tot mai multe întreprinderi agricole exprimă interesul pentru cultivarea acestor plante pentru producerea energiei termice (MARIAN, DARADUDA, et al., 2021). Mai mare este interesul

pentru culturile erbacee perene și pentru culturile lemnoase în virtutea unor avantaje care le diferențiază față de celelalte culturi energetice (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

În Republica Moldova, valorificarea culturilor energetice, are perspective mai promițătoare dacă aceasta este utilizată la producerea BCSD. Această situație se datorează, pe de o parte, faptului că biomasa provenită de la mai multe culturi energetice este comodă în procesare și posedă potențial energetic semnificativ (ȚÎȚEI et al., 2016), iar pe de altă parte, se explică prin faptul că există un mediu de afaceri propice producerii acestui gen de combustibili, iar beneficiarii manifestă un interes semnificativ pentru acest produs.

În Republica Moldova cultivarea plantelor energetice pentru scopuri energetice se află în stadiul inițial de producere, fiind obiectul mai multor cercetări realizate în cadrul Grădinii Botanice Naționale (institut) „Alexandru Cibotaru” (ȚÎȚEI, 2019; 2014). Conform raportului privind activitatea științifică și inovațională în perioada 2015-2018 a Laboratorului de Resurse Vegetale din cadrul Grădinii Botanice din Chișinău, Genotipul plantelor energetice din colecția Grădinii Botanice cuprinde 74 taxoni, 52 specii, 35 genotipuri din 19 familii extins cu 12 taxoni noi.

Dintre plantele energetice omologate în Republica Moldova o perspectivă mai bună de utilizare pentru producerea BCSD posedă (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021, pp. 23-64):

- din familia plantelor energetice ierboase anuale și bianuale - rapița (*Brassica napus L. ssp.*), sorgul zaharat (*Sorghum bicolor*);

- din familia plantelor energetice ierboase perene - miscantul giganeu (*Miscanthus × giganteus*), Iarba mare (*Inula helenium L.*), Topinamburul (*Helianthus tuberosus L.*), Silfia (*Silphium perfoliatum L.*), Nalba-de-Virginia (*Sida hermaphrodita*), Hrișca-de-Sahalin (*Polygonum sachalinense*);

- din familia culturi energetice lemnoase - salcia energetică (*Salix sp.*); plopul hibrid energetic (*Populus sp.*); salcâmul alb (*Robinia pseudoacacia L.*); paulownia ș.a.

Aceste plante au fost alese datorită capacității lor de a crește rapid și de a produce o cantitate mare de biomasa într-un timp scurt. De asemenea, aceste plante sunt ușor de cultivat și de întreținut, iar costurile de producție sunt relativ scăzute (TÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021, pp. 12-14).

1.2.2. Clasificarea culturilor energetice potrivite pentru a fi utilizate ca materie primă la fabricarea BCSD

Speciile de plante energetice, de regulă, au mai multe utilizări, fiind posibile pentru a produce mai multe tipuri de energie, de exemplu, Iarba de Sudan *Sorghum sudanense* (biogaz și

biomasă solidă), rapița (semințele pentru producerea biodieselului, reziduurile ca biomasă energetică), cerealele (hrană pentru animale, etanol și biomasa solidă din paie) (SIMS et al., 2006; ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

Ca element distinct pentru plantele energetice este că acestea sunt reprezentate de culturile destinate, în special, pentru scopuri energetice, utilizate la fabricarea produselor considerate biocombustibililor solizi, lichizi, gazoși și a altor combustibili regenerabili pentru transport și producerea energiei electrice și termice (REGULAMENTUL (CE) NR. 1782/2003, 2003). Aceste culturi, de regulă, sunt plantate pentru utilizarea biomasei lor ca materie primă pentru generarea energiei.

Astăzi nu există o clasificare unică a culturilor energetice, însă pot fi categorizate în funcție de ciclul de creștere (anuale, bianuale și perene), după tip (ierboase, lemnoase) și după utilizarea finală.

Tabelul 1.2. Principalele specii de culturi energetice cu perspectivă reală de a fi folosite în calitate de materie primă la producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova

Adaptat după (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021)

Tipul	Familia botanică	Nr. crt.	Specia cultivată	Familia
Culturi energetice ierboase	Culturi energetice ierboase anuale și bianuale	1	Porumbul (<i>Zea mays</i>)	Poaceae
		2	Sorg zaharat (dulce) <i>Sorghum bicolor</i> var. <i>saccharatum</i> Mehrotra, Aswal & B.S. Bisht	
		3	Floarea soarelui <i>Helianthus annuus</i>	Asteraceae
		4	Rapița (sinapis) <i>Brassica napus</i> L. ssp. <i>oleifera</i> (Metzg.) Sink	Brassicaceae
	Culturi energetice ierboase perene	5	Miscant chinez <i>Miscanthus sinensis</i>	Poaceae
		6	Miscant gigant <i>Miscanthus × giganteus</i>	
		7	Lucerna albastră sau comună, <i>Medicago sativa</i>	Fabaceae
		8	Silfia <i>Silphium perfoliatum</i> L.	Asteraceae
		9	Topinambur <i>Helianthus tuberosus</i> Solar	
		10	Nalba-de-Virginia <i>Sida hermaphrodita</i> Rusby	Malvaceae
		11	Hrișca-de-Sahalin <i>Polygonum sachalinense</i> Fr. Schmidt ex Maxim	Polygonaceae
Culturi energetice lemnoase	1	Salcia energetică <i>Salix</i> sp	Salicaceae	
	2	Plop hibrid energetic <i>Populus</i> sp		
	3	Salcâmul alb <i>Robinia pseudoacacia</i> L	Fabaceae	
	4	Paulownia spp. is	Paulowniaceae	

În Republica Moldova, culturile energetice sunt clasate în câteva grupe distincte și anume culturi energetice ierboase anuale și bianuale, culturi energetice ierboase perene și culturi energetice lemnoase. În Tabelul 1.2 se prezintă clasificarea mai detaliată a plantelor care prezintă

interes pentru folosire efectivă la producerea BCSD și care se află în atenția cercetătorilor din cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Cibotaru” ca plante de perspectivă.

Culturile energetice ierboase anuale și bianuale sunt plante cultivate în special pentru producerea de biocombustibili, fiind considerate o alternativă mai sustenabilă la combustibilii fosili. Aceste culturi sunt caracterizate de o creștere rapidă și o capacitate mare de absorbție a carbonului din atmosferă, fiind utilizate în special pentru producerea de biomasă (CHEN et al., 2022).

1.2.3. Culturi energetice ierboase anuale și bianuale

În continuare se prezintă câteva exemple de culturi energetice ierboase anuale și bianuale cultivate în Republica Moldova (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021; TÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021; MADR, 2014).

Porumbul - este o plantă erbacee anuală care poate ajunge la o înălțime de până la 3 metri. Porumbul este utilizat în producția de etanol din bioetanol, dar și ca biocombustibil solid densificat. Este o cultură populară în Republica Moldova, deoarece poate fi cultivată pe o gamă largă de terenuri și are o productivitate ridicată.

Sorgul dulce (*Sorghum bicolor*) - este o plantă erbacee anuală sau bianuală care poate ajunge la o înălțime de până la 5 metri. Este o cultură rezistentă la secetă, poate fi utilizată pentru producerea de etanol și biomasă. Este utilizat în producția de biocombustibili solizi.

Floarea-soarelui (*Helianthus annuus*) - este o plantă erbacee anuală care poate ajunge la o înălțime de până la 3 metri. Procesul de producere a brichetelor sau peleților implică tăierea reziduurilor de la floarea-soarelui și uscarea acestora la temperaturi ridicate. Acestea sunt apoi comprimate în forme compacte, sub presiune mare. După recoltare semințele pot fi presate pentru a extrage uleiul, iar reziduurile pot fi folosite la fel ca material de baza pentru producerea BCSD, cum ar fi brichetele sau peletele din biomasă.

Rapita (*Brassica napus*) - este o cultură bianuală cu o tulpină puternică, care poate ajunge la o înălțime de 1-2 metri, cunoscută pentru uleiul său bogat în acizi grași nesaturați și este utilizată în producția de biocombustibili. Este o plantă foarte productivă și poate fi cultivată pe terenuri aride sau cu un conținut scăzut de nutriți.

În același rând, studiile recente arată că, pentru obținerea materiei prime utilizate în procesul de fabricație al BCSD mai efective sunt culturile ierboase perene. Acest aspect este datorat, în special, randamentului biomasei mai mare și stabilității acestuia (CHEN et al., 2022).

1.2.4. Culturi energetice ierboase perene

În ultimii ani, perspectivele folosirii culturilor ierboase perene ca plante energetice a obținut noi valențe datorită avantajelor tehnico-economice și ecologice comparative cu plantele energetice anuale. Multe dintre plantele ierboase perene prezintă un șir de beneficii cu un potențial semnificativ de înlocuire a combustibililor fosili și efecte pozitive accentuate asupra mediului (SCORDIA și COSENTINO, 2019).

Printre beneficiile plantelor energetice perene se includ faptul că sunt ușor de cultivat, recoltat și prelucrat, au o durată de viață lungă, evitând astfel necesitatea plantării anuale. Ele reprezintă o formă de "cultivare tradițională agricolă" reprezentând o formă de "agricultură tradițională" care nu necesită echipamente speciale, având posibilitatea de a folosi aceleași unelte pentru producție care sunt folosite pentru culturile tradiționale (GÜTZLOE et al., 2014).

În același rând folosirea biomasei generate de culturile energetice ierboase perene prezintă și niște dezavantaje ca materie primă la producerea BCSD și anume conținutul mare de cenușă rezultate de la ardere în comparație cu cel rezultat de biomasa lemnoasă și temperatura de fuziune a cenușii în virtutea compoziției minerale care determină punctul de topire al cenușii și care în consecință influențează fiabilitatea centralelor termice (PETTERSSON, 2008). De asemenea, s-a constatat că conținutul de cenușă este foarte variabil și determină folosirea acestor tipuri de biomasă în stare individuală sau în amestecuri cu specii de biomasă care posedă un conținut mai mic de cenușă (WAHEED et al., 2023). Acest lucru a fost demonstrat și de către noi în rezultatul analizei calitative a biomasei generate de culturile energetice din colecția Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Republica Moldova. S-a constatat o variație în diapazonul de la 1,032% pentru Topinambur (*Helianthus tuberosus* Maria) recolta din anul 2020 până la 9,16 pentru Mei japonez (*Pennisetum alopecuroides*) (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022).

În continuare se prezintă analiza culturilor energetice ierboase perene cu perspectivă reală de cultivare și utilizare în scopuri energetice în Republica Moldova.

Miscantul chinez (*Miscanthus sinensis*) este o plantă erbacee perenă cunoscută, în special, în regiunile cu climă caldă. Randamentul plantei crește treptat în primii ani de dezvoltare (OUATTARA et al., 2020; STEWART et al., 2009). În esență, *M. sinensis* prezintă trăsături similare cu genotipul *M. × giganteus*, dar este o specie mai devreme în ceea ce privește creșterea decât *M. × giganteus* și are o mai mare rezistență la deficitul de apă (VAN DER WEIJDE et al., 2017; J. C. CLIFTON-BROWN și LEWANDOWSKI, 2000). Prezentând o producție mai mică decât *M. × giganteus* motiv pentru care în scopuri energetice este mai puțin explorat în mod

individual (OUATTARA et al., 2020).

Iarba elefantului sau *Miscanthus* × *giganteus* reprezintă rezultatul încrucișării naturale dintre *M. sinensis*, care este o plantă diploidă ($2n=2x$), și *Miscanthus sacchariflorus*, o specie triploidă ($2n=4x$) din familia Poaceae. Această plantă are origine în Asia de Est. și aparține grupului C4, crește sub formă de tufă cu rizomi. A fost adusă în Europa în primele decenii ale secolului al XX-lea ca specie ornamentală (LEWANDOWSKI et al., 2000; DARADUDA și MARIAN, 2022).

Se caracterizează printr-o tulpină de cca. 2.5-3.5 m lungime (poate ajunge și până la 5 m), frunze lungi și liniare de 50-60 cm cu o lățime de 2.8-3.3 cm, ligule cu perișori și o lungime de 2-3 mm. Inflorescența sa constă într-un panicul lung de 30-55 cm, cu ramificații de 15-21 cm. Recolta acestei plante poate ajunge la 18-27 t/ha conform unei surse. În Europa, spre sfârșitul secolului precedent, s-a dezvoltat o utilizare extinsă a acestei specii în producția de biocombustibili (ȚÎȚEI et al., 2016).

Lucerna (*Medicago sativa*) este o plantă erbacee perenă, utilizată ca sursă de hrană pentru animale și, în ultimii ani, a fost studiată ca sursă potențială de biocombustibili solizi. Lucerna poate fi folosită ca biocombustibil solid deoarece are un conținut ridicat de celuloză și lignină, două componente ale plantelor care pot fi transformate în combustibil prin procese de uscare și ardere. De asemenea, lucerna are o densitate mare și o putere calorică bună, ceea ce o face o alegere bună pentru producerea de căldură sau energie electrică. În prezent, cercetările asupra utilizării lucernei ca biocombustibil solid sunt încă în stadiul incipient, iar eficiența și sustenabilitatea procesului de producere a biocombustibilului din lucernă trebuie să fie analizate și evaluate în continuare (REVENCO și ȚÎȚEI, 2021).

Silfia (*Silphium perfoliatum*) - este o plantă energetică perenă din familia Asteraceae, cunoscută și sub numele de *cupa aurie*, *cupa mare* sau *iarbă de la câmp*. Silfia are o tulpină înaltă de până la 3 metri și frunze mari și perfoliate (frunzele sunt unite la baza tulpinii), cu o formă asemănătoare unei căni. Această plantă este cunoscută pentru abilitatea sa de a produce o cantitate mare de biomasa, fiind folosită, în special, la producerea de biogaz, bioetanol dar și BCSD.

Silphium perfoliatum reprezintă o sursă semnificativă ca materie primă la fabricarea BCSD. Creșterea interesului pentru această plantă se datorează capacității sale ridicate de a produce biomasa, rezistenței la secetă și îngheț, precum și posibilității de a fi cultivată pe terenuri marginale care nu sunt potrivite pentru alte culturi agricole (PENI et al., 2020).

Planta *Silphium perfoliatum* este un gen al familiei Asteraceae, originară din America de Nord care a făcut obiectul unui interes științific sporit în ultimii ani, atât pe plan internațional, cât și în Republica Moldova. Rentabilitatea cultivării *Silphium perfoliatum* este motivată și de faptul

că poate fi folosită în mai multe scopuri, cum ar fi în calitate de cultură furajeră, ca sursă de energie regenerabilă și chiar ca un concurent promițător al porumbului și sorgului pentru producția de biogaz (TELEUȚĂ et al., 2012; PENI et al., 2020; CEREMPEI et al., 2023).

Din punct de vedere energetic *Silphium perfoliatum* este studiată, mai ales referitor la utilizarea ca materie primă pentru producerea biogazului (PENI et al., 2020; CUMPLIDO-MARIN et al., 2020; ENDE et al., 2021; JANKOWSKI et al., 2016; WITASZEK et al., 2022).

Rezultatele cercetărilor efectuate de către oamenii de știință din Republica Moldova, cum sunt cele conduse de profesorul Marian (MARIAN et al., 2014) în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi de la UTM, inclusiv cu participarea autorului prezentei teze de doctorat (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022; MARIAN, DARADUDA, et al., 2021) alături de studiile realizate în Grădina Botanică (Institut „Alexandru Cibotaru” din Republica Moldova (ȚÎȚEI et al., 2020; ȚÎȚEI, 2014), au demonstrat perspectivă bună de folosire a biomasei de *Silphium perfoliatum* ca materie primă la fabricarea BCSD.

Topinamburul (*Helianthus tuberosus* L) - este o plantă perenă din familia Asteraceae, cunoscută și sub denumirea de "arțarul ierbos", "cartoful Ierusalimului" sau "girusul dulce". Provine din America de Nord, se adaptează bine la diferite medii, inclusiv și la cele marginale. Este o plantă de talie medie, care poate ajunge până la 2-3 metri înălțime, cu frunze mari și florile asemănătoare cu cele ale soarelui. Are o creștere rapidă și o capacitate puternică de absorbție a nutrienților, ceea ce îl face o alegere populară pentru cultivarea în soluri sărace sau degradate (ROSSINI et al., 2019). Are multiple domenii de utilizare. Tuberculii sunt folosiți pentru consumul uman, producerea de îndulcitori, aplicații farmaceutice, producerea berii etc., iar biomasa este folosită ca furaj și ca materie primă la producerea energiei (NIGAM și SINGH, 2011; YANG et al., 2015)

Nalba-de-Virginia (*Sida hermaphrodita*) - este o plantă energetică perenă care face parte din familia Malvaceae. Este o plantă puternică, cu tulpini înalte de până la 3 metri și frunze mari și verzi, cu margini zimțate. Una dintre caracteristicile importante ale Nalbei-de-Virginia este că are o productivitate ridicată de biomasă, ceea ce o face o sursă promițătoare pentru producerea de energie. De asemenea, planta are un conținut ridicat de celuloză și hemiceluloză, care sunt componente importante pentru producerea de etanol și alte biocombustibili.

În ultima perioadă, cercetările referitoare la utilizarea plantei ca sursă de energie s-au accentuat datorită abilității plantei să acumuleze o cantitate mare de biomasă și de potențialul de a o utiliza pentru producția de biogaz (OLESZEK et al., 2013; CUMPLIDO-MARIN et al., 2020), precum și de utilizarea tulpinilor lignificate ale plantei în scopuri termice (JABLONOWSKI et al., 2020).

Hrișca-de-Sahalin (*Polygonum sachalinense*) - este o plantă energetică perenă care face parte din familia Polygonaceae. Are o creștere rapidă și poate ajunge la o înălțime de până la 3 metri într-un singur sezon de creștere. Este o plantă bogată în amidon și poate fi utilizată pentru fabricarea BCSD. În lucrarea prezentată de (ȚÎȚEI și ANDREOIU, 2017) se indică posibilitatea utilizării speciei *Polygonum sachalinense* pentru crearea de plantații în Moldova, în vederea producerii de biomasa energetică în scopuri multiple (ȚÎȚEI și ANDREOIU, 2017)

1.2.5. Culturi energetice lemnoase

Cultivarea culturilor energetice lemnoase devin o alternativă promițătoare și durabilă în vederea majorării cantității de biomasă calitativă potrivită ca materie primă la fabricarea BCSD în Republica Moldova (PALANCEAN et al., 2016).

Dintre sursele potențiale de materie primă, provenită din culturile energetice lemnoase, se evidențiază salcia energetică ca una dintre opțiunile promițătoare pentru obținerea BCSD cu perspective de certificare ENplus.

Salcia (*Salix L.*) reprezintă o categorie de plante din familia Salicaceae, cuprinzând arbori, arbuști sau subarbuști cu tulpini elastice și frunze căzătoare. Această specie are capacitatea de a crește rapid (în jur de 3 - 3,5 cm pe zi) atingând înălțimi de 2 - 3 m încă din primul an de la plantare (ȚÎȚEI, ROSCA, et al., 2021), cu o capacitate semnificativă de producere a biomasei (aproximativ 35 t/an/ha biomasă umedă) cu posibilitate de creștere a acestui volum până la 60 t/ha într-un an în cazul cultivării pe terenuri irigate și fertilizate (SCRIBA et al., 2021)

Este dovedit că biomasa provenită de la culturile energetice lemnoase posedă caracteristici superioare în raport cu cele ale altor culturi energetice. De exemplu, în analiza realizată de noi cu referire la stabilirea valorii calorifice a peleților produși din materiale colectate de pe ambele maluri ale Prutului am dedus că din 6 tipuri de peleți produși din *Miscanthus giganteus*, *Silphium*, *Sakhalin buckwheat*, *Salcie energetică*, *Plopul energetic*, *Stuf din Delta Dunării* cei mai calitativi, ca putere de ardere, sunt peleții produși din salcie energetică, cu valoarea calorifică superioară $q_{v, d} = 20,99 \pm 0,18$ MJ/kg și valoarea calorifică net la umiditate de 10% $q_{p, net, m=10\%} = 17,45$ MJ/kg (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022).

La moment, în Republica Moldova este omologat un singur soi de salcie - Inger (CSPTSP, 2023). Conform datelor obținute în cadrul LȘBCS acest soi de salcie au o valoare calorifică brută egală cu 19,12 MJ/kg și un conținut de cenușă de 1,55% (MARIAN et al., 2014).

Caracteristici mai bune sunt prezentate de soiul *Salix viminalis* 'Turbo', care se caracterizează printr-o rată înaltă de creștere și dezvoltare, precum și o productivitate ridicată a

biomasei aeriene. Conținutul de materie uscată, variind în funcție de momentul recoltării de la 18,93 până la 19,96 MJ/kg în termeni de valoare calorică brută, însoțită de un conținut de cenușă situat în intervalul 1,23 - 2,65%. Brichetele fabricate din biomasa de salcie recoltată într-un ciclu de trei ani se caracterizează prin densitatea lor specifică ridicată și un aport energetic deosebit de semnificativ (ȚÎȚEI, ROSCA, et al., 2021).

Plop hibrid energetic (*Populus spp.*) este o cultură cu perspective bune de folosire în calitate de materie primă la producere BCSD (DĂNILĂ et al., 2016; KUTSOKON et al., 2022).

Plopul energetic reprezintă o specie de plante cu dezvoltare rapidă, ajungând la înălțimi de cel puțin 4 metri în primul an și crescând până la 20-30 de metri (MADR, 2014).

Această cultură aparține familiei Salicaceae cu variate proprietăți fizice și mecanice (HUDA et al., 2014) și este o plantă clonată care este inclusă în grupa de culturi intensive fiind caracterizată prin faptul că are rădăcini rămuroase și adânc înrădăcinate, cu numeroase rădăcini laterale. Aceste plante au lujeri de culoare albă, pufoși și acoperiți cu un strat de puf tomentos. Mugurii laterali sunt în formă de ou, cu un aspect ± pufos, strălucitori, având între 3 și 5 solzi și atingând o lungime de 4-5 mm (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

Există cercetări care dovedesc folosirea biomasei de plop energetic la producerea BCSD în formă de brichete (OBI și PECENKA, 2023) și în formă de peleți (CIVITARESE et al., 2019) însă cercetările noastre preventive au arătat că BCSD din *Populus spp* se caracterizează printr-o densitate a particulelor și durabilitate mecanică scăzută. În acest aspect prezintă interes folosirea acestei specii de biomasă în calitate de amestecuri cu alte tipuri de biomasă.

Acesta furnizează o sursă eficientă și ecologică de energie, având o valoare calorifică net la umiditate de 10% $q_{p, net, M=10\%} = 16,3 \text{ MJ/kg}$ (MARIAN și DARADUDA, 2022). superioară între 17.000 și 18.000 kJ/kg.

Această cultură are o emisie redusă de bioxid de carbon Beneficiul major constă în emisii reduse de dioxid de carbon, se adaptează cu succes pe terenuri nepotrivite pentru alte culturi, precum luncile inundabile sau zonele din apropierea stațiilor de epurare (CABRERA et al., 2016).

Germinarea și răsărirea cu succes necesită soluri libere și expunere constantă la soare. În mediul său natural, crește în mod obișnuit în proximitatea cursurilor de apă, iar malurile cu sedimente de noroi rezultate în urma inundațiilor oferă un mediu ideal pentru germinare. Prin intervenția umană, această specie a fost adusă să se dezvolte și în afara acestor habitate (GULERIA et al., 2022).

Biomasa rezultată din recoltarea plopului energetic poate fi folosită direct la alimentarea stațiilor termice în formă de tocătură sau în formă de BCSD sub formă de tocătură pentru a alimenta instalațiile termice sau sub formă de tocătură fină pentru a fi transformată în peleți

(MARIAN, 2016, p. 64). p. 30

Salcâmul alb, cunoscut sub denumirea științifică *Robinia pseudoacacia L.*, este un membru al familiei Fabaceae. Acest arbore melifer se caracterizează prin înălțimea sa impresionantă, atingând până la 25-30 de metri, și prezența pușinelor ramuri cu spini. Originar din America de Nord, salcâmul s-a răspândit și în Europa, Africa de Sud și Asia. La moment, în Republica Moldova este omologat soiul *Turbo*.

Cercetătorii din cadrul Grădinii Botanice Naționale din Republica Moldova și din Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi UTM cu participarea autorului prezentei teze de doctorat, au evaluat calitatea biomasei de *Robinia pseudoacacia L* din perspectiva folosirii ca sursă pentru producerea BCSD având în vedere și posibilitatea utilizării biomasei în calitate de furaj pentru sectorul zootehnic (ȚIȚEI, ROȘCA, et al., 2021) .

Prelevarea eșantioanelor s-a efectuat conform cerințelor standardului SM EN ISO 18135:2017 din lotul experimental al Grădinii Botanice Naționale „Alexandru Ciubotaru” din Chișinău. Biomasa a fost culeasă iarna din parcelele în al treilea an de vegetație, iar prepararea probelor s-a realizat conform SM EN ISO 14780:2017. Proprietățile fizice și mecanice au fost determinate conform metodologiei descrisă în capitolul 2 la utilajul folosit în LȘBCS pentru producerea loturilor experimentale de BCSD.

Proprietățile fizico-mecanice ale brichetelor produse din biomasa studiată sunt prezentate în Tabelul 1.3. În calitate de martor a fost folosită biomasa de paie de grâu și brichetele produse din această biomasă.

Tabelul 1.3. Particularitățile fizico-mecanice ale biomasei solide tocate și a brichetelor produse din această biomasă

Sursă (ȚIȚEI, ROȘCA, et al., 2021, p. 391)

Nr. crt.	Parametrii calitativi	Robinia pseudoacacia L	Paie de grâu (martor)
1	Densitatea în vrac a biomasei tocate, kg/m ³	151	83
2	Conținutul de cenușă în biomasă, %	1.4	4.93
3	Valoarea calorifică brută la volum constant, MJ/kg	19.7	17.8
4	Valoarea calorifică netă în bază uscată, MJ/kg	18.5	15.7
5	Valoarea calorifică netă la umiditatea 10%, MJ/kg	16,32	-
5	Densitatea specifică a biobrichetelor, kg/m ³	860	740
6	Densitatea în vrac a biobrichetelor, kg/m ³	460	445

Paulownia (*Paulownia tomentosa*) este un gen de arbori din familia Paulowniaceae (JAKUBOWSKI et al., 2018; SŁAWIŃSKA et al., 2023). Acesta este originar din Asia de sud-est

(în special China), unde a fost cultivat în scopuri decorative, culturale și medicinale de peste 2000 de ani (XU et al., 2014).

Datorită capacității sale de a se ajusta la diverse condiții climatice și tipuri de sol, Paulownia este acum răspândit în numeroase țări din Asia, Europa, Australia, precum și în America de Nord și Centrală (YADAV et al., 2013). În ultimii ani începe să se cultive și în Moldova în special în zona de sud a țării (TV8, 2021).

În Republica Moldova sunt omologate două soiuri: PAULOWNIA CLON IN VITRO 112 (B) (*Paulownia Elongata SYHux, Hiense* × *Paulownia Fortunei*) și COTEVISA 2 (*Paulownia Elongata* × *Paulownia Fortunei*) (CSPTSP, 2023).

Alegerea acestor soiuri se datorează caracteristicilor excepționale pe care le posedă. De exemplu, cercetătorii di Italia, în rezultatul cercetării soiului *Paulownia elongata x fortunei*, dezvoltată în trei plantații din partea de nord a Italiei, au evidențiat o creștere excepțională în ceea ce privește diametrul și înălțimea plantei. La sfârșitul primului an, plantele atinseseră o înălțime atât de mare, încât fermierii puteau să le taie la o înălțime de până la 5 m (CRISCUOLI et al., 2022).

1.3. Definierea BCSD pasibili de a fi certificați ENplus

1.3.1. Generalități referitoare la calitatea BCSD și factorii de influență

Biocombustibilii solizi densificați sunt o formă de biocombustibili obținuți din biomasa vegetală sau a deșeurilor organice, care au fost procesați și compactați pentru a forma produse solide, cum ar fi peleții sau brichetele. Acest tip de combustibili au forme regulate, dreptunghiulare sau cilindrice și dimensiuni standardizate, obținute prin compactarea și presarea biomasei vegetale, fără a se adăuga lianți artificiali datorită prezenței ligninei în biomasa vegetală. BCSD sunt utilizați în diferite aplicații, precum încălzirea locuințelor, producția de energie electrică sau termică în instalații industriale, și în alte procese care necesită energie termică, iar principalele tipuri de BCSD sunt peleții și brichetele (MARIAN, 2016, pp. 135-139).

Conform SM EN ISO 17225-2:2021, **peleții** sunt un BCSD preparați cu sau fără aditivi, cu formă cilindrică, lungime tipic aleatorie de 5...40 mm și diametrul mai mic de 25 mm cu capete rupte (SM EN ISO 17225-2:2021, 2021).

Brichetele sunt un BCSD cu sau fără aditivi într-o formă predeterminată, cu cel puțin două dimensiuni (lungime, lățime, înălțime) de peste 25 mm (SM EN ISO 17225-3:2021, 2021).

Buna calitate a BCSD reprezintă un aspect esențial pentru ca aceștia să poată pătrunde și

să se mențină pe piața energetică. De aceea, este necesar să se dezvolte un sistem de garantare a calității pentru biocombustibilii solizi, cu scopul de a sprijini și dezvolta producția lor astfel ca aceștia să satisfacă cerințele beneficiarului final (TOSCANO et al., 2023).

Referitor la BCSD, aceste cerințe sunt reglementate de către standardele din familia SM EN ISO 17025: 2021 și se referă la mai mulți parametri calitativi care diferă de la un tip de biocombustibil la altul. Principiile de clasificare a BCSD se bazează pe originea și specificul materiei prime din care sunt produși, forma geometrică și proprietățile calitative ale BCSD.

În funcție de domeniul de aplicație peleții sunt grupați în două clase: 1 - pentru uz comercial și rezidențial și 2 - pentru uz industrial (vezi Tabelul 1.4), iar brichetele într-o singură grupă (vezi tab. 1.5). În Tabelul 1.4 și Tabelul 1.5 sunt incluse proprietățile folosite în rapoartele de încercări elaborate de către LȘBCS UTM.

Pentru fiecare grup de BCSD standardul stabilește câteva clase de calitate. De exemplu pentru peleții de uz rezidențial și comerț sunt prevăzute clasele *A1*, *A2* și *B*, iar peleții pentru uz industrial sunt grupați în clasele *I1*, *I2* și *I3*. Pentru brichete sunt prevăzute clasele *A1*, *A2* și *B*.

Tabelul 1.4. Clasificarea peleților după diferite proprietăți

Extras din (SM EN ISO 17225-2:2021, 2021)

Proprietăți	Unit.	Pentru uz rezidențial și comerț			Pentru uz industrial		
		A1	A2	B	I1	I2	I3
Diametru, D	mm	6±1; 8±1	6±1; 8±1	6±1; 8±1	6±1; 8±1; 10±1; 12±1	6±1; 8±1; 10±1; 12±1	6±1; 8±1; 10±1; 12±1
Lungimea, L	mm	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40
Umiditate, M	W -% ^{r)}	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Cenușă, A	W -% ^{d)}	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2	≤ 1	≤ 1,5	≤ 3
Durabilitate mecanică, DU	W -% ^{r)}	≥ 98,0 ¹⁾ ≥ 97,5 ²⁾	≥ 97,5	≥ 96,5	97,5≤DU≤99	97,5≤DU≤99	97,5≤DU≤99
Fracție fină	W -% ^{r)}	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 4	≤ 5	≤ 6
Dimensiunile particulelor de peleți dezintegrați	W -% ^{d e)}	-	-	-	≥ 99% (< 3,15 mm) ≥ 95% (< 2 mm) ≥ 60% (< 1 mm)	≥ 98% (< 3,15 mm) ≥ 90% (< 2 mm) ≥ 50% (< 1 mm)	≥ 98% (< 3,15 mm) ≥ 90% (< 2 mm) ≥ 50% (< 1 mm)
Valoarea calorică net, Q	MJ/kg ^{d)}	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5
Densitatea în vrac, BD	(Kg/m ³) ^{r)}	600≤BD≤650					
Azot, N	W -% ^{r)}	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,6
Sulf, S	W -% ^{r)}	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Clor, Cl	W -% ^{r)}	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,1

W – masic; r – la recepție; d – în bază uscată; d e) dezechilibrați; 1 – pentru peleții cu D=6; 2 – pentru peleții cu D=8

În Republica Moldova, este complicat ca toți parametrii BCSD să se înscrie în clasele menționate anterior. Anume din acest motiv Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi, UTM este implicat de mai mulți ani în cercetarea diferitor tipuri de biomasă și a căilor de îmbunătățire a calității produselor finite din această biomasă determinarea (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021; CIOLACU et al., 2022; MARIAN, DARADUDA, et al., 2021; MARIAN, BANARI, GUDIMA, et al., 2022; MARIAN, IANUȘ, et al., 2022) inclusiv și testarea diferitor tipuri de biocombustibili solizi produși de către agenții economici din Republica Moldova. Mai mult ca atât partea 6 și partea 9 a seriei de standarde ISO 17225 sunt elaborate și introduse pentru a putea extinde sursele de biomasă folosite la producerea BCSD (TOSCANO et al., 2023).

Tabelul 1.5. Clasificarea brichetelor după diferite proprietăți

Extras din (SM EN ISO 17225-3:2021, 2021)

Proprietăți	Unit.	A1	A2	B
Diametru, D	mm			
Lungimea, L	mm			
Umiditate, M	W -% ^r	≤ 12	≤ 15	≤ 15
Cenușă, A	W -% ^d	≤ 1	≤ 3	≤ 5
Densitatea particulelor, DE	(g/cm ³) ^r	≥ 1	≥ 0,9	≥ 0,9
Valoarea calorifică net, Q	MJ/kg ^d	≥ 15,5	≥ 14,4	≥ 14,4
Azot, N	W -% ^r	≤ 0,3	≤ 0,7	≤ 1
Sulf, S	W -% ^r	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,05
Clor, Cl	W -% ^r	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,05

W – masic; r – la recepție; d – în bază uscată; d e) dezechilibrați

Valorificarea eficientă a BCSD este determinată, în mare parte, de calitatea materiilor prime utilizate, care este foarte mult dependentă de originea și specificul biomasei și în special de conținutul de lignină, celuloză și hemiceluloză (ȚIȚEI et al., 2020; SENILA et al., 2022) cu un accent aparte pe conținutul de cenușă, care în multe cazuri depășește limitele stabilite de către standardul ISO 17225 (WILLIAMS et al., 2017).

De exemplu, în rezultatul studiului realizat de către H.J. Pegoretti Leite de Souza și colegii s-a constatat că calitatea peleților produși din biomasă este influențată de distribuția ligninei, arătând că caracteristicile biomasei provenite din arbori tineri fără frunze sunt mai favorabile pentru producerea de bioenergie sub formă de peleți, în comparație cu varianta când aceștia sunt produși din speciile de *Paulownia elongata x fortunei* și din biomasă non-lemnoasă (precum tulpinile de *Miscanthus giganteus*). Calitatea peletelor a fost, în mod pozitiv, corelată cu conținutul de lignină arătând că această abordare furnizează o bază solidă pentru dezvoltarea proceselor de peletizare, pretratare și posibila utilizare efectivă a amestecurilor de materii prime (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021).

O situația analogică cu cea descrisă anterior s-a urmărit în cazul studiul proprietăților fizice și mecanice ale brichetelor produse din plante energetice (URBANOVIČOVÁ et al., 2017)

1.3.2. Influența variabilelor de procesare asupra calității BCSD

Sistemul de Asigurare a Calității reprezintă o componentă esențială în eficientizarea valorificării biomasei pentru producerea BCSD, inclusiv celei provenite din culturi energetice. În linii mari sistemul de asigurare a calității BCSD din culturi energetice este același ca și pentru biocombustibili produși din toate tipurile de biomasă vegetală. Diferența este doar aceea că o parte din regimurile tehnologice sunt specifice și necesită un studiu separat (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022).

Pentru asigurarea calității BCSD din culturi energetice este necesară o abordare metodologică comprehensivă care presupune, atât monitorizarea proceselor individuale pe tot parcursul lanțului de aprovizionare, cât și supervizarea tuturor etapelor din lanțul logistic de aprovizionare cu BCSD (ALAKANGAS și IMPOLA, 2020).

La rândul său lanțul logistic de aprovizionare cuprinde un șir de operații care formează procesul tehnologic de producere și care conțin un șir de factori care influențează calitatea produsului finit (WHITTAKER și SHIELD, 2017).

Exemple pentru descrierea a proceselor de producție cu specificarea factorilor de influență a calității (vezi Fig. 1.2) sunt descrise în standardul (SM EN 15234-2:2017, 2017) - pentru peleți și (SM EN 15234-3:2017, 2017) - pentru brichete. Pretarea acestor cerințe pentru condiții concrete unor situații aparte se prezintă de mai mulți autori (ALAKANGAS și IMPOLA, 2020; KOFMAN, 2016; MARIAN, 2016).

Variabilele care influențează perfecțiunea densificării particulelor de biomasă la producerea BCSD sunt bine cunoscute (KALIYAN și VANCE MOREY, 2009; ORISALEYE et al., 2023; GUDÎMA et al., 2017). Cu toate acestea, există discrepanță în ceea ce privește înțelegerea relațiilor dintre variabilele de producție și mecanismul de densificare prin brichetare și peletizare. În timp ce majoritatea cercetătorilor aleg să utilizeze particule fine de biomasă pentru peletizare, situația este diferită în cazul brichetelor (NGUYEN et al., 2015; MARIAN et al., 2017). În multe cazuri recomandările făcute din punct de vedere tehnic nu sunt corelate cu perspectiva tehnico-economică, lucru care influențează raportul preț/calitate (SIMS et al., 2006).

Situația descrisă se referă, în mod deosebit, atunci când subiectul abordat se referă la BCSD din biomasă de culturi energetice. Astfel, este argumentată realizarea unor cercetări mai profunde care ar permit stabilirea parametrilor de proces pentru a putea elabora recomandări concrete referitoare la stabilirea regimurilor tehnologice la producerea BCSD, în special referitor la cei din culturi energetice. În continuare se prezintă o analiză succintă a variabilelor de proces cu estimarea influenței acestora asupra calității produsului finit.

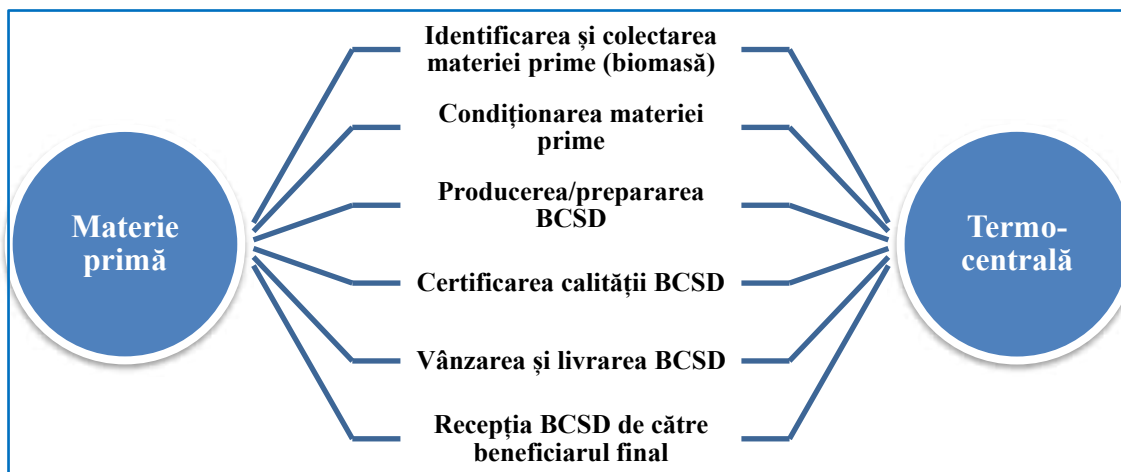


Fig. 1.2. Lanțul de aprovizionare cu BCSD:

Adaptat după (SM EN ISO 17225-2:2021, 2021)

Identificarea și colectarea materiei prime. În cadrul acestei faze este necesar să se selecteze sursa și originea materiei prime. Responsabil pentru calitatea materiei prime este furnizorul de materie primă. La rândul său producătorul de BCSD trebuie să cunoască foarte bine care sunt parametrii calitativi ai materiei prime respective.

Informația despre calitatea biomasei poate fi consultată din diferite surse disponibile, de exemplu (PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018; CIOLACU et al., 2022; GUDÎMA, 2017), însă calea cea mai corectă este testarea acesteia în laboratoare specializate, în special este necesar să se atragă atenția referitor la valoarea calorică, a biomasei și conținutul de cenușă.

Referitor la biomasa provenită din culturi energetice, la moment lipsește o informație sistematizată care ne-ar permite să alegem sursa de biomasă potrivită și a amestecurilor pe baza acestui tip de biomasă. În acest aspect, este motivată cercetarea subiectelor ce țin de calitatea biomasei de culturi energetice și de căile de asigurare a calității produsului finit prin folosire de amestecuri și prin concretizarea parametrilor tehnologici ai întregului lanț de producere.

Condiționarea materiei prime. La brichetare sau peletizare materia primă este supusă mai multor operații de condiționare. Atât peleții, cât și brichetele au niște cerințe față de materia primă înainte de a fi comprimată. Aceasta se referă la conținutul de umiditate, dimensiunea particulelor și gradul de omogenizare (KALIYAN și VANCE MOREY, 2009).

Conținutul de umiditate. În majoritatea cazurilor, conținuturile de umiditate ale biomasei provenite din culturile energetice este determinat de perioada recoltării și de procesul de separare a acestora de produsul recoltat (ȚÎȚEI și ANDREOIU, 2017). De exemplu, *Silphium perfoliatum* colectată în decembrie conține 23 % umiditate, în ianuarie, 20%, iar în martie 14%, *Sida hermaphrodita*, respectiv – 17, 13 și 9% (ȚÎȚEI, 2019). Conținutul de umiditate a reziduurilor de cătină albă, evaluat imediat după tăiere, variază între (42,10±1,27)% pentru ramurile cu vârsta de

peste 3 ani și $(44,16 \pm 0,82)\%$ pentru ramurile cu vârsta de 1 an (MARIAN et al., 2020). Similar, în cazul folosirii reziduurilor după înghețare și separarea fructelor, conținutul de umiditate variază de la 15,4% până la 17,65 %, în funcție de soiul de cătină albă (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022).

Un alt aspect de care trebuie luat în considerare este că toată materia primă folosită la producerea BCSD este un material higroscopic, aceasta își modifică conținutul de umiditate în funcție de condițiile de păstrare, transportare etc. (SAMUELSSON et al., 2012). De aceea, înainte de procesare, biomasa se aduce la un conținut de umiditate prestabilit, care asigură condiții de densificare și de formare favorabile a legăturilor de adeziune dintre particule și de coeziune în interiorul acestora (GUDÎMA et al., 2017).

Literatura de specialitate recomandă diferite date referitoare la temperatura materiei prime înainte de procesare. Astfel în cazul peleților, Serano și Tumularu indică că umiditatea biomasei înainte de comprimare, trebuie să se înscrie în limitele 8 - 18% (TUMULURU et al., 2011; SERRANO et al., 2011), iar (OBERNBERGER și THEK, 2004) consideră că conținutul optim de umiditate este necesar să se înscrie în limitele 8 - 12%. Conținutul de umiditate până la 12% este recomandată și de (MARIAN et al., 2017) cu posibilitatea de mărire a acesteia până la 15%, dacă temperatura de densificare este mai mare de 80°C.

Există și păreri că conținutul umiditate poate fi și mai mare, însă în acest caz trebuie ca biomasa, înainte de procesare, să fie preîncălzită (YANCEY et al., 2013).

O'Dogherty, M. J. și Wheeler, J. A. au cercetat influența nivelului de umiditate asupra rezistenței peleților obținuți din paie de grâu. Conform studiilor lor, umiditatea ideală pentru acești peleți se situează între 10 și 20% (GUDÎMA et al., 2017). Dacă pentru procesare se cere ca biomasa să aibă un conținut mic de umiditate, atunci pentru mărunțire biomasa este de preferat ca biomasa să fie mai umedă (JEWIARZ, WRÓBEL, et al., 2020). Cu toate că există studii despre influența conținutului de umiditate asupra capacității de densificare a BCSD, totuși ceea ce privește densificarea biomasei de culturi energetice aceste studii sunt doar pentru o parte neînsemnată de culturi energetice și aceste adesea sunt contradictorii.

Dimensiunea, forma și distribuția particulelor este un factor foarte important pentru stabilirea legăturilor de adeziune, durabilitatea și rezistența acestora în produsul finit (HARUN și AFZAL, 2016). Durabilitatea legăturilor de adeziune a particulelor densificate este determinată de conținutul de lignină în materia primă și de faptul cât de perfect este distribuită în interiorul masei densificate. Aceasta depinde de modul în care sunt generate forțele intermoleculare, ce sunt la rândul lor dictate de abilitatea atomilor de a se lega, adică de numărul de electroni implicați în formarea legăturilor chimice (electronii de valență); aceste legături pot fi sub forma de legături de hidrogen sau punți de hidrogen, sau sub forma forțelor van der Waals, care reprezintă atracția

dintre moleculele neutre (GUDÎMA et al., 2017; TUMULURU et al., 2011).

Producerea/prepararea BCSD. Producerea BCSD, atât a peleișilor cât și a brichetelor se bazează pe comprimarea biomasei la anumite presiuni și temperaturi astfel ca să se creeze condiții pentru trecerea ligninei în stare amorfă potrivită pentru formarea legăturilor de adeziune între particule și de coeziune în interiorul acestora (GUO et al., 2022).

Mecanismul densificării biomasei la producerea BCSD este formată din mai multe faze. Prima fază are loc la presiuni reduse și presupune apropierea particulelor astfel încât să se reducă treptat spațiile existente între particule până la dispariția completă. De menționat că, dacă acest proces are loc foarte rapid atunci între particule pot apărea goluri care diminuează densitatea produsului finit.

În faza a doua particulele încep să se deformeze și încep să se formeze legăturile intermoleculare. Această fază este foarte mult influențată, atât de temperatura densificării cât și de presiunea dezvoltată de comprimare. În același rând, se remarcă că nu mai puțin importantă este și distribuția granulometrică a particulelor de biomasă (SETTER et al., 2021).

Faza a treia este considerată faza finală, când forțele de presiune ating niveluri maxime, deformările elastice devin plastice, iar structura se consolidează, menținând forma necesară pentru evacuarea produsului finit. În afară de regimurile tehnologice această fază este mult influențată de conținutul de lignină din biomasă și modul de distribuție a acesteia (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021).

Procesul propriu zis de densificare a peleișilor și brichetelor, inclusiv și utilajul folosit este destul de complet prezentat în literatura de specialitate (MARIAN, 2016; GROVER și MISHRA, 1996a), de aceea în cercetările noastre ne vom referi în special la stabilirea regimurilor tehnologice și la asigurarea calității materiei prime folosite.

1.3.3. Metode de optimizare a calității BCSD fabricați din materie primă autohtonă

Îmbunătățirea calității BCSD, inclusiv celor din plante energetice poate fi realizată prin mai multe metode. Iată câteva dintre ele:

1. Utilizarea biomasei de calitate superioară;
2. Formarea de amestecuri și mixturi de biomasă (HARUN și AFZAL, 2016; DARABAN (OROS) et al., 2015);
3. Utilizarea unor aditivi care pot mări capacitatea de integrare și valoarea calorică;
4. Tratarea preventivă a materiei prime cu explozii de abur (JEWIARZ, WRÓBEL, et al., 2020);
5. Optimizarea regimurilor tehnologice de densificare (ORISALEYE et al., 2023; GUO et al., 2022);

6. Tratarea termochimică a biomasei sau a produsului finit (WILÈN et al., 2013; WAHEED et al., 2023);
7. Îmbunătățirea logisticii de producere a BCSD.

De fapt, atunci când se vorbește despre căile de îmbunătățire a calității DCSD este necesară o abordare complexă cu evidențierea ponderii fiecărui factor în parte, dar și aspectul tehnico-economic al implementării unor verigi tehnologice noi sau a unor materiale noi pentru asigurarea calității dorite (TOSCANO et al., 2023).

1.4.Sinteză, scopul și sugestii pentru direcții de cercetare

În acest capitol au fost abordate mai multe aspecte ce țin de situația în domeniul producerii BCSD, în general, și din culturi energetice, în special. Scopul a fost de a oferi mai multe informații legate de situația curentă referitoare la valorificarea biomasei provenită din culturi energetice și asigurarea calității produselor finite obținute din această biomasă.

Datele disponibile în literatura de specialitate cu privire la tematica tezei de doctorat au evidențiat interesul pentru extinderea tipurilor de biomasă vegetală pretabilă de a fi folosită la producerea BCSD. S-a arătat că biomasa generată de culturile energetice constituie o sursă importantă pentru suplinirea deficitului de materie primă la fabricarea BCSD în Republica Moldova.

S-a acordat o atenție deosebită evidențierii și analizei problemelor asociate cu asigurarea calității BCSD din biomasă generată de diverse plante energetice pe parcursul lanțului de aprovizionare cu BCSD având țintă finală posibilitate certificării produsului conform normelor stabilite de către EN*plus*.

În baza analizei și confruntării datelor prezente în literatura de specialitate și a unor rezultate preventive proprii au fost scoase în evidență principalele momente care necesită un studiu mai profund pentru eficientizarea folosirii biomasei vegetale la producerea BCSD, cu punerea accentului pe folosirea biomasei din culturi energetice, și a metodelor de asigurare a calității pe întregul lanț de producere.

În baza celor constate a fost înaintată *ipoteza studiului* care este concentrată pe posibilitate obținerii BCSD cu caracteristici EN*plus* din biomasă de culturi energetice și din amestecuri formate din aceste culturi cu diferite reziduuri agricole.

În baza analizei problemelor evidențiate în acest studiu și pentru validarea ipotezei propuse, am definitivat scopul tezei de doctorat care este axat pe fezabilitatea valorificării biomasei generate de culturile energetice pentru producerea BCSD în toate aspectele prevăzute de sistemul de certificare EN*plus*.

Pentru realizarea scopului propus au fost înaintate următoarele obiective specifice:

- Identificarea situației în domeniul producerii BCSD din culturi energetice și amestecuri pe baza acestora;
- Determinarea factorilor care influențează calitatea BCSD și evaluarea contribuției lor în procesul de certificare *ENplus*;
- Dezvoltarea metodologiei de cercetare și amenajarea laboratorului necesar pentru realizarea obiectivelor propuse;
- Evaluarea resurselor durabile de biomasă generată de culturile energetice, prin prisma utilizării lor în producția BCSD conform normelor *ENplus*;
- Mărirea nivelului de calitate a BCSD conform strategiilor pentru dezvoltare a SRE;
- Diseminarea rezultatelor și aplicarea unor decizii optime în utilizarea biomasei generate de culturile energetice la producerea BCSD cu caracteristici conforme *ENplus*, furnizarea de soluții și răspunsuri pentru producătorii de BCSD în vederea unei utilizări eficiente a biomasei generate de culturile energetice.

2.ABORDAREA GENERALĂ ÎN CERCETARE, RESURSE UTILIZATE, TEHNICI DE PREPARARE ȘI METODE DE EVALUARE

2.1.Proiectarea experimentelor

Descrierea generală a metodologiei de cercetare. Cercetările s-au efectuate în cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi al Universității Tehnice a Moldovei (LȘBCS UTM) cu o parte din cercetări desfășurate în laboratoarele „Microscopie Electronică” și „Ingineria Suprafeței și Tratamente Termice”, Facultatea de Mecanică din cadrul Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași și Departamentul „Polimeri Naturali și Sintetici” din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului „Cristofor Simionescu, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, Iași.

Pornind de la o analiză detaliată a cercetărilor publicate și evaluând critic datele prezentate, am formulat ipoteza de lucru care presupune posibilitatea obținerii BCSD cu caracteristici EN $plus$ din biomasă de culturi energetice și din amestecuri formate din aceste culturi cu diferite reziduuri agricole.

Având în vedere rezultatele analizei problemelor identificate în capitolul 1 și pentru a valida ipoteza anterioară, s-a formulat scopul tezei de doctorat, orientându-se către demonstrarea viabilității procesului de valorificare a biomasei generate de plantele energetice în producția de BCSD, conform criteriilor stabilite de sistemul de certificare EN $plus$. Pentru realizarea scopului propus au fost conturate obiectivele specifice pentru cercetare.

Cercetările s-au realizat în 4 etape distincte conform algoritmului prezentat în Fig. 2.1 și care este concentrat pe îmbunătățirea calității BCSD din diferite culturi energetice și din amestecuri bazate pe aceste culturi și anume: analiza stadiului actual al rezultatelor publicațiilor din domeniu cu formularea scopului și obiectivelor cercetării; elaborarea metodologiei de cercetare cu organizarea laboratorului de cercetare; evaluarea potențialului energetic din punct de vedere cantitativ și calitativ al biomasei din diferite culturi energetice prin prisma folosirii acesteia pentru producerea BCSD; creșterea eficienței utilizării resurselor vegetale provenite din principalele plante energetice răspândite în Republica Moldova.

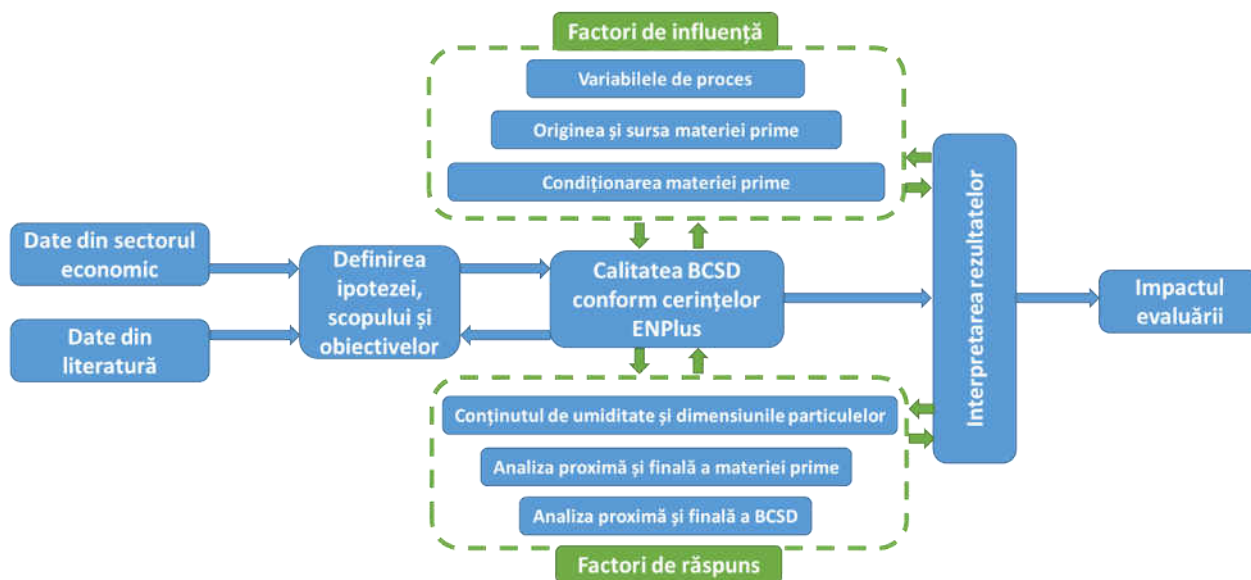


Fig. 2.1. Algoritmul cercetărilor tezei de doctorat

Prima etapă a fost dedicată studierii aprofundate a obiectului cercetării, concentrându-se pe o analiză comprehensivă și sistemică critică a situației actuale din domeniul asigurării calității BCSD. Abordarea sistemică a permis identificarea punctelor forte și a aspectelor care necesită îmbunătățiri pentru asigurarea certificării BCSD conform cerințelor normelor ENplus.

Datele relevante din publicațiile de specialitate au fost confruntate cu unele rezultate preventive obținute de către noi și cu tendințele actuale și bunele practici privind energiile regenerabile din biomasă. În această etapă a fost propusă și ipoteza de cercetare, a fost formulat scopul cercetării, iar în vederea confirmării ipotezei propuse și realizării scopului înaintat s-au organizat metodele prin care să se atingă obiectivele prestabilite.

În etapa a doua s-a pus baza unui laborator necesar pentru dezvoltarea cercetărilor conform obiectivelor trasate în prima etapă a lucrării.

Laboratorul include:

1. Utilajul pentru analiza proximală și finală a obiectului cercetării: Calorimetru isoperibolic cu bomba de oxigen IKA C6000; Gaz cromatograf (Analizor elementar) Vario MACRO cube CHNS-Cl; Cuptor de calcinare electric cu mufă LH 06/13 nr. 818207; Balanță analitică KERN EW 3000-2M; Cântar electronic BSN 6/15D1,3.

2. Utilaj pentru condiționarea materiei prime: Tăietor de biomasă lemnoasă pentru mărunțire grosolană Murena; Mărunțitor de laborator pentru mărunțire fină a biomasei; Retsch SM 100; Etuvă electrică termoreglabilă cu conversie naturală Memmert UNB 500.

3. Utilaj pentru densificarea biomasei: dispozitiv pentru comprimare singulară a probelor cu monitorizare computerizată a regimurilor de densificare (DARADUDA, MARIAN, NAZAR, et al., 2023) (Brevet MD 1734 Y 10.01.2023); minilinie de peletizare cu posibilitate de

monitorizare a umidității biomasei și a temperaturii matriței.

Pe baza utilajului selectat pentru laboratorului creat și a metodelor de analiză a BCSD validate în LȘBCS, s-a dezvoltat metodologia investigației, pornind de la analiza literaturii de specialitate, elaborarea procedurilor de lucru pentru analiza proximală și finală a obiectului cercetării.

În etapa a treia a cercetării, s-a efectuat un studiu complex, care a inclus atât analize statistice cât și experimente practice, pentru a evalua în detaliu cantitatea și calitatea potențialului energetic a biomasei generate de plantele energetice, care ar putea fi utilizată ca materie primă în producția BCSD. Folosirea principiului de la simplu la complex ne-a ghidat în abordarea investigației, începând de la factori individuali pentru a înțelege mai bine cum aceștia influențează caracteristicile biomasei și procesul de producție până la cei complecși.

Inițial, în mod individual, au fost selectate speciile de plante energetice care prezintă o probabilitate mai mare de a fi utilizate ca materie primă în producția BCSD cu caracteristici conforme sau apropiate de cele stipulate de către normele ENplus. În continuare biomasa a fost pregătită pentru procesare.

Precondiționarea biomasei s-a realizat în funcție de speciile de biomasă analizate și de perioada colectării. Astfel, biomasa ierboasă a fost uscată în mod natural direct în câmp, iar biomasa arboricolă a fost condiționată ca umiditate în uscătoria LȘBCS din cadrul Universității Tehnice a Moldovei.

Toată biomasa din plante energetice selectată a fost transportată către uscătoria LȘBCS de la UTM și în caz de necesitate a fost supusă unui proces de condiționare finală a umidității. În acest sens, biomasa brută mărunțită a fost păstrată în uscătorie pentru o perioadă de 5 zile. Pe tot parcursul procesului de uscare, temperatura în masa de biomasă a fost monitorizată în mod continuu, și, în plus, biomasă în sine a fost amestecată manual de câteva ori pe zi.

Analiza complexă a presupus testarea proximală și finală a biomasei luată în studiu și formarea concluziilor referitoare la folosirea acestora ca materie primă la producerea BCSD.

Etapa a patra a fost dedicată studiului căilor de îmbunătățire a BCSD produși din biomasă de culturi energetice. Studiul a presupus o cercetare experimentală mono și polifactorială cu scopul stabilirii constituțiilor optime a diferitor amestecuri de materie primă formate pe baza diferitor specii de culturi energetice și pentru identificarea regimurilor tehnologice de procesarea a biomasei în BCSD.

Rezultatele obținute au condus la formularea concluziilor finale și recomandărilor pentru viitoarele studii.

2.2. Metode și instrumente de cercetare în estimarea BCSD din culturi energetice

2.2.1. Selectarea obiectului cercetării, eșantionarea și prepararea eșantioanelor pentru studiul experimental

Biomasa pentru cercetare a fost obținută din mai multe surse. Majoritatea speciilor de culturi energetice au fost prelevate din Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Republica Moldova unde au fost cultivate pe loturi experimentale (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022). Reziduurile agricole au fost colectate din diferite gospodării agricole din Republica Moldova, de pe terenurile experimentale ale stațiilor didactice „Petricani” și „Chetrosu” ale Universității Agrare de Stat din Moldova, astăzi Universitatea Tehnică a Moldovei și din județele Iași, Botoșani, Vaslui și Galați din România (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022).

Mostrele experimentale de cătină albă au fost colectate de pe câmpurile experimentale ale gospodăriilor agricole din s. Pohrebea, r-nul Dubăsari și din s. Clișova, r-nul. Orhei (MARIAN, BANARI, et al., 2021).

Eșantionarea obiectului cercetării s-a realizat respectând cerințele specificate în standardul SM EN ISO 18135:2017, iar pregătirea acestor mostre a fost efectuată prin metoda sferturilor, conform standardului SM EN ISO 14780:2017.

În Fig. 2.2 și Fig. 2.3 se prezintă secvențe din timpul prelevării probelor și pregătirea eșantioanelor pentru încercări. Biomasa pentru acest studiu a fost colectată pe parcursul a 5 ani, începând cu 2018. La selectare s-a luat în considerare termenul de vegetare, modul de tăiere și perioada de colectare (toamna sau primăvara). Pentru fiecare cultură cercetată au fost selectate suprafețele de tăiere cu folosirea metodelor sferturilor folosită în lucrarea (PAVLENCO, 2018).

Pentru a obține o reprezentativă cât mai bună, suprafața loturilor de pe care s-a colectat biomasa a fost împărțite în parcele pentru tăieri cu suprafețe egale, care au primit numerotări corespunzătoare în cadrul hărții terenului respectiv.

Pentru toate parcelele a fost pregătite bilețele cu numărul indicat în harta terenului. După această etapă, utilizând metoda sferturilor, s-au selectat bilețele până când în fiecare sfert au rămas doar câte 5. Din cele patru sferturi astfel obținute, s-a ales unul singur, care a fost folosit pentru selecționarea culturilor incluse în studiu.



Fig. 2.2. Secvențe din timpul prelevării probelor pentru estimarea calitativă și cantitativă a biomasei de culturi energetice

Condiționarea dimensiunilor particulelor s-a realizat în două etape pentru cazul studiului factorilor de densificare, iar în cazul analizelor proxime și finale a biomasei și produsului finit probele au mai fost măcinate a treia oară la moara cu ciocane din dotarea LȘBCS SM 100.

Condiționarea umidității biomasei luate în studiu s-a realizat prin trei metode: natural direct în câmp, metoda mixtă – în uscătoria LȘBCS și forțat în etuva UNB 500-Memmert.



Fig. 2.3. Eșantioanele de biomasă colectate de pe loturile experimentale, Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Republica Moldova

2.2.2. Estimarea conținutului de umiditate

În acest studiu conținutul de umiditate a fost estimat prin două metode:

1. Metoda totală simplificată cu uscare în etuvă conform cerințelor standardului SM EN ISO 18134 2: 2017;
2. Metoda determinării umidității eșantionului pentru analiză generală conform cerințelor standardului SM EN ISO 18134 3: 2017.

Prima metodă a fost utilizată mai ales pentru a evalua conținutul de umiditate din biomasa în momentul colectării sau înainte de prelucrare. Pentru a determina umiditatea biomasei, aceasta a fost fragmentată în câmp astfel încât dimensiunea particulelor să nu depășească 31,5 mm. Reducerea dimensiunii eșantionului s-a realizat rapid, conform cerințelor specificate în standardul SM EN ISO 14780:2017, încercând totodată să se evite cât mai mult aerisirea. După fragmentare, probele au fost sigilate în pungi ermetice și transportate la LȘBCS al Universității Tehnice din Moldova pentru realizarea analizei.

Mărimea porției de încercare a fost de cel puțin 100 g. Cântărirea s-a realizat cu balanța KERN EW 3000-2M clasa de execuție II; (0,01 g).

Manipularea probelor de încercat în laborator s-a realizat prin transferarea porțiunii materialului de încercat din ambalajul în care a fost livrat într-o tava de uscare goală și curată în care materialul s-a împrăștiat în mod uniform, fără a depăși suprafață de 1 cm².

Uscarea a fost efectuată folosind o etuvă electrică cu reglare termică Memmert UNB 500, care a fost preconfigurată la temperatura de (105 ±2)°C. Tava a fost încălzită până când masa probei a ajuns la o valoare constantă. Se consideră că masa este stabilă atunci când nu suferă variații mai mari de 0,2% absolut față de masa inițială a probei într-un interval de încălzire de 60 minute.

Conținutul de umiditate a fost estimat în bază umedă folosind următoarea relație:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} 100, \% \quad (2.1)$$

în care m_1 reprezintă greutatea tăvii de uscare fără conținut, g; m_2 – masa tăvii de uscare împreună cu porțiunea de test înainte de procesul de uscare, g; m_3 – masa tăvii de uscare împreună cu porțiunile de test după uscare (cântărită încă când este fierbinte), g.

A doua metodă de determinare a conținutului de umiditate s-a folosit pentru analiza produselor finite și în cazul analizei factorilor de proces.

Probele pentru încercat au fost obținute conform cerințelor standardului SM EN ISO 18135:2017 și preparate conform cerințelor standardului SM EN ISO 14780:2017.

Înainte de procesul de uscare, mostrele au fost fragmentate la moara cu ciocane SM 100, utilizând o sită cu deschiderea ochiurilor de 1 mm. În vederea evitării interacțiunii cu mediul

exterior, aceste mostre au fost plasate într-un exsicator și păstrate acolo până la momentul efectuării experimentelor. Cântărirea mostrelor s-a realizat cu balanța ACEN–AS2 220/C/2RADVAG, clasa de execuție I; (0,0001 g).

Mostrele cu o masă de cel puțin 1 g au fost uniform distribuite în interiorul unor fiole care fuseseră prelucrate termic în prealabil la $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$ și apoi menținute în exsicator până când au ajuns la temperatura camerei. După ce mediul înconjurător a atins temperatura dorită, fiecare fiolă împreună cu conținutul său de biomasă a fost cântărită. Apoi, fiolele au fost reintroduse în cuptor și ținute cel puțin 60 de minute la temperatura de $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

Această procedură a fost repetată de mai multe ori până când masa a devenit constantă, cu diferențe de cântărire care nu au depășit 1 mg. Conținutul de umiditate din mostrele examinate a fost determinat folosind formula:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} 100, \% \quad (2.2)$$

în care m_1 reprezintă masa fiolei goale și a capacului, g; m_2 – masa fiolei împreună cu capacul și cu proba pentru încercare înainte de uscare, g; m_3 – masa fiolei împreună cu capacul și cu probă testată după uscare, g.

Toate testările au fost efectuate în cel puțin 5 iterații repetate. Precizia testelor a fost evaluată prin calcularea abaterii standard și a intervalului de încredere.

Procesul determinării conținutului de umiditate poate fi vizualizat în Fig. 2.4.



Fig. 2.4. Secvențe referitoare la estimarea conținutului de umiditate a obiectului cercetării

2.2.3. Estimarea conținutului de cenușă reziduală

Conținutul de cenușă al probelor a fost estimat conform Standardului SM EN ISO 18122:2023. Mai multe detalii despre procedura de determinare a conținutului de cenușă sunt

prezentate în lucrările noastre (MARIAN et al., 2020; MARIAN, DARADUDA, et al., 2021).

Încercările s-au realizat pe probe mărunțite în prealabil la moara cu ciocane SM 100 astfel ca dimensiunile particulelor să nu depășească 1 mm și uscate, în prealabil, în etuvă electrică cu reglare termică Memmert UNB 500.

Probele supuse testării se introduc în creuzete uscate în prealabil la temperatura de $(550\pm 10)^{\circ}\text{C}$, menținându-le cel puțin 60 min și răcite pe o placă termorezistentă pe parcursul 5 – 10 min și cântărite la balanța ACEN–AS2 220/C/2 RADVAG, clasa de execuție I; (0,0001 g).

Probele destinate testării sunt plasate în vase speciale numite creuzete, uscate în prealabil la o temperatură de aproximativ 550°C , cu o toleranță de 10°C . Acestea sunt menținute în creuzete timp de cel puțin 60 de minute și apoi răcite pe o placă rezistentă la temperatură timp de 5 până la 10 minute. După răcire, greutatea acestora este măsurată folosind o balanță numită ACEN–AS2 220/C/2 RADVAG, care se încadrează în clasa de execuție I și poate detecta diferențe de masă de până la 0,0001 grame.



Fig. 2.5. Secvențe referitoare la estimarea conținutului de cenușă

Creuzetele cu probele pentru testare (masa probei trebuie să fie aproximativ egală cu 1 g) se introduc în mufa LH 05/13, în prealabil răcită (Fig. 2.5). Mufa, în care se află probele, este încălzită până la o temperatură de aproximativ 250°C , într-un interval de timp de 50 de minute, cu o viteză de creștere a temperaturii de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Această temperatură este menținută constantă pentru 60 de minute, asigurând eliminarea tuturor substanțelor volatile dinainte de a începe arderea. Se continuă încălzirea uniformă a mufei până la aproximativ 550°C , cu un interval de toleranță de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Încălzirea se realizează pe parcursul a 60 de minute, și temperatura stabilită se menține cel puțin 120 de minute.

2.2.4. Evaluarea valorii calorifice și densității energetice

În acest studiu au fost folosite trei valori prin care s-a estimat puterea de ardere a obiectului cercetării: valoarea calorifică brută (superioară), valoarea calorifică net în bază uscată și valoarea calorifică net pentru un anumit conținut de umiditate (MARIAN et al., 2020).

Valoarea calorifică brută cuprinde, inclusiv, căldura eliberată în urma schimbărilor de fază care au loc în timpul combustiei, precum condensarea și solidificarea. Această valoare este determinată prin recalcularea produselor rezultate în urma arderii la temperatura de referință (25°C). Cu alte cuvinte, atunci când am evaluat obiectul cercetării folosind valoarea calorifică superioară, luăm în considerare și energia eliberată de vapori în procesul de ardere, care ulterior se transformă în stare lichidă. Pentru combustibilii solizi și lichizi, valoarea termică brută se măsoară la volum constant, în timp ce pentru combustibilii gazoși, măsurătorile se efectuează la presiune constantă, astfel, în acest studiu noi am măsurat valoarea calorifică superioară la volum constant (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022).

Conform standardului SM EN ISO 18125:2017 valoarea calorifică brută (superioară) la volum constant reprezintă o măsură absolută a energiei specifice degajate în timpul procesului de ardere. Această măsură este exprimată în Jouli și corespunde energiei eliberate în urma arderii unei unități de masă într-un mediu oxigenat, într-o bombă calorimetrică și în condiții de test speciale. Conform acestei definiții, se presupune că reziduurile rezultate din ardere sunt compuse din gaze precum oxigenul și azotul, precum și din compuși precum dioxidul de carbon și dioxidul de sulf. În plus, se consideră că apa se află în echilibru cu vaporii săi fiind saturată cu CO₂ în condițiile reacției care are loc în bomba calorimetrică. Toate aceste componente, inclusiv cenușa solidă rezultată din ardere, sunt evaluate la temperatura de referință, adică 25°C (SM EN ISO 18125:2017, 2017).

Valoarea calorifică superioară s-a măsurat cu calorimetrul izoperibolic IKA C6000 pentru mediu cu volum constant. Procedurile de măsurare și calcul au fost realizate conform reglementării standard SM EN ISO 18125:2017 (Fig. 2.6). În această încercare, au fost efectuate replici, pe baza cărora s-a determinat deviația standard și intervalul de încredere.

Înainte de a fi supuse la teste, dimensiunile probelor au fost reduse prin fărâmițare la moara cu ciocane Retsch SM 100 cu trecere prin sita cu deschiderea ochiurilor 1 mm. Masa fiecărei probe a fost măsurată cu ajutorul balanței analitice AS 220/C/2, marca RADVAG (vezi Fig. 2.5). Toate mostrele utilizate pentru a determina puterea calorifică au fost deshidratate prin uscare în etuva electrică cu reglare termică Memmert UNB 500. Datorită faptului că această etuvă este echipată cu sistem de monitorizare a temperaturii și cu un sistem de ventilație, a fost posibilă menținerea constantă a temperaturii în limitele stabilite conform standardului.

Valoarea calorică netă s-a determinat prin scăderea cantității de căldură provenită din transformările fizice de vaporizare din valoarea calorică superioară conform metodicii descrise în (MARIAN et al., 2020).



Fig. 2.6. Aspecte din timpul determinării valorii calorifice superioare la calorimetrul izoperibolic IKA C6000 în LȘBCS, UTM

Prin urmare, în acest caz, energia consumată la vaporizarea apei nu este considerată ca energie care produce căldură. Astfel, valoarea calorică inferioară presupune că căldura de vaporizare este latentă și nu este recuperată în procesul de combustie.

Valoarea calorică inferioară în bază uscată a mostrelor experimentale a fost calculată pentru starea complet deshidratată a probelor, utilizând următoarea relație:

$$q_{p,net,d} = q_{V,gr,d} - 212,2 \times w(H)_d - 0,8 \times [w(O)_d + w(N)_d] \quad (2.3)$$

în care $q_{p,net,d}$ - valoarea calorică netă în bază uscată, J/g;

$q_{V,gr,d}$ - valoarea calorică superioară la volum constant măsurată la calorimetrul izoperibolic IKA C6000, J/g;

$w(H)_d$; $w(O)_d$; $w(N)_d$ sunt, respectiv, conținutul de hidrogen, oxigen și azot, conținut în procente masice în bază uscată, %.

Valoarea calorică inferioară pentru un anumit conținut de umiditate, adesea calculată la umiditatea conținută în combustibilul la momentul recepției, reprezintă cantitatea efectivă de căldură eliberată prin arderea completă și perfectă a unei unități de combustibil, fără a lua în considerare căldura cheltuită pentru vaporizare. Această valoare a BCSO echivalează cu energia termică produsă în urma combustiei complete a peleișilor în instalațiile de încălzire utilizate în

prezent atât în mediul rezidențial, cât și în cel industrial. Se determină următoarea relație:

$$q_{p,net,m} = (1 - 0,01M - 24,43 \times M) \quad (2.4)$$

în care M reprezintă conținutul de umiditate, %(w).

Densitatea energetică a probelor examinate s-a determinat ca cantitate de energie stocată într-un anumit volum. S-a determinat pentru biomasa deshidratată, adică în bază uscată și pentru biomasa cu un anumit conținut de umiditate.

Densitatea energetică în bază uscată s-a determinat cu relația:

$$ED_d - BD_d \times g_{p,net,d} \quad (2.5)$$

Densitatea pentru cazul când probele posedă un anumit conținut de umiditate M. În acest studiu conținutul de umiditate a fost stabilit egal cu 10% și a servit în majoritatea cazurilor ca valoare de referință. În acest caz densitatea energetică s-a determinat cu relația:

$$ED_{M=10\%} - BD_{M=10\%} \times g_{p,net,M=10\%} \quad (2.6)$$

2.2.5. Analiza chimică și analiza SEM a biomasei și a produselor finite

Compoziția chimică a obiectului cercetării s-a realizat prin mai multe metode. Conținutul de C, H, S, N și Cl au fost determinate în produsele de ardere rezultate din arderea completă la analizorul elemental Vario MACRO cube CHNS&Cl. Identificarea și evaluarea cantitativă au fost realizate folosind un dispozitiv de detectare a conductivității termice TCD. Rezultatele au fost procesate folosind programul software EAS, care permite prezentarea, monitorizarea, înregistrarea și analizarea informațiilor necesare pentru a caracteriza elementele chimice examinate.

Pentru unele cazuri oxigenul a fost calculat prin diferență:

$$O = 100 - (C+H+S+N) - M_w - A, \quad (2.7)$$

În care O, C, H, S și N reprezintă, respectiv, conținutul de oxigen, carbon, hidrogen, sulf și azot în procente masă estimat în bază uscată;

M_w – conținutul de umiditate în procente masă estimat în bază umedă;

A – conținutul de cenușă în procente masă estimat în bază uscată.

Conținutul de carbon fix s-a determinat cu relația:

$$C_f = 100 - MV - M_d - A,$$

În care MV reprezintă conținutul de materii volatile în procente masă estimat în bază uscată; M_d – conținutul de umiditate în bază uscată.

Conținutul de lignină, celuloză și hemiceluloză al probelor s-a determinat în laboratoarele Departamentul „Polimeri Naturali și Sintetici” din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului „Cristofor Simionescu, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, Iași. Descrierea amănunțită a metodicii folosite în cercetare este descrisă în lucrarea noastră (MARIAN, IANUȘ, et al., 2022).

Analiza SEM s-a realizat prin microscopie electronică cu scanare (SEM FEI Quanta 200 3d — fascicul dual, echipat cu unitate de analiză spectroscopică cu raze X cu dispersie de energie — Xflash Bruker, SUA) iar analizele XRD au efectuate folosind instalația XPERT PRO MPD 3060 de la Panalytical (Olanda), cu un tub cu raze X de Cu ($K\alpha = 0,154051$ nm), 2 Theta: 10° – 40° , dimensiunea pasului: $0,13^\circ$, timp/pas: 51 s și o viteză de scanare de $0,065651^\circ/s$. Spectrele FT-IR au fost înregistrate pe probe solide în granule KBR cu ajutorul unui spectrometru FT-IR Bruker cu o rezoluție de 4 cm^{-1} . Analizele s-au realizat în Laboratorul de Microscopie Electronică a UT Gh. Asachi, Iași (CIOLACU et al., 2022).

2.2.6. Aparatura și echipamente folosite în cercetarea experimentală

Detaliile despre aparatura și echipamentele utilizate în acest studiu sunt prezentate în secțiunile corespunzătoare care se referă la cercetările efectuate cu acestea. Toate echipamentele necesare pentru a efectua încercările corect (inclusiv pregătirea obiectelor pentru testare, procesarea și analiza datelor obținute în timpul testelor) sunt validate în laboratoarele în care au fost efectuate aceste teste, conform cerințelor standardului ISO/IEC 17025.

Studierea procesului de densificare a biomasei din culturi energetice s-a realizat cu folosirea unui dispozitiv original brevetat „Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete”, Brevet MD 1734 Y 10.01.2023.

Acest dispozitiv are rolul de a compacta biomasa în brichete într-un mod singular. Compactarea poate fi realizată fie într-o cavitate închisă, fie într-un flux continuu (vezi Fig. 2.7). Monitorizarea dispozitivului poate fi efectuat de la un calculator. Dispozitivul este format dintr-un piston cilindric 1 care se deplasează vertical sub acțiunea unei prese hidraulice și poate fi monitorizat pentru a măsura forța de presare 13. Matrița folosită este compusă dintr-o cameră superioară 2 care este încălzită de un element termic 4, iar temperatura este monitorizată cu ajutorul unei unități de măsurare 12. De asemenea, dispozitivul include o cameră inferioară demontabilă 9 care permite compactarea în flux continuu.

Caracteristica distinctivă a camerei inferioare 9 este geometria sa specială, care constă în două elemente constructive separate: un con de ghidare tranzițional cu un diametru inițial $D1$, egal cu diametrul camerei superioare și care se micșorează treptat până la un diametru $D2$ datorită unei teșituri cu un unghi de înclinare de $8,5 \pm 0,5$ grade, și un element de calibrare care are două tăieturi longitudinale cu o lungime $l2$ stabilită în funcție de lungimea totală a cilindrului $l1$ prin raportul $l2/l1 = 0,75 \pm 0,05$.

Camera inferioară 9 dispune de un inel limitator 8 echipat cu un traductor tensorezistiv de presiune, ce permite ajustarea și evaluarea forțelor care se manifestă în timpul compactării brichetelor în flux și care exercită presiune asupra pereților cilindrului.

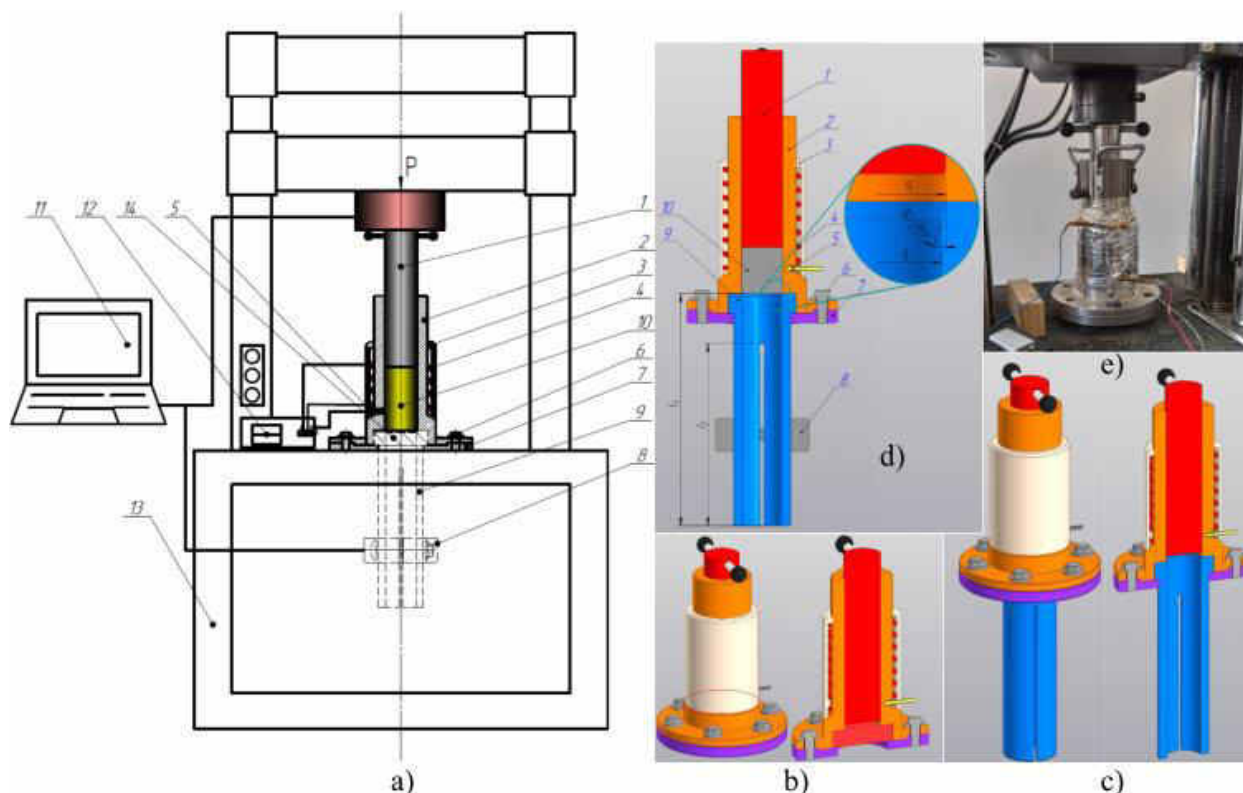


Fig. 2.7. Vederea generală și schema dispozitivului pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete

Dispozitivul se instalează pe o presă hidraulică 13 (vezi Fig. 2.7, a), care permite efectuarea testelor de compresiune și măsurarea încărcăturii. De exemplu, poate folosi o mașină INSTRON din seria 5980. Dispozitivul propriu zis este alcătuit din două camere ale matricei: camera superioară 2 și camera inferioară 9, pe care este montat un inel limitator cu un tensometru pentru presiune 8. În plus, există un element termic 4, care permite încălzirea camerei superioare la diferite regimuri termice. Acest element termic este izolat cu un element izolator 2. Dispozitivul include și o unitate de monitorizare a temperaturii 12, care utilizează un termocuplu 5, precum și un calculator 11 pentru înregistrarea și gestionarea regimurilor de compactare. Camera superioară 2 este conectată la placa suport 7 printr-o serie de șase bolțuri 6, iar biomasa 10 este comprimată de către poansonul 1 cu ajutorul presei hidraulice 13.

Dispozitivul are capacitatea de a funcționa în două moduri distincte. În primul scenariu, procesul de brichetare are loc într-o cavitate închisă, așa cum este ilustrat în Fig. 2.7, b. În această situație, partea de jos a camerei superioare este blocată cu ajutorul dopului detașabil 14, care poate bloca evacuarea materialului (în poziția blocată), fie permite evacuarea continuă a acestuia (în poziția deschisă).

Pentru a efectua experimentele, biomasa este introdusă în camera 1, folosind o pâlnie, și este încălzită la o temperatură prestabilită în prealabil de către unitatea de control 12. În acest mod, putem investiga gradul de compactare în cavitatea închisă în funcție de presiunea aplicată,

temperatura matriței, viteza de compactare și caracteristicile biomasei vegetale care urmează să fie compactată, cum ar fi granulația, conținutul de umiditate sau tipul de biomasă utilizat.

A doua opțiune este procesul de brichetare în flux. În acest caz (vezi Fig. 2.7, c), dopul detașabil este înlocuit cu camera inferioară a matriței 9. Această cameră este compusă din două elemente specifice: conul de ghidare tranzițională și elementul de calibrare. Conul de ghidare tranzițională, inițial, are același diametru $D1$ ca și camera superioară, dar se reduce treptat până la diametrul $D2$ printr-o înclinare cu unghiul de $8,5 \pm 0,5$ grade. Acest unghi de înclinare a fost stabilit experimental și asigură condiții favorabile pentru tranziția și comprimarea finală a biomasei în camera secundară. Elementul de calibrare are două tăieturi longitudinale cu o lungime $l2$, care permit ajustarea forțelor de presiune în interiorul brichetei prin intermediul inelului limitator 8. Acest inel limitator este echipat cu un tensometru de presiune pentru înregistrarea forțelor care acționează asupra pereților cilindrului. Lungimea $l2$ este determinată în funcție de lungimea $l1$, având un raport $l2/l1$ de $0,75 \pm 0,05$.

În acest regim se poate investiga nivelul de compactare al biomasei în flux închis, în funcție de presiunea aplicată, temperatura matriței, viteza procesului de compactare, proporția dintre diametrul matriței la intrare și cel la ieșire, precum și caracteristicile biomasei vegetale supuse compactării, cum ar fi granulația, conținutul de umiditate și natura biomasei.

2.3. Concluzii la capitolul 2

În acest capitol, autorul explică modul în care se poate atinge scopul stabilit în capitolul 2, detaliind aspectele specifice legate de îndeplinirea obiectivelor predefinite. Pentru realizarea acestui deziderat, a fost dezvoltat și pus în aplicare un algoritm conform căruia fost structurat studiul ce ține de investigarea subiectului cercetării și validarea ipotezei propuse.

Pentru analiza cantitativă și calitativă a obiectului studiului au fost folosite metodele standard validate în LȘBCS, experimentele au fost programate astfel ca rezultatele să poată fi prelucrate prin metode statistice și ca să reflecte adecvat fenomenul studiat. În acest scop au fost folosite facilitățile pachetului de statistici STATGRAPHICS Centurion versiunea 18. O parte din rezultatele experimentelor monofactoriale au fost prelucrate cu aplicarea editorului de foi de calcul Microsoft Excel.

Utilajul folosit în studiu este validat conform cerințelor standardului SM EN ISO 17025:2018. Pentru studierea influenței regimurilor tehnologice de densificare a biomasei s-a folosit un dispozitiv original pentru studierea procesului de compactare singulară a biomasei în cavitate închisă și în flux cu capacitatea de monitoriza a monitoriza forța de presiune, temperatura matriței, viteza de compactare, raportul dintre diametrul matriței la intrare și la ieșire și caracteristicile biomasei vegetale supuse procesului de compactare, cum ar fi granulația, conținutul de umiditate, originea și specificația biomasei.

3.EVALUAREA RESURSELOR DURABILE DE BIOMASĂ GENERATĂ DE CULTURILE ENERGETICE, DIN PERSPECTIVA UTILIZĂRII LA FABRICAREA BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI CERTIFICAȚI ENPLUS

3.1.Perspectivă referitoare la evaluarea resurselor durabile de biomasă pentru scopuri energetice

Echilibrarea producției de surse energetice regenerabile este considerată o politică economică națională pe termen lung în Republica Moldova. În acest context energia din biomasă joacă un rol cheie în mixtul de energii regenerabile folosite în Republica Moldova, deoarece pot servi ca o alternativă adecvată la combustibilii fosili. Cu toate acestea, calitatea materiei prime care este folosită pentru producerea BCSD este adesea o cauză de frânare a dezvoltării acestei ramuri importante (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021; GANSBERGER et al., 2015). Din acest motiv evaluarea calității biomasei pretabilă pentru a fi utilizată ca bază în fabricarea BCSD este crucială.

În prezent există mai multe cercetări ce țin de estimarea calitativă și cantitativă a biomasei vegetale utilizate ca resurse de materie primă în contextul Republica Moldova. Aceste cercetări se referă, în special, la cantitatea și calitatea biomasei provenite în rezultatul diferitor activități agricole. De exemplu, Gudîma a studiat potențialul de biomasă disponibil pentru producerea BCSD într-un studiu de caz pentru raionul Soroca (GUDÎMA, 2017). În acest studiu, autorul a stabilit că doar 5 % din biomasa agricolă colectată în raionul Soroca, posedă o putere calorifică net la umiditate de 10% ce depășește 16,5 MJ/kg și care poate fi utilizată individual la fabricarea BCSD clasa A1 EN*plus* (Reziduuri lemnoase pomi sămânțoase și reziduuri de pomi sămburoase). Conform autorului, o mare parte de biomasă agricolă (reziduuri de sorg pentru boabe, reziduuri rapiță, paie de cereale, reziduuri pomi nuciferi, reziduuri de floarea soarelui, inclusiv coaja de semințe) posedă o valoare calorifică care depășește 14,4 MJ/kg și poate fi utilizată la fabricarea brichetelor de clasa A2. De menționat că această recomandare se referă doar la valoarea calorifică, iar datele s-au folosit la evaluarea potențialului energetic al culturilor respective.

Într-un caz de studiu, realizat de Pavlenco cu privire la evaluarea potențialului energetic al resturilor agricole din zona de dezvoltare nord a Republicii Moldova, s-a efectuat o estimare a potențialului de piață al resturilor agricole adecvate pentru a fi utilizate ca materie primă în producerea BCSD. Conform datelor prezentate de către autor, acest potențial variază între 1645,78 și 1782,93 TJ/an. Din totalul acestor reziduuri, doar 9% pot fi direct folosite în procesul de producție a BCSD cu o valoare calorică conformă standardelor EN*plus*. Restul reziduurilor pot fi utilizate ca adausuri împreună cu alte tipuri de materii prime sau necesită prelucrare preliminară prin metode termochimice (PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018). Astfel, în baza datelor prezentate de către cercetătorii din LȘBCS UTM se poate afirma că, deși există o cantitate enormă de biomasă, în special, rezultată din activități agricole, totuși doar o parte din aceasta poate fi folosită ca materie primă la fabricarea BCSD care îndeplinesc cerințele EN*plus*.

Una din direcțiile de perspectivă, referitoare la asigurarea industriei de producere a BCSD cu materie primă indigenă, este folosirea biomasei generate de diferite culturi energetice și formarea de amestecuri pe baza acestora. Pentru atingerea acestui obiectiv, este important să se înțeleagă într-un mod mai amănunțit tot ceea ce privește potențialul energetic al acestor culturi, precum și abilitatea lor de a fi utilizate ca materie primă în procesul de producție al BCSD.

Scopul studiului din acest capitol presupune identificarea specificului cantitativ și calitativ al biomasei generate de diferite culturi energetice specifice condițiilor Republicii Moldova posibile de a fi folosite ca materie primă la producerea BCSD cu caracteristici care permit certificarea EN*plus*. În vederea realizării scopului înaintat au fost formulate următoarele obiective:

- Analiza semnificației și evaluarea resurselor durabile de biomasă cu perspective de folosire ca materie primă adecvată pentru producerea BCSD în Republica Moldova;
- Analiza datelor din publicațiile de specialitate în domeniu;
- Evaluarea indicatorilor de calitate ai biomasei produse din plante energetice cu perspectivă pentru utilizare ca materie primă la producerea BCSD;
- Identificarea perspectivelor de folosire biomasei generate de genotipurile de *Miscanthus* la producerea BCSD;
- Studiul soluțiilor de promovare și eficientizare a producției locale de SRE din biomasă.

3.2.Aspecte generale privind producerea energiei regenerabile din biomasă în condițiile Republicii Moldova și asigurarea calității acesteia

3.2.1.Semnificația și evaluarea resurselor durabile de biomasă ca materie primă adecvată pentru producerea BCSD în Republica Moldova

Republica Moldova dispune de o gamă diversificată de resurse de biomasă, în special provenite din sectorul agricol și forestier. Valorificarea eficientă a acestor surse de biomasă poate contribui la diversificarea mixtului energetic al țării și la reducerea impactului asupra mediului înconjurător. Este esențial să se dezvolte tehnologii eficiente pentru conversia biomaselor în surse de energie și materii prime, în paralel cu implementarea unor politici de gestionare durabilă a acestor resurse.

Utilizarea biomasei indigene pentru producerea BCSD a cunoscut o creștere semnificativă în anii 2011-2018. În această perioadă, producerea de energie regenerabilă a crescut de la 4% la peste 14% din consumul intern de energie, dintre care 92% a fost produsă din biomasă. Aceste performanțe pot fi explicate prin dezvoltarea mai intensă a industriei de producere a BCSD din biomasă indigenă grație unui șir de proiecte internaționale cum a fost proiectul Energie și Biomasă în Moldova, desfășurat în perioada 2011-2014 – prima fază și 2015-2017 – a doua fază, când au apărut mai multe întreprinderi de producere a BCSD și un șir de centrale termice instalate în

sectorul rezidențial și industrial al țării.

În continuare, folosirea biomasei ca sursă de energie în Republica Moldova, pe parcursul mai multor ani se află aproximativ la același nivel cu o variație ușor descendentă în anii 2019 - 2021 (vezi Fig. 3.1). Una din pricinile stagnării este micșorarea în acea perioadă a prețurilor la unele surse de energie fosilă, în special la gaz, și, nu mai puțin important cantitatea și calitatea biomasei disponibile la nivel local pentru producerea de biocombustibili solizi densificați.

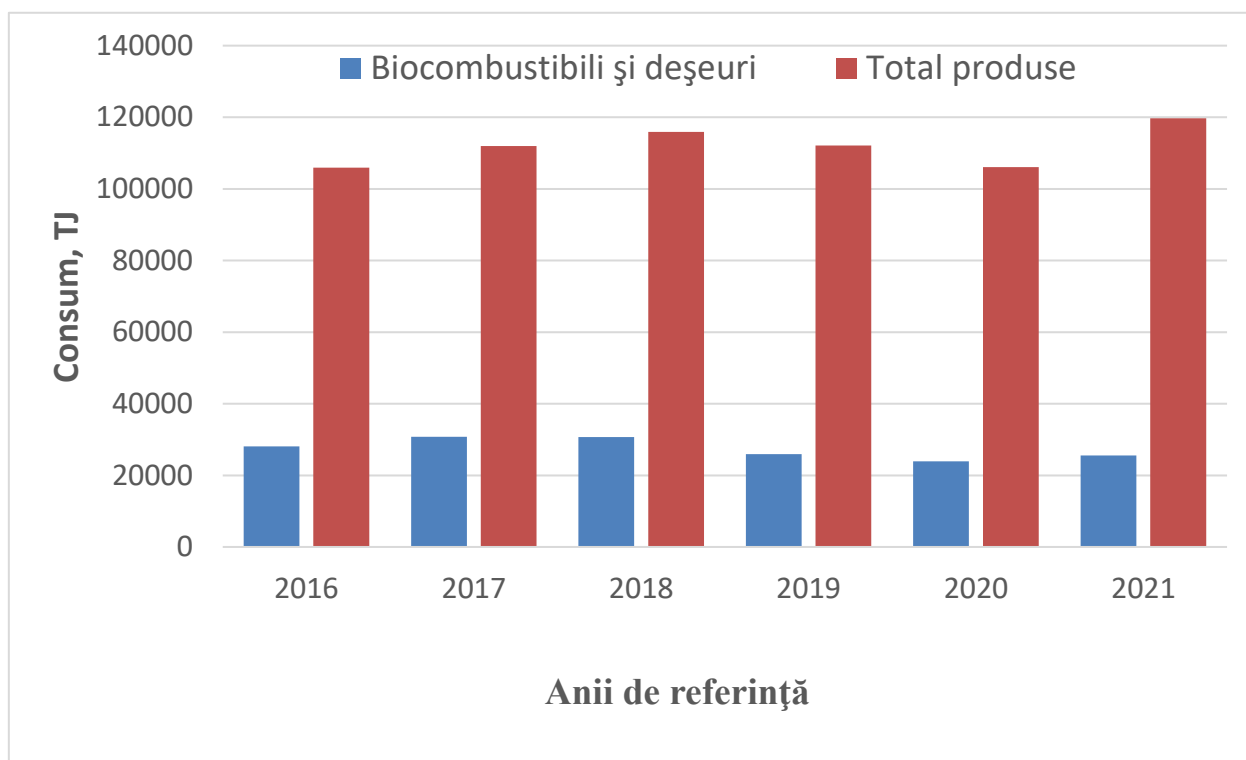


Fig. 3.1. Dinamica consumului de produse energetice total și celor provenite din biocombustibili solizi și deșeuri

Sursă: (BNS, 2022)

În ultimii ani (2022-2023), în virtutea crizei energetice declanșate în această perioadă, interesul pentru producerea de biocombustibili solizi din materie primă indigenă a crescut exponențial (MARIAN, IANUȘ, et al., 2022).

Resursa de biomasă durabilă, disponibilă în Republica Moldova pentru utilizare în scopuri energetice poate fi divizată în patru categorii: biomasă lemnoasă parvenită din activități agrosilvice; biomasă din culturi energetice; biomasă din reziduuri agricole; reziduuri industriale și coproduse de la fabricații industriale (MARIAN, 2016, p. 38).

Folosirea reziduurilor agrosilvice în scopuri energetice este destul de bine studiată în literatura de specialitate (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021; SÁNCHEZ et al., 2019; SCARLAT et al., 2011; PORTUGAL-PEREIRA et al., 2015; GARCÍA-MARAVÉ et al., 2010; TOKLU, 2017; PAIANO și LAGIOIA, 2016).

Cercetările efectuate în Republica Moldova și România au permis să se facă o estimare cantitativă și calitativă a mai multor tipuri de biomasă provenită din sectorul agrosilvic. De exemplu, cercetările realizate la ÎS ITA „Mecagro” (HĂBĂȘESCU și CEREMPEI, 2012; Hăbășescu et al., 2009) și la Universitatea Agrară de Stat din Moldova (acum Universitatea Tehnică a Moldovei) (PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018; MARIAN, SHIRAKAWA, et al., 2013; MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022; GUDÎMA, 2017) au avut un rol important în determinarea potențialului energetic și în evaluarea calitativă a biomasei agricole pentru anumite regiuni de dezvoltare din Republica Moldova.

În cercetările privind evaluarea surselor durabile de biomasă ca materie primă potrivită pentru producerea BCSD cu caracteristici conforme normelor ENplus, efectuate cu contribuția autorului, s-a reușit extinderea cunoștințelor legate de diverse tipuri de biomasă lignocelulozică cu perspectivă fezabilă de cultivare în Republica Moldova. S-a constatat că printre tipurile de biomasă agricolă cu caracteristici calitative foarte bune se regăsește cea derivată din lanțul de producere a cătinii albe (MARIAN et al., 2020; MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022; MARIAN, IANUȘ, et al., 2022; MARIAN, BANARI, et al., 2021). Alegerea acestui tip de biomasă a fost motivată de interesul sporit al agenților economici pentru această cultură în virtutea spectrului larg de utilizare.

Cătina albă (*Hippophae rhamnoides*) reprezintă o sursă semnificativă de compuși cu activitate biologică, cum ar fi antioxidanți, acizi grași, aminoacizi și minerale, conținând concentrații ridicate de vitamina C, carotenoizi, tocoferoli și alți compuși cu rol biologic. Aceasta conține aproximativ 190 de substanțe esențiale în pulpa sa, semințe, fructe și suc. Datorită acestui fapt, fructele provenite de la cătina albă sunt utilizate în industria alimentară (VILAS-FRANQUESA et al., 2020), în industria farmaceutică și în cea cosmetică (BAL et al., 2011; LENTZOU et al., 2020), în medicina tradițională (OLAS et al., 2018; DIENAITÈ et al., 2020; TIAN et al., 2015), precum și în hrana destinată animalelor (TIAN et al., 2015; DANNENBERGER et al., 2018).

O analiză detaliată, efectuată de echipa noastră asupra biomasei provenite de la soiul de cătină albă Cora, a relevat că conținutul de umiditate din biomasa studiată variază în funcție de vârsta arbuștilor, situându-se între $(42,10 \pm 1,27)\%$ pentru ramurile mai bătrâne de 3 ani și $(44,16 \pm 0,82)\%$ pentru cele de un an (MARIAN et al., 2020). Această constatare ne-a permis să sugerăm producătorilor de biocombustibil solid din cătină albă să usuce prealabil biomasa până la conținutul optim de umiditate de $(10 \pm 2)\%$, recomandat pentru producerea de brichete (MARIAN, 2016, p. 133), sau între 14 și 16% pentru fabricarea de peleți (MARIAN, 2016, p. 101).

Potențialul energetic al biomasei generat de cătina albă a fost determinat, de către noi, pentru soiurile Mara, Cora, Clara, Leicora și Seirola. Aceste rezultatele sunt arătate în Tabelul 3.1

(MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022).

Eșantioanele destinate cercetării au fost colectate de pe plantațiile experimentale de cătină albă din gospodăriile agricole din satul Pohrebea, raionul Dubăsari, și din satul Clișova, raionul Orhei. O parte din aceste probe au fost supuse procesului de uscare în secția de condiționare a biomasei de la LȘBCS până când conținutul de umiditate a atins aproximativ $10\pm 2\%$, în timp ce cealaltă parte a fost analizată imediat după finalizarea operației tehnologice respective.

Caracteristicile probelor de biomasă luate în studiu au fost determinate folosind procedurile standard acceptate în cadrul LȘBCS UTM, descrise în capitolul 2.

Tabelul 3.1. Potențialul energetic al biomasei generate de reziduurile obținute de la emondarea câtorva soiuri de cătină albă

Sursă: (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022)

Proba	Număr tufe/ha	Masa reziduuri, kg		M rec	q V,g,,d	q p, net, d	q p, net, M=8%	MET	k per,	PSI
		medie la 1 tufă	la 1 ha	%	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/ha		MJ/ha
Mara	2028.67	1.45	2941.40	17.65	20.11	18.37	16.71	48816.93	0.1	43935.24
Abaterea standard	3.51	0.10	192.17	0.87	0,01	0,01	0,01	2861.71		2575.54
Interval de încredere	3.97	0.11	217.46	0.99	0,01	0,01	0,01	3238.27		2914.45
Cora	1451.00	1.31	1905.54	18.01	20.12	18.38	16.72	31525.79	0.1	28373.21
Abaterea standard	11.00	0.02	22.31	0.54	0,01	0,01	0,01	276.37		248.73
Interval de încredere	12.45	0.02	25.24	0.61	0,01	0,01	0,01	312.73		281.46
Clara	2024.67	1.41	2861.61	15.47	19.73	18.00	16.36	47648.26	0.1	42883.43
Abaterea standard	5.51	0.05	95.24	0.70	0.00	0.00	0.00	1228.48		1105.63
Interval de încredere	6.23	0.05	107.77	0.79	0.00	0.00	0.00	1390.73		1251.12
Leiora	2020.00	1.44	2915.02	16.17	19.98	18.24	16.59	48830.92	0.1	43947.83
Abaterea standard	11.53	0.07	121.04	0.32	0.00	0.00	0.00	2003.20		1802.88
Interval de încredere	13.05	0.08	136.97	0.36	0.00	0.00	0.00	2266.79		2040.71
Seirola	2022.67	1.45	2939.85	15.40	19.90	18.16	16.51	49427.01	0.1	44484.31
Abaterea standard	12.58	0.08	175.93	0.72	0,01	0,01	0,01	2589.72		2330.75
Interval de încredere	14.24	0.09	199.08	0.82	0,01	0,01	0,01	2930.49		2637.44
Media	1793.87	1.39	2505.51	16.61	19.97	18.23	16.58	41791.56	0.10	37612.40
Abaterea standard	256.27	0.06	452.36	1.22	0.16	0.16	0.15	7699.01		6929.11
Interval de încredere	224.63	0.05	396.51	1.07	0.14	0.14	0.13	6748.35		6073.52

Analizând informațiile prezentate în Tabelul 3.1 se observă că, în medie, un hectar de teren cultivat cu cătină albă produce (2505 ± 367) kg reziduuri vegetale lemnoase cu un potențial energetic de $(37,61\pm 6,07)$ GJ. Rezultatele analizei calitative a resturilor de lemn din procesul tehnologic de creștere și prelucrare a cătinii albe Mara, Cora, Clara, Leicora și Seirola sunt expuse în Tabelul 3.2.

Toate reziduurile studiate au prezentat caracteristici favorabile pentru utilizarea ca materie primă în fabricarea BCSD. Așadar, la o umiditate de 8%, cele 5 tipuri de biomasă au o valoare calorică netă de aproximativ $(16,8\pm 0,13)$ MJ/kg. Aceasta oscilează între 16,4 MJ/kg pentru soiul Clara și 16,71 MJ/kg pentru soiul Mara. Conținutul mediu de cenușă se situează la $(0,53\pm 0,13)\%$, cel de azot $0,07\pm 0,22$, de Sulf $0,83 \pm 0,02$ și de clor $0,05\pm 0,01$.

Tabelul 3.2. Calitatea reziduurilor vegetale rezultate de la emondarea anumitor soiuri de cătină albă

Sursă: (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022)

Nr. crt.	Denumire cultură	q V, gr, d	q p, net, d	q p, net, m	A	M	C	H	N	S	Cl	O
		J/g	J/g	J/g	% substanță uscată							
1	Mara	20108.00	18374.36	16708.97	0.47	8.00	49.06	5.37	0.78	0.06	0.05	44.27
2	Cora	20118.00	18384.52	16718.32	0.38	8.00	49.54	5.15	1.09	0.09	0.05	43.76
3	Clara	19731.26	17997.44	16362.21	0.76	8.00	48.78	5.11	0.92	0.07	0.04	44.36
4	Leicora	19976.00	18241.46	16586.70	0.54	8.00	48.13	5.10	0.90	0.06	0.06	45.28
5	Seirola	19898.00	18160.94	16512.63	0.50	8.00	44.30	5.84	0.42	0.04	0.03	48.90
Media		19966.25	18231.75	16577.77	0.53	8.00	47.96	5.31	0.82	0.07	0.05	45.31
Abaterea standard		160.54	161.00	148.12	0.14		2.11	0.32	0.25	0.02	0.01	2.08
Intervalul de încredere		140.72	141.12	129.83	0.13		1.85	0.28	0.22	0.02	0.01	1.82

În vederea acumulării de informații adiționale, necesare pentru justificarea utilizării biomasei agricole în sectorul de producere a BCSD, s-a evaluat potențialul disponibil al biomasei generate de culturile agricole cu cele mai bune perspective în ceea ce privește utilizarea lor ca materie primă sau în calitate de componente în crearea amestecurilor și mixturilor destinate fabricației BCSD cu caracteristici conforme normelor ENplus. Aceste rezultate sunt prezentate în lucrarea noastră (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021).

În Tabelul 3.3 sunt prezentate rezultatele cercetării menționate anterior, din care reiese că aproape toate resturile agricole analizate în studiu au potențialul de a fi utilizate ca materie primă la producerea de BCSD, având o valoare calorifică mai mare de 16.5 MJ/kg la o umiditate de 10%, cu excepția resturilor de nuci și a reziduurilor de viță-de-vie de soiuri tehnice.

Biomasa de măr poate produce cea mai mare energie (41.1 GJ/ha), urmată de cea de viță-de-vie, soiuri de masă (34.5 GJ/ha) și apoi de biomasa de prun (21.4 GJ/kg). Prin urmare, se poate deduce că reziduurile examinate reprezintă o sursă semnificativă de materie primă la fabricarea BCSD, atât ca sursă individuală, cât și în amestecuri cu alte tipuri de biomasă vegetală.

Tabelul 3.3. Potențialul energetic al biomasei vegetale generat de reziduurilor agricole lemnoase în Republica Moldova

Sursă: (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021)

Denumire cultură	m _{p.b.i.} , kg/ha				K _{rez.rec. max.}	k _{d.t.e}	k _{per}	q _{p, net} , MJ/kg		PTR _{M=10%} în MJ/ha	PTR _{M=10%} în MJ/ha
	2017	2018	2019	Media				În bază uscată	Pentru umiditatea 10%		
Fructe sămânțoase, inclusiv:											
meri	10710.0	14760.0	16030.0	13833.3	0.29	0.80	0.10	19.0	16.8	57.1	41.1
peri	2060.0	2060.0	320.0	1480.0	0.22	0.80	0.10	19.6	17.4	3.9	2.8
Fructe sâmburoase, inclusiv:											
vișini	3010.0	5910.0	5960.0	4960.0	0.16	0.80	0.10	19.4	17.2	11.5	8.3
cireși	4640.0	5320.0	3930.0	4630.0	0.24	0.80	0.10	20.8	18.5	16.9	12.2
caiși	2850.0	2330.0	5510.0	3563.3	0.31	0.80	0.10	19.5	17.3	16.4	11.8
persici și nectarine	1950.0	1870.0	1340.0	1720.0	0.26	0.80	0.10	20.0	17.8	6.7	4.8
pruni	5640.0	8170.0	8390.0	7400.0	0.30	0.80	0.10	20.1	17.8	29.7	21.4
Nucifere (nuci, migdale și altele)	340.0	610.0	540.0	496.7	0.10	0.80	0.10	16.9	14.4	0.5	0.4
Arbuști fructiferi	850.0	3320.0	3910.0	2693.3	0.70	0.80	0.10	19.9	16.8	23.5	16.9
Vii, inclusiv:											
soiuri de masa	7190.0	7480.0	7640.0	7436.7	0.6	0.7	0.1	19.0	16.9	54.8	34.5
soiuri tehnice	4480.0	5490.0	4370.0	4780.0	0.4	0.7	0.1	18.3	16.3	20.5	12.9

După analiza efectuată în acest segment și luând în considerare informațiile prezentate în sursele de specialitate, au fost selectate pentru investigații ulterioare cu privire la aspectele legate de crearea de amestecuri pe bază de biomasa provenită din culturile energetice - în special, reziduurile lemnoase agricole și cele de cătină albă.

3.2.2. Evaluarea indicatorilor de calitate ai biomasei obținute din plante destinate producției energetice, cu potențial de a fi utilizate ca materie primă pentru producția BCSD

Pentru a avea o perspectivă completă asupra calității biomasei provenite din diverse culturi energetice, am efectuat o evaluare a parametrilor de calitate pentru o serie de plante energetice potrivite pentru utilizare ca materie primă la fabricarea BCSD. Rezultatele obținute din această analiză sunt detaliat expuse în Tabelul 3.4.

Din datele prezentate se deduce că, din culturile energetice ierboase anuale și bianuale, cele mai bune perspective de folosire la producerea BCSD are Sorgul zaharat *Sorghum bicolor var. saccharatum Mehrotra, Aswal & B.S. Bisht* Sorgul cu o valoare calorifică net la conținutul de umiditate 10% egală cu 15,54 MJ/kg și o capacitate de producție 30 t/ha substanță uscată, urmată de Floarea-soarelui de pădure *Helianthus strumosus* (q_{p, net, M=10%}=15,22MJ/kg) și o capacitate de producție 10 t/ha substanță uscată și de Rapița *Brassica napus L. ssp. oleifera (Metzg.) Sink* (q_{p, net, M=10%}=15,14MJ/kg) și o capacitate de producție 35-40 t/ha masă proaspătă din care 3-5 t/ha reziduuri pretabile de a fi folosite la producerea BCSD.

Tabelul 3.4. Proprietățile culturilor energetice pretabile pentru a fi utilizate ca materie primă în procesul de producție a BCSD

Nr. crt.	Tip biomasă	q _V , gr, d	q _{p, net, d}	q _{p, net, M=10%}	A, %	Productivitate, t/ha (*sursa)	BD kg/m ³ receție	BD kg/m ³ (sită D6)	BD kg/m ³ (sită D10)
Culturi energetice ierboase anuale și bianuale									
1	Sorg zaharat <i>Sorghum bicolor</i> var. <i>saccharatum</i> Mehrotra,	18.65	17.54	15.54	4.47	25–30 ¹ su.	113.20	139.20	168.80
2	Floarea-soarelui de pădure <i>Helianthus strumosus</i>	18.31	17.18	15.22	2.09	3-9,9 ² su.	139.60	182.80	199.60
3	Rapița <i>Brassica napus</i> L. ssp.	18.22	17.09	15.14	5.84	3–5 ³ su	93.60	146.00	122.40
4	Floarea soarelui <i>Helianthus decat+</i>	18.01	16.90	14.97	3.20		82.00	86.80	110.00
5	Facelia <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth	17.37	16.26	14.39	11.16	53 ³ mp	80.80	127.20	126.80
Culturi energetice ierboase perene									
1	Păiuș de livezi <i>Festuca pratensis</i> Huds	19.55	18.39	16.30	3.90	11-14 ³ su.	87.60	95.20	96.00
2	Miscantul giganteu <i>Miscanthus × giganteus</i> Titan	19.59	18.31	16.23	1.18	18-27 ³ 17,7–21,8 ¹ su.	-	-	-
3	Nalba-de-Virginia <i>Sida hermaphrodita</i> Rusby	19.42	18.09	16.04	2.10	20 ³ su.	-	-	-
4	Hrișca-de-Sahalin, <i>Polygonum sachalinense</i> Gigant	19.28	18.02	15.97	2.13	20-27 ³ su.	-	-	-
5	Iarba mare <i>Inula helenium</i> L	19.26	18.02	15.97	5.17	10-12 ³ su.	85.40	118.00	126.00
6	Pelin amar <i>Artemisia absinthium</i>	19.26	18.00	15.96	4.34	8–14 ³ su.	161.2	212.8	195.2
7	Maclea <i>Macleaya cordata</i>	18.95	17.91	15.87	2.17	14-17 ⁴ su.	99.20	142.00	115.60
8	Astra perenă <i>Symphotrichum novi-belgii</i>	19.01	17.79	15.77	4.05	10-12 ³ su.	130.20	191.20	199.20
9	Silphium perfoliatum L soiul Vital , Gigan	19.04	17.78	15.75	4.05	15–20 ³ su.			
10	Topinambur <i>Helianthus tuberosus</i> Maria 2020	18.83	17.62	15.61	1.03	18.40 ⁴ su.	119.2	142.4	169.2
11	Miscant chinez <i>Miscanthus sinensis</i>	18.69	17.55	15.55	4.07	-	116.40	130.40	134.40
12	Topinambur <i>Helianthus tuberosus</i> Solar 2020	18.60	17.41	15.42	2.19	80 ³ mp	124.2	141.6	149.2
13	Astragalus <i>galegiformis</i> Vigor	18.40	17.19	15.23	3.29	10–15 ³ su.	-	-	-
14	Galega orientalius Lam	18.36	17.15	15.19	6.04	16–20 ³ 21.17 ⁴ su.	98.20	163.20	125.20
Culturi energetice lemnoase									
1	Plop hibrid energetic <i>Populus</i> sp.	19.38	18.46	16.37	3.53	10–18 ¹	205.2	215.6	228.4
2	Salcia energetică <i>Salix</i>	19.46	18.19	16.13	3.97	15–30 ¹	250.4	288.0	272.6
3	Salcie energetică turbo	19.48	18.18	16.12	0.98		210.4	5.2	189.6

Notă: m.p. masă proaspătă; s.u. – substanță uscată

Sursă: Productivitate, t/ha: 1 - (TÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021); 2 - (SEILER, 2007); 3 - (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021); 4 - (ȚÎȚEI, 2022); 5 - (MADR, 2014)

Culturile ierboase perene au marcat caracteristici mai bune în comparație cu cele anuale și bianuale. Pe primul loc, ca valoare calorifică, s-a plasat Păiușul de livezi, *Festuca pratensis*, fam. *Poaceae* ($q_{p, net, M=10\%}=16,3$ MJ/kg), urmată de Miscantul giganteu *Miscanthus × giganteus* Titan ($q_{p, net, M=10\%}=16,23$ MJ/kg). Însă trebuie menționat că totuși biomasa de miscanthus este mai potrivită pentru producerea BCSD deoarece conținutul de cenușă este semnificativ redus în raport cu cel rezultat de la arderea biomasei de *Festuca pratensis*, respectiv 1,18% și 3,9%.

Putere de ardere bună posedă și Sorgul peren, Nalba-de-Virginia *Sida hermaphrodita*, Hrișca-de-Sahalin, *Polygonum sachalinense* Gigant și Iarba mare *Inula helenium* L cu o variație a valorii calorifice net la umiditate de 10% în limitele 16- 16,1 MJ/kg. Dintre tipurile menționate cele mai potrivite pentru producerea BCSD sunt cele de Nalba-de-Virginia și de Hrișcă-de-Sahalin, pentru că prezintă un nivel redus de cenușă, care, în esență, se înscrie în normele ENplus.

Cei mai buni indicatori au prezentat speciile de biomasă lemnoasă. Putere de ardere mai mare are plopul 2021 și Salcia energetică *Salix* cu respectiv 16,37 MJ/kg și 16,13 NJ/kg, însă aceste două tipuri de biomasă rezultă multă cenușă la ardere, respectiv 3,53% și 3,97% motiv pentru care nu sunt atractive pentru a fi folosite ca materie primă la producerea BCSD cu caracteristici conforme ENplus. Chiar și în cazul formării amestecurilor de biomasă este mai ușor de mărit puterea de ardere decât de micșorat conținutul de cenușă. De aceea se propune utilizarea la fabricarea BCSD Salcia energetică Turbo și Plopul hibrid energetic.

3.2.3. Perspectivă de folosire a biomasei generate de genotipurile de *Miscanthus* la producerea BCSD

În alegerea culturilor pentru producerea de energie, o atenție sporită se acordă speciei *Miscanthus*, care este destul de eficientă pentru producerea biogazului, biocombustibililor lichizi și, nu în ultimul rând, al căldurii (BILANDZIJA et al., 2017; BROSSE et al., 2014).

Miscanthus reprezintă o plantă perenă din familia Poaceae, de tip C4. Este cunoscut pentru potențialul său socio-economic ridicat, caracterul său peren, randament crescut și cerințele reduse în ceea ce privește cultivarea, fiind extensiv cultivat pe terenuri mai puțin favorabile altor culturi (E SORICĂ, 2015). Planta este rezistentă la afecțiuni și dăunători (XUE et al., 2015; SMITH et al., 2018; WINKLER et al., 2020). Este apreciată pentru abilitatea sa de a combate eroziunea și poate fi cultivată folosind tehnicile agricole obișnuite (BAJURA și GANDACOVA, 2020). Deoarece este o cultură perenă, *Miscanthusul* nu necesită rotația culturilor, ating rate maxime de producție în aproximativ 4 ani și pot fi exploatare timp de 15-20 ani (ATKINSON, 2009; Cristian SORICĂ et al., 2009).

Cu toate că *Miscanthusul* pare a fi o opțiune promițătoare pentru obținerea de materie primă și pentru extinderea SRE din biomasă, în Republica Moldova, producția acestuia se află într-un stadiu inițial și joacă un rol minor în contextul agriculturii naționale.

În prezent, datorită investigațiilor efectuate în cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institutul) „Alexandru Ciubotaru” din Republica Moldova, sunt omologate 4 soiuri de *Miscanthus*: Aphrodite, Atena, Atropos și Titan (B) (CSPTSP, 2021, p. 93).

În subcapitolul 3.2.2 s-a arătat că specia de *Miscanthus* × *giganteus* se plasează printre primele în topul culturilor energetice cu potențial real de a fi folosite ca materie primă la producerea BCSD. Scopul studiului din acest subcapitol este extinderea cercetărilor cu privire la evaluarea biomasei provenite de la varianta genetică *Miscanthus* × *giganteus* Titan care, cum s-a menționat anterior este omologat în Republica Moldova. Deoarece *Miscanthus* × *giganteus* este un hibrid steril de *Miscanthus sinensis* și *Miscanthus sacchariflorus* (ANDERSON et al., 2011), dar și faptul că *Miscanthus sinensis* prezintă caracteristici promițătoare referitor la folosirea

acestui tip de bioenergie (BROSSE et al., 2014; SMITH et al., 2018), pentru comparație s-a analizat și acest tip de biomasă.

În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele cercetării a biomasei obținute din cultivarea genotipurilor de *M. x giganteus* Titan și *M. sinensis*. Studiul a fost realizat în cadrul LȘBCS UTM, iar probele de Miscanthus au fost prelevate din recolta anului 2020, în al cincilea an de vegetație în două perioade: în luna noiembrie, imediat după începutul senescentei inițiale și la începutul lunii martie a anului următor (2021), înainte de debutul perioadei de vegetație. Probele de biomasa au fost prelevate aleatoriu din trestii întregi, aproximativ 200 kg, în timpul ambelor perioade de recoltare din mai multe tăieri intermediare. Suprafața tăierilor a fost de 2 m², iar înălțimea de tăiere de aproximativ 5 cm.

Mărunțirea grosieră s-a realizat direct în câmp (vezi Fig. 3.2), iar condiționarea finală și analiza cantitativă și calitativă în LȘBCS UTM și în Laboratorul de Microscopie Electronică a UT Gh. Asachi, Iași.

În Tabelul 3.5 sunt prezentate rezultatele analizei proximale a biomasei generate de cele două genotipuri de Miscanthus luate în studiu. Interpretând datele obținute putem deduce că umiditatea biomasei recoltate toamna, imediat după debutul inițial al senescentei, depășește semnificativ cel al biomasei recoltate în primăvară, înainte de începerea perioadei de creștere. Astfel, conținutul de umiditate al biomasei recoltate în toamnă este aproximativ de 2.5 ori mai mare decât cel al biomasei recoltate în primăvară (pentru *M. x giganteus*, respectiv 45.2±6 și 18.4±4 %, iar pentru *M. sinensis*, respectiv 49±7% și 19±3 %).



Fig. 3.2. Secvențe din timpul colectării și mărunțirii grosiere a probelor de *Miscanthus Giganteus* pe loturile Grădinii Botanice din Republica Moldova în luna martie

În rezultatul analizei conținutului de umiditate se constată că biomasa recoltată în sezonul de primăvară poate fi prelucrată direct în BCSD, fără a necesita uscarea suplimentară sau cu o

condiționare prin uscare naturală ușoară.

Este esențial să subliniem că conținutul de cenușă al biomasei recoltate în primăvară este semnificativ mai redus în comparație cu cel al biomasei recoltate toamnă, înregistrând o scădere de la 2.79% la 1.32% pentru *M. x giganteus* și de la 4.07% la 2.215 pentru *M. sinensis*. Conținutul de substanțe volatile variază între 81.49% pentru *M. x giganteus* titan (a.h.) și 83.65% pentru *M. x giganteus* titan (s.h.) și respectiv, pentru biomasa de *M. sinensis* - 83.44% pentru biomasa recoltată în toamnă și 83.48% pentru cea recoltată în primăvară.

Densitatea în vrac a biomasei recoltate în sezonul de primăvară, atât pentru specia *M. x giganteus Titan*, cât și pentru *M. sinensis*, recalculată în termeni de bază uscată și la o umiditate medie de procesare de 10%, este mai mare decât densitatea biomasei recoltate în toamnă. Concret, densitatea în vrac a biomasei de *M. x giganteus* recoltată în primăvară (116.2 kg/m³) depășește densitatea biomasei recoltate în toamnă (100.1 kg/m³) cu 16%.

În cazul biomasei de *M. sinensis*, diferența dintre densitate biomasei recoltate primăvara și cea recoltată toamna este chiar mai semnificativă (aproximativ 26%), crescând de la 82 kg/m³ la 103.6 kg/m³. De asemenea, trebuie menționat că biomasa estimată imediat după recoltare, provenind de la *M. x giganteus*, prezintă o densitate în vrac cu aproximativ 10% mai mare decât cea generată de *M. sinensis*.

Tabelul 3.5. Rezultatele analizei proxime a biomasei *Miscanthus x giganteus* și *Miscanthus sinensis*

Sursă: (DARADUDA și MARIAN, 2022)

Biomasa	M _{rec}	A _d	A _{r(M=10%)}	V _d	BD _{rec}	BD _d	BD _{M=10%}
	%				kg/m ³		
M. x giganteus titan (a.h.)	45.2±6	2.79±0.03	3.1	81.49	182.6±8	100.1	111.2
M.s x giganteus titan (s.h.)	18.4±4	1.185±0.1	1.32	83.65	142.4±4	116.2	129.1
M. sinensis (a.h.)	49±7	4.07±0.2	4.22	83.44	180.4±7	82.0	102.2
M. sinensis (s.h.)	19±3	2.21±0.2	2.46	83.48	128.0±3	103.6	115.2

Notă: M_{rec} – conținutul de umiditate a biomasei la recoltare; A_d – conținutul de cenușă în bază uscată; A_{r(M=10%)} – conținutul de cenușă calculat pentru conținutul de umiditate a biomasei egal cu 10%; V_d – conținutul de materii volatile; BD_{rec} – densitatea în vrac a biomasei estimată imediat după recoltare; BD_d și BD_{M=10%} – densitatea în vrac a biomasei calculată în bază uscată și, respectiv, pentru umiditate de 10%; a.h. – recoltată toamna; s.h. – recoltată primăvara.

Determinarea capacității energetice a probelor de biomasă cercetate în acest studiu denotă că biomasa recoltată în sezonul de primăvară deține o putere de ardere ușor mai ridicată în comparație cu cea recoltată în toamnă și uscată prin conversie forțată. Astfel, biomasa provenită de la plantele de *Miscanthus x giganteus* (s.h.) și *Miscanthus sinensis* (s.h.), recoltată primăvara, a înregistrat valori calorifice mai mari, respectiv 19688±198 J/g și 19285.1±175 J/g, în comparație cu 18812.3±245 J/g și 18685.2±90.5 J/g, care au reprezentat valorile pentru biomasa colectată în

timpul sezonului de toamnă (vezi Tabelul 3.6).

Tabelul 3.6. Densitatea energetică a biomasei generate de *M. x giganteus* și *M. sinensis*

Sursă: (DARADUDA și MARIAN, 2022)

Biomasa	q_v , gr, d	$q_{p, net}$, d	$q_{p, net, M=10\%}$	$Ed_{M=0}$	$Ed_{M=10\%}$
	J/g			MJ/m ³	
<i>M. x giganteus</i> titan (a.h.)	18812.3±245	17496.0±252	15502.1±124	1750.73	1723.57
<i>M.s x giganteus</i> titan (s.h.)	19688±198	18409.1±201	16578.3±142	2139.1	2107.56
<i>M. sinensis</i> (a.h.)	18685.2±90.5	17552.8±112	15553.2±99	1615.11	1590.13
<i>M. sinensis</i> (s.h.)	19285.1±175	18140.7±176	16082.3±156	1880.24	1852.10

Tabelul 3.7 sintetizează informațiile obținute în cursul analizei finale a biomasei de *Miscanthus*. Această etapă a analizei biomasei are o semnificație deosebită, având implicații multiple, printre care se numără determinarea raportului teoretic dintre aer și combustibil în procesele de termoconversie, evaluarea valorilor termice și înțelegerea impactului asupra mediului în ceea ce privește nivelul de poluare.

Rezultatele obținute indică faptul că conținutul de carbon, sulf, clor și oxigen rezultat de la arderea biomasei de *M. x giganteus Titan* nu se diferențiază semnificativ față de cel al biomasei de *M. sinensis*, cu excepția cazului în care se iau în considerare termenii de recoltare de recoltare. Astfel, în cazul biomasei recoltate în sezonul de primăvară, se constată că conținutul de carbon este cu circa 3% mai mare ca al biomasei recoltate toamna. Contrar acestei situații, conținutul de oxigen prezintă o tendință opusă, adică biomasa recoltată în toamnă conține un nivel mai ridicat de oxigen în comparație cu cea recoltată în primăvară.

Tabelul 3.7. Rezultatele analizei chimice a probelor de biomasă de de *M. x giganteus* și *M. sinensis*

Biomasa	C	H	N	S	Cl	O	L	Ce	HCe
MG titan (a.h.)	46.51	6.04	0.44	0.04	0.03	44.19	24,65	50,70	22,19
MG titan (s.h.)	49.07	5.86	0.47	0.04	0.04	43.38	25,31	49,7	21,81
MS (a.h)	46.01	5.17	0.28	0.06	0.03	44.41	24,3	51,2	22,9
MS (s.h.)	49.01	5.23	0.27	0.05	0.03	43.02	24,98	51,97	22,14

Notă: MG - *Miscanthus x giganteus* MS - *Miscanthus sinensis*; (s.h.); L – lignină; Ce – Celuloză; HCe – hemiceluloză.

Conținutul de azot nu suferă variații semnificative în funcție de momentul recoltării, cu toate acestea, biomasa de *M. x giganteus* titan conține o cantitate mult mai mare de azot decât biomasa de *M. sinensis*, însă ambele tipuri de biomasă studiate corespund cerințelor pentru certificare ENplus la acest indicator.

Fiecare tip de biomasă analizat în această secțiune, prezintă un nivel scăzut de conținut de sulf. Deși arderea sulfului generează o cantitate semnificativă de energie termică, conținutul

acestui în biocombustibili este restricționat la cel mult 0,05%, deoarece este considerat dăunător mediului și are tendința de a coroda în mod accentuat. Concentrația de clor se situează în intervalul 0,03...0,04%, fiind în esență în concordanță cu cerințele stabilite de normele ENplus.

Din analiza datelor prezentate în Tabelul 3.7 arătăm că, atât factorul specific al genotipului de *Miscanthus*, cât și perioada recoltării au o influență comparativ mică asupra conținutului de lignină, celuloză și hemiceluloză. Acest lucru poate fi explicat prin modul de distribuție a ligninei în interiorul probelor examinate.

În Fig. 3.3 se prezintă imaginile SEM ale biomasei de *Miscanthus* la diferite amplificări, respectiv: 200x, 500x, 1000x și 2000x. Din imagini se evidențiază că morfologia predominantă constă în structuri fibroase orientate în funcție de structura micelară existentă. De asemenea, în unele părți ale particulelor se pot observa suprafețe de separare a fazelor și structură granulară cu dimensiuni inegale și suprafețe neregulate, se evidențiază micropori cu diferite forme și distribuții.

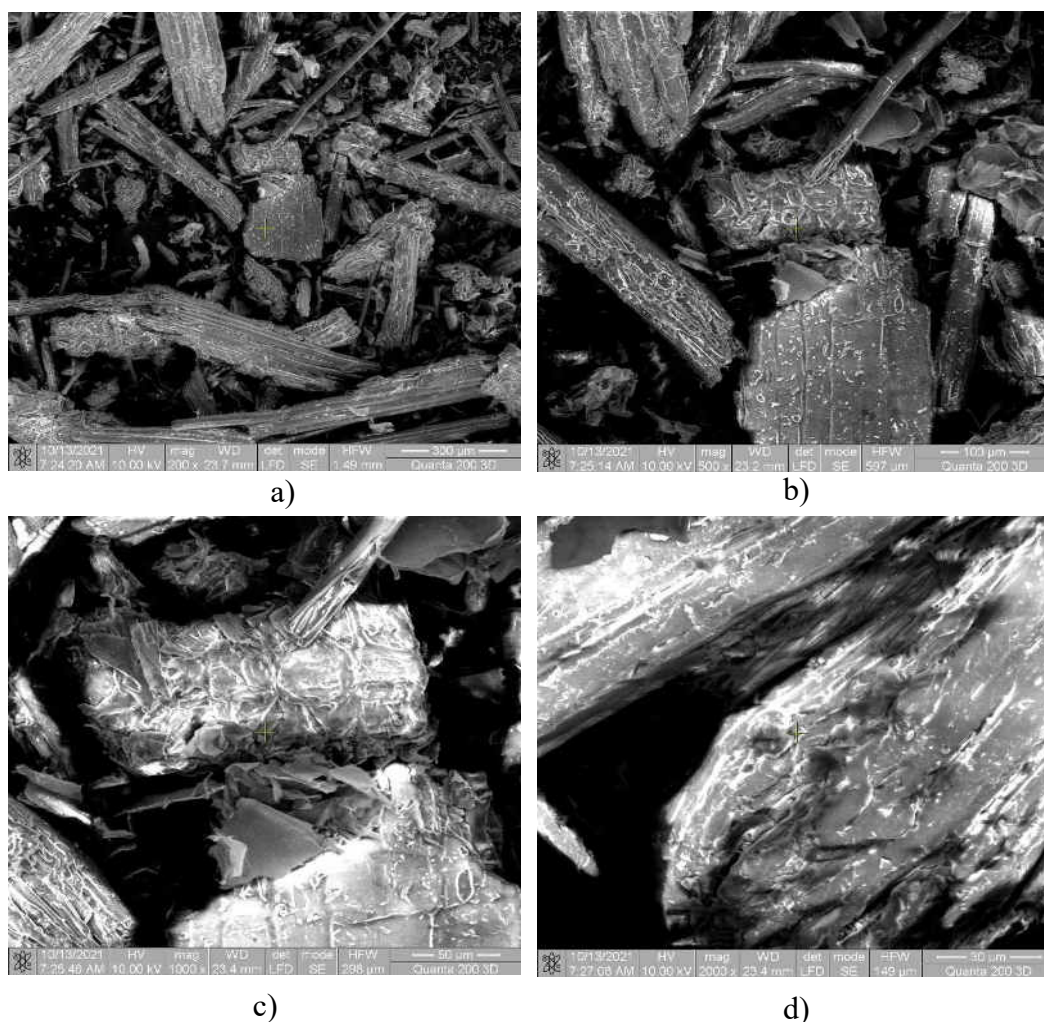


Fig. 3.3. Imagini SEM ale particulelor de biomasă mărunțită de *Miscanthus x giganteus* (a.h.)

Se observă o distribuție complexă a ligninei, de regulă în interiorul fibrelor. Din această situație se poate deduce că acest mod de distribuție a ligninei poate influența semnificativ

densificarea produsului finit în urma compactării particulelor de biomasă de miscanthus. În contrast, distribuția ligninei mai puțin influențează valoarea calorică a probelor de miscanthus studiate așa cum se poate urmări din Tabelul 3.7.

3.3. Concluzii la capitolul 3

În acest capitol au fost evaluate resursele durabile de biomasă generată de culturile energetice, prin prisma folosirii acestora pentru producerea BCSD cu caracteristici necesare pentru certificare ENplus. Această evaluare ne-a permis să formulăm următoarele concluzii:

1. Folosirea biomasei generate de diferite culturi energetice reprezintă o sursă sigură de asigurare a producătorilor de BCSD cu materie primă indigenă;

2. Ca urmare a evaluării semnificației și a analizei resurselor durabile de biomasă ca materie primă potrivită pentru producerea BCSD în Republica Moldova și având în vedere datele disponibile în sursele specializate, s-au ales speciile de biomasă pentru investigații ulterioare în ceea ce privește dezvoltarea amestecurilor pe bază de biomasă provenită din culturile energetice și reziduuri agricole.

3. Rezultatele evaluării indicatorilor de calitate pentru biomasa produsă din plante energetice, cu potențialul de a fi utilizată ca materie primă în producția BCSD, arată că culturile perene prezintă caracteristici superioare în comparație cu cele anuale și bianuale. În ceea ce privește puterea de ardere, din speciile luate în studiu, în frunte se află Păiușul de livezi, denumit și *Festuca pratensis*, din familia Poaceae, urmat de *Miscanthus × giganteus* Titan. Cu toate acestea, trebuie subliniat faptul că biomasa de miscanthus este mai potrivită pentru producția de BCSD, deoarece conținutul său de cenușă este semnificativ mai scăzut în comparație cu cel al biomasei de *Festuca pratensis*, respectiv 1,18% și 3,9%.

4. Cei mai buni indicatori au prezentat speciile de biomasă lemnoasă. De exemplu, plopul 2021 și Salcia energetică Salex, posedă o putere de ardere net de 16,37 MJ/kg și 16,13 MJ/kg, respectiv. Cu toate acestea, ambele tipuri de biomasă produc o cantitate semnificativă de cenușă în timpul arderii (respectiv 3,53% și 3,97%). Din acest motiv, ele nu sunt potrivite pentru a fi utilizate ca materie primă în producția BCSD. Este mai ușor să creștem puterea de ardere a amestecurilor de biomasă decât să reducem conținutul de cenușă. Prin urmare, se sugerează utilizarea Salciei energetice Turbo și a Plopului hibrid energetic în producția de BCSD doar în amestecuri cu alte tipuri de biomasă care la ardere produc mai puțină cenușă.

5. Studiul detaliat al perspectivelor folosirii biomasei generate de diferite genotipuri de miscanthus la producerea BCSD denotă că biomasa provenită de la plantele de *Miscanthus × giganteus* (s.h.) și *Miscanthus sinensis* (s.h.), recoltată primăvara, au o valoare calorică mai mare

ca cea colectată toamna. De asemenea, s-a dedus că conținutul de carbon, sulf, clor și oxigen rezultat de la arderea biomasei de *M. x giganteus* titan nu se diferențiază semnificativ față de cel al biomasei de *M. sinensis*, cu excepția cazului în care se iau în considerare termenii de recoltare.

Astfel, în baza celor constatate și consemnate se poate afirma că a fost identificat specificul cantitativ și calitativ al biomasei generate de diferite culturi energetice specifice condițiilor Republicii Moldova potrivite pentru utilizare ca materie primă în fabricarea BCSD și s-a constatat că aceste reprezintă o sursă durabilă de materie primă potrivită pentru a fi utilizată ca materie primă la producerea BCSD.

4.MĂRIREA NIVELULUI DE CALITATE A BIOCOMBUSTIBILILOR SOLIZI DENSIFICAȚI CONFORM STRATEGIILOR PENTRU DEZVOLTAREA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE

4.1.Scopul și ordinea de realizare a investigațiilor

Biocombustibilii solizi densificați se consideră calitativi dacă aceștia, în esență, corespund normelor EN*plus*. Dintre parametrii calitativi reglementați de către normele EN*plus*, puterii de ardere și capacității de manipulare le revine un rol foarte important (GUDÎMA et al., 2017; JEWIARZ, MUDRYK, et al., 2020; CARRILLO T et al., 2016). La rândul său puterea de ardere, estimată prin valoarea calorifică, și capacitatea de manipulare sunt foarte dependenți de proprietățile materiei prime și de procesul de fabricație. Aceste variabile stau la baza unei producții eficiente și asigurării calității produsului finit.

Până acum, există mai multe cercetări referitoare la calitatea BCSD obținuți din diferite tipuri de biomasă. În special, aceste cercetări se referă la biomasa generată din diferite activități agricole specifice anumitor regiuni geografice (ZHOU et al., 2011; ISLAM et al., 2021; ALAKANGAS, 2016; PAIANO și LAGIOIA, 2016; KUŁAŻYŃSKI et al., 2018; PAVLENCO, 2018; AKHMEDOV et al., 2019; SENILA et al., 2022) sau din silvicultură și industriile conexe (LUNGULEASA și BUDĂU, 2010; SANCHEZ et al., 2022; SÁNCHEZ et al., 2019; ALAKANGAS și IMPOLA, 2020), însă, practic lipsește informație despre regimurile tehnologice pentru procesarea BCSD din biomasă rezultată de la culturile energetice și de la amestecurile acestora.

Scopul prezentului studiu este îmbunătățirea calității BCSD conform prevederilor stipulate în politicile de dezvoltare a SRE. În scopul realizării obiectivului general au fost înaintate următoarele obiective specifice:

- Analiza situației cu privire la producerea BCSD din biomasă vegetală și din amestecuri cu folosirea potențialului culturilor energetice;
- Evaluarea perspectivei utilizării biomasei provenite din culturile energetice și a amestecurilor acestora în procesul de producție a BCSD;
- Evaluarea caracteristicilor de calitate ale BCSD fabricați din amestecuri de materie primă provenind din culturile energetice din familia Asteraceae, cu un accent special pe analiza detaliată a celor produse din biomasa plantei *Silphium perfoliatum* și a amestecurilor dezvoltate utilizând această materie primă;
- Studiul calității BCSD fabricați din culturi energetice din familiile Poaceae și Salicaceae prin analiza detaliată a calității BCSD din biomasă de *Miscanthus* și din amestecuri dezvoltate pe baza acestuia;
- Studiul capacității de miscibilitate a biomasei derivate din *Miscanthus*, Salcie energetică

și Plop hibrid energetic la formarea de amestecuri cu alte specii de culturi energetice,

- Perfecționarea procesului tehnologic de producere a BCSD prin studiul densității particulelor funcție de valorile variabilelor de proces, în cazul folosirii în calitate de materie primă a amestecurilor de culturi energetice.

Factorii de influență pentru investigațiile din acest capitol au fost selectați și cuantificați în baza studiului bibliografic realizat în capitolul 1 și a unor cercetări experimentale preventive efectuate în cadrul LȘBCS UTM.

Componentele utilizate pentru amestecurile de biomasă au fost selectate pe baza criteriilor care caracterizează gradul de calitate al diferitor tipuri de biomasă disponibilă în Republica Moldova. În special, s-a luat în considerare puterea de ardere și compoziția chimică. Este important de remarcat faptul că multe dintre substanțele chimice prezente în biomasă influențează calitatea produsului final. De exemplu, carbonul și hidrogenul sunt elemente active în procesul exotermic de oxidare cu oxigenul (OBERNBERGER și THEK, 2004). Astfel, speciile de biomasă cu raporturi reduse de O/C și H/C prezintă o valoare calorifică mai mare și sunt mai adecvate pentru folosire ca materie primă la producerea BCSD (MENDOZA MARTINEZ et al., 2019).

Evaluarea proprietăților BCSD din amestecuri de materie primă formată pe baza biomasei generate de culturile energetice s-a realizat prin metode standard descrise în capitolul 2.

Cercetarea privind îmbunătățirea calității BCSD prin perfecționarea procesului de fabricație a fost evaluată prin analizarea modului în care variabilele de producție afectează densitatea particulelor din produsul finit. Ca factori de influență au fost identificate temperatura și presiunea aplicate în timpul procesului de comprimare în matrice, precum și conținutul de umiditate al biomasei utilizate.

Studiul a fost realizat cu folosirea unui experiment factorial compus central de tip 2^k , la care sunt adăugate $2k$ puncte în stea la distanța $\alpha=5\%$ și 2 experimente în punctul central. Având în vedere că $k=3$ (temperatura (T), presiunea (P) și conținutul de umiditate (M)) modelul conține un bloc din 16 experimente, care sunt randomizate ce ne-a permis să obținem informații veridice despre existența curbării suprafeței de răspuns și să includem un diapazon al factorilor de influență extins. Planul experimental în coordonate codate este prezentat în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Planul de experimente în coordonate codate pentru studiul dependenței densității particulelor (DE) de regimurile tehnologice de densificare a BCSD

Nr. exp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T, °C	-1	0	-1	1	0	0	0	1.682	-1.682	-1	1	1	1	-1	0	0
P, MPa	1	0	-1	1	0	1.682	0	0	0	1	-1	-1	1	-1	0	-1.682
M, %	-1	-1.682	-1	1	0	0	0	0	0	1	-1	1	-1	1	1.682	0

Probele au fost realizate la dispozitivul de comprimare unitară cu posibilitate de monitorizare a factorilor de influență, elaborat pentru acest scop cu participare autorului și înaintat pentru obținerea dreptului de autor („Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete”, nr depozit s2023 0002, data depozit 10.01.2023) principiul de lucru al dispozitivului este descris în subcapitolul 2.2.6.

Fiecare experiment s-a repetat de 5 ori și cu determinarea abaterii standard și a intervalului de încredere.

4.2.Aspectele introductive referitoare la producerea BCSD din biomasă vegetală, în general și din amestecuri cu folosirea potențialului culturilor energetice, în special

În Republica Moldova, un aspect crucial pentru promovarea utilizării energiilor regenerabile din biomasă este capacitatea de a obține suficiente materii prime adecvate pentru producția de biocombustibili solizi compactați cu caracteristici conforme normelor EN*plus*. Există mai multe surse de aprovizionare cu biomasa pentru utilizarea în scopuri energetice în țara noastră, printre care reziduurilor provenite din culturile energetice și din activitățile agrosilvice le revine un rol de mare perspectivă (MARIAN, DARADUDA, GUDÎMA, et al., 2022). Un aspect important în această privință constă în utilizarea amestecurilor bazate pe biomasa indigenă disponibilă în scopuri energetice.

Folosirea ca materie primă a amestecurilor de biomasă pentru fabricarea BCSD este o preocupare permanentă a producătorilor. În mod uzual, prin amestec se are în vedere a pune la un loc mai multe feluri de biomasă pentru ai conferi materiei prime anumite proprietăți. În literatura de specialitate se folosesc două definiții și anume amestec și mixtură. Prin amestec se are în vedere obținerea unei constituții de biomasă din mai multe componente cu cunoașterea valorii acestora. Prin mixtură se cunosc doar tipul componentelor dar cantitatea acestora nu este cunoscută (MARIAN, 2016). De fapt, în practică, de regulă, se folosesc mixturi, deoarece cantitatea componentelor este foarte aproximativă. Acest lucru, adesea duce la obținerea combustibililor de calitate inferioară și exploatarea neeficientă a utilajului tehnologic (TUMULURU et al., 2011).

Există numeroase cercetări care se concentrează pe studiul calității BCSD din diferite amestecuri. În majoritatea cazurilor aceste studii se referă la amestecuri pentru care componenta de bază este biomasa existentă din abundență în zona respectivă.

De exemplu, cercetătorii de la Universitate din Ibagué din Columbia ARAQUE și col. au studiat comportamentul mecanic al brichetelor produse din amestecuri compuse din rumeguș de pin și coajă de orez. Cele mai bune rezultate au marcat brichetele produse din materie primă cu

conținut de coajă de orez de 75% și 25% rumeguș de pin comprimate cu o forță de 56,4 kg într-un timp de 20 s, la o temperatură de 90°C (ARAQUE et al., 2022).

Kpalo și col. din Nigeria au studiat procesul de producție și caracteristicile brichetelor din amestecuri de ciocălăi de porumb și coajă de trunchi de palmier (KPALO et al., 2020b). Au folosit în calitate de liant deșeuri de hârtie 10% și o presă de 20 tone la o temperatură de 28°C și o presiune de compactare de ≤ 7 MPa. Testele realizate asupra brichetelor s-au concentrat pe proprietățile lor fizice, mecanice și termice. Rezultatele experimentului au demonstrat că fiecare brichetă prezintă caracteristici optime pentru manipulare, transport și depozitare.

Din culturile energetice, cu potențial de cultivare în Republica Moldova, o perspectivă mai bună de a fi folosite ca materie primă la producerea BCSD au culturile energetice perene din familiile:

Asteraceae – silfia *Silphium perfoliatum* și topinambur *Helianthus tuberosus* (IVANOVA et al., 2015; ȚÎȚEI et al., 2019; ȚÎȚEI et al., 2018);

Malvaceae - Sida hermaphrodita și Polygonaceae *Polygonum sachalinense* (ȚÎȚEI și ANDREOIU, 2017);

Poaceae – *Miscanthus* (ȚÎȚEI et al., 2016; MUNTEAN et al., 2018; ȚÎȚEI, 2018):

Culturi energetice lemnoase - *Salcia energetică*, *Plop hibrid energetic*, *Salcâm*, *Măceș* (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021; MARIAN et al., 2014; ȚÎȚEI, ROSCA, et al., 2021).

În același rând, cercetările noastre anterioare au arătat că multe din aceste culturi, deși posedă un potențial sustenabil de energie nu asigură toți indicatorii calitativi înaintați de normele europene ENplus (MARIAN și DARADUDA, 2022). În această situație folosirea amestecurilor de biomasă pe baza biomasei generate de culturile energetice menționate anterior este o problemă actuală și cere o investigație mai detaliată.

Diverse studii efectuate în cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi UTM au condus la identificarea anumitor tipuri de biomasă cu un potențial mai promițător pentru a fi utilizate ca materie primă în producția de BCSD.

Mai multe cercetări, realizate în cadrul LȘBCS din cadrul UTM, inclusiv și cu participarea autorului, au permis identificarea acelor tipuri de biomasă care au un potențial mai bun de a fi folosite ca materie primă la producerea BCSD (MARIAN et al., 2019; MARIAN, IANUȘ, et al., 2021; CIOLACU et al., 2022).

În baza celor constatate în p.4.1. în cele ce urmează vom examina posibilitatea folosirii reziduurilor de cătină albă, pomi fructiferi, viță-de-vie și coaja de semințe de floarea-soarelui în calitate de componentă de ranforsare a materiei prime din diferite specii de culturi energetice.

Folosirea biomasei, generate de diferiți arbuști fructiferi și sălbatici, inclusiv și a celei de cătină albă, în calitate de component de ranforsare a calității materiei prime folosite la producerea

BCSD este una din direcțiile eficiente de îmbunătățire a calității produsului finit (MARIAN et al., 2020).

Arbustul este o specie vegetală perenă, cu dimensiuni de la mici la mijlocii, cu o tulpină sau mai multe tulpini. Spre deosebire de plantele erbacee energetice, arbuștii au tulpini lemnoase. Acest lucru îi conferă caracteristici prețioase în vederea folosirii acestora în calitate de componente la formarea amestecurilor de biomasă, inclusiv împreună cu biomasa de culturi energetice.

Cercetările realizate de către noi au arătat perspective bune de folosire în calitate de componente de ranforsare a amestecurilor de biomasă a unei game destul de largi de arbuști. Astfel, cercetările, efectuate cu scopul de a extinde sursele de biomasă vegetală, răspândite în zonele adiacente râului Prut din Republica Moldova și România, pentru producerea de BCSD sub formă de peleți cu caracteristici conforme cu cerințele ENplus 3, au arătat eficiența folosirii biomasei cătină albă în calitate de componente a materiei prime folosite la producerea BCSD (MARIAN et al., 2020).

Analiza calitativă a biomasei de cătină albă, soiul Cora, obținute din tăierea pomilor și recoltarea fructelor prin congelare precum și produsul finit sub formă de pelete au arătat perspective foarte bune de folosire a acestui tip de biomasă la producerea peleților, iar pe baza analizei distribuției granulometrice a biomasei măcinate, s-a stabilit că distribuția granulometrică este destul de uniformă în cazul mărunțirii și folosirii sitelor cu deschiderea ochiurilor de 4 și de 6 mm (MARIAN, BANARI, et al., 2021; MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022).

Din rezultatele obținute în studiul menționat anterior și corelate cu cele din publicațiile de specialitate se poate deduce că folosirea biomasei generate de astfel de arbuști ca cei de cătină și mur asigură formarea amestecurilor de materie primă cu folosirea biomasei cu caracteristici calitate inferioară, cum sunt diferite tipuri de biomasă erbacee. De exemplu, cercetările noastre referitoare la studiul proxim și final al biomasei provenite din lanțul de producere a cătinii albe, soiul Cora au arătat că aceasta are un conținut de umiditate cuprins în limitele $(42,18 \pm 1,27) - (44,16 \pm 0,82)\%$, adică această biomasă, în cazul includerii ei ca materie primă în lanțul de producere a BCSD, poate fi condiționată la umiditatea recomandată pentru procesare, atât în mod natural, cât și artificial. De asemenea, s-a constatat un conținut de cenușă de la $(0,495 \pm 0,03)\%$ la reziduurile de 1 an și $(1,942 \pm 0,25)\%$ – la cele mai bătrâne de 3 ani. Valoarea calorică net la umiditatea de 10% a biomasei de cătină albă s-a situat între 16,92 și 17,21 MJ/kg (MARIAN et al., 2020). Astfel s-a demonstrat că reziduurile vegetale provenite de la emondarea cătinii albe (soiul Cora) posedă un potențial energetic înalt și pot fi folosite ca materie primă la fabricarea peleților, dar și poate fi folosită în calitate de component de ranforsare în diferite amestecuri de materie primă folosită la producerea BCSD.

Folosirea reziduurilor agricole arboricole ca materie primă la producerea BCSD a fost

subiectul mai multor studii realizate în străinătate (TOKLU, 2017; AHORSU et al., 2018; SARKER et al., 2021; ALAKANGAS, 2016; FERREIRA et al., 2018; PORTUGAL-PEREIRA et al., 2015) și în țară (GUDÎMA, 2017; PAVLENCO, 2018; PAVLENCO, MARIAN, și GUDÎMA, 2018).

Analiza mai complexă a peleților obținuți din reziduuri agricole arboricole este prezentată în lucrarea noastră (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021). În Tabelul 4.2 se prezintă proprietățile peleților produși din biomasă generată de la emondarea diferitor pomi fructiferi din Republica Moldova și județele din România adiacente râului Prut. Reziduurile arboricole au fost mărunțite grosier în câmp și apoi transportate la Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi UTM. Înainte de a fi procesată, biomasa a fost deshidratată natural în uscătoria laboratorului până la o umiditate de aproximativ $10\pm 2\%$, după care a fost mărunțită final folosind moara cu ciocane SV 7 cu sita cu deschiderea ochiurilor de 6 mm.

Tabelul 4.2. Parametrii calitativi ai peleților produși din reziduuri agricole arboricole

Denumire reziduuri	$q_{p.net.M=10\%},$ MJ/kg	A,%	DU,%	DB, kg/m ³	FF,%	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	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
Persici 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

Estimarea calitativă a parametrilor peleților obținuți din reziduuri agricole arboricole a demonstrat că aceștia se încadrează, în mare parte, în cerințele ENplus 3 pentru majoritatea parametrilor calitativi. Cele mai bune caracteristici s-au remarcat în ordinea descrescândă cum urmează. la peleții obținuți din cireși, pruni, măr și peri.

Rezultatele obținute confirmă ipoteza anterioară cu privire la posibilitatea folosirii resturilor agricole arboricole pentru producerea de BCSD. De asemenea, concluziile acestui studiu pot fi aplicate pentru a avansa cercetările privind îmbunătățirea calității produsului finit prin combinarea diferitelor tipuri de biomasă vegetală, inclusiv cea provenită de la diverse culturi energetice cultivate în Republica Moldova.

Folosirea resturilor de viță-de-vie ca sursă de materie primă la fabricarea BCSD este justificată de importanța industriei vitivinicole în economia Republicii Moldova și de potențialul energetic remarcabil al BCSD produși din acest tip de biomasă (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021).

Cercetări cu privire la posibilitatea folosirii reziduurilor de la emondarea viței-de-vie la producerea peleților cu caracteristici conforme cerințelor EN (NUNES et al., 2021) au arătat că peleții produși din biomasă de viță-de-vie, crescută în Portugalia, posedă caracteristici conforme

normelor ENplus. De asemenea, s-a menționat că acest tip de biomasă prezintă proprietăți, atât energetice, fizice, cât și chimice, care permit încorporarea lor în procesele de formare a amestecurilor de biomasă pentru producerea BCSD de calitate.

Concluzii asemănătoare au prezentat și cercetătorii de România (SENILA et al., 2022; ȚENU et al., 2021) care au studiat valoarea calorică a brichetelor produse din biomasă generată de mai multe varietăți de soiuri de viță-de-vie.

Pe baza observațiilor efectuate, se poate concluziona că biomasa rezultată de la emondarea viței-de-vie poate fi folosită în calitate de componentă în amestecurilor de materie primă la fabricarea BCSD, însă sete necesar de găsit proporția optimă care ar asigura obținerea produsului final cu caracteristici conforme cerințelor ENplus.

Sintetizând cele expuse în acest subcapitol, se poate confirma că reziduurile de cătină albă, a celor rezultate de la emondarea pomilor fructiferi și a viței-de-vie reprezintă o sursă fezabilă ca materie primă la fabricarea BCSD atât în formă separată cât și ca componentă de ranforsare în amestecurile formate cu alte tipuri de biomasă.

Pentru eficientizarea folosirii acestor tipuri de biomasă în componența amestecurilor, este necesar să se stabilească compoziția optimă pentru fiecare amestec, reieșind din necesitatea obținerii BCSD cu parametri calitativi conform cerințelor ENplus.

4.3. Calitatea BCSD din culturi energetice din familia Asteraceae

4.3.1. Calitatea BCSD din biomasă de *Silphium perfoliatum*

Scopul studiului a fost de a evalua fezabilitatea utilizării plantelor cupe (*Silphium perfoliatum* L.) pentru producerea BCSD.

Studiile din publicațiile de specialitate au evidențiat că, deși există o cantitate semnificativă de informații despre potențiala utilizare a biomasei de *Silphium perfoliatum* ca sursă de energie, datele referitoare la folosirea acesteia ca materie primă la producerea de BCSD sunt reduse și, în unele cazuri, inconsecvente.

Spre exemplu, cercetătorii JASINSKAS și colaboratorii lor au demonstrat că puterea calorică netă a plantei *Silphium perfoliatum* variază între 16,98 și 17,58 MJ/kg, în funcție de cantitatea de azot administrată în sol și de pH-ul solului (JASINSKAS et al., 2014), însă are un conținut mare de cenușă, ajungând până la 10% (ȘIAUDINIS et al., 2015) și nu se recomandă. Într-un alt studiu, Siaudinis și echipa sa au analizat câțiva parametri calitativi ai BCSD în formă de peleți, și au ajuns la concluzia că nu este recomandată folosirea biomasei de *Silphium perfoliatum* pentru producția de biocombustibili solizi densificați în formă de brichete (ȘIAUDINIS et al., 2015). În contradicție, Fraçzek și colegii săi au afirmat că brichetele obținute din *Silphium perfoliatum* posedă caracteristici calitative foarte bune. Aceste afirmații au fost făcute

în contextul studiului asupra biomasei și produsului finit în formă de brichete. În urma analizelor, autorii au prezentat date care arată că valoarea calorică a biomasei este de 17,3 MJ/kg, conținutul de cenușă este de 3,4%, durabilitatea mecanică a brichetelor este de 93,1%, iar densitatea particulelor brichetelor este de 920 kg/m³ (FRĄCZEK et al., 2011).

Rezultatele, obținute de către noi (MARIAN, DARADUDA, et al., 2021) și corelate cu cele disponibile în literatura de specialitate (FRĄCZEK et al., 2011; ŠIAUDINIS et al., 2015; WITASZEK et al., 2022; ȚÎȚEI, 2014), cu privire la calitatea BCSD în formă de brichete și peleți obținute din biomasă de *Silphium perfoliatum*, sunt prezentate în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Proprietățile brichetelor și peleților din *Silphium perfoliatum* prezentate de unii autori și obținute de către noi în cadrul prezentelor cercetări

Parametri	[ŠIAUDINIS, G, et al. 2015]	[WITASZEK et al., 2022]	[FRĄCZEK, M., et al 2011]	[ȚÎȚEI, 2014]	Rezultate proprii obținute în cadrul LȘBCS UTM	
	Brichete	Peleți	Brichete		Brichete	Peleți
W _r , %	11,6±0,09	7,15			9,97±0,37	8,2±0,21
A _d , %	9,96±0,38		3,4	2,5	4,54±1,11	4,44±0,64
q _{v,gr,d} , MJ/kg				18,3	18,37±0,085	18,39±0,086
q _{p,net,d} , MJ/kg					17,11±0,094	17,12±0,095
q _{p,net,r} , MJ/kg		14,08			15,15±0,085*	15,16±0,087*
C, %	45,44±1,16				45,44±0,47	45,48±0,43
N, %	0,68±0,32				0,46±0,13	0,45±0,12
H, %	5,28±0,46				5,8±0,11	5,85±0,12
S, %	0,07±0,28				0,07±0,05	0,08±0,06
O, %	38,57				43,69±0,08	43,7±0,09
DU, %			93,1			86,31±7,4
F (< 3,15 mm)						0,36±0,14
BD, kg/m ³					533,2±3,8	555±4,1
DEg/cm ³			0,92	0,96	0,83±0,02	

Note: W_r – conținutul de umiditate la recepție; A_d – conținutul de cenușă (W-% bază uscată); q_{v,gr,d} – valoarea calorică superioară la volum constant în bază uscată; q_{p,net,d} – valoarea calorică net la presiune constantă în bază uscată; q_{p,net,r} – valoarea calorică net la presiune constantă determinată pentru umiditatea la recepția probei; C, N, H, S, O respectiv, conținutul de carbon, azot, hidrogen, sulf și oxigen în procente masice; F – conținutul fracției fine; BD – densitatea în vrac; DE – densitatea particulelor; DU – durabilitatea mecanică.

* valoarea calorică net este prezentată pentru conținutul de umiditate 10%

Comparând rezultatele obținute în cadrul acestui studiu cu valorile recomandate de normele ENplus, observăm că brichetele obținute din *Silphium perfoliatum* nu îndeplinesc în totalitate cerințele stricte ale acestor norme. De asemenea, trebuie menționat că mai mulți indicatori se apropie de limita recomandată de aceste norme. Aceasta sugerează că biomasa de *Silphium perfoliatum* poate fi utilizată pentru producerea BCSD, cu condiția de a lua măsuri pentru îmbunătățirea calității, în special a valorii calorifice și a conținutului de cenușă.

Trebuie să luăm în considerare că, conform cercetărilor noastre, biomasa colectată în timpul toamnei prezintă caracteristici calitative semnificativ mai slabe decât biomasa colectată în timpul primăverii (MARIAN, DARADUDA, et al., 2021). Prin urmare, în studiile ulterioare s-a optat pentru a folosi, în componența amestecurilor de materie primă, biomasa de culturi energetice colectată în sezonul de primăvară.

4.3.2. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din *Silphium perfoliatum* prin formarea de amestecuri

Îmbunătățirea calității BCSD prin formarea de amestecuri reprezintă o metodă eficientă de a obține combustibili alternativi cu un conținut mai ridicat de energie și cu proprietăți îmbunătățite.

Formarea de amestecuri are mai multe beneficii cum sunt: creșterea valorii energetice, îmbunătățirea caracteristicilor fizice, reducerea costurilor și a impactului asupra mediului, diversificarea aprovizionării, dezvoltarea unor caracteristici specifice (WAHEED et al., 2023; KPALO et al., 2021; ARAQUE et al., 2022).

Pentru a obține amestecuri de biocombustibili solizi densificați de calitate, este important să se efectueze cercetări și teste ample pentru a identifica proporțiile optime ale materiilor prime și combinațiile cele mai eficiente. De asemenea, este esențial să se asigure o calitate constantă a produsului final prin respectarea unor standarde de producție și control riguroase.

Studiile din acest compartiment sunt concentrate pe identificarea componentelor amestecurilor formate pe baza *Silphium perfoliatum* prin evaluarea proprietăților fizico-chimice ale acestora și compararea cu cele stipulate în normele ENplus.

Tabelul 4.4 exemplifică rezultatele analizei calitative a probelor de brichete produse din amestecuri formate pe baza biomasei de *Silphium perfoliatum* în combinație cu diferite tipuri de biomasă accesibilă în Republica Moldova și care au marcat capacități fezabile de a fi folosite în calitate de componente de îmbunătățire a materiei prime pentru producerea BCSD.

Căsuțele marcate color reprezintă proprietățile conforme cerințelor ENplus 3. Astfel, se poate prezuma că amestecurile din cătină albă, de reziduuri agricole arboricole și de reziduuri de viță-de-vie, în combinație cu biomasa de *Silphium perfoliatum* cu conținut de până la 45 %, pot fi folosite la producerea brichetelor cu proprietăți care corespund parametrilor ENplus, clasa A1.

Dacă conținutul de reziduuri agricole, în amestecurile de *Silphium perfoliatum*, se mărește până la 75%, atunci calitatea brichetelor poate fi de clasa A2.

Tabelul 4.4. Caracteristicile brichetelor produse din amestecuri de *Silphium perfoliatum* (SP) cu reziduuri de cătină albă (CA), reziduuri agricole arboricole (RAA) și cu reziduuri de viță-de-vie (V-V)

Tip biomasă Parametri	SP + CA*						SP + RAA						SP + V-V					
	15%	30%	45%	60%	75%	90%	15%	30%	45%	60%	75%	90%	15%	30%	45%	60%	75%	90%
A _d , %	1,00	1,63	2,25	2,88	3,50	4,12	2,45	2,77	3,31	3,66	4,01	4,31	1,89	2,31	2,86	3,25	3,76	4,23
q _{v,gr,d} , MJ/kg	19,86	19,62	19,35	19,07	18,81	18,55	19,75	19,52	19,36	19,11	18,82	18,58	19,86	19,60	19,33	19,07	18,81	18,55
q _{p,net,d} , MJ/kg	18,19	18,00	17,81	17,62	17,43	17,24	18,43	18,27	17,98	17,78	17,39	17,31	18,50	18,26	18,01	17,77	17,52	17,27
q _{p,net,M=10%} , MJ/kg	16,48	16,25	16,01	15,78	15,54	15,31	16,32	16,12	16,01	15,76	15,50	15,32	16,41	16,19	16,01	15,74	15,52	15,30
C, %	45,66	45,62	45,58	45,54	45,51	45,47	42,76	43,28	43,75	44,21	44,45	45,16	46,09	45,97	45,86	45,74	45,63	45,52
N, %	0,10	0,17	0,23	0,29	0,36	0,42	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,51	0,50	0,49	0,48	0,48	0,47
H, %	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	6,14	6,08	6,02	6,00	5,94	5,88	6,21	6,14	6,06	5,99	5,92	5,85
S, %	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
O, %	45,43	45,15	44,75	44,51	44,32	43,92	48,12	47,34	46,56	45,77	44,99	44,21	45,27	44,99	44,71	44,43	44,16	43,88
DE g/cm ³	1,1	1,1	1,02	1	1	0,95	1,03	1,01	1,00	0,98	0,96	0,94	1,09	1,06	1,03	1,01	0,98	0,95

Note: A_d – conținutul de cenușă (W-% bază uscată); q_{v,gr,d} – valoarea calorifică superioară la volum constant în bază uscată; q_{p,net,d} – valoarea calorifică net la presiune constantă în bază uscată; q_{p,net,r} – valoarea calorifică net la presiune constantă determinată pentru umiditatea la recepția probei; C, N, H, S, O respectiv, conținutul de carbon, azot, hidrogen, sulf și oxigen în procente masice; F – conținutul fracției fine; DE- densitatea particulelor.

SP - *Silphium perfoliatum*; CA – cătină albă; RAA – reziduuri agricole arboricole; V-V – reziduuri de viță-de-vie.

* Procentajul este prezentat pentru cantitatea masică a biomasei de cătină albă. Conținutul componentei secundare se determină ca 100% - SP%

- Conform A1 - Conform A2 - Conform B Nu se înscrie în normele ENplus Nu se specifică

4.4. Calitatea BCSD din culturi energetice din familiile Poaceae și Salicaceae

4.4.1. Calitatea biocombustibililor solizi densificați din biomasă de *Miscanthus*

Familia *Poaceae*, cunoscută și sub denumirea de „graminee” sau „cereale”, reprezintă una dintre cele mai importante și extinse familii de plante din lume. Această familie include o gamă variată de specii de plante cu valoare economică și ecologică semnificativă, iar biomasa generată de un șir de plante din această familie reprezintă o sursă sigură de materie primă la producerea BCSD (ȚÎȚEI, 2018; MUNTEAN et al., 2018).

Culturile din această familie se disting prin caracteristici precum creșterea rapidă, conținutul ridicat de celuloză și lignină, care sunt esențiale pentru procesul de conversie în biocombustibili, și adaptabilitatea la diferite condiții climatice și soluri. Prin intermediul cercetării și tehnologiilor avansate, oamenii de știință și fermierii au dezvoltat varietăți îmbunătățite de *Poaceae* pentru a crește randamentul și calitatea biomasei, contribuind astfel la eficientizarea producției de energie din surse regenerabile (ȚÎȚEI et al., 2021).

Aceste plante posedă un potențial remarcabil în obținerea de bioenergie, înlocuind în parte dependența de combustibilii fosili, responsabili pentru emisiile de gaze cu efect de seră și schimbările climatice (JASINSKAS et al., 2022).

Multe culturi din familia *Poaceae* sunt polivalente din punct de vedere energetic, deoarece pot fi utilizate în producerea diverselor tipuri de surse de energie. De exemplu: cerealele pot fi folosite pentru a produce etanol, iar paiele pot fi folosite ca combustibil solid; culturile energetice solide (de exemplu *Miscanthus*, sorgul) pot fi utilizate întregi pentru a produce căldură și electricitate direct prin ardere sau indirect, prin conversie, pentru folosire ca biocombustibili precum metanolul și etanolul (KOÇAR și CIVAȘ, 2013). Aceasta reprezintă o confirmare suplimentară pentru a promova cultivarea acestor plante în Republica Moldova, cu precădere pe terenurile marginale, care în prezent nu sunt exploatate în mod eficient (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021; TÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021; REVENCO și ȚÎȚEI, 2021). Acest aspect a fost subliniat și de mai mulți cercetători din diverse țări (HABERZETTL et al., 2021) (NAZLI et al., 2018; BRAMI et al., 2020; KHANNA et al., 2021).

În acest compartiment, vom explora mai în detaliu câteva dintre cele mai importante culturi energetice din familia *Poaceae*, precum *Miscanthus*ul, sorgul, rapița, evidențiind beneficiile utilizării lor în producerea BCSD. De asemenea, vom examina provocările asociate cu cultivarea și utilizarea acestor plante, precum și perspectivele și direcțiile viitoare în dezvoltarea și implementarea lor la scară largă în scopul asigurării unei surse sustenabile și ecologice de energie pentru viitor.

Dintre culturile perene menționate, *Miscanthus*ul reprezintă una dintre cele mai comune

culturi energetice și poate fi considerată o opțiune promițătoare pentru producerea de biocombustibili în toată lumea, inclusiv și în Republica Moldova (MARIAN et al., 2014; DEMIANIUK și DEMIANIUK, 2016; ȚÎȚEI et al., 2016; FRANCIK et al., 2020; LEWANDOWSKI et al., 2000; WINKLER et al., 2020; PYTER et al., 2010).

Miscanthusul este folosit pe scară largă datorită potențialului său socio-economic ridicat, adaptabilității excepționale la diferite condiții edafoclimatice, productivității crescute și cerințelor reduse de cultivare, fiind viabil pentru extinderea pe soluri mai nepotrivite pentru alte culturi. Planta prezintă rezistență la boli și dăunători (ZUB și BRANCOURT-HULMEL, 2011; SMITH et al., 2018). Se consideră că este o opțiune eficientă în lupta împotriva eroziunii, putând fi cultivată cu ajutorul tehnicilor agricole obișnuite (BAJURA și GANDACOVA, 2020). Datorită caracterului său peren, *Miscanthusul* nu necesită reînnoire și poate fi crescut pe aceleași soluri timp de 15-20 de ani, chiar și pe cele mai puțin prielnice altor culturi, posedă cerințe foarte scăzute de fertilizare (Cristian SORICĂ et al., 2009; ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

Cu toate că *Miscanthus* este o opțiune promițătoare pentru producția de materii prime și pentru dezvoltarea SRE din biomasă, în Republica Moldova, producția sa se află într-un stadiu incipient, având un rol minor în agricultura națională.

În prezent, în Republica Moldova, au fost înregistrate mai multe soiuri de *Miscanthus* datorită cercetărilor efectuate la Grădina Națională Botanică "Alexandru Ciubotaru". Aceste soiuri includ *Miscanthus Giganteus* Titan, (CSPTSP, 2020, p. 105) și patru soiuri de *Miscanthus x giganteus* (JM Greef & Hodk & Renvoize): Aphrodite, Athena, Atropos și Titan (B) (CSPTSP, 2021, p. 93).

Utilizarea *Miscanthus x giganteus* pe scară largă pentru producția de biocombustibili în Europa a fost înregistrată la sfârșitul secolului trecut (LEWANDOWSKI et al., 2000; O'LOUGHLIN et al., 2017). *Miscanthus x giganteus* este un hibrid triploid interspecie din încrucișarea naturală între *Miscanthus sinensis* ($2n = 2x$) diploid și *Miscanthus sacchariflorus* ($2n = 4x$) triploid, familia Poaceae, grupul de rizomi C4 originar din Asia de Est, care a fost introdus în Europa la începutul secolului al XX-lea ca plantă ornamentală (WINKLER et al., 2020; John CLIFTON-BROWN et al., 2019; PURDY et al., 2013). Are tulpina erectă, care are 2,5–3,5 m lungime (poate ajunge la 5 m) cu frunze liniare lungi de 50–60 cm și lățime de 2,8–3,3 cm, ligula truncată cu perișori, cu o lungime de 2–3 mm. Inflorescența este o paniculă, care are 30–55 cm lungime cu ramuri de 15–21 cm, recolta este de 18-27 t/ha (ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021, p. 36).

Din analiza datelor prezentate în Tabelul 4.5, reiese că umiditatea biomasei recoltate toamna, în faza incipientă a senescenței, este semnificativ mai ridicat decât cea al biomasei recoltate primăvara, înainte de începerea perioadei de vegetație. Mai concret, biomasa recoltată toamna are un conținut de umiditate aproximativ de 2.5 ori mai mare decât cea recoltată primăvara

(pentru *M. x giganteus*: 45.2±6 % versus 18.4±4 % și pentru *M. sinensis*: 49±7 % versus 19±3 %). Astfel, biomasa de *Miscanthus* recoltată primăvara, practic, poate fi procesată direct în BCSD, fără a necesita ulterior uscarea suplimentară sau printr-o uscarea ușoară în condiții naturale ce din punct de vedere economic este mai avantajos (cheltuieli mai mici pentru transport, cheltuieli de condiționare minime).

Tabelul 4.5. Estimarea cantitativă și calitativă a biomasei, generate de genotipurile *Miscanthus x giganteus*, *Titan* și *Miscanthus sinensis*

Parametri	<i>M. x giganteus</i> titan (a.h.)	<i>M.s x</i> <i>giganteus</i> titan (s.h.)	<i>M. sinensis</i> (a.h.)	<i>M. sinensis</i> (s.h.)
$q_{v,gr,d}$, J/g	18812.3±245	19688±198	18685.2±90.5	19285.1±175
$q_{p,net,d}$, J/g	17496.0	18409.1	17552.8	18140.7
$q_{p,net,r}$, J/g	15502.1	16578.3	15553.2	16082.3
M_{rec} , %	43.2±6	18.4±4	49±7	19±3
$Ed_{M=0}$, MJ/m ³	1750	2139	1615	1880
$Ed_{M=10\%}$, MJ/m ³	1723	2107	1590	1852
A_d , %	2.79±0.03	1.185±0.1	4.07±0.2	2.21±0.2
$A_{r(M=10\%)}$, %	3.1	1.32	4.22	2.46
V_d , kg/m ³	81.49	83.65	83.44	83.48
BD_{rec} , kg/m ³	182.6±8	142.4±4	180.4±7	128.0±3
BD_d , kg/m ³	100	116	92	104
$BD_{M=10\%}$, kg/m ³	111	129	103	115

Notă: $q_{v,gr,d}$ - valoarea calorică superioară la volum constant; $q_{p,net,d}$ - valoarea calorică net în bază uscată; $q_{p,net,M=10\%}$ - valoarea calorică net pentru probe cu umiditatea 10%; $Ed_{M=0}$ - densitatea energetică a biomasei în bază uscată; $Ed_{M=10\%}$ - densitatea energetică a biomasei cu conținutul de umiditate 10%; M_{rec} - conținutul de umiditate a biomasei la recoltare; A_d - conținutul de cenușă în bază uscată; $A_{r(M=10\%)}$ - conținutul de cenușă calculat pentru conținutul de umiditate a biomasei egal cu 10%; V_d - conținutul de materii volatile; BD_{rec} - densitatea în vrac a biomasei estimată imediat după recoltare; BD_d și $BD_{M=10\%}$ - densitatea în vrac a biomasei calculată în bază uscată și, respectiv, pentru umiditate de 10%; a.h. - recoltată toamna; s.h. - recoltată primăvara.

Este esențial să subliniem că conținutul de cenușă în biomasa recoltată primăvara este semnificativ mai mic decât în cea recoltată toamna. Pentru biomasa de *M. x giganteus*, conținutul de cenușă scade de la 2.79% la 1.32% în timp ce pentru *M. sinensis* scade de la 4.07% la 2.215%. Aceasta poate fi explicată prin faptul că în timpul recoltei de primăvară există mai puține frunze comparativ cu recolta de toamnă, dar și prin prezența sporită a diferitelor microparticule minerale în biomasa recoltată toamna.

Conținutul de materii volatile se încadrează în intervalul de la 81.49% la *M. x giganteus* titan (a.h.) până la 83.65% la *M. x giganteus* titan (s.h.). În ceea ce privește biomasa de *M. sinensis*, aceasta prezintă practic același conținut de materii volatile, 83.44% pentru recolta de toamnă și

83.48% pentru recolta de primăvară.

De menționat că biomasa de *Miscanthus* recoltată primăvara are o densitate în vrac mai mare decât cea recoltată toamna, atât pentru *M. x giganteus* titan, cât și pentru *M. sinensis*, atunci când densitatea este recalculată în bază uscată și la umiditatea medie de procesare în biocombustibili solizi (10%). În particular, densitatea în vrac a biomasei de *M. x giganteus* recoltată primăvara este cu 16% mai mare decât cea recoltată toamna, ajungând la 116.2 kg/m³, în timp ce pentru biomasa de *M. sinensis*, raportul dintre densitatea în vrac a biomasei recoltate primăvara și cea recoltată toamna este chiar mai mare (aproximativ 26%), crescând de la 82 kg/m³ la 103.6 kg/m³.

Acest fenomen se datorează conținutului semnificativ mai ridicat de umiditate la recoltarea biomasei toamna, ceea ce duce la o densitate în vrac mai scăzută în raport cu biomasa recoltată primăvara. De asemenea, este important de menționat că biomasa generată de *M. x giganteus* are o densitate în vrac cu aproximativ 10% mai mare decât cea generată de *M. sinensis*.

Capacitatea energetică a biomasei generate de diferite genotipuri de *Miscanthus*, care au fost incluse în studiu este exprimată prin valoarea calorifică și densitatea energetică. Variația compoziției chimice și conținutul de cenușă au o legătură strânsă cu valoarea calorifică a biomasei, iar această legătură poate fi observată prin compararea datelor din tabelul 4.5. Din experimentul dat se poate deduce că biomasa recoltată în primăvară prezintă o putere de ardere ușor mai ridicată decât cea recoltată în toamnă și uscată prin conversie forțată. Astfel, biomasa de *M. x giganteus* titan (s.h.) și *M. sinensis* (s.h.) recoltată în primăvară a înregistrat valori calorifice mai mari, respectiv de 19688±198 J/g și 19285.1±175 J/g, în comparație cu valorile de 18812.3±245 J/g și 18685.2±90.5 J/g pentru biomasa recoltată în toamnă.

Din experimentul realizat, datele cărui sunt prezentate în tabelul 4.5 se poate deduce că biomasa recoltată primăvara prezintă un șir de parametri calitativi superiori în raport cu cei specifici aceluiași tip de biomasă, dar recoltată toamna: respectiv, conținutul de cenușă pentru *M. x giganteus* titan este de 2.4 și pentru *M. sinensis* de 1.8 ori mai mic, valoarea calorifică la umiditate 10% , respectiv, de 1.07 și 1.03 ori mai mare, densitatea energetică, respectiv, de 1.22 și 1.11 ori mai mare. În concluzie, biomasa de *M. x giganteus* și cea de *Miscanthus sinensis* recoltată în primăvară prezintă indicatori calitativi și cantitativi suficient de buni pentru a fi utilizate la formarea diferitelor amestecuri și mixturi de materie primă la fabricarea BCSD.

Având în vedere informațiile prezentate anterior, în studiile noastre am examinat nivelul de calitate al BCSD din *Miscanthus sinensis* și *Miscanthus x giganteus* titan iar rezultatele obținute le-am comparat cu cele prezente în literatura de specialitate. Cercetările curente prezente în literatura de specialitate se concentrează, în principal, pe calitatea BCSD obținuți din amestecuri de biomasă vegetală, unde componenta principală este miscanthusul.

Spre exemplu, cercetătorii din Polonia, au analizat potențialul utilizării deșeurilor de făină de copra ca aditiv în fabricarea peleților din biomasă de miscanthus. Ei au prezentat rezultatele calității peleților obținuți din 100% miscanthus, conform detaliilor din tabelul 4.6 (SZYSZLAK-BARGŁOWICZ et al., 2021). Totodată, cercetătorii din Irlanda (CARROLL și FINNAN, 2012) au comparat caracteristicile fizice ale peleților obținuți din diverse tipuri de biomasă. Rezultatele lor au indicat că valorile calorice ale peleților din lemn (20,09 MJ/kg) și salcie (19,52 MJ/kg) sunt semnificativ mai mari ($p < 0,001$) decât cele ale peleților din miscanthus ($18,59 \pm 0,0594$ MJ/kg).

Rezultate mai complete cu privire la calitate peleților produși din Miscanthus sunt prezentate de către cercetătorii din Chile și Brazilia, care au cercetat influența distribuției ligninei asupra proprietăților fizice, chimice mecanice și energetice ale peleților produși din mai multe tipuri de biomasă, inclusiv și *Miscanthus giganteus* (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021).

În rezultatul studierii distribuției ligninei cu ajutorul microscopiei confocale cu scanare laser (CLSM), Hector Jesus Pegoretti Leite de Souza și col. asociază proprietățile peleților, în special cu capacitate de compactare, astfel conținutul de lignină având un rol important în formarea legăturilor de legăturilor de adeziune a particulelor și coeziune a moleculelor. Această corelare poate fi urmărită din Sursă: (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021) din care se vede că lignina, în probele de miscanthus este distribuită în interiorul fibrelor. Acest lucru influențează procesul de densificare și durabilitate BCSD.

Pentru obținerea unei distribuții mai uniforme a ligninei în BCSD din biomasă de Miscanthus este indicat folosirea amestecurilor cu folosirea biomasei din materiale la care lignina este distribuită, în principal, în exteriorul fibrelor.

După cum se poate observa din rezultatele cercetărilor efectuate în această secțiune, datele prezentate în literatura de specialitate și corelate cu cele obținute de către noi, prezintă un grad de variabilitate destul de semnificativ. În același rând, se poate afirma, cu încredere, că BCSD din Miscanthus prezintă atribute de calitate apropiate de standardele recomandate de Normele ENplus. În același rând analiza distribuției ligninei în peleții de Miscanthus este distribuită neuniform, în special în interiorul fibrelor, acest lucru îngreunează procesul de densificare și, implicit durabilitatea BCSD.



Fig. 4.1. Distribuția ligninei în secțiunea transversală a peleiților produși din *Miscanthus* observată prin microscopie cu fluorescență confocală.

Sursă: (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021)

În acest context, este adecvat să se exploreze opțiuni care ar putea contribui la îmbunătățirea calității combustibilului pe bază de biomasa din diverse varietăți de miscanthus, dintre care mai accesibilă este formarea de amestecuri cu includerea biomasei cu caracteristici mai superioare, la care lignina are o distribuție, în special, în exteriorul fibrelor și care este, evident, disponibilă în zona respectivă. Principala direcție în care trebuie lucrat este îmbunătățirea capacității de compactare și, pe cât este posibil, reducerea conținutului de cenușă pentru a evita problemele ce țin de procesul de fuziune a cenușii, care la biomasa de ierboase este destul de joasă (PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021).

Tabelul 4.6. Caracteristicile BCSD produși din Miscanthus conform datelor din publicațiile de specialitate corelate cu cele obținute de către autor

Parametri	(SZUFA et al., 2021)	(SZYSZLAK- BARGŁOWICZ et al., 2021)	(DE JONG et al., 2003)	(CARROLL și FINNAN, 2012)	(COLLURA et al., 2006)	(PEGORETTI LEITE DE SOUZA et al., 2021)	(JASINSKAS et al., 2022)	Rezultate obținute în cadrul LȘBCS cu participarea autorului				
	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MS	MS		MGT (s.h)		MGT (a.h)
	B	P	P	P	P	P	P	B	P	B	P	B
Wr, %	5.3		8.2	12.17	0.6			10	10	10	10	10
Ad, %	2.3	2.36	2.5	3.66	2.3	2.67	8.84	4,02	3.42	2.18	2.78	2.79
q V, gr, d, MJ/kg		17.58		18.59	17.74	19.00		18,68	18.88	19,59	19.44	18.81
q p, net, d , MJ/kg	15.82					17.76	17.84	17,55	17.6	18.31	18.15	17.49
q p, net,r, MJ/kg						16.22		15,55	15.59	16.24	16.09	15.51
C, %	48.5	48.45	49.4	48.83	47.1	43.7	46.22	46,41	46.21	49.97	47.93	46.51
N, %	0.27	0.24	0.64	0.43	0.44	0.31	0.9	0,28	0.32	0.47	0.25	0.44
H, %	6.2	6.09	5.5	0.60	5.38	6.21	5.37	5,49	5.88	5.86	5.92	6.04
S, %	0.05	0.004	0.16	0.066	0.06	0.1	0.11	0,06	0.05	0.03	0.04	0.03
O,%	42.56		44		46.8		38.5	44,01	44.12	42.48	43.08	44.2
DU, %		91.4		95.34		96.86		53,88	53,88	89.44	98.86	81.33
F (< 3,15 mm)						0.19			81.42		82.4	
BD, kg/m3		567.3		615.2		615		416.8	580.40	511.2	630.20	516.4
DE g/cm3		1.375						0.62		0.74		0.75

Notă: MG – *Miscanthus x Giganteus*; MGT - *Miscanthus x Giganteus Titan*; MS - *Miscanthus sinensis*; (s.h) – din biomasă colectată primăvara; (a.h) – din biomasă colectată toamna; B – brichete; P – peleți. Celelalte notații vezi tab. 4.

4.4.2. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din *Miscanthus* prin formarea de amestecuri cu diferite reziduuri agricole

Studiul referitor la îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din *Miscanthus* prin formarea de amestecuri s-a realizat pe probe de brichete cu folosirea ca materie primă a unui grup de reziduuri agricole disponibile în Republica Moldova care, conform analizelor anterioare, realizate în cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi UTM, au marcat calități mai bune pentru producerea BCSD (GUDÎMA, 2017; PAVLENCO, 2018; MARIAN et al., 2020; MARIAN, BANARI, et al., 2021; BANARI et al., 2022; MARIAN, BANARI, GUDIMA, et al., 2022). Dintre reziduurile examinate au fost selectate reziduurile de cătină albă, cele de pomi fructiferi și de viță-de-vie. Din grupa păioaselor au fost selectate paiiele de rapiță, care sunt mai puțin studiate din punct de vedere al perspectivei utilizării ca materie primă la fabricarea BCSD.

Eficiența folosirii reziduurilor de cătină albă în amestecurilor de materie primă la fabricarea BCSD a fost demonstrată de rezultatele studiului realizat de către noi în Laboratorul Științific de Biocombustibili Solizi UTM și publicate în lucrările (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022; MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022). S-a demonstrat miscibilitate bună cu mai multe tipuri de biomasă, inclusiv cu cele cu caracteristici mult inferioare cerințelor normelor EN $plus$ cum sunt paiiele de cereale. De exemplu, în cazul folosirii ca materie primă la fabricarea BCSD doar a biomasei de cătină albă în amestec cu paie, conținutul paielor poate fi până la 32%.

Folosirea reziduurilor agricole arboricole și cele de viță-de-vie în calitate de componentă de ranforsare a amestecurilor de biomasă cu *Miscanthus x Giganteus* se poate urmări din cercetările noastre cu privire la estimarea valorii calorifice a BCSD din biomasă indigenă (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022) și a potențialului energetic al biomase de cais, persici și prune (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022). Tot în cadrul acestui studiu a fost estimată capacitatea de miscibilitate a diferitor tipuri de biomasă arboricolă prin analiza SEM a probelor de biomasă luate în studiu.

Fig. 4.2 exemplifică situația la nivel microscopic și morfologic ale eșantioanelor examinate în cercetare. Imaginile au fost capturate cu o putere de mărire crescută (2000×) pentru a permite observarea diferitelor tipuri de particule și a dimensiunilor lor, care nu erau vizibile la mărimi mai mici. Se poate observa că structurile fibroase ale probelor analizate sunt dirijate de structura micelară existentă. Morfologia biomasei brute mărunțite, obținute din reziduurile agricole arboricole, este parțial omogenă și a prezentat macrostructuri neuniforme. În această formă, reziduurile arboricole pot fi utilizate în continuare pentru a beneficia de capacitatea acestora de a se integra cu alte tipuri de biomasă lignocelulozică și derivații acestora.

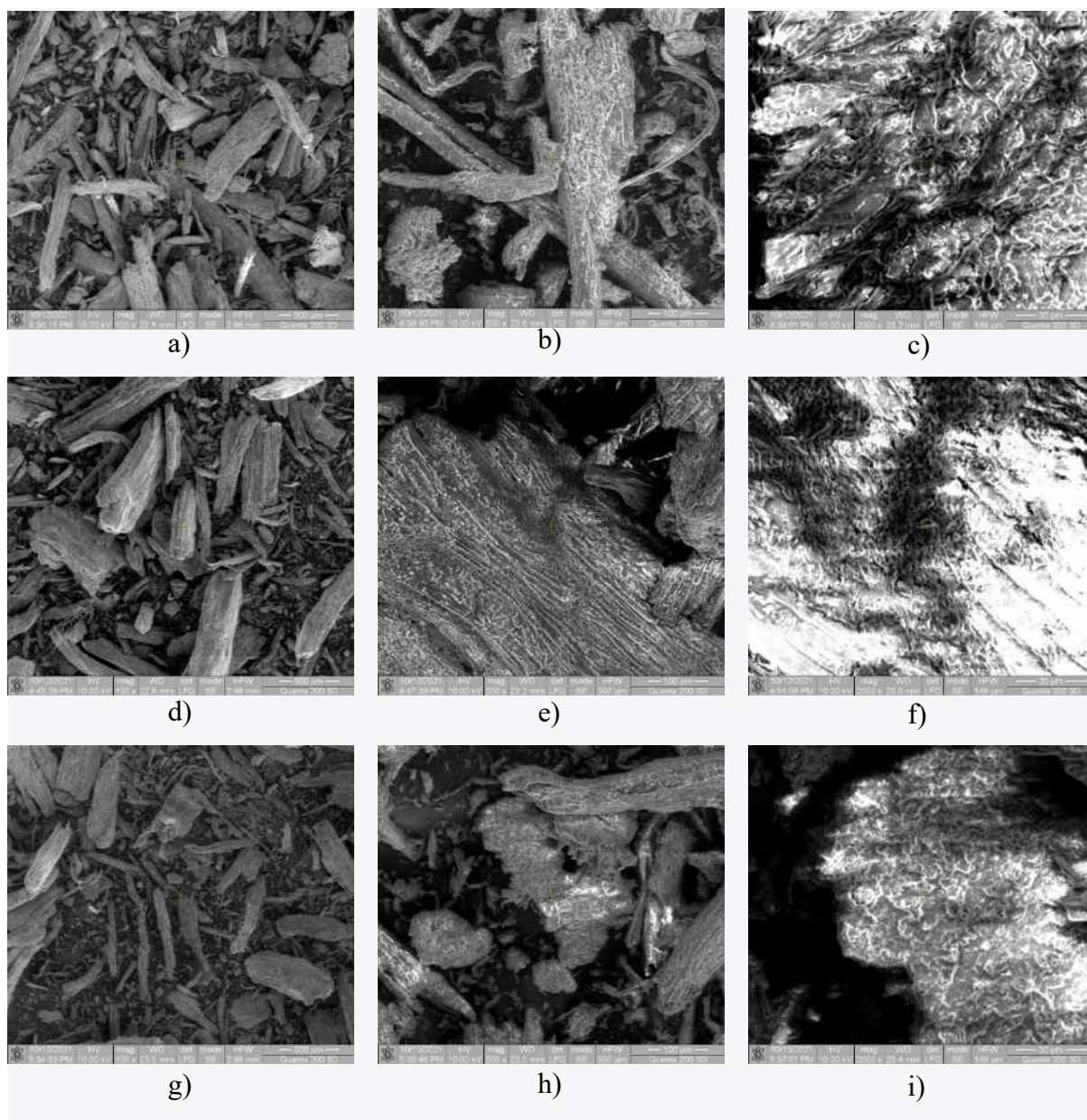


Fig. 4.2. Imagini SEM ale biomasei lemnoase mărunțite la diferite mărimi:

(a) caise - 100 X; (b) caise - 500 X; (c) caise - 2000 X; (d) piersic - 100 X; (e) piersic - 500 X; (f) piersic - 2000 X; (g) prune - 100 X; (h) prune - 500 X; (i) plus - 2000 X.

Sursă: (CIOLACU et al., 2022)

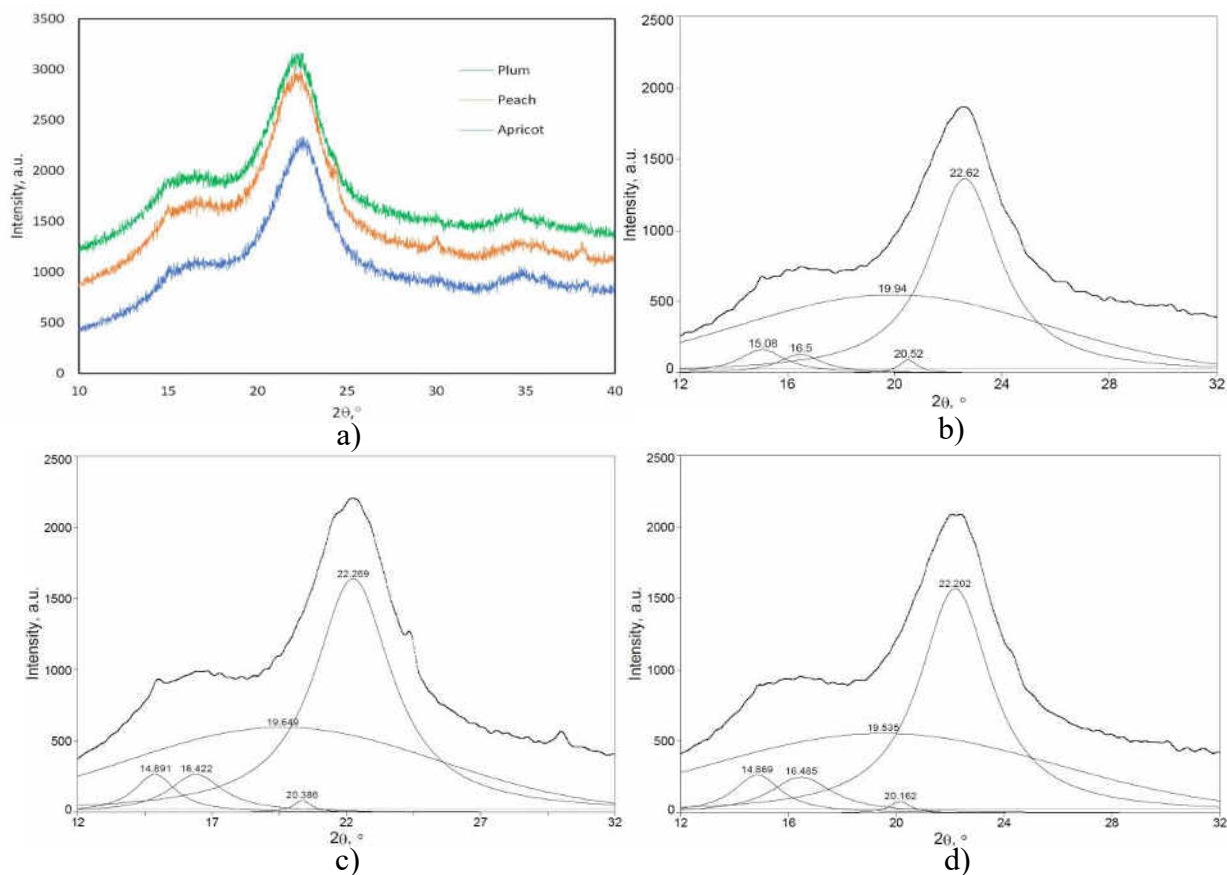


Fig. 4.3. Difractograme cu raze X neprelucrate (a) și deconvolute ale: reziduurilor lemnoase de cais (b), de piersic (c) și de prun (d).

Sursă: (CIOLACU et al., 2022)

Examinarea cu raze X a eșantioanelor luate în studiu indică faptul că lignina, hemicelulozele și extractivele sunt în stare amorfă, în timp ce celuloza prezintă o structură atât cristalină, cât și amorfă. Distribuția acestor structuri variază în funcție de sursa și istoricul materialului, având un impact semnificativ asupra proprietăților fizice și chimice ale materialelor lignocelulozice cum este biomasa vegetală. Acest lucru sugerează că există posibilitatea de formare a unor amestecuri cu faze multiple, cum ar fi formarea de amestecuri de materie primă la fabricarea BCSD cu folosirea diferite componente cu diverse proporții ale componentelor chimice, prezente în biomasa respectivă.

Conform rezultatelor experimentale obținute, biomasa derivată din reziduuri agricole arboricole luate în studiu prezintă o sursă sigură de ranforsare a amestecurilor de materie primă folosite la producerea BCSD.

În Fig. 4.4 sunt ilustrate probele de brichete investigate, iar Tabelul 4.7 expune rezultatele analizei proximale și finale a brichetelor obținute din amestecuri ce conțin *Miscanthus x Giganteus* și diverse tipuri de reziduuri agricole generate de: arbuști fructiferi de cătină albă, pomi fructiferi,

viță-de-vie și paie de rapiță în diferite proporții.



Fig. 4.4. Probe de brichete din amestecurile studiate: a) - *Miscanthus x Giganteus*; b) MG 50%+CA 50%; c) - MG 50%+RAA 50%; d) - MG 50%+V-V 50%; e - MG 50%+PR 50%;

Analizând datele prezentate în Tabelul 4.7, se poate deduce că valoarea calorică net la recepție a probelor de brichete, analizate în acest studiu, este mai mare de 15,5 MJ/kg, adică se înscrie în cerințele pentru clasa A1 ENplus. Ceilalți parametri variază de la caz la caz, însă pentru toate amestecurile studiate, cu excepția celor cu paie de rapiță, au valori cuprinse în cerințele pentru clasa A2, dacă cantitatea de reziduuri agricole nu depășește 75%. Restricția cu privire la procentajul de reziduuri agricole este determinată de densitatea particulelor, proprietate care definește abilitatea de comprimare a materiilor prime utilizate în fabricarea BCSD și care conform normelor ENplus nu trebuie să fie mai mică de 0,9 g/cm³.

În concluzie, se poate deduce că biomasa de *Miscanthus x Giganteus* poate fi combinată cu reziduurile agricole studiate în proporție de până la 75%, cu excepția paielor de rapiță care la ardere rezultă un conținut mare de cenușă și de sulf. Plus la aceasta, acest tip de biomasă se densifică anevoios și drept rezultat brichetele, produse din acest tip de biomasă și din amestecurile de miscanthus cu PR, au o densitate a particulelor de 0,74 g/cm³, valoare cu mult inferioară cerințelor normelor ENplus.

Tabelul 4.7. Calitatea brichetelor produse din amestecuri de *Miscanthus x Giganteus* și diferite reziduuri agricole

Parametri	MG 100%	MG + CA*				MG + RAA				MG + RV-V				MG + PR			
		0%	25%	50%	75%	0%	25%	50%	75%	0%	25%	50%	75%	0%	25%	50%	75%
Ad, %	2.18	0.38	0.83	1.28	1.74	2.08	2.11	2.12	2.16	1.42	1.64	1.80	1.99	5.85	4.86	3.9	2.98
q _{v, gr, d} , MJ/kg	19.59	20.12	19.99	19.86	19.72	19.99	19.89	19.79	19.69	20.12	19.99	19.86	19.72	18.55	18.82	19.09	19.34
q _{p, net, d} , MJ/kg	18.31	18.38	18.72	18.57	18.44	18.63	18.55	18.45	18.39	18.75	18.69	18.54	18.41	17.44	17.66	17.89	18.1
q _{p, net, M=10%} , MJ/kg	16.24	16.72	16.60	16.47	16.35	16.53	16.45	16.36	16.31	16.63	16.58	16.45	16.32	15.67	15.65	15.86	16.05
C, %	49.97	43.7	45.27	46.40	48.40	42.29	44.01	46.13	48.05	46.2	47.14	48.09	49.08	45.59	46.69	47.78	48.88
N, %	0.47	0.4	0.42	0.44	0.45	0.5	0.49	0.49	0.50	0.52	0.50	0.50	0.5	0.92	0.58	0.55	0.51
H, %	5.86	5.85	5.85	5.90	5.86	6.2	6.12	6.06	5.95	6.28	6.2	6.05	6.02	5.14	5.32	5.5	5.68
S, %	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.06	0.05	0.04
O, %	42.48	49.58	47.81	46.03	44.26	48.9	47.25	45.7	44.09	45.55	44.73	43.69	43.25	48.31	43.25	43.25	43.25
DE, g/cm ³	0.74	1.1	1.01	0.92	0.84	1.05	0.97	0.90	0.82	1.12	1.03	0.93	0.84	0.74	0.74	0.74	0.74

* Se prezintă procentul de MG, restul reprezintă componenta ce a fost inclusă în amestec.

Notații folosite: MG – *Miscanthus x Giganteus*; CA - Cătină albă; RAA - reziduuri agricole arboricole; RV-V - reziduuri de viță-de-vie; PR - Paie de rapiță.

- Conform A1
 - Conform A2
 - Conform B
 Nu se înscrie în normele ENplus
 Nu se specifică

4.4.3. Îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din *Miscanthus*; Salcie energetică și plop hibrid energetic prin formarea de amestecuri cu diferite culturi energetice

Studiul referitor la îmbunătățirea calității BCSD din biomasă derivată din *Miscanthus* prin formarea de amestecuri s-a realizat pe probe de brichete cu folosirea biomasei de culturi energetice care a marcat calități mai bune pentru producerea BCSD și au obținut o răspândire mai amplă în Republica Moldova datorită unor avantaje tehnico-economice pe care le posedă. Astfel în calitate de componente ale amestecurilor au fost selectate biomasa de sorg zaharat, de hrișcă de sahalin, de salcie energetică turbo și de plop hibrid energetic.

Toate probele au fost prelevate de pe câmpurile experimentale ale Grădinii Botanice din Republica Moldova. Înainte de densificare, probele au fost aduse la umiditatea (10±2)% prin uscare mixtă în uscătoria Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi UTM, apoi mărunțite cu trecerea prin sită cu secțiunea ochiurilor 6 mm. Densificarea amestecurilor de biomasă s-a realizat la instalația experimentală descrisă în subcapitolul 2.2.6.

Pentru experimente a fost folosită biomasa de sorg zaharat *Sorghum bicolorum var. saccharatum*. Selectarea acestui tip de biomasă este argumentată de răspândirea acestei culturi în Republica Moldova datorită unui șir de avantaje: productivitate înaltă (80-100 t/h), adaptabilitate la condiții dificile de sol și de climă, eficiență la utilizarea apei, beneficii în sistemul de asolament al culturilor, potențial de producere a biocombustibililor lichizi și solizi, beneficii ecologice, oportunități pentru industrie (MADR, 2014; ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

Următoarea componentă folosită la formarea amestecurilor a fost hrișca de Sahalin. S-a folosit biomasa de *Polygonum sachalinense*. Utilizarea biomasei de hrișcă de Sahalin pentru producerea biocombustibililor este susținută de mai multe argumente. Iată câteva dintre principalele argumente în favoarea acestei utilizări: capacitate de regenerare rapidă, ceea ce înseamnă că poate fi cultivată pe termen lung pentru producția de biocombustibili fără să fie nevoie de replantare frecventă sau impact negativ semnificativ asupra solului; productivitate înaltă (20–27 t/ha substanță uscată); capacitate sporită de extindere, creștere și dezvoltare; rezistență la ger; cerințe reduse în ceea ce privește solul datorită rădăcinilor sale adânci și abilității crescute de curățare și absorbție a substanțelor nutritive din compușii cu solubilitate redusă (CÎRLIG et al., 2021; ȚÎȚEI și ROȘCA, 2021).

Salcia energetică, cunoscută și ca salcie pentru bioenergie sau salcie pentru biomasă, este un tip de salcie cultivată în mod specific în scopul producerii de biomasă ce poate fi folosită ca materie primă pentru producția de biocombustibili.

Folosirea amestecurilor de miscanthus cu salcie energetică a prezentat interes pentru mai mulți cercetători (AGOSTINI et al., 2021; STYLES et al., 2008; FRANCIK et al., 2020; ȚÎȚEI,

ROSCA, et al., 2021; MARIAN, SHIRAKAWA, et al., 2013), însă rezultatele acestor cercetări se referă la anumite tipuri de salcie sau de miscanthus specifice pentru anumite zone climaterice. Posibil că aceasta este cauza discrepanțelor semnificative în privința anumitor caracteristici de calitate ale salciei energetice și ale biocombustibililor derivați din aceasta. Din acest motiv considerăm că este oportun să investigăm modul în care biomasa de salcie energetică se comportă în diferite proporții împreună cu biomasa de miscanthus. Pentru investigații am ales specia de salcie energetică Turbo, care a marcat un conținut redus de cenușă la ardere.

Al patrulea tip de biomasă propus pentru investigații este cea provenită de la cultivarea plopului hibrid energetic (*Populus sp*). De fapt, plopul energetic este un reprezentant al familiei salciei, fiind un arbore cu dezvoltare rapidă, capabil să se adapteze în diferite medii climatice și tipuri de sol, dar este dependent de expunerea la lumină și necesită un nivel ridicat de umiditate, motiv pentru care se găsește, în mod natural, în văile și luncile asociate cu cursurile de apă și în ariile predispușe la inundații (TÎRȘU Mihai și REVENCO, 2021). Producția de masă vegetală uscată poate atinge între 10 și 18 tone/ha pe plantațiile bine întreținute și soluri de bună calitate. Biomasa de plop se caracterizează printr-o putere de ardere ridicată și un conținut de cenușă rezultat de la ardere redus. Astfel, plopul energetic prezintă o materie primă viabilă în producerea BCSD (MARIAN și DARADUDA, 2022).

În Tabelul 4.8 se prezintă parametrii calitativi ai brichetelor produse din amestecuri de *Miscanthus x Giganteus* cu sorg zaharat *Sorghum bicolorum var. saccharatum*, hrișcă de Sahalin (*Polygonum sachalinense*), salcie energetică *Salix viminalis 'Turbo'* și plop hibrid energetic (*Populus sp*).

Tabelul 4.8. Calitatea brichetelor produse din amestecuri de *Miscanthus x Giganteus* cu alte tipuri de culturi energetice cu diferite proporții

Parameters	MG 100	MG + SZ				MG + HS				MG + SET				MG + PHE			
		0	25	50	75	0	25	50	75	0	25	50	75	0	25	50	75
Ad, %	2.18	2.13	2.14	2.16	2.17	2.13	2.14	2.16	2.17	0.98	1.28	1.58	1.88	2.53	2.44	2.36	2.27
q _{v, gr, d} , MJ/kg	19.59	18.45	18.75	19.02	19.31	19.28	19.36	19.44	19.51	19.47	19.5	19.53	19.56	19.36	19.42	19.48	19.53
q _{p, net, d} , MJ/kg	18.31	17.22	17.51	17.77	18.04	18.03	18.1	18.17	18.24	18.21	18.24	18.26	18.29	18.46	18.42	18.39	18.35
q _{p, net, M=10%} , MJ/kg	16.24	15.26	15.51	15.75	16	15.98	16.05	16.11	16.18	16.14	16.17	16.19	16.22	16.37	16.34	16.31	16.27
C, %	49.97	49.35	45.76	47.16	48.57	47.01	47.75	48.49	49.23	46.40	47.29	48.19	49.08	48.07	48.55	49.02	49.50
N, %	0.47	0.41	0.43	0.44	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.47	0.47	0.45	0.46	0.46	0.47
H, %	5.86	5.60	5.67	5.73	5.8	5.74	5.77	5.8	5.83	5.80	5.82	5.83	5.85	4.15	4.58	5.01	5.43
S, %	0.03	0.06	0.05	0.05	0.04	0.07	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
O, %	42.48	40.94	43.88	43.42	42.95	44.58	43.81	43.03	42.26	46.29	45.34	44.39	43.43	44.76	44.19	43.62	43.05
DE, g/cm ³	0.74	0.59	0.63	0.67	0.7	0.92	0.88	0.83	0.79	0.98	0.92	0.86	0.8	0.88	0.85	0.81	0.78

* Se prezintă procentul de MG, restul reprezintă componenta ce a fost inclusă în amestec.

Notății folosite: c; SZ - sorg zaharat; HS – hrișcă de Sahalin; SET - salcie energetică Turbo; PHE - plop hibrid energetic

- Conform A1 - Conform A2 - Conform B Nu se înscrie în normele EMPlus Nu se specifică

Examinând informațiile prezentate în Tabelul 4.8, putem concluziona că toate probele din amestecurile luate în studiu îndeplinesc cerințele de calitate pentru clasele A1 și A2 ENplus în ceea ce privește valoarea calorică, conținutul de cenușă și conținutul de azot, în special al probelor MG+HS; MG+DET și MG+PHE. Situație similară se urmărește și în cazul probelor MG+PR (vezi tab. 4.7). În același rând, probele menționate anterior au prezentat o densitate a particulelor mai mică de $0,9 \text{ g/cm}^3$ și un conținut de Sulf mai mare 0.04% (limitele maxime admise pentru clasele de calitate A1 și A2 sunt, respectiv $DE = 0,9 \text{ g/cm}^3$ și $C = 0,04\%$), adică la acești indicatori probele menționate nu corespund cerințelor ENplus.

Pentru îmbunătățirea calității brichetelor, produse din amestecuri de miscanthus cu tipurile de biomasă care au marcat capacitate de densificare redusă, s-a studiat oportunitatea folosirii amestecurilor triplu componente cu adaos de reziduuri de cătină albă.

Obiectivul principal al studiului este îmbunătățirea procesului de densificare și reducerea conținutului de sulf în produsul final, astfel ca să se asigure cerințele normelor ENplus.

În Fig. 4.5 se prezintă evoluția densității particulelor brichetelor obținute din amestecuri din *Miscanthus Giganteus* + *Hrișcă de sahalin* însoțite de adaosuri variabile de reziduuri de cătină albă.

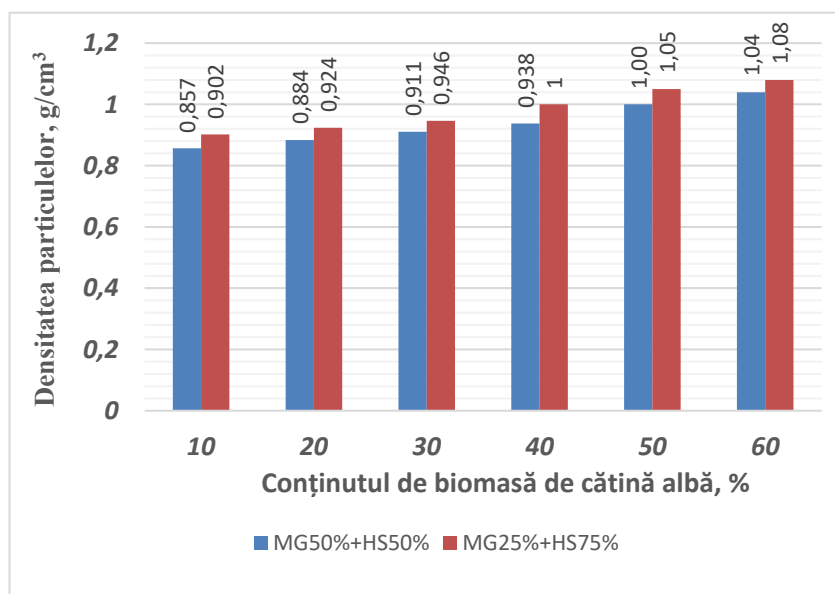


Fig. 4.5. Densitatea particulelor brichetelor din amestecuri de MG +HS cu adaos de reziduuri de cătină albă în diferite proporții

Rezultatele obținute denotă că folosirea unei anumite cantități de reziduuri agricole de cătină albă mărește capacitatea de densificare a amestecurilor din MG+HS. Astfel, dacă în amestecul de materie primă MG25%+HS75% se adaugă cel puțin 20% de reziduuri de cătină albă,

brichetele produse din acest amestec se înscriu în clasa A2 ENplus la parametrul densitatea particulelor, iar un adaos de cel puțin 40% de biomasă de cătină albă asigură obținerea brichetelor de clasa A1 ENplus.

În cazul folosirii, la producerea brichetelor, amestecuri 50% MG + 50% HS este necesar să se includă o cantitate suplimentară de resturi de cătină albă. Astfel, brichete de categoria A1 se obțin dacă se adaugă cel puțin 50% de reziduuri de cătină albă, iar de categoria A2 – cel puțin 30% de reziduuri de cătină albă.

În Fig. 4.6 este expusă evoluția modificării conținutului de sulf în probele obținute din amestecuri de Miscanthus Giganteus + Hrișcă de Sahalin cu diferite cantități adăugate de reziduuri provenite de la Cătina albă.

Se constată o ușoară schimbare a conținutului de sulf în rezultatul adausului de reziduuri de cătină albă.

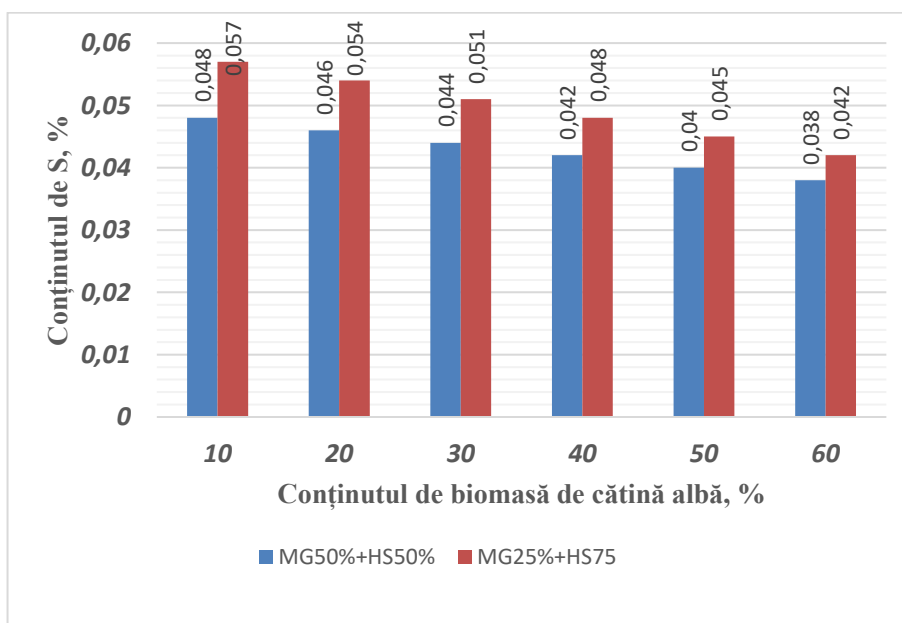


Fig. 4.6. Conținutul de sulf în brichetele produse din amestecuri de MG +HS cu adaos de reziduuri de cătină albă în diferite proporții

Brichetele cu un conținut de sulf mai mic sau egal cu 0,04 % se atestă în cazul folosirii cel puțin 50% de reziduuri de cătină albă pentru probele MG50%+HS50%. Toate celelalte probe de brichete sunt conforme cerințelor pentru clasa A2 ENplus.

În Tabelul 4.9 se prezintă rezultatele analizei proximale și finale a brichetelor obținute din amestecurile de biomasă tri-componente cu folosirea biomasei de cătină albă cu diferite proporții, iar în Fig. 4.7 se prezintă exemple de probe obținute din aceste amestecuri.

Tabelul 4.9. Parametrii calitativi ai probelor de brichete comprimate din amestecuri de Miscanthus Giganteus + Hrișcă de Sahalin cu diferite cantități adăugate de reziduuri de cățina albă și plop hibrid energetic

Parametri	MG50+HS 50*	CA 100 %	PHE 100%	(MG50+HS 50) + CA			(MG50+HS 50) + PHE		
				CA 30%	CA 40%	CA 50%	PHE 30%	PHE 40%	PHE 50%
A _d , %	2.16	0.38	2.53	1.63	1.45	1.27	2.27	2.31	2.35
q _{v, gr, d} , MJ/kg	19.44	20.12	19.36	19.64	19.85	19.78	19.42	19.41	19.40
q _{p, net, d} , MJ/kg	18.17	18.38	18.46	18.23	18.25	18.28	18.26	18.29	18.32
q _{p, net, M=10%} , MJ/kg	16.11	16.72	16.37	16.29	16.48	16.42	16.19	16.21	16.24
C, %	48.49	43.7	48.07	47.05	46.57	46.10	48.36	48.32	48.28
N, %	0.47	0.4	0.45	0.45	0.43	0.44	0.46	0.46	0.46
H, %	5.8	5.85	4.15	5.82	5.82	5.83	5.31	5.14	4.98
S, %	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
O, %	43.03	49.58	44.76	45.00	45.65	46.31	43.55	43.72	43.90
DE g/cm ³	0.83	1.1	0.88	0.91	0.94	1	0.85	0.85	0.86

Notații folosite: MG – Miscanthus x Giganteus; SZ - sorg zaharat; HS – hrișcă de Sahalin; SET - salcie energetică Turbo; PHE - plop hibrid energetic

■ - A1 ■ - A2 ■ - B ■ Nu se înscrie în normele EMPlus □ Nu se specifică

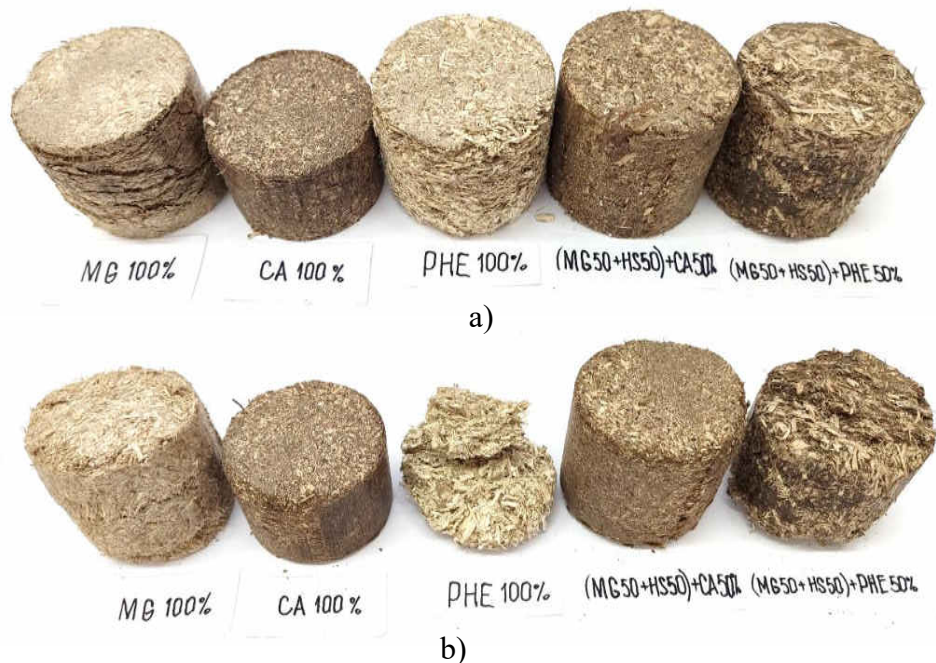


Fig. 4.7. Probe de brichete densificate din MG 100%; amestec de MG + HS și amestecuri de CA30%, restul amestec de MG și HS în proporții egale, a) înainte și b) după încercări la durabilitate

Analiza datelor prezentate în Tabelul 4.9 denotă că biomasa de cătină albă este un remediu excelent de îmbunătățire a proprietăților brichetelor produse din amestecuri de *Miscanthus x Giganteus* cu *hrișcă de Sahalin*. Astfel, probele cu adaos de 30% cătină albă posedă o valoare calorifică egală cu 0.91 g/cm^3 în raport cu probele din MG50+HS 50 a căror densitate a particulelor este egală cu $0,83\text{ g/cm}^3$ ce constituie o majorare cu 9,9%. În cazul adaosului de 40% cătină albă acest indicator se majorează cu 11.3% și dacă se adaugă 50% de cătină albă – densitatea particulelor crește cu 12 și brichetele produse din acest amestec se înscriu în categoria A1 ENplus. Toate celelalte caracteristici, indiferent de proporția de biomasă de cătină albă, se înscriu în clasa A2.

Astfel, se poate rezuma că este rezonabil de format amestecuri în care se conține *Miscanthus x Giganteus* cu *hrișcă de Sahalin* cca 30 % de biomasă de cătină albă.

Referitor la folosirea biomasei de plop hibrid energetic în calitate de componentă de ranforsare, acest lucru nu se recomandă deoarece în toate cazurile densitatea particulelor produsului finit este mai mică de $0,9\text{ g/cm}^3$.

Totuși reziduurile de plop hibrid energetic a marcat o putere de ardere mare și un conținut de cenușă relativ scăzut. Din acest motiv se recomandă folosirea acestui tip de biomasă în comun cu biomasa de cătină albă sau de reziduuri agricole arboricole. În Fig. 4.8 și Fig. 4.9 se prezintă evoluția modificării densității particulelor și a conținutului de cenușă în amestecurile formate pe bază de PHE cu adaos de biomasă de cătină albă și de reziduuri agricole.

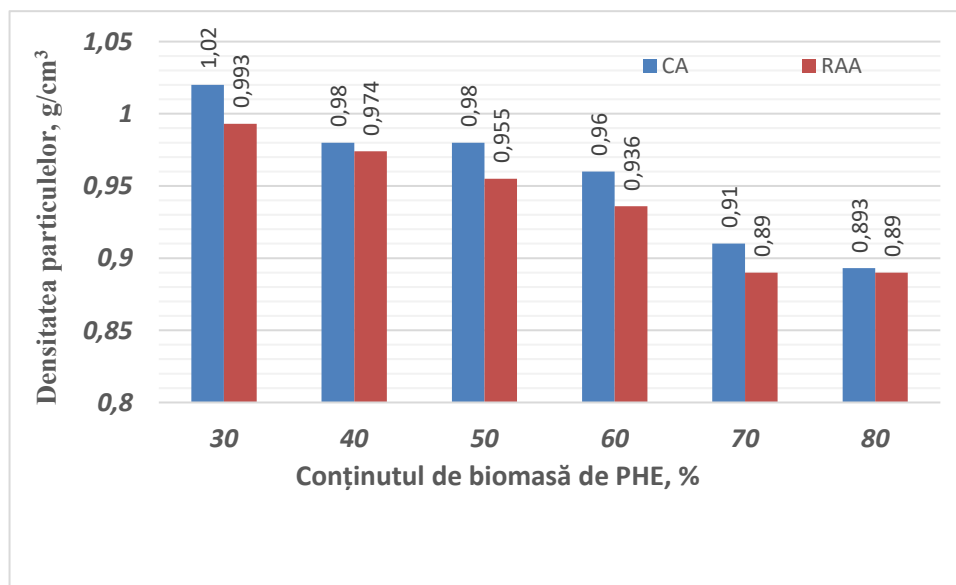


Fig. 4.8. Densitatea particulelor probelor de brichete din amestecuri de PHE +CA și PHE+RAA în diferite proporții

Rezultatele obținute au arătat că, în cazul adaosului de cel puțin 70% de reziduuri de cătină albă densitatea probelor examinate posedă o densitate a particulelor și un conținut de cenușă care nu depășesc limitele pentru clasa A1 ENplus.

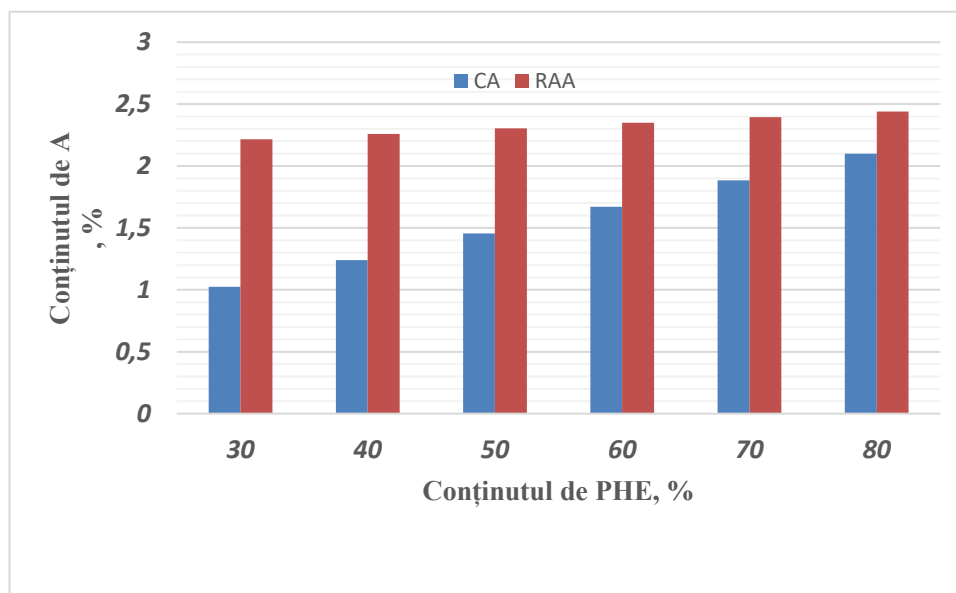


Fig. 4.9. Conținutul de cenușă al probelor de brichete din amestecuri de PHE +CA și PHE+RAA în diferite proporții

În cazul când conținutul de cătină albă este de cel puțin 30% densitatea particulelor probelor de brichete corespunde cerințelor clasei A1.

Pentru reziduurile PHE +RAA conținutul de RAA trebuie să fie de cel puțin 40 pentru a asigura calitatea cerută de către clasa A2 ENplus.

În Fig. 4.10 se prezintă probele de brichete densificate din biomasă de PHE 100% și din amestecuri de CA și RAA

Pe baza cercetărilor efectuate și pe baza rezultatelor obținute s-a constatat că BCSD din *Miscanthus* prezintă atribute de calitate apropiate de standardele recomandate de Normele ENplus, însă la formarea produsului finit prezintă dificultăți în procesul de densificare. În acest context, este adecvată varianta de îmbunătățire a acestui parametru, prin formarea de amestecuri cu includerea biomasei cu caracteristici mai superioare și care este disponibilă în zona respectivă pentru eficiența folosirii biomasei de *Miscanthus giganteus*.



Fig. 4.10. Probe de brichete produse din amestecuri de Plop hibrid energetic (PHE) și reziduuri de cătină albă (CA) și de pomi fructiferi (RAA): PHE 100%; PHE 30%+CA70%; PHE 40+RAA 60%.

Investigațiile efectuate demonstrează eficiența folosirii amestecurilor de culturi energetice fiind compatibile cu reziduurile agricole cum sunt cele rezultate de la cultivarea cătinii albe, cele de la emondarea pomilor și a viței-de-vie.

Cu această abordare, putem afirma că biomasa generată de culturile energetice, folosită în amestecuri de materii prime din surse lignocelulozice provenite din activități agricole de bază, devine o alegere ideală pentru restabilirea terenurilor marginale și pentru promovarea dezvoltării agroecologice în zonele rurale. Se preconizează că producția de energie derivată din creșterea culturilor energetice, în special *Miscanthus*, *Silfia perfoliatum*, *Salcie energetică*, *Hrișca de Sahalin*, *Sorg zaharat*, va contribui la diversificarea agriculturii. Acest aspect reprezintă un imens potențial pentru ca aceste culturi să fie integrate și acceptate ca resurse durabile de biomasa pentru producerea de BCSD folosiți în procesul de combustie atât în sistemele de încălzire rezidențiale, cât și în cele industriale.

4.5.Efectul variabilelor de proces asupra densității particulelor brichetelor produse din materie primă formată din amestecuri de culturi energetice

Calitatea BCSD este determinată de capacitatea acestora de a satisface cerințele beneficiarului final. Referitor la biocombustibilii solizi densificați, aceste cerințe, de regulă, se referă la puterea de ardere și proprietățile de manipulare (GUDÎMA et al., 2017; JEWIARZ, MUDRYK, et al., 2020; CARRILLO T et al., 2016). În general, calitatea BCSD depinde de proprietățile materiei prime - tipul biomasei, conținutul de umiditate, dimensiunile particulelor și de variabilele procesului de densificare – forța de presare și temperatura densificării (CARRILLO T et al., 2016; MARIAN et al., 2017).

Principalii factori tehnologici care influențează densitatea particulelor sunt temperatura la care se realizează densificarea, presiunea cu care se acționează asupra biomasei în matrice și conținutul de umiditate a materiei prime înainte de densificare.

Alegerea corectă a temperaturii procesului de brichetare este extrem de importantă, deoarece procesul de formare a legăturilor de adeziune dintre particulele de biomasă depinde de transformările fizice a ligninei, care variază în funcție de tipul biomasei (KALIYAN și MOREY, 2009).

Există mai multe studii referitoare la alegerea regimurilor tehnologice de brichetare. Astfel, cercetătorii de la departamentul de Inginerie Chimică de la Universitatea din Alicante, Spania au stabilit că la procesarea brichetelor din trunchi de palmier, la temperaturi în intervalul 120 -130°C, prezintă cele mai bune rezultate (GARRIDO et al., 2017). Križan și colegii indică aceeași temperatură de comprimare a biomasei la producerea brichetelor (Križan et al., 2015). Concluzii similare a prezentat și Wang cu colab. (WANG et al., 2018) care au propus realizarea brichetării biomasei din paie de orez la temperatura de 120°C.

Khelifi și colaboratorii, prin metoda termogravimetrică, au arătat că temperatura de brichetare poate fi micșorată dacă densificarea se produce la presiuni ridicate (KHLIFI et al., 2020). Pe de altă parte, la brichetarea biomasei provenită din reziduuri de palmier, Hasan Mohd Faizala din Malaysia afirmă că ridicarea temperaturii de brichetare la 150 - 250°C contribuie, pe lângă creșterea densității particulelor, la mărirea valorii calorifice, conținutului de materii volatile, hidrofobie și rata de relaxare (FAIZAL et al., 2016). Acest lucru poate fi explicat prin faptul că creșterea temperaturii determină procesul de plastificare a particulelor și activarea ligninei în materialul vegetal, fenomene care sunt necesare în procesul brichetării. Aceste considerente sunt relatate și de (KALIYAN și MOREY, 2009; 2010; PAVLENCO, MARIAN, GOROBETȚ, et al., 2018; MARIAN, IANUȘ, et al., 2021).

Grover și Mishra recomandă ca temperatura de preîncălzire nu trebuie să depășească 300°C pentru a preveni descompunerea componentelor biomasei. Pentru presele cu șurub, temperatura matriței se recomandă să fie menținută la cca. 280-290°C (GROVER și MISHRA, 1996b, pp. 8-10).

Cercetătorii din Camerun, de asemenea, arată că paralel cu mărirea temperaturii de comprimare a brichetelor din coji de orez, densitatea acestora crește, iar cea mai bună densificare a particulelor se obține la temperatura de 200°C (EKOUBE et al., 2022).

Nurek și colaboratorii, în rezultatul studiului Influența înălțimii matriței asupra densității brichetelor produse din reziduuri mărunțite au stabilit că pentru biomasa cu un conținut de umiditate de 16%, cele mai dense brichete se obțin la temperatura de comprimare de 80°C și cea

mai mică lungime a matriței (NUREK et al., 2021).

Orisaleye și colab., în rezultatul analizei efectului temperaturii asupra proprietăților brichetelor produse din lemn de plop, la prese hidraulice, au arătat că cele mai dense brichete se obțin la temperatura de 140°C (ORISALEYE et al., 2023). Date similare au fost remarcate și de cercetătorii din România (COSEREANU et al., 2015) pentru brichete din tulpină de porumb, știuleți de porumb, sumac de cerb, conuri de pin, reziduuri de la emondarea pomilor de măr și viței-de-vie. În același rând, Okot și col. au investigat comprimarea brichetelor din știuleți de porumb la temperaturi foarte joase (20 - 80°C) și au afirmat că comprimarea brichetelor la temperatura de 80°C asigură o densitate a particulelor și o durabilitate mecanică care ar asigura standardelor de certificare a calității (OKOT et al., 2018).

În rezultatul celor constatate anterior se poate deduce că în literatura de specialitate nu există o părere comună referitor la influența temperaturii de compresare a biomasei indicând limite foarte diferite începând cu 20°C și terminând cu 300°C. Acest lucru poate fi explicat prin folosirea autorilor diferitor tipuri de biomasă și metode de compresare a biomasei propriu zisă. Mai mult ca atât sunt foarte modeste datele referitoare la alegerea temperaturii de comprimare în brichete a biomasei provenită din culturi energetice (MARREIRO et al., 2021).

Pentru a cuprinde un diapazon cât mai larg de temperaturi de comprimare, noi am experimentat influența temperaturii comprimării biomasei în brichete pentru domeniul de variație de la temperatura de cameră până la 300°C (vezi planul de experimente)

Al doilea regim tehnologic care are influență dominantă asupra procesului de densificare a biomasei la brichetare este presiunea comprimării (KPALO et al., 2020a). În baza analizei literaturii de specialitate autorii au stabilit că nu există o părere unică referitor la presiunea densificării biomasei și consideră că este bine de stabilit aceste regimuri pentru fiecare caz aparte

Eugenio Cavallo, Niccolò Pampuro în baza analizei efectului presiunii de comprimare, studiate în intervalul 20 – 120 MPa, a brichetelor produse din trei tipuri de biomasă lemnoasă (plop hibrid, castan și un amestec de molid și pin alb de Est cu conținutul mediu de umiditate, respectiv 7,1, 7,9 și 8,1% (wb) au arătat că, odată cu mărirea presiunii de comprimare, calitatea brichetelor este mai bună (CAVALLO și PAMPURO, 2017). În același rând, autorii notifică că energia consumată pentru densificare depinde de tipul de biomasă folosită la brichetare. Astfel, brichetele din plop și din pin necesită mai multă energie per unitate pentru a obține aceiași densitate a particulelor brichetelor luate în studiu.

Cercetătorii din Polonia Ignacy Niedziółka și col. au studiat influența tipului de biomasă și a presiunii de comprimare a brichetelor din rapiță, ovăz și paie de porumb asupra densității și consumul de energie al producției de brichete. Autorii au densificat biomasa la presiuni de 20, 26

și 32 MPa și au constatat că odată cu creșterea presiunii de la 20 MPa la 32 MPa, densitatea în vrac s-a mărit de 1,5 ori, lungimea brichetelor a scăzut cu 30 – 35%, iar greutatea lor a crescut cu 9% la brichetele din rapiță până la 22 % pentru brichetele din paie de ovăș (NIEDZIÓŁKA et al., 2018).

Rezultate referitoare la influența regimurilor de comprimare asupra proprietăților fizice ale brichetelor au fost obținute de Granado și colegii în urma studierii efectului presiunii de densificare a biomasei din Manioc – un arbust lemnos din familia euforbiilor foarte răspândit în Brazilia care mai este numit yuca. Cercetările au fost realizate pentru presiuni de 102, 153 și 204 MPa (GRANADO et al., 2021). Cele mai bune rezultate au fost marcate pentru probele densificate la presiunea egală cu 204 MPa. Aproximativ aceleași valori ale presiunii de comprimare au fost folosite și de Saaida Khlifi și col. la studiul brichetelor produse din reziduuri de măslină în amestec cu amidon de porumb, menționând că la presiuni de cca. 150 MPa se obțin brichete cu cea mai înaltă densitate a particulelor (KHLIFI et al., 2020). Kaliyan și Morey, de asemenea au remarcat că producerea brichetelor la presiuni ridicate contribuie la compactarea mai bună a biomasei și sugerează un interval de 100-150 MPa sau chiar mai mare (KALIYAN și MOREY, 2010).

În același rând, studiile mai multor cercetători au arătat că presiunile scăzute de compactare micșorează prețul de cost al brichetelor și pentru unele materiale aceste regimuri sunt rezonabile. De exemplu, Bazargan, în rezultatul studiului compactării în brichete a reziduurilor de palmier la presiuni în limitele 20 – 120 MPa nu a semnalat o diferență semnificativă a proprietăților fizice a brichetelor pentru cazurile comprimării cu valori mai mari de 60 MPa (BAZARGAN et al., 2014).

În baza celor constatate din analiza realizată, în cercetările noastre, am folosit un diapazon de presiuni care se înscrie în posibilitățile preselor cu piston și care corespunde recomandărilor specialiștilor menționați anterior (vezi Tabelul 4.10).

În vederea dezvoltării unor relații relevante între parametrii implicați în procesul de comprimare, experimentul s-a realizat conform planului prezentat în tabelul 4.1 iar datele obținute au fost prelucrate statistic. Această abordare ne-a permis să obținem înțelegere mai profundă a interacțiunilor din cadrul procesului și să identificăm corelații semnificative între variabile. Rezultatele obținute permit optimizarea parametrilor tehnologici de brichetare și obținerea unei producții mai eficiente și de calitate superioară.

Tabelul 4.10. Densitatea particulelor (DE) a probelor produse din amestec de Miscanthus (50%) + Reziduuri agricole arboricole (50%) funcție de temperatura (T) și presiunea densificării (P) și de conținutul de umiditate al materiei prime înainte de densificare(M)

Nr. exp.	Cod probă	Variabilele de influență			DE, g/cm ³
		T, °C	P, MPa	M, %	
1	M.xGiganteus 50%+RAA50% (-1; 1; -1)	80,0	170,0	8,0	1,17±0,009
2	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; 0; -s)	160,0	120,0	5,27283	0,92±0,009
3	M.xGiganteus 50%+RAA50% (-1;-1; -1)	80,0	70,0	8,0	0,98±0,01
4	M.xGiganteus 50%+RAA50% (1; 1; 1)	240,0	170,0	16,0	1,02±0,011
5	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; 0; 0)	160,0	120,0	12,0	1,02±0,009
6	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; +s; 0)	160,0	204,09	12,0	1,08±0,008
7	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; 0; 0)	160,0	120,0	12,0	1,1±0,012
8	M.xGiganteus 50%+RAA50% (+s; 0; 0)	294,543	120,0	12,0	1,1±0,01
9	M.xGiganteus 50%+RAA50% (-s; 0; 0)	25,4566	120,0	12,0	0,64±0,01
10	M.xGiganteus 50%+RAA50% (-1; 1; 1)	80,0	170,0	16,0	1,1±0,008
11	M.xGiganteus 50%+RAA50% (1; -1; -1)	240,0	70,0	8,0	1,04±0,008
12	M.xGiganteus 50%+RAA50% (1; -1; 1)	240,0	70,0	16,0	1,06±0,01
13	M.xGiganteus 50%+RAA50% (1; 1; -1)	240,0	170,0	8,0	1,18±0,008
14	M.xGiganteus 50%+RAA50% (-1;-1; 1)	80,0	70,0	16,0	1,12±0,009
15	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; 0; +s)	160,0	120,0	18,7272	0,94±0,009
16	M.xGiganteus 50%+RAA50% (0; -s; 0)	160,0	35,9104	12,0	0,84±0,007

Legendă: *T* este temperatura comprimării biomasei, *P* -presiunea comprimării, *M* – conținutul de umiditate.

În rezultatul prelucrării statistice a datelor experimentale obținute în acest studiu s-a obținut următoarea ecuație de regresie, care, în coordonate naturale, exprimă dependența densității particulelor probelor produse din amestec de Miscanthus (50%) + Reziduuri agricole arboricole (50%) funcție (T), (P) și (M):

$$DE = 0,146138 + 0,00324353*T + 0,00380387*P + 0,0504685*M - 0,00000422698*T^2 - 0,0000021875*T*P - 0,0000820313*T*M + 0,00000190682*P^2 - 0,00024375*P*M - 0,000364967*M^2 \quad (4.1)$$

Analizând diagrama Pareto și graficul efectelor principale Fig. 4.11 se poate deduce că presiunea și temperatura comprimării au efect dominant asupra densității particulelor, pe când conținutul de umiditate, în limitele experimentului, nu prezintă mari schimbări. În diagrama prezentată lungimea fiecărei bare este proporțională cu valoarea coeficientului student t calculată pentru efectul corespunzător.

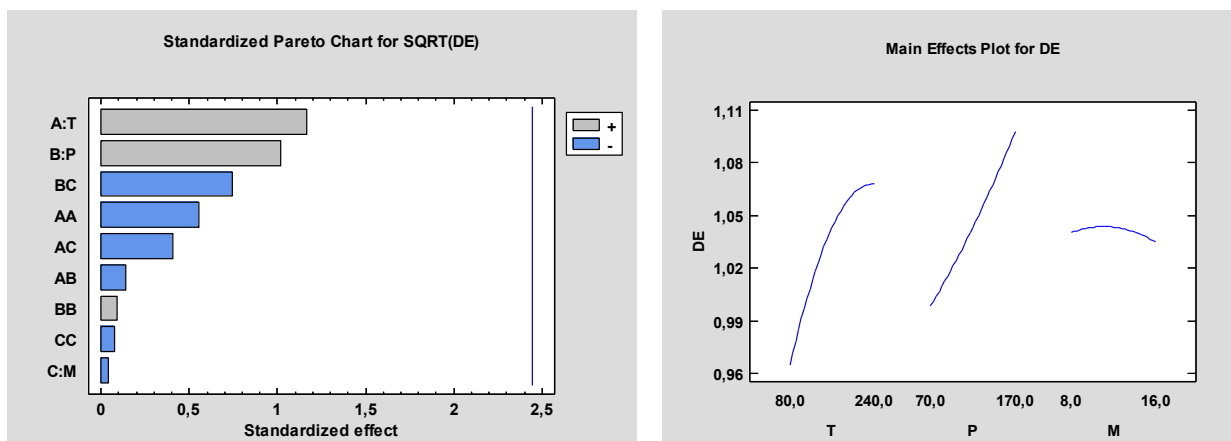


Fig. 4.11. Diagrama Pareto și graficul efectelor temperaturii și presiunii densificării și a conținutului de umiditate

Urmărind graficele efectelor principale, se observă că densitatea particulelor este cel mai mult influențată de presiune și de temperatură, însă temperatura poartă un caracter ascendent până la o anumită valoare. În continuare, cu creșterea temperaturii, densitatea particulelor nu se mai schimbă. Acest lucru poate fi explicat prin procesele de destrucție a celulozei și hemicelulozei, în procesul de presare la temperaturi care depășesc 240°C, fapt care conduce la înrăutățirea formării legăturilor de adeziune între particulele supuse densificării. Conținutul de umiditate în limitele experimentului nu influențează semnificativ densitatea particulelor.

În Fig. 4.12 se prezintă suprafețele de răspuns și contururile suprafețelor de răspuns pentru diferite niveluri ale factorilor de influență. Folosind aceste grafice putem, cu ușurință, stabili regimurile tehnologice prin localizarea oricărei valori a densității particulelor.

Se observă că există o flexibilitate semnificativă în ceea ce privește alegerea regimurilor tehnologice de comprimare a BCSD din amestecuri de Miscanthus cu reziduuri agricole. Însă, trebuie să se ia în considerare că, o temperatură de comprimare mai scăzută necesită o presiune de comprimare mai mare. De exemplu, pentru a obține brichete de clasa A1 ($DE \geq 1$), în cazul când $T = 50^\circ\text{C}$, presiunea trebuie să fie de cel puțin 180 MPa cu umiditatea biomasei în limitele experimentului. În contrast, dacă temperatura este mai mare de 200°C, presiunea de compactare poate fi redusă până la 40 MPa, de asemenea, conținutul de umiditate al materiei prime poate varia în limitele experimentului.

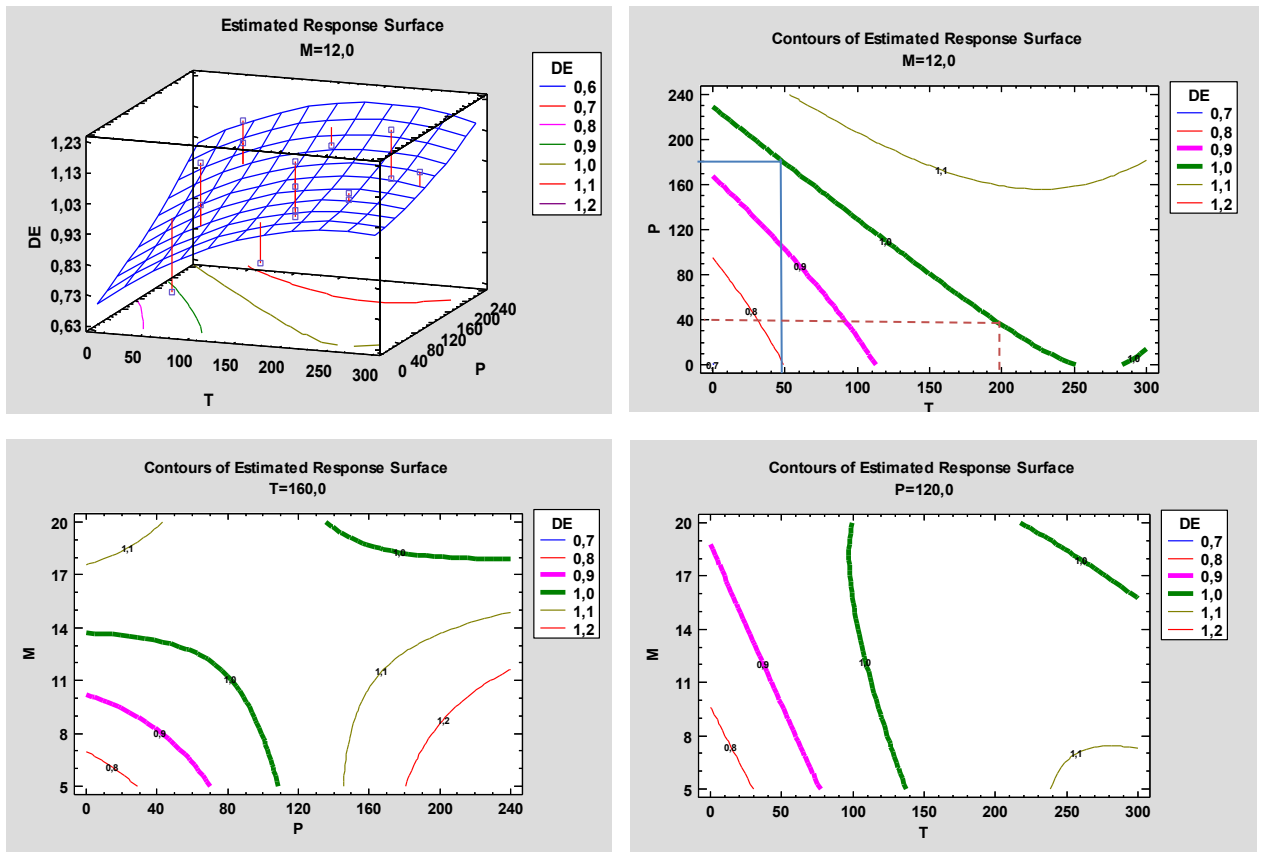


Fig. 4.12. Suprafețele de răspuns și graficele de nivel referitoare la densitatea particulelor pentru diferite condiții ale M și T

Brichete cu densitatea particulelor de cca. $0,9 \text{ g/cm}^3$ (clasa A2 și B ENplus), practic, pot fi obținute la orișice temperatură a matriței dacă presiunea mașinii de brichetat nu este mai joasă de 160MP. Cu alte cuvinte, dacă mașina de brichetat dezvoltă o presiune în faza inițială de cel puțin 160MPa, atunci brichete cu densitate conformă cerințelor pentru clasa A2 pot fi obținute chiar în faza inițială, când temperatura matriței corespunde cu temperatura camerei.

Prin urmare, folosind diagramele prezentate în această lucrare, producătorii de BCSD pot alege opțiunea potrivită pentru circumstanțe specifice, luând în considerare criteriile tehnico-economice distincte din fiecare situație. varianta convenabilă pentru situații concrete reieșind din criteriile tehnico-economice specifice fiecărui caz în parte.

4.6.Concluzii la capitolul 4

Din analiza efectuată în acest capitol și din rezultatele obținute, am dedus următoarele concluzii:

- Folosirea amestecurilor de materie primă din *Silphium perfoliatum* (cel mult 45%) cu

reziduuri din cătină albă/ sau din reziduuri agricole arboricole/ sau din reziduuri de viță-de-vie asigură obținerea unor BCSD în formă de brichete cu proprietăți calitative conforme cerințelor normelor ENplus clasa A1 și dacă cota de *Silphium perfoliatum* în amestec se mărește până la 75%, atunci calitatea brichetelor poate fi de clasa A2.

- Studiul capacității de miscibilitate a biomasei de *Miscanthus x Giganteus*, în amestec cu reziduuri de cătină albă, reziduuri agricole arboricole, reziduuri de viță-de-vie și paie de rapiță au demonstrat compatibilitatea biomasei de *Miscanthus x Giganteus* cu toate tipurile de biomasă luate în studiu, prezentând atribute de calitate aprobate de standardele SM EN ISO 17225:2021 cu excepția paielor de rapiță, care au rezultat o densitate a particulelor brichetelor mai mică de 0,74 g/cm³ indiferent de proporția acestora în amestec.

- Brichetele produse din *Miscanthus x Giganteus* cu alte culturi energetice cum sunt sorgul zaharat, hrișcă de Sahalin, salcia energetică Turbo, plopul hibrid energetic în proporție de 25%, 50% și 75% îndeplinesc cerințele de calitate pentru clasele A1 și A2 ENplus în ceea ce privește valoarea calorică, conținutul de cenușă și conținutul de azot.

- Studiul privind creșterea densității particulelor BCSD din culturi energetice a arătat că cătina albă este una dintre cele mai eficiente componente de ranforsare în constituția amestecurilor din culturi energetice. S-a demonstrat că prin adăugarea a cel puțin 20% reziduuri de cătină albă în amestecul de materie primă MG25%+HS75%, brichetele produse din acest amestec îndeplinesc cerințele pentru clasa A2 ENplus cu privire la densitatea particulelor. Mai mult ca atât, prin adăugarea a cel puțin 40% biomasă de cătină albă, se pot obține brichete de clasa A1 ENplus care respectă toate celelalte cerințe ale clasei A1.

- S-a arătat că optimizarea regimurilor tehnologice de fabricare a BCSD reprezintă o cale sigură de asigurare a calității BCSD. În rezultatul unui experiment polifactorial s-a reușit obținerea unor diagrame pentru stabilirea regimurilor tehnologice care asigură condițiile cele mai favorabile pentru obținerea unor parametri prestabiliți de producător.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Pornind de la importanța eficientizării surselor de energie din biomasă și a problemelor care există cu privire la calitatea și disponibilitatea materiei prime pentru producerea BCSD cu caracteristici conforme cerințelor standardelor internaționale, cercetarea de față oferă următoarele rezultate, care sunt corelate cu tema, ipoteza, scopul și obiectivele tezei formulate în Introducere:

-Toate cercetările au fost direcționate pentru *confirmarea ipotezei* studiului și anume demonstrarea fezabilității utilizării biomasei generate de culturile energetice, omologate în Republica Moldova, pentru producerea BCSD cu caracteristici conforme ENplus și pentru realizarea scopului înaintat care vizează valorificarea biomasei generate de culturile energetice pentru producerea BCSD în toate aspectele prevăzute de sistemul de certificare ENplus;

- Pentru realizarea *primului obiectiv* înaintat în lucrare, s-a realizat un studiu sintetic al stadiului cercetărilor științifice din țară și din străinătate în domeniul producerii BCSD din biomasă lignocelulozică, în special, și din biomasă derivată de diferite culturi energetice, în particular, prin analiza și confruntarea datelor prezentate în peste 400 lucrări științifice din domeniul tezei de doctorat, dintre care 238 sunt incluse în referințele bibliografice a prezentei lucrări, fapt care a confirmat actualitatea și importanța temei abordate, a condus la concretizarea ipotezei de lucru, a scopului cercetării și obiectivelor tezei de doctorat. *Concluzia este formulată pe baza materialului dezvoltat în cap. I, p. 1.1, 1.2 și 1.4 și parțial publicat în (CIOLACU et al., 2022; MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022; DARADUDA și MARIAN, 2022).*

- S-au identificat factorii care determină calitatea BCSD produși din biomasă vegetală provenită din culturi energetice și amestecuri formate pe baza acestora cu evaluarea ponderii contribuției acestora în procesul de certificare ENplus. *Concluzia este formulată pe baza materialului dezvoltat în cap1, p. 1.3 și 1.4;*

- Obiectivul ce ține de dezvoltarea metodologiei de cercetare și amenajarea laboratorului necesar pentru realizarea obiectivelor propuse a fost materializat prin conceperea, elaborarea, proiectarea și implementarea unui algoritm de cercetare care specifică etapele studiului pentru realizarea scopului și obiectivelor înaintate în lucrare, utilajul și metodele de încercare. Pentru investigarea impactului regimurilor tehnologice de densificare a biomasei, a fost dezvoltat și realizat un dispozitiv original, care poate comprima biomasa într-o cavitate închisă și în mișcare continuă cu capacitate de monitorizare diferitor aspecte, precum forța de presiune, temperatura matricei, viteza de compactare, raportul dintre diametrul matricei la intrare și la ieșire, inclusiv și caracteristicile biomasei vegetale care este supusă acestui proces, cum ar fi granulația, conținutul de umiditate, originea și specificațiile biomasei (cap. 2, BI nr. 10333 din 11.10.2023);

- Evaluarea resurselor durabile de biomasă generată de culturile energetice, prin prisma utilizării lor în producția BCSD conform normelor ENplus s-a materializat prin caracterizarea fizico-chimică a 49 specii de biomasă lignocelulozică, inclusiv 34 specii de culturi energetice și 73 BCSD din biomasă de culturi energetice și amestecuri formate pe baza acestor culturi. Analiza biomasei provenite din plante energetice perene a dezvăluit că în ceea ce privește puterea energetică, Păiușul de livezi, cunoscut și sub numele de *Festuca pratensis* din familia Poaceae, se situează în frunte, urmat de *Miscanthus × giganteus* Titan. Cu toate acestea, este important să menționăm că biomasa de miscanthus este preferabilă pentru producția de BCSD, deoarece conține o cantitate semnificativ mai mică de cenușă în comparație cu biomasa de *Festuca pratensis*, respectiv 1,18% față de 3,9%. Rezultatele obținute au permis formularea unui set de recomandări pentru specialiștii și producătorii din domeniul BCSD. *Rezultatele sunt prezentate în tabelele 1.1, 1.3, 3.2 - 3.5, 4.5 -4.9 și publicate în* (MARIAN, GELU, GUDIMA, et al., 2022) (ȚIȚEI, ROȘCA, et al., 2021, p. 391) (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022) (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021) (DARADUDA și MARIAN, 2022);

- S-a constatat că cele mai promițătoare rezultate din punct de vedere al puterii de ardere, le-au obținut speciile de biomasă lemnoasă. De exemplu, Plopul și Salcia energetică *Salix* au prezentat o putere de ardere net la recepție, respectiv 16,37 MJ/kg și 16,13 MJ/kg. În același rând s-a constatat că ambele tipuri de biomasă produc o cantitate semnificativă de cenușă în timpul procesului de ardere, aproximativ 3,53% și 3,97%. Prin urmare, se recomandă utilizarea Salciei Turbo și a Plopului energetic hibrid pentru producerea de BCSD numai atunci când sunt amestecate cu alte tipuri de biomasă care, în timpul procesului de ardere, generează o cantitate redusă de cenușă. *Rezultatele sunt prezentate în cap.3, p. 3.2.1 și publicate în* (MARIAN, IANUȘ, et al., 2021);

- Prin realizarea unui studiu de caz efectuat pe diferite genotipuri de miscanthus din perspectiva utilizării acestora la producerea BCSD s-a observat că biomasa provenită de la specii colectată în primăvară, posedă putere de ardere mai mare ca cea colectată toamna. De asemenea, s-a demonstrat că conținutul de carbon, sulf, clor și oxigen rezultat de la arderea biomasei de *M. x giganteus* titan nu se diferențiază semnificativ față de cel al biomasei de *M. sinensis*, cu excepția cazului în care se iau în considerare termenii de recoltare. *Rezultatele sunt prezentate în cap.3, p. 3.2.3 și publicate în* (DARADUDA și MARIAN, 2022);

- Extinderea bazei de cunoștințe referitoare la căile de îmbunătățire a calității BCSD în conformitate cu obiectivele politicilor naționale și internaționale cu privire la dezvoltarea SRE prin analiza calității BCSD din culturile energetice din familia Asteraceae, într-un studiu de caz pentru BCSD din biomasă de *Silphium perfoliatum* în amestec cu reziduuri de cătină albă, de reziduuri

agricole arboricole și cu reziduuri de viță-de-vie. S-a dedus că amestecurile din cătină albă, din reziduuri agricole arboricole și din reziduuri de viță-de-vie, în combinație cu biomasa de *Silphium perfoliatum* cu conținutul acesteia de până la 45 %, pot fi folosite la producerea brichetelor cu proprietăți calitative conforme cerințelor normelor ENplus clasa A1. Dacă conținutul de reziduuri agricole, în amestecurile de *Silphium perfoliatum*, se mărește până la 75%, atunci calitatea brichetelor poate fi de clasa A2. *Rezultatele sunt prezentate în cap.4, p. 4.1-4.3 și publicate în (DOROFTEI et al., 2023)*

- Cercetările cu privire la folosirea biomasei de culturi energetice din familiile Poaceae și Salicaceae realizate în cadrul unui studiu de caz cu folosirea biomasei de *Miscanthus x Giganteus*, în amestec cu reziduuri de cătină albă, reziduuri agricole arboricole, reziduuri de viță-de-vie și paie de rapiță au demonstrat compatibilitatea biomasei de *Miscanthus x Giganteus* cu toate tipurile de biomasă luate în studiu cu excepția paielor de rapiță, care au rezultat o densitate a particulelor brichetelor mai mică de 75%. S-a dedus o capacitatea de miscibilitate a biomasei de *Miscanthus x Giganteus* cu alte tipuri de biomasă de culturi energetice cum sunt sorgul zaharat, hrișca de Sahalin, salcie energetică și plop hibrid energetic în amestecuri din două componente și din trei componente cu adaos de biomasă de cătină albă. *Rezultatele sunt prezentate în cap.4, p. 4.4 și publicate în (DARADUDA, MARIAN, și PAVLENCO, 2023);*

- S-a demonstrat că pentru creșterea densității BCSD din culturi energetice este rezonabil de adăugat biomasă provenită din lanțul de producere a cătinii albe. Astfel, prin folosirea, în calitate de componentă de ranforsare, a cel puțin 20% reziduuri de cătină albă în amestecul de materie primă MG25%+HS75%, brichetele produse din această materie primă îndeplinesc cerințele pentru clasa A2 ENplus cu privire la densitatea particulelor. Mai mult ca atât, prin adăugarea a cel puțin 40% biomasă de cătină albă, se pot obține brichete de clasa A1 ENplus care respectă toate celelalte cerințe ale clasei A1. *Rezultatele sunt prezentate în cap.4, p. 4.4.2-4.4.3 și publicate în (MARIAN, BANARI, NAZAR, et al., 2022; NAZAR et al., 2023; MARIAN și DARADUDA, 2023);*

- Studiul referitor la perfecționarea procesului tehnologic de producere a BCSD a dedus că optimizarea regimurilor tehnologice de fabricare a BCSD reprezintă o cale sigură de asigurare a calității BCSD. În rezultatul unui experiment polifactorial s-a reușit obținerea unor diagrame pentru stabilirea regimurilor tehnologice care asigură condițiile cele mai favorabile pentru obținerea unor parametri prestabiliți de producător. *Rezultatele sunt prezentate în cap.4, p. 5 și publicate în (MARIAN et al., 2023);*

- Diseminarea rezultatelor obținute în teza de doctorat s-a realizat în 22 lucrări științifice (2 - publicații indexate în SCOPUS, 4 - baze de date internaționale, 1 capitol în monografie; 13 -

comunicări la conferințe științifice internaționale sau cu participare internațională, 3 - articole în reviste din RM, un brevet de invenție.

RECOMANDĂRI ȘI PERSPECTIVE

Cercetările realizate în prezenta teză de doctorat poate prezenta continuitate prin următoarele:

1. Efectul aditivilor organici asupra calității biocombustibililor solizi densificați din biomasă vegetală disponibilă în Republica Moldova.

2. Cercetări experimentale cu privire la efectul pretratării termomecanice și termochimice asupra structurii și proprietăților biomasei lignocelulozice provenite din culturi energertice.

3. Studiul influenței distribuției ligninei, celulozei și hemicelulozei în corelare cu microstructura și caracteristicile fizico-chimice asupra calității BCSD obținuți din biomasă generată de culturile energetice.

4. Optimizarea lanțurilor de aprovizionare cu biomasă generată de culturile energetice la producerea BCSD în condițiile Republicii Moldova.

5. Examinarea efectului compoziției chimice și a temperaturii de fuziune a cenușii asupra fiabilității termocentralelor care folosesc BCSD din biomasă lignocelulozică.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1.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. In: *Heliyon*. 2021 [online]. vol. 7, nr. 9 [data accesării. 20. iulie 2023]. ISSN 2405-8440. Disponibil la: doi:10.1016/J.HELIYON.2021.E08025

2.AGOSTINI, A., SERRA, P., GIUNTOLI, J., MARTANI, E., FERRARINI, A., AMADUCCI, S. Biofuels from perennial energy crops on buffer strips: A win-win strategy. In: *Journal of Cleaner Production*. 2021 [online]. 5., vol. 297, p. 126703. ISSN 09596526. Disponibil la: doi:10.1016/j.jclepro.2021.126703

3.AHORSU, R., MEDINA, F., CONSTANTÍ, M. Significance and challenges of biomass as a suitable feedstock for bioenergy and biochemical production: A review. In: *Energies*. 2018 [online]. 1.12., vol. 11, nr. 12, p. 3366. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en11123366

4.AKHMEDOV, S., IVANOVA, T., ABDULLOEVA, S., MUNTEAN, A., KREPL, V. Contribution to the energy situation in Tajikistan by using residual apricot branches after pruning as an alternative fuel. In: *Energies*. 2019 [online]. vol. 12, nr. 16, pp. 1-11. ISSN 19961073. Disponibil la: doi:10.3390/en12163169

5.ALAKANGAS, E. Biomass and agricultural residues for energy generation. În: *Fuel Flexible Energy Generation: Solid, Liquid and Gaseous Fuels* [online]. Boston: 2016 (Woodhead Publishing), p. 59-96. ISBN 9781782423997. Disponibil la: doi:10.1016/B978-1-78242-378-2.00003-1

6.ALAKANGAS, E., IMPOLA, R. Quality guidelines for wood fuels in Finland - 2020 VTT-M-04712-15. Jyväskylä: 2020.

7.ALBASHABSHEH, N.T., HEIER STAMM, J.L. Optimization of lignocellulosic biomass-to-biofuel supply chains with densification: Literature review. In: *Biomass and Bioenergy*. 2021 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 1., vol. 144, nr. December 2020, p. 105888. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2020.105888

8.ANDERSON, E., ARUNDALE, R., MAUGHAN, M., OLADEINDE, A., WYCISLO, A., VOIGT, T. Growth and agronomy of *Miscanthus x giganteus* for biomass production. In: *Biofuels*. 2011 [online]. 9.1., vol. 2, nr. 1, pp. 71-87. ISSN 1759-7269. Disponibil la: doi:10.4155/bfs.10.80

9.ANDRONIC, P., ANDRONIC, D. Politica energetică a Republicii Moldova. In: *Meridian Ingineresc*. 2015. vol. 1.

10. ANGELOVA, V. Phytoremediation Potential of Miscanthus X Giganteus in Soil Contaminated With Heavy Metals. In: *Scientific Papers-Series E-Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering*. 2020. vol. 9, pp. 29-37.

11. ARAQUE, O., ARZOLA, N., GALLEGO, L. Mechanical behavior of briquettes made from a mixture of sawdust and rice husks for commercialization. In: *Resources*. 2022 [online]. 18.3., vol. 11, nr. 3, p. 32. ISSN 2079-9276. Disponibil la: doi:10.3390/resources11030032

12. ATKINSON, C.J. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for Miscanthus. In: *Biomass and Bioenergy*. 2009 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 33, nr. 5, pp. 752-759. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2009.01.005

13. BAJURA, T., GANDACOVA, S. Sursele bioenergetice noi pentru economia națională: Miscanthus. In: *INCE*. 2020 [online]. vol. X, pp. 16-20. Disponibil la: http://dspace.ince.md/jspui/bitstream/123456789/1115/1/Sursele_bioenergetice_noi_pentru_economia_nationala.pdf

14. BAL, L.M., MEDA, V., NAIK, S.N., SATYA, S. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals. In: *Food Research International*. 2011 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 8., vol. 44, nr. 7, pp. 1718-1727. ISSN 09639969. Disponibil la: doi:10.1016/j.foodres.2011.03.002

15. BANARI, A., MARIAN, G., NAZAR, B., GUDIMA, A. Studiul procesului de densificare a peleișilor produși din biomasă de cătină albă. In: *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*. 2022. nr. Chișinău 11-12 noiembrie 2022, pp. 156-157.

16. BAZARGAN, A., ROUGH, S.L., MCKAY, G. Compaction of palm kernel shell biochars for application as solid fuel. In: *Biomass and Bioenergy*. 2014 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 70, pp. 489-497. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2014.08.015

17. BILANDZIJA, N., JURISIC, V., VOCA, N., LETO, J., MATIN, A., GRUBOR, M., KRICKA, T. Energy valorization of Miscanthus x giganteus biomass: A case study in Croatia. In: *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2017 [online]. vol. 21, nr. 2, pp. 32-36. ISSN 1821-4487. Disponibil la: doi:10.5937/jpea1701032b

18. BNS. Balanța energetică a Republicii Moldova: Ediția 2022 [online]. ISBN 978-9975-53-418-5. Disponibil la: https://statistica.gov.md/files/files/publicatii_electronice/balanta_energetica/Balanta_energetica_editia_2022_rom.pdf

19. BRAMI, C., NATHAN LOWE, C., MENASSERI, S., JACQUET, T., PÉRÈS, G. Multi-parameter assessment of soil quality under Miscanthus x giganteus crop at marginal sites in Île-

de-France. In: *Biomass and Bioenergy*. 2020 [online]. vol. 142, nr. July. ISSN 18732909. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2020.105793

20.BRIDGWATER, T. Biomass for energy. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006 [online]. vol. 86, pp. 1755–1768. ISSN 15760952. Disponibil la: doi:10.1002/jsfa

21.BROSSE, N., DUFOUR, A., MENG, X., SUN, Q., RAGAUSKAS, A. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2014 [online]. vol. 8, nr. 6, p. 743. ISSN 19321031. Disponibil la: doi:10.1002/BBB

22.CABRERA, A.M., TOZZINI, C., ESPINOZA, S., SANTELICES, R., MEZA, F. Biomass production and carbon balance of a short rotation forestry of *Populus deltoides* (clone Lux) under two different cutting cycles. In: *Bosque (Valdivia)*. 2016 [online]. vol. 37, nr. 1, pp. 205-210. ISSN 0717-9200. Disponibil la: doi:10.4067/S0717-92002016000100019

23.CAISIN, S., ȘVEȚ, A., HALAIM, N. Surse de energie regenerabilă [online]. Chișinău: 2014 (Tipogr. „Bons Offices”) [data accesării. 1. aprilie 2023]. ISBN 978-9975-80-816-3. Disponibil la: http://biomasa.md/wp-content/uploads/2016/06/Surse-de-energie-regenerabile_ROM_2015_Web-micsorat.pdf

24.CARRILLO T, CASANOVA P, SOLÍS K. Effect of Densification Conditions on Physical Properties of Pellets Made From Sawmill Residues. In: *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 2016 [online]. nr. 5, pp. 198-207. ISSN 2320-0936. Disponibil la: www.ajer.org

25.CARROLL, J.P., FINNAN, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. In: *Biosystems Engineering*. 2012 [online]. 6., vol. 112, nr. 2, pp. 151-159. ISSN 15375110. Disponibil la: doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.03.012

26.CAVALLO, E., PAMPURO, N. Effects of compressing pressure on briquettes made from woody biomass. In: *Chemical Engineering Transactions*. 2017 [online]. vol. 58, pp. 517-522. ISSN 22839216. Disponibil la: doi:10.3303/CET1758087

27.CEBAN, V. Dezvoltarea energiei regenerabile în Republica Moldova: realități, capacități, opțiuni, perspective. APE.

28.CEREMPEI, V., ȚIȚEI, V., VLĂDUȚ, V., MOICEANU, G. A Comparative Study on the Characteristics of Seeds and Phytomass of New High-Potential Fodder and Energy Crops. In: *Agriculture*. 2023 [online]. 23.5., vol. 13, nr. 6, p. 1112. ISSN 2077-0472. Disponibil la: doi:10.3390/agriculture13061112

29.CHEN, J., LÆRKE, P.E., JØRGENSEN, U. Land conversion from annual to perennial crops: A win-win strategy for biomass yield and soil organic carbon and total nitrogen

sequestration. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022 [online]. 6., vol. 330, p. 107907. ISSN 01678809. Disponibil la: doi:10.1016/j.agee.2022.107907

30.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. In: *Forests*. 2022 [online]. 2.3., vol. 13, nr. 3, p. 405. ISSN 1999-4907. Disponibil la: doi:10.3390/f13030405

31.CÎRLIG, N., LUPAN, A., ȚIȚEI, V., GUȚU, A., IURCU-STRĂISTARU, E. Inițierea fondării colecției de plante melifere în cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru”. In: *Journal of Botany*. 2021 [online]. 5., vol. XII, nr. 2(21), pp. 169-170. ISSN 18572367. Disponibil la: doi:10.52240/1857-2367.2020.2(21).41

32.CIVITARESE, V., ACAMPORA, A., SPERANDIO, G., ASSIRELLI, A., PICCHIO, R. Production of wood pellets from poplar trees managed as coppices with different harvesting cycles. In: *Energies*. 2019 [online]. 1.8., vol. 12, nr. 15, p. 2973. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en12152973

33.CLIFTON-BROWN, J., HARFOUCHE, A., CASLER, M.D., DYLAN JONES, H., MACALPINE, W.J., MURPHY-BOKERN, D., SMART, L.B., ADLER, A., ASHMAN, C., AWTY-CARROLL, D. Breeding progress and preparedness for mass-scale deployment of perennial lignocellulosic biomass crops switchgrass, miscanthus, willow and poplar. In: *GCB Bioenergy*. 2019 [online]. B.m.: Blackwell Publishing Ltd, 1.1., vol. 11, nr. 1, pp. 118-151. ISSN 17571707. Disponibil la: doi:10.1111/gcbb.12566

34.CLIFTON-BROWN, J.C., LEWANDOWSKI, I. Overwintering problems of newly established Miscanthus plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. In: *New Phytologist*. 2000 [online]. 27.11., vol. 148, nr. 2, pp. 287-294. ISSN 0028-646X. Disponibil la: doi:10.1046/j.1469-8137.2000.00764.x

35.COLLURA, S., AZAMBRE, B., FINQUENEISEL, G., ZIMNY, T., WEBER, J.V. *Miscanthus* × *Giganteus* straw and pellets as sustainable fuels: Combustion and emission tests [online]. 2006. Disponibil la: doi:10.1007/s10311-006-0036-3

36.COSEREANU, C., LICA, D., LUNGULEASA, A. Investigation on the Quality of Briquettes Made From Rarely Used Wood Species, Agro-Wastes and Forest Biomass. In: *PRO LIGNO*. 2015 [online]. vol. 11, nr. 1, pp. 32-39. Disponibil la: www.prolingo.ro

37.CRISCUOLI, I., BRUNETTI, M., GOLI, G. Characterization of Paulownia elongata x fortunei (BIO 125 clone) roundwood from plantations in Northern Italy. In: *Forests*. 2022 [online]. 4.11., vol. 13, nr. 11, p. 1841. ISSN 1999-4907. Disponibil la: doi:10.3390/f13111841

38.CSPTSP. Catalogul Soiurilor de Plante al Republicii Moldova ediția 2020.

- 39.CSPTSP. Catalogul Soiurilor de Plante al Republicii Moldova ediția 2021.
- 40.CSPTSP. Catalogul Soiurilor de Plante al Republicii Moldova ediția 2023.
- 41.CUMPLIDO-MARIN, L., GRAVES, A.R., BURGESS, P.J., MORHART, C., PARIS, P., JABLONOWSK, N.D., FACCIOTTO, G., BURY, M., MARTENS, R., NAHM, M. Two novel energy crops: *Sida hermaphrodita* (L.) rusby and *silphium perfoliatum* l.-state of knowledge. In: *Agronomy*. 2020 [online]. vol. 10, nr. 7. ISSN 20734395. Disponibil la: doi:10.3390/agronomy10070928
- 42.DĂNILĂ, I., AVACĂRIȚEI, D., NUȚU, A., SAVIN, A., DUDUMAN, M.L., BOURIAUD, O., BOURIAUD, L. Productivitatea clonelor de plop hibrid instalate in culturi intensive in nord-estul Romaniei. In: *Bucovina Forestiera*. 2016 [online]. 4.8., vol. 16, nr. 1, pp. 73-85. ISSN 15823725. Disponibil la: doi:10.4316/bf.2016.006
- 43.DANNENBERGER, D., TUCHSCHERER, M., NÜRNBERG, G., SCHMICKE, M., KANITZ, E. Sea buckthorn pomace supplementation in the diet of growing pigs—effects on fatty acid metabolism, hpa activity and immune status. In: *International Journal of Molecular Sciences*. 2018 [online]. 21.2., vol. 19, nr. 2, p. 596. ISSN 1422-0067. Disponibil la: doi:10.3390/ijms19020596
- 44.DARABAN (OROS), A.E., JURCOANE, Ș., VOICEA, I., VOICU, G. Miscanthus Giganteus Biomass for Sustainable Energy in Small Scale Heating Systems. In: *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015 [online]. B.m.: Elsevier BV, vol. 6, pp. 538-544 [data accesării. 1. aprilie 2023]. ISSN 22107843. Disponibil la: doi:10.1016/J.AASPRO.2015.08.082
- 45.DARADUDA, N., MARIAN, G. Perspectives for the use of biomass generated by some Miscanthus genotypes in the production of densified solid biofuels. In: *Journal of Engineering Science*. 2022 [online]. vol. 29, nr. 2, pp. 133-143. ISSN 25873474. Disponibil la: doi:10.52326/jes.utm.2022.29(2).13
- 46.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 1734 Y 10.01.2023 [online]. Republica Moldova, Brevet MD 1734 Y 10.01.2023. 2023. Disponibil la: https://agepi.gov.md/sites/default/files/bopi/BOPI_12_2023.pdf
- 47.DARADUDA, N., MARIAN, G., PAVLENCO, A. Characterization and evaluation of energy properties of briquettes produced from miscanthus, sea buckthorn and arboricultura residues and their mixtures. În: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education*. Chișinău: Tehnica-UTM, p. 150.

48.DE JONG, W., PIRONE, A., WOJTOWICZ, M. Pyrolysis of Miscanthus Giganteus and wood pellets: TG-FTIR analysis and reaction kinetics. In: *Fuel*. 2003 [online]. 6., vol. 82, nr. 9, pp. 1139-1147. ISSN 00162361. Disponibil la: doi:10.1016/S0016-2361(02)00419-2

49.DEMIANIUK, L., DEMIANIUK, A.B. Influence of temperature on the quality of briquettes in the giant miscanthus densification process. In: *Engineering Transactions*. 2016. vol. 64, nr. 2, pp. 171-180. ISSN 0867888X.

50.DIENAITĖ, L., PUKALSKAS, A., PUKALSKIENĖ, M., PEREIRA, C. V., MATIAS, A.A., VENSKUTONIS, P.R. Phytochemical composition, antioxidant and antiproliferative activities of defatted sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berry pomace fractions consecutively recovered by pressurized ethanol and water. In: *Antioxidants*. 2020 [online]. 25.3., vol. 9, nr. 4, p. 274. ISSN 2076-3921. Disponibil la: doi:10.3390/antiox9040274

51.DOROFTEI, V., ȚIȚEI, V., ABABII, A., ANDREOIU, A.C., COZARI, S., GADIBADI, M., CEREMPEI, V., GUDIMA, A., NAZAR, B., **DARADUDA, N.** Prospects for the utilization of the *Silphium perfoliatum* and *Silphium integrifolium* for renewable energy production in Moldova. În: *Simpozionul „Biology and sustainable development”*. Bacău: Romania, p. 62-63.

52.EKOUBE, P.A., GNIKAM, E., SAID, O., NGANSOP, V.L., BOT, B. V. Experimental study of binderless briquetting process: effect of temperature on the fuel briquettes from rice husks. In: *E3S Web of Conferences*. 2022 [online]. 13.7., vol. 354, p. 03004. ISSN 2267-1242. Disponibil la: doi:10.1051/e3sconf/202235403004

53.ENDE, L.M., KNÖLLINGER, K., KEIL, M., FIEDLER, A.J., LAUERER, M. Possibly invasive new bioenergy crop *silphium perfoliatum*: Growth and reproduction are promoted in moist soil. In: *Agriculture*. 2021 [online]. 1.1., vol. 11, nr. 1, p. 24. ISSN 2077-0472. Disponibil la: doi:10.3390/agriculture11010024

54.FAIZAL, H.M., RAHMAN, M.R.A., LATIFF, Z.A. Review on densification of palm residues as a technique for biomass energy utilization. In: *Jurnal Teknologi*. 2016 [online]. vol. 78, nr. 9–2, pp. 9-18. Disponibil la: www.jurnalteknologi.utm.my

55.FALES, S. I, HESS, J.R., WILHELM, W.W. Convergence of Agriculture and Energy: II. Producing Cellulosic Biomass for Biofuels. In: *Cast*. 2007. p. 8.

56.FERNANDO, A.L., COSTA, J., BARBOSA, B., MONTI, A., RETTENMAIER, N. Environmental impact assessment of perennial crops cultivation on marginal soils in the Mediterranean Region. In: *Biomass and Bioenergy*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 111, pp. 174-186. ISSN 18732909. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2017.04.005

57.FERREIRA, L.R.A., OTTO, R.B., SILVA, F.P., DE SOUZA, S.N.M., DE SOUZA, S.S., ANDO JUNIOR, O.H. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed

generation in Brazil. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 94, nr. June, pp. 440-455. ISSN 18790690. Disponibil la: doi:10.1016/j.rser.2018.06.034

58.FRAŢCZEK, J., MUDRYK, K., WRÓBEL, M. Cup plant *Silphium perfoliatum* L.-biomass source for biofuels production Proecology production of organic and mineral fertilizers based on waste: by-porducts of combusiton and biogasification of biomass View project biomass View project. In: *Inżynieria Rolnicza*. 2011 [online]. vol. 6, nr. 131, pp. 21-27. Disponibil la: <https://www.researchgate.net/publication/312914298>

59.FRANCIK, S., KNAPCZYK, A., KNAPCZYK, A., FRANCIK, R. Decision support system for the production of *Miscanthus* and willow briquettes. In: *Energies*. 2020 [online]. 15.3., vol. 13, nr. 6, p. 1364. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en13061364

60.GANSBERGER, M., MONTGOMERY, L.F.R., LIEBHARD, P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. In: *Industrial Crops and Products*. 2015 [online]. B.m.: Elsevier B.V., vol. 63, pp. 362-372. ISSN 09266690. Disponibil la: doi:10.1016/j.indcrop.2014.09.047

61.GARCÍA-MARAVÉ, A., RAMOS-RIDAO, A.F., RUIZ, D.P., ZAMORANO, M. Quality of pellets from olive grove residual biomass. In: *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2010 [online]. 4., vol. 1, nr. 08, pp. 751-756. ISSN 2172038X. Disponibil la: doi:10.24084/repqj08.463

62.GARRIDO, M.A., CONESA, J.A., GARCIA, M.D. Characterization and production of fuel briquettes made from biomass and plastic wastes. In: *Energies*. 2017 [online]. 26.6., vol. 10, nr. 7, p. 850. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en10070850

63.GRANADO, M.P.P., SUHOGUSOFF, Y.V.M., SANTOS, L.R.O., YAMAJI, F.M., DE CONTI, A.C. Effects of pressure densification on strength and properties of cassava waste briquettes. In: *Renewable Energy*. 2021 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 167, pp. 306-312. ISSN 18790682. Disponibil la: doi:10.1016/j.renene.2020.11.087

64.GROVER, P.D., MISHRA, S.K. Biomass Briquetting: Technology and practice. [online]. Disponibil la: <https://www.fao.org/3/ad579e/ad579e00.pdf>

65.GROVER, P.D., MISHRA, S.K. Regional Wood Energy Development Programme in Asia Gcp / Ras / 154 / Net Biomass Briquetting : Technology and Practices.

66.GUDÎMA, A. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova. In: *Meridian Ingineresc*. 2017. vol. 1, pp. 26-29.

67.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. In: *Meridian Ingineresc*. 2017. vol. 1, pp. 51-60.

68.GULERIA, I., KUMARI, A., LACAILE-DUBOIS, M.-A., NISHANT, KUMAR, V., SAINI, A.K., DHATWALIA, J., LAL, S. A review on the genus *Populus*: a potential source of biologically active compounds. In: *Phytochemistry Reviews*. 2022 [online]. 12.8., vol. 21, nr. 4, pp. 987-1046. ISSN 1568-7767. Disponibil la: doi:10.1007/s11101-021-09772-2

69.GUO, Z., MIAO, Z., GUO, F., GUO, Y., FENG, Y., WU, J., ZHANG, Y. Parameter optimization of waste coal briquetting and particulate matter emissions test during combustion: A case study. In: *Environmental Pollution*. 2022 [online]. B.m.: Elsevier, 1.2., vol. 294, p. 118621. ISSN 0269-7491. Disponibil la: doi:10.1016/J.ENVPOL.2021.118621

70.GÜTZLOE, A., THUMM, U., LEWANDOWSKI, I. Influence of climate parameters and management of permanent grassland on biogas yield and GHG emission substitution potential. In: *Biomass and Bioenergy*. 2014 [online]. 5., vol. 64, pp. 175-189. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2014.03.024

71.HAAG, N.L., NÄGELE, H.J., REISS, K., BIERTÜMPFEL, A., OECHSNER, H. Methane formation potential of cup plant (*Silphiumperfoliatum*). In: *Biomass and Bioenergy*. 2015 [online]. vol. 75, pp. 126-133. ISSN 1873-2909. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2015.02.012

72.HĂBĂȘESCU, I., CEREMPEI, V. Potențialul energetic al masei vegetale din agricultura Republicii Moldova. În: *Conferința „Energetica Moldovei”*. p. 355-359.

73.HĂBĂȘESCU, I., CEREMPEI, V., DELEU, V. Energie din biomasă: tehnologii și mijloace tehnice. Chișinău: BonsOffices. ISBN 978-9975-80-301-4.

74.HABERZETTL, J., HILGERT, P., COSSEL, M. von. A critical review on lignocellulosic biomass yield modeling and the bioenergy potential from marginal land. In: *Agronomy*. 2021 [online]. B.m.: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 25.11., vol. 11, nr. 12, p. 2397 [data accesării. 3. iulie 2023]. ISSN 2073-4395. Disponibil la: doi:10.3390/agronomy11122397

75.HARUN, N.Y., AFZAL, M.T. Effect of particle size on mechanical properties of pellets made from biomass blends. In: *Procedia Engineering*. 2016 [online]. B.m.: The Author(s), vol. 148, pp. 93-99. ISSN 18777058. Disponibil la: doi:10.1016/j.proeng.2016.06.445

76.HERRMANN, R., JUMBE, C., BRUENTRUP, M., OSABUOHIEN, E. Competition between biofuel feedstock and food production.pdf. In: *Biomass and Bioenergy*. 2017. vol. 114, pp. 100-111.

77.HOTĂRÂREA DE GUVERN. pentru aprobarea Regulamentului cu privire la biocombustibilul solid. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*. 2013 [online]. nr. 1070 din 27-12-2013. Disponibil la: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=18489&lang=ro

78.HOTĂRÂREA DE GUVERN. cu privire la aprobarea Strategiei de mediu pentru anii 2014-2023. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*. 2014 [online]. nr. 301 din 24-04-2014. Disponibil la: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=114539&lang=ro

79.HOTĂRÂREA DE GUVERN. cu privire la aprobarea Strategiei de dezvoltare cu emisii reduse a Republicii Moldova pînă în anul 2030. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*. 2016 [online]. nr. 1470 din 30-12-2016. Disponibil la: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=98493&lang=ro

80.HOTĂRÂREA DE GUVERN. cu privire la aprobarea Programului național în domeniile cercetării și inovării pentru anii 2020-2023. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*. 2019 [online]. nr. 381 din 01-08-2019. Disponibil la: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=115747&lang=ro

81.HUDA, A.A.S.M., KOUBAA, A., CLOUTIER, A., HERNÁNDEZ, R.E., FORTIN, Y. Variation of the physical and mechanical properties of hybrid poplar clones. In: *BioResources*. 2014 [online]. 30.1., vol. 9, nr. 1, pp. 1456-1471. ISSN 1930-2126. Disponibil la: [doi:10.15376/biores.9.1.1456-1471](https://doi.org/10.15376/biores.9.1.1456-1471)

82.ISLAM, M., HASHEM, M., ISLAM, S., ALAM, M., RAHIM, M., AKTERRUZZAMAN, M. Utilization of crop residues in rural household of Bangladesh. In: *Progressive Agriculture*. 2021 [online]. 1.3., vol. 31, nr. 3, pp. 164-177. ISSN 2310-2950. Disponibil la: [doi:10.3329/pa.v31i3.52119](https://doi.org/10.3329/pa.v31i3.52119)

83.IVANOVA, T., MUNTEAN, A., TÎȚEI, V., HAVRLAND, B., KOLARIKOVA, M. Energy crops utilization as an alternative agricultural production. In: *Agronomy Research*. 2015. vol. 13, nr. 2, pp. 311-317. ISSN 1406894X.

84.JABLONOWSKI, N.D., KOLLMANN, T., MEILLER, M., DOHRN, M., MÜLLER, M., NABEL, M., ZAPP, P., SCHONHOFF, A., SCHREY, S.D. Full assessment of Sida (Sida hermaphrodita) biomass as a solid fuel. In: *GCB Bioenergy*. 2020 [online]. vol. 12, nr. 8, pp. 618-635. ISSN 17571707. Disponibil la: [doi:10.1111/gcbb.12694](https://doi.org/10.1111/gcbb.12694)

85.JAKUBOWSKI, M., TOMCZAK, A., JELONEK, T., GRZYWIŃSKI, W. Wykorzystanie drewna i możliwości uprawy drzew z rodzaju Paulownia. In: *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Ratio Ind. Lignar*. 2018 [online]. vol. 17, nr. 4, pp. 291-297. Disponibil la: [doi:http://dx.doi.org/10.17306/J.AFW.2018.4.26](http://dx.doi.org/10.17306/J.AFW.2018.4.26)

86.JANKOWSKI, K.J., DUBIS, B., BUDZYŃSKI, W.S., BÓRAWSKI, P., BUŁKOWSKA, K. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. In: *Energy*. 2016 [online]. 8., vol. 109, pp. 277-286. ISSN 03605442. Disponibil la: doi:10.1016/j.energy.2016.04.087

87.JASINSKAS, A., KLEIZA, V., STREIKUS, D., DOMEIKA, R., VAICIUKEVIČIUS, E., GRAMAUSKAS, G., VALENTIN, M.T. Assessment of quality indicators of pressed biofuel produced from coarse herbaceous plants and determination of the influence of moisture on the properties of pellets. In: *Sustainability*. 2022 [online]. 18.1., vol. 14, nr. 3, p. 1068. ISSN 2071-1050. Disponibil la: doi:10.3390/su14031068

88.JASINSKAS, A., SIMONAVIČIŪTĖ, R., ŠIAUDINIS, G., LIAUDANSKIENĖ, I., ANTANAITIS, Š., ARAK, M., OLT, J. The assessment of common mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity and technological preparation for solid biofuel. In: *Zemdirbyste-Agriculture*. 2014 [online]. 28.3., vol. 101, nr. 1, pp. 19-26. ISSN 1392-3196. Disponibil la: doi:10.13080/z-a.2014.101.003

89.JEWIARZ, M., MUDRYK, K., DZIEDIK, K. Parameters A ff ecting RDF-Based Pellet Quality. In: *Energies*. 2020. vol. 13, nr. 910.

90.JEWIARZ, M., WRÓBEL, M., MUDRYK, K., SZUFA, S. Impact of the drying temperature and grinding technique on biomass grindability. In: *Energies*. 2020 [online]. 2.7., vol. 13, nr. 13, p. 3392. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en13133392

91.KALIYAN, N., MOREY, R.V. Densification Characteristics of Corn Stover and Switchgrass. In: *Transactions of the ASABE*. 2009 [online]. vol. 52, nr. 3, pp. 907-920. ISSN 21510032. Disponibil la: doi:10.13031/2013.21202

92.KALIYAN, N., MOREY, R.V. Densification characteristics of corn cobs. In: *Fuel Processing Technology*. 2010 [online]. vol. 91, nr. 5, pp. 559-565. ISSN 03783820. Disponibil la: doi:10.1016/j.fuproc.2010.01.001

93.KALIYAN, N., VANCE MOREY, R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. In: *Biomass and Bioenergy*. 2009 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 33, nr. 3, pp. 337-359. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2008.08.005

94.KHANNA, M., CHEN, L., BASSO, B., CAI, X., FIELD, J.L., GUAN, K., JIANG, C., LARK, T.J., RICHARD, T.L., SPAWN-LEE, S.A., YANG, P., ZIPP, K.Y. Redefining marginal land for bioenergy crop production. In: *GCB Bioenergy*. 2021 [online]. B.m.: John Wiley & Sons, Ltd, 1.10., vol. 13, nr. 10, pp. 1590-1609 [data accesării. 1. aprilie 2023]. ISSN 1757-1707. Disponibil la: doi:10.1111/GCBB.12877

95.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. In: *Energies*. 2020 [online]. vol. 13, nr. 5. ISSN 19961073. Disponibil la: doi:10.3390/en13051214

96.KOÇAR, G., CIVAŞ, N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013 [online]. 12., vol. 28, pp. 900-916. ISSN 13640321. Disponibil la: doi:10.1016/j.rser.2013.08.022

97.KOFMAN, P.D. Review of worldwide standards for solid biofuels. In: *COFORD Connects*. 2016. vol. 39, p. 12.

98.KPALO, S.Y., ZAINUDDIN, M.F., MANAF, L.A., ROSLAN, A.M. A review of technical and economic aspects of biomass briquetting. In: *Sustainability (Switzerland)*. 2020a [online]. 4.6., vol. 12, nr. 11, p. 4609 [data accesării. 19. iulie 2023]. ISSN 20711050. Disponibil la: doi:10.3390/su12114609

99.KPALO, S.Y., ZAINUDDIN, M.F., MANAF, L.A., ROSLAN, A.M. Production and characterization of hybrid briquettes from corncobs and oil palm trunk bark under a low pressure densification technique. In: *Sustainability*. 2020b [online]. 21.3., vol. 12, nr. 6, p. 2468. ISSN 2071-1050. Disponibil la: doi:10.3390/su12062468

100.KPALO, S.Y., ZAINUDDIN, M.F., MANAF, L.A., ROSLAN, A.M. Evaluation of hybrid briquettes from corncob and oil palm trunk bark in a domestic cooking application for rural communities in Nigeria. In: *Journal of Cleaner Production*. 2021 [online]. 2., vol. 284, p. 124745. ISSN 09596526. Disponibil la: doi:10.1016/j.jclepro.2020.124745

101.KRIŽAN, P., MATUŠ, M., ŠOOŠ, L., BENIAK, J. Behavior of Beech Sawdust during Densification into a Solid Biofuel. In: *Energies*. 2015 [online]. vol. 8, nr. 7, pp. 6382-6398. ISSN 19961073. Disponibil la: doi:10.3390/en8076382

102.KUŁAŻYŃSKI, M., JABŁOŃSKI, S., KACZMARCZYK, J., ŚWIĄTEK, Ł., PSTROWSKA, K., ŁUKASZEWICZ, M. Technological aspects of sunflower biomass and brown coal co-firing. In: *Journal of the Energy Institute*. 2018 [online]. 10., vol. 91, nr. 5, pp. 668-675. ISSN 17439671. Disponibil la: doi:10.1016/j.joei.2017.06.003

103.KUTSOKON, N., RAKHMETOV, D., RAKHMETOVA, S., KHUDOLIEIEVA, L., RASHYDOV, N. Nursery screening of poplar and willow clones for biofuel application in Ukraine. In: *iForest Biogeosciences and Forestry*. 2022 [online]. vol. 15, pp. 401-410. Disponibil la: doi:doi: 10.3832/ifor3732-015

- 104.LARASATI, A., LIU, T., EPPLIN, F.M. An analysis of logistic costs to determine optimal size of a biofuel refinery. In: *Engineering Management Journal*. 2012 [online]. 20.12., vol. 24, nr. 4, pp. 63-72. ISSN 1042-9247. Disponibil la: doi:10.1080/10429247.2012.11431956
- 105.LEE, E., BISSON, J.A., HAN, H.-S. Evaluating the production cost and quality of feedstock produced by a sawdust machine. In: *Biomass and Bioenergy*. 2017 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 9., vol. 104, pp. 53-60. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2017.06.010
- 106.LENTZOU, G., TEMPLALEXIS, C., XANTHOPOULOS, G. Effect of air drying on quality characteristics and mass transfer kinetics of osmotically dehydrated sea buckthorn by stevia. In: *Food Research*. 2020 [online]. 1.4., vol. 4, nr. 4, pp. 1140-1150. ISSN 25502166. Disponibil la: doi:10.26656/fr.2017.4(4).031
- 107.LEWANDOWSKI, I., CLIFTON-BROWN, J.C., SCURLOCK, J.M.O., HUISMAN, W. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. In: *Biomass and Bioenergy*. 2000 [online]. vol. 19, nr. 4, pp. 209-227. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/S0961-9534(00)00032-5
- 108.LUNGULEASA, A., BUDĂU, G. Două caracteristici ale unor brichete ecologice lemnoase/Two features of the ecological wooden briquettes. In: *RECENT*. 2010. vol. 11, nr. 1(28), pp. 33-36.
- 109.MADR. Energii regenerabile în agricultură [online]. București: 2014 Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale și USR [data accesării. 1. aprilie 2023]. Disponibil la: www.rndr.ro
- 110.MAHAPATRA, S., KUMAR, D., SINGH, B., SACHAN, P.K. Biofuels and their sources of production: A review on cleaner sustainable alternative against conventional fuel, in the framework of the food and energy nexus. In: *Energy Nexus*. 2021 [online]. B.m.: Elsevier BV, 12., vol. 4, p. 100036. ISSN 27724271. Disponibil la: doi:10.1016/j.nexus.2021.100036
- 111.MARIAN, G. Managementul biomasei agrosilvice pentru scopuri energetice. Chișinău: S. n., 2014 (Iunie Prim). ISBN 978-9975-4021-4-9. – 264 p.
- 112.MARIAN, G. Biocombustibilii solizi: producere și proprietăți: Manual pentru uzul producătorilor de biocombustibili solizi. Chișinău: S. n., 2016 (Tipogr. “Bons Offices”). ISBN 978-9975-87-166-2. – 172 p.
- 113.MARIAN, G., BANARI, A., GUDÎMA, A., DARADUDA, N., PAVLENCO, A. Caracterizarea reziduurilor provenite din lanțul de producere a cătinii albe. In: *Știința agricolă*. 2020 [online]. vol. 2, pp. 91-96. Disponibil la: doi:10.5281/zenodo.4321228

114.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*. 2022. pp. 119-121.

115.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. In: *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2021. vol. X, pp. 60-63.

116.MARIAN, G., BANARI, A., NAZAR, B., GUDIMA, A., **DARADUDA, N.**, PAVLENCO, A. Perspectivele valorificării reziduurilor de cătină albă în scopuri energetice. În: *Lucrări științifice, Simpozion științific internațional "Sectorul agroalimentar - realizări și perspective"*. p. 297-301.

117.MARIAN, G., **DARADUDA, N.** Folosirea biomasei, generate de unele culturi energetice, în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați. In: *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*. 2022. vol. Ed. 1, nr. 11-12 noiembrie 2022, Chisinau, pp. 72-73.

118.MARIAN, G., **DARADUDA, N.** Valorificarea biomasei pentru producerea energiei termice. *Monografie*. 2024, p. 37.

119.MARIAN, G., **DARADUDA, N.**, GUDIMA, A. Effects of densification parameters on the quality of briquettes produced from mixing Miscanthus giganteus and agricultural residues. În: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education*. Chișinău: Tehnica-UTM, p. 148.

120.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. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2021 [online]. vol. X, pp. 54-59. Disponibil la: <https://www.landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2021/Art7.pdf>

121.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: *Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto*. 2022. vol. 56, pp. 292-296.

122.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. In: *Journal of Engineering Science*. 2022 [online]. B.m.: Technical University of Moldova, 1., vol. 29, nr. 4, pp. 126-137. ISSN 25873474. Disponibil la: doi:10.52326/jes.utm.2022.29(4).10

123.MARIAN, G., GUDÎMA, A., PAVLENCO, A. Influența parametrilor densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole. In: *Știința agricolă*. 2017. vol. 1, nr. 1, pp. 82-87.

124.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. In: *Agronomy*. 2022 [online]. B.m.: MDPI, 26.8., vol. 12, nr. 9, p. 2018. ISSN 2073-4395. Disponibil la: doi:10.3390/agronomy12092018

125.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 [online]. vol. 1, pp. 84-93. Disponibil la: doi:10.31521/2313-092X/2021-1(109)

126.MARIAN, G., MUNTEAN, A., GUDIMA, A., PAVLENCO, A. Considerații referitoare la folosirea biomasei provenite de la cultivarea porumbului pentru obținerea biocombustibililor solizi. In: *Știința agricolă*. 2013. vol. 2, nr. 2, pp. 84-91.

127.MARIAN, G., MUNTEAN, A., GUDÎMA, A., PAVLENCO, A. Considerații cu privire la estimarea potențialului de biomasă pentru scopuri energetice rezultată din reziduuri agrosilvice. In: *Simpozionul „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto”*. 2013. vol. 38, nr. Chișinău, Moldova, 12-13 noiembrie 2013, pp. 66-70.

128.MARIAN, G., MUNTEAN, A., GUDÎMA, A., TIȚEI, V., ANDREI, P. Analiza comparativă a biomasei obținute din culturi energetice. In: *Știința agricolă*. 2014. vol. 2, nr. 2, pp. 70-75.

129.MARIAN, G., SHIRAKAWA, Y., MUNTEAN, A., GUDIMA, A., DRUCEOC, S. Estimarea capacității calorifice a biomasei lignocelulozice provenite din diferite zone ale Republicii Moldova în conceptul de producere de combustibili solizi. In: *Știința agricolă*. 2013. vol. 1, nr. 1, pp. 97-103.

130.MARIAN, G., ȚENU, I., ROȘCA, R., GUDÎMA, A., PAVLENCO, A. Assessment of the quality of secondary production from different agricultural crops used as primary material for densified solid biofuels. In: *Lucrări Științifice*. 2019. vol. 62, nr. 1, pp. 97-100.

131.MARREIRO, H.M.P., PERUCHI, R.S., LOPES, R.M.B.P., ANDERSEN, S.L.F., ELIZIÁRIO, S.A., JUNIOR, P.R. Empirical studies on biomass briquette production: A literature review. In: *Energies*. 2021 [online]. vol. 14, nr. 24, pp. 1-40. ISSN 19961073. Disponibil la: doi:10.3390/en14248320

132.MENDOZA MARTINEZ, C.L., SERMYAGINA, E., DE CASSIA OLIVEIRA CARNEIRO, A., VAKKILAINEN, E., CARDOSO, M. Production and characterization of coffee-

pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. In: *Biomass and Bioenergy*. 2019 [online]. 4., vol. 123, pp. 70-77 [data accesării. 19. iunie 2023]. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2019.02.013

133.MUNTEAN, I., ȚÎȚEI, V., GUDIMA, A., ARMAȘ, A., GADIBADI, M. Biomass quality of some Poaceae species and possible use for renewable energy production in Moldova. In: *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2018 [online]. vol. LXI, nr. 1, pp. 2-7. Disponibil la: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2018/issue_1/Art80.pdf

134.NAZAR, B., MARIAN, G., MALAI, L., **DARADUDA, N.** Quality assessment of biomass mixtures from sea buckthorn and fruit trees residues. În: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education*. Chișinău: Tehnica-UTM, p. 152.

135.NAZLI, R.I., TANSI, V., ÖZTÜRK, H.H., KUSVURAN, A. Miscanthus, switchgrass, giant reed, and bulbous canary grass as potential bioenergy crops in a semi-arid Mediterranean environment. In: *Industrial Crops and Products*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier, vol. 125, nr. August, pp. 9-23. ISSN 09266690. Disponibil la: doi:10.1016/j.indcrop.2018.08.090

136.NGUYEN, Q.N., CLOUTIER, A., ACHIM, A., STEVANOVIC, T. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. In: *Biomass and Bioenergy*. 2015 [online]. 9., vol. 80, pp. 338-349. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2015.06.010

137.NIEDZIÓŁKA, I., SPRAWKA, M., ZAKLIKA, B., KRASZKIEWICZ, A., PRZYWARA, A. Effect of biomaterials and working pressure of a briquetting machine on physical characteristics and energy consumption of briquette production. In: *BIO Web of Conferences*. 2018 [online]. vol. 10, p. 02024. Disponibil la: doi:10.1051/bioconf/20181002024

138.NIGAM, P.S., SINGH, A. Production of liquid biofuels from renewable resources. In: *Progress in Energy and Combustion Science*. 2011 [online]. 2., vol. 37, nr. 1, pp. 52-68. ISSN 03601285. Disponibil la: doi:10.1016/j.pecs.2010.01.003

139.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. In: *Recycling*. 2021 [online]. 22.4., vol. 6, nr. 2, p. 28. ISSN 2313-4321. Disponibil la: doi:10.3390/recycling6020028

140.NUREK, T., GENDEK, A., DABROWSKA, M. Influence of the die height on the density of the briquette produced from shredded logging residues. In: *Materials*. 2021 [online]. 1.7., vol. 14, nr. 13, p. 3698. ISSN 1996-1944. Disponibil la: doi:10.3390/ma14133698

141.O'LOUGHLIN, J., MCDONNELL, K., FINNAN, J. Establishing miscanthus x giganteus crops in Ireland through nodal propagation by harvesting stems in autumn and sowing them

immediately into a field. In: *Biomass and Bioenergy*. 2017 [online]. 12., vol. 107, pp. 345-352. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2017.08.010

142.OBERNBERGER, I., THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. In: *Biomass and Bioenergy*. 2004 [online]. 12., vol. 27, nr. 6, pp. 653-669. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2003.07.006

143.OBI, O.F., PECENKA, R. Briquetting of Poplar Wood from Short Rotation Coppice—The Effects of Moisture Content and Hammer Mill Screen Size. In: *Energies*. 2023 [online]. 1.2., vol. 16, nr. 3, p. 1454. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en16031454

144.OKOT, D.K., BILSBORROW, P.E., PHAN, A.N. Effects of operating parameters on maize COB briquette quality. In: *Biomass and Bioenergy*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 112, nr. February, pp. 61-72. ISSN 18732909. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2018.02.015

145.OLAS, B., SKALSKI, B., ULANOWSKA, K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson]. In: *Frontiers in Pharmacology*. 2018 [online]. 15.3., vol. 9. ISSN 1663-9812. Disponibil la: doi:10.3389/fphar.2018.00232

146.OLESZEK, M., MATYKA, M., LALAK, J., TYS, J., PAPROTA, E. Characterization of *Sida hermaphrodita* as a feedstock for anaerobic digestion process. In: *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2013. vol. 11, pp. 1839-1841.

147.ONIFADE, S.T., ALOLA, A.A., ERDOĞAN, S., ACET, H. Environmental aspect of energy transition and urbanization in the OPEC member states. In: *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 [online]. 4.4., vol. 28, nr. 14, pp. 17158-17169. ISSN 0944-1344. Disponibil la: doi:10.1007/s11356-020-12181-1

148.ORISALEYE, J.I., JEKAYINFA, S.O., DITTRICH, C., OBI, O.F., PECENKA, R. Effects of feeding speed and temperature on properties of briquettes from poplar wood using a hydraulic briquetting press. In: *Resources*. 2023 [online]. 9.1., vol. 12, nr. 1, p. 12. ISSN 2079-9276. Disponibil la: doi:10.3390/resources12010012

149.OUATTARA, M.S., LAURENT, A., BARBU, C., BERTHOU, M., BORUJERDI, E., BUTIER, A., MALVOISIN, P., ROMELOT, D., LOYCE, C. Effects of several establishment modes of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis* on yields and yield trends. In: *GCB Bioenergy*. 2020 [online]. 18.7., vol. 12, nr. 7, pp. 524-538. ISSN 1757-1693. Disponibil la: doi:10.1111/gcbb.12692

150.PAIANO, A., LAGIOIA, G. Energy potential from residual biomass towards meeting the EU renewable energy and climate targets. The Italian case. In: *Energy Policy*. 2016 [online]. B.m.:

Elsevier, vol. 91, nr. 2016, pp. 161-173. ISSN 03014215. Disponibil la: doi:10.1016/j.enpol.2015.12.039

151.PALANCEAN, A., GUMENIUC, I., ILIESCU, V., MACARI, A. Ghid tehnic culturi energetice lemnoase cu ciclu scurt de producție [online]. Chișinău: Moldsilva [data accesării. 1. aprilie 2023]. Disponibil la: www.enpi-fleg.org

152.PAOLOTTI, L., MARTINO, G., MARCHINI, A., BOGGIA, A. Economic and environmental assessment of agro-energy wood biomass supply chains. In: *Biomass and Bioenergy*. 2017 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 2., vol. 97, pp. 172-185. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2016.12.020

153.PARLAMENTUL EUROPEAN. DIRECTIVA (UE) 2018/2001 A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI. *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* [online] [data accesării. 5. iulie 2023]. Disponibil la: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001&qid=1691241506280>

154.PARLAMENTUL EUROPEAN. Energia din surse regenerabile | Fișe descriptive despre Uniunea Europeană | Parlamentul European. *Parlamentul European* [online] [data accesării. 22. iulie 2023]. Disponibil la: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/70/energia-din-surse-regenerabile>

155.PAVLENCO, A. Calitatea biocombustibililor solizi produși din reziduuri agricole. Articol de sinteză. In: *Știința Agricolă*. 2018. vol. 2, pp. 128-140.

156.PAVLENCO, A., MARIAN, G., GOROBETȚ, V., GUDÎMA, A., NAZAR, B. Calitatea biobrichetelor produse din reziduuri agricole: studiu bibliografic. In: *Inginerie agrară și transport auto*. 2018. vol. 51, nr. Chișinău, Moldova, 4-5 octombrie 2018, pp. 442-450.

157.PAVLENCO, A., MARIAN, G., GUDÎMA, A. Potențialul energetic al reziduurilor agricole: studiu de caz pentru regiunea de dezvoltare nord, Republica Moldova. In: *Știința Agricolă*. 2018. vol. 2, nr. 2, pp. 141-148.

158.PEGORETTI LEITE DE SOUZA, H.J., MUÑOZ, F., MENDONÇA, R.T., SÁEZ, K., OLAVE, R., SEGURA, C., DE SOUZA, D.. P.L., DE PAULA PROTÁSIO, T., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. Influence of lignin distribution, physicochemical characteristics and microstructure on the quality of biofuel pellets made from four different types of biomass. In: *Renewable Energy*. 2021 [online]. vol. 163, pp. 1802-1816. ISSN 18790682. Disponibil la: doi:10.1016/j.renene.2020.10.065

159.PENI, D., STOLARSKI, M.J., BORDIEAN, A., KRZYZANIAK, M., DEBOWSKI, M. *Silphium perfoliatum*—a herbaceous crop with increased interest in recent years for multi-purpose

use. In: *Agriculture (Switzerland)*. 2020 [online]. vol. 10, nr. 12, pp. 1-22. ISSN 20770472. Disponibil la: doi:10.3390/agriculture10120640

160.PETTERSSON, A. Characterisation of fuels and fly ashes from co-combustion of biofuels and waste fuels in a fluidised bed boiler. A phosphorus and alkali perspective [online]. B.m. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Disponibil la: <http://bada.hb.se:80/handle/2320/3957>

161.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. In: *Biomass and Bioenergy*. 2015 [online]. vol. 81, nr. April, pp. 521-533. ISSN 18732909. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2015.08.010

162.PURDY, S.J., MADDISON, A.L., JONES, L.E., WEBSTER, R.J., ANDRALOJC, J., DONNISON, I., CLIFTON-BROWN, J. Characterization of chilling-shock responses in four genotypes of *Miscanthus* reveals the superior tolerance of *M. × giganteus* compared with *M. sinensis* and *M. sacchariflorus*. In: *Annals of Botany*. 2013 [online]. 5., vol. 111, nr. 5, pp. 999-1013. ISSN 1095-8290. Disponibil la: doi:10.1093/aob/mct059

163.PYTER, R.J., DOHLEMAN, F.G., VOIGT, T.B. Effects of rhizome size, depth of planting and cold storage on *Miscanthus x giganteus* establishment in the Midwestern USA. In: *Biomass and Bioenergy*. 2010 [online]. 10., vol. 34, nr. 10, pp. 1466-1470. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2010.04.014

164.REGULAMENTUL (CE) NR. 1782/2003. *Regulamentul (CE) nr. 1782/2003 al Consiliului din 29 septembrie 2003 de stabilire a normelor comune pentru schemele de sprijin direct în cadrul politicii agricole comune și de stabilire a anumitor scheme de sprijin pentru agricultori și de modificare a R* [online] [data accesării. 2. septembrie 2023]. Disponibil la: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX%3A32003R1782>

165.REVENCO, E., ȚÎȚEI, V. Înierbarea terenurilor agricole ca metodă de conservare a apei și protejare a solului. B.m.: Bons Offices. ISBN 9789975877602.

166.ROSSINI, F., PROVENZANO, M.E., KUZMANOVIĆ, L., RUGGERI, R. Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Versatile and Sustainable Crop for Renewable Energy Production in Europe. In: *Agronomy*. 2019 [online]. 10.9., vol. 9, nr. 9, p. 528. ISSN 2073-4395. Disponibil la: doi:10.3390/agronomy9090528

167.ȘALARU, G., BAHNARU, A. Managementul deșeurilor biodegradabile.

168.SAMUELSSON, R., LARSSON, S.H., THYREL, M., LESTANDER, T.A. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. In: *Applied*

Energy. 2012 [online]. 11., vol. 99, pp. 109-115. ISSN 03062619. Disponibil la: doi:10.1016/j.apenergy.2012.05.004

169.SÁNCHEZ, J., CURT, M.D., ROBERT, N., FERNÁNDEZ, J. Biomass Resources. În: *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy* [online]. B.m.: Elsevier, p. 25-111. ISBN 9780128130568. Disponibil la: doi:10.1016/B978-0-12-813056-8.00002-9

170.SANCHEZ, P.D.C., ASPE, M.M.T., SINDOL, K.N. An overview on the production of bio-briquettes from agricultural wastes: methods, processes, and quality. In: *Journal of Agricultural and Food Engineering*. 2022 [online]. 2.3., vol. 3, nr. 1, pp. 1-17. ISSN 2716-6236. Disponibil la: doi:10.37865/jafe.2022.0036

171.SARKER, T.R., AZARGOHAR, R., DALAI, A.K., MEDA, V. Characteristics of torrefied fuel pellets obtained from co-pelletization of agriculture residues with pyrolysis oil. In: *Biomass and Bioenergy*. 2021 [online]. 7., vol. 150, p. 106139. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2021.106139

172.SCARLAT, N., BLUJDEA, V., DALLEMAND, J.F. Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania. In: *Biomass and Bioenergy*. 2011 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 5., vol. 35, nr. 5, pp. 1995-2005. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.057

173.SCORDIA, D., COSENTINO, S.L. Perennial energy grasses: Resilient crops in a changing european agriculture. In: *Agriculture (Switzerland)*. 2019 [online]. vol. 9, nr. 8. ISSN 20770472. Disponibil la: doi:10.3390/agriculture9080169

174.SCRIBA, C., LUNGULEASA, A., SPIRCHEZ, C., CIOBANU, V. Influence of Inger and Tordis energetic willow clones planted on contaminated soil on the survival rates, yields and calorific value. In: *Forests*. 2021 [online]. 23.6., vol. 12, nr. 7, p. 826. ISSN 1999-4907. Disponibil la: doi:10.3390/f12070826

175.SE 2030. *Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030* [online] [data accesării. 15. august 2023]. Disponibil la:

<http://lex.justice.md/viewdoc.php?action=view&view=doc&id=346670&lang=1>

176.SEILER, G.J. The potential of wild sunflower species for industrial uses. In: *Helia*. 2007 [online]. vol. 30, nr. 46, pp. 175-198. ISSN 1018-1806. Disponibil la: doi:10.2298/HEL0746175S

177.SEM 2050. *Strategia Energetică a Republicii Moldova 2050 (SEM 2050)*. 2023 [online]. [data accesării. 15. august 2023]. Disponibil la:

https://midr.gov.md/files/shares/Concept_Strategia_Energetica_act_.pdf

178.SENILA, L., TENU, I., CARLESCU, P., SCURTU, D.A., KOVACS, E., SENILA, M., CADAR, O., ROMAN, M., DUMITRAS, D.E., ROMAN, C. Characterization of Biobriquettes

Produced from Vineyard Wastes as a Solid Biofuel Resource. In: *Agriculture*. 2022 [online]. 27.2., vol. 12, nr. 3, p. 341. ISSN 2077-0472. Disponibil la: doi:10.3390/agriculture12030341

179.SERRANO, C., MONEDERO, E., LAPUERTA, M., PORTERO, H. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. In: *Fuel Processing Technology*. 2011 [online]. 3., vol. 92, nr. 3, pp. 699-706. ISSN 03783820. Disponibil la: doi:10.1016/j.fuproc.2010.11.031

180.SETTER, C., CARLOS, ATAÍDE, H., MENDES, R.F., TIAGO, PIRES DE OLIVEIRA, J. Influence of particle size on the physico-mechanical and energy properties of briquettes produced with coffee husks. In: *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 [online]. [data accesării. 19. iulie 2023]. Disponibil la: doi:10.1007/s11356-020-11124-0/Published

181.ŠIAUDINIS, G., JASINSKAS, A., ŠARAUSKIS, E., STEPONAVIČIUS, D., KARČAUSKIENE, D., LIAUDANSKIENE, I. The assessment of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* Rusby) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity, physico-mechanical properties and energy expenses. In: *Energy*. 2015 [online]. vol. 93, pp. 606-612. ISSN 03605442. Disponibil la: doi:10.1016/j.energy.2015.09.065

182.SIMS, R.E.H., HASTINGS, A., SCHLAMADINGER, B., TAYLOR, G., SMITH, P. Energy crops: current status and future prospects. In: *Global Change Biology*. 2006 [online]. 11., vol. 12, nr. 11, pp. 2054-2076. ISSN 13541013. Disponibil la: doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01163.x

183.SŁAWIŃSKA, N., ZAJĄC, J., OLAS, B. Paulownia organs as interesting new sources of bioactive compounds. In: *International Journal of Molecular Sciences*. 2023 [online]. 14.1., vol. 24, nr. 2, p. 1676. ISSN 1422-0067. Disponibil la: doi:10.3390/ijms24021676

184.SM EN 15234-2:2017. Biocombustibili solizi. Asigurarea calității combustibilului. Partea 2: Peleți din lemn pentru utilizări neindustriale. 2017.

185.SM EN 15234-3:2017. Biocombustibili solizi. Asigurarea calității combustibilului. Partea 3: Brichete din lemn pentru utilizări neindustriale. 2017.

186.SM EN ISO/IEC 17025:2018. Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări. 2018.

187.SM EN ISO 14780:2017. Biocombustibili solizi. Preparare eșantioane. 2017.

188.SM EN ISO 17225-2:2021. *Biocombustibili solizi. Specificații și clase de combustibili. Partea 2: Clase de peleți din lemn*. 2021.

189.SM EN ISO 17225-3:2021. *Biocombustibili solizi. Specificații și clase de combustibili. Partea 3: Clase de brichete din lemn*. 2021.

- 190.SM EN ISO 18122:2023. Biocombustibili solizi. Determinarea conținutului de cenușă. 2023.
- 191.SM EN ISO 18125:2017. Biocombustibili solizi. Determinarea puterii calorice. 2017.
- 192.SMITH, A.M., WHITTAKER, C., SHIELD, I., ROSS, A.B. The potential for production of high quality bio-coal from early harvested Miscanthus by hydrothermal carbonisation. In: *Fuel*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier, 5., vol. 220, nr. January, pp. 546-557. ISSN 00162361. Disponibil la: doi:10.1016/j.fuel.2018.01.143
- 193.SOKHANSANJ, S., KUMAR, A., TURHOLLOW, A.F. Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL) [online]. ISBN 1800553684. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2006.04.004
- 194.SORICĂ, C., VOICU, E., MANEA, D. Tehnologie pentru promovarea în România a plantei energetice Miscanthus, ca sursa regenerabilă în scopul creșterii competitivității și securității energetice. In: *LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH)*. 2009. vol. 29, nr. 3, pp. 10-15.
- 195.SORICĂ, E. Analysis of profitability of implementing the Miscanthus energetic crop technology for rhizomes capitalization. In: *INMATEH Agricultural Engineering*. 2015 [online]. vol. 46, nr. 2, pp. 155-164. ISSN 2068-4215. Disponibil la: http://www.inmateh.eu/INMATEH_2_2015/18_46_Sorica_Elena.pdf
- 196.STEWART, J.R., TOMA, Y., FERNÁNDEZ, F.G., NISHIWAKI, A., YAMADA, T., BOLLERO, G. The ecology and agronomy of Miscanthus sinensis, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan: a review. In: *GCB Bioenergy*. 2009 [online]. 4., vol. 1, nr. 2, pp. 126-153. ISSN 17571693. Disponibil la: doi:10.1111/j.1757-1707.2009.01010.x
- 197.STYLES, D., THORNE, F., JONES, M.B. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and Miscanthus production with conventional farming systems. In: *Biomass and Bioenergy*. 2008 [online]. vol. 32, nr. 5, pp. 407-421. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2007.10.012
- 198.SZUFA, S., PIERSA, P., ADRIAN, Ł., CZERWIŃSKA, J., LEWANDOWSKI, A., LEWANDOWSKA, W., SIELSKI, J., DZIKUĆ, M.D., WRÓBEL, M., JEWIARZ, M., KNAPCZYK, A. Sustainable drying and torrefaction processes of Miscanthus for use as a pelletized solid biofuel and biocarbon-carrier for fertilizers. In: *Molecules*. 2021 [online]. 14.2., vol. 26, nr. 4, p. 1014 [data accesării. 20. iulie 2023]. ISSN 1420-3049. Disponibil la: doi:10.3390/molecules26041014
- 199.SZYSZLAK-BARGŁOWICZ, J., SŁOWIK, T., ZAJĄC, G., Blicharz-Kania, A., ZDYBEL, B., ANDREJKO, D., OBIDZIŃSKI, S. Energy Parameters of Miscanthus Biomass

Pellets Supplemented with Copra Meal in Terms of Energy Consumption during the Pressure Agglomeration Process. In: *Energies*. 2021 [online]. 10.7., vol. 14, nr. 14, p. 4167. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en14144167

200. TELEUȚĂ, A., ȚÎȚEI, V., COȘMAN, S., ABABII, V. Introduction of *Silphium perfoliatum* L. and its utilization possibilities. In: *Simpozionul „Conservation of plant diversity”*. 2012. vol. 2, nr. Chișinău, Moldova, 16-19 mai 2012, pp. 262-268.

201. 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). In: *Processes*. 2021. vol. 9, nr. 8, p. 1409. ISSN 22279717.

202. TIAN, J., LIU, C., XIANG, H., ZHENG, X., PENG, G., ZHANG, X., DU, G., QIN, X. Investigation on the antidepressant effect of sea buckthorn seed oil through the GC-MS-based metabolomics approach coupled with multivariate analysis. In: *Food & Function*. 2015 [online]. vol. 6, nr. 11, pp. 3585-3592. ISSN 2042-6496. Disponibil la: doi:10.1039/C5FO00695C

203. TÎRȘU MIHAI, REVENCO, E. Bunele practice de utilizare a energiei regenerabile în agricultură. ISBN 9789975877596.

204. ȚÎȚEI, V. Biological peculiarities of cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) and utilization possibilities in the Republic of Moldova. In: *Lucrări Științifice*. 2014. vol. 57, nr. 1, pp. 289-293.

205. ȚÎȚEI, V. The quality of preserved biomass of some Poaceae species under the conditions of Republic of Moldova. In: *Lucrări Științifice seria Agronomie*. 2018 [online]. vol. 61, nr. 1, pp. 177-182 [data accesării. 1. aprilie 2023]. Disponibil la: <https://www.uaiasi.ro/revagrois/PDF/2018-1/paper/33.pdf>

206. ȚÎȚEI, V. The potential growth and the biomass quality of some herbaceous species for the production of renewable energy in Moldova. In: *Journal of Botany*. 2019 [online]. vol. XI, nr. 1, pp. 84-85. Disponibil la: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/83-91_1.pdf

207. ȚÎȚEI, V. Raport științific anual 2022 privind implementarea proiectului din cadrul Programului de Stat (2020-2023) [online]. Disponibil la: <https://ancd.gov.md/sites/default/files/Raport Titei 2022 PDF.pdf>

208. ȚÎȚEI, V., ANDREOIU, A.C. Perennial Herbaceous Species *Sida Hermaphrodita* and *Polygonum Sachalinense* for Renewable and Sustainable Energy in the Republic of Moldova. In: *Research Journal of Agricultural Science*. 2017 [online]. vol. 49, nr. 2, pp. 53-60. ISSN 20661843. Disponibil la: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=124848658&lang=es&site=ehost-live>

209. ȚÎȚEI, V., BLAJ, V.A., MARUȘCA, T., ANDREOIU, A.C., MAZĂRE, V., LUPAN, A., GORE, A., SCURTU, G. Evalurea calității biomasei la unile specii din familia Poaceae cu utilizarea spectrofotometriei infraroșu apropiat (NIR). In: *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. 2021. pp. 2013-2015.

210. ȚÎȚEI, V., CÎRLIG, N., GUȚU, A. Some biological peculiarities and economic value of the cultivation of cup plant, *Silphium perfoliatum* L. In: *STUDIA UNIVERSITATIS MOLDAVIAE*. 2020 [online]. vol. 6, nr. 136, pp. 79-82. Disponibil la: doi:<http://doi.org/10.5281/zenodo.4431626>

211. ȚÎȚEI, V., GADIBADI, M., GUȚU, A., **DARADUDA, N.**, MAZĂRE, V., ARMAȘ, A., CEREMPEI, V. Biomass quality of hemp, *Cannabis sativa* L., and prospects of its use for various energy purposes. In: *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020 [online]. vol. LXIII, nr. 2, pp. 330-335 [data accesării. 16. martie 2023]. ISSN 2285-5785. Disponibil la: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_2/Art55.pdf

212. ȚÎȚEI, V., GUDIMA, A., GADIBADI, M., MUNTEAN, I. Biomass quality of some Asteraceae species for solid biofuel purposes in Moldova. 2018 [online]. pp. 1-6. Disponibil la: [http://dspace.uasm.md:8080/bitstream/handle/123456789/5072/titei](http://dspace.uasm.md:8080/bitstream/handle/123456789/5072/titei_et.al.2018tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
[et.al.2018tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.uasm.md:8080/bitstream/handle/123456789/5072/titei_et.al.2018tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

213. ȚÎȚEI, V., GUDÎMA, A., MUNTEAN, A., GADIBADI, M., LUPAN, A. Prospects for the utilization of the *Miscanthus giganteus* and *Polygonum sachalinense* for solid biofuel production in the Republic of Moldova. In: *Scientific Papers Series A. Agronomy*. 2016. vol. LIX, pp. 2-5.

214. ȚÎȚEI, V., GUDÎMA, A., MUNTEAN, I. Proprietățile fizico-mecanice a fitomasei și biobrichetelor din plante perene din familia Asteraceae. In: *Biotehnologii avansate – realizări și perspective: Simpozionul științific național cu participare internațională*. 2019. vol. Ed. 5, nr. Chișinău, Moldova, 21-22 octombrie 2019, pp. 182-182.

215. ȚÎȚEI, V., ROȘCA, I. Bunele practici de utilizare a terenurilor degradate în cultivarea culturilor cu potențial de biomasă energetică. Chișinău: Tipogr. „Bons Offices”. ISBN 9789975877787.

216. ȚÎȚEI, V., ROSCA, I., CÎRLIG, N., GUȚU, A., GUDÎMA, A., COZARI, S. The quality of willow biomass and fuel briquettes. In: *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін: присвячується 30-річчю Незалежності України*. 2021. nr. Kiev, Ucraina, 5-7 octombrie 2021, pp. 111-114.

217. ȚÎȚEI, V., ROȘCA, I., GUDIMA, A., DOROFTEI, V., GADIBADI, M., NAZAR, B., GUȚU, A., CÎRLIG, N., ABABII, A., COZARI, S., **DARADUDA, N.** Salcamul alb (*Robinia pseudoacacia*) – valoarea economică și ecologică în condițiile Republicii Moldova. In:

Simpozionul „Conservarea diversității biologice – o șansă pentru remedierea ecosistemelor”. 2021. vol. Chișinău, nr. 24-25 septembrie 2021, pp. 386-393.

218.TOKLU, E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. In: *Renewable Energy*. 2017 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 107, pp. 235-244. ISSN 18790682. Disponibil la: doi:10.1016/j.renene.2017.02.008

219.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. In: *Resources 2023*,. 2023 [online]. vol. 12. Disponibil la: doi:https://doi.org/10.3390/resources12060069

220.TUMULURU, J.S., WRIGHT, C.T., HESS, J.R., KEVIN L. KENNEY, I. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2011 [online]. vol. 5, nr. 6, pp. 683-707. ISSN 19321031. Disponibil la: doi:10.1002/bbb.324

221.TV8. /VIDEO/ *Afacere cu paulownia la Leova. Mai mulți agricultori au sădit 70 de hectare de copaci care pot rezista până la 100 de ani* [online]. Disponibil la: https://tv8.md/2021/05/03/video-afacere-cu-paulownia-la-leova-mai-multi-agricultori-au-sadit-70-de-hectare-de-copaci-care-pot-rezista-pana-la-100-de-ani

222.URBANOVIČOVÁ, O., KRIŠTOF, K., FINDURA, P., JOBBÁGY, J., ANGELOVIČ, M. Physical and mechanical properties of briquettes produced from energy plants. In: *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017 [online]. vol. 65, nr. 1, pp. 219-224. ISSN 12118516. Disponibil la: doi:10.11118/actaun201765010219

223.VAN DER WEIJDE, T., KIESEL, A., IQBAL, Y., MUYLLE, H., DOLSTRA, O., VISSER, R.G.F., LEWANDOWSKI, I., TRINDADE, L.M. Evaluation of Miscanthus sinensis biomass quality as feedstock for conversion into different bioenergy products. In: *GCB Bioenergy*. 2017 [online]. B.m.: Blackwell Publishing Ltd, 1.1., vol. 9, nr. 1, pp. 176-190 [data accesării. 18. august 2023]. ISSN 17571693. Disponibil la: doi:10.1111/gcbb.12355

224.VILAS-FRANQUESA, A., SALDO, J., JUAN, B. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review. In: *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020 [online]. B.m.: Food Production, Processing and Nutrition, 17.12., vol. 2, nr. 1, p. 17. ISSN 2661-8974. Disponibil la: doi:10.1186/s43014-020-00032-y

225.WAHEED, M.A., AKOGUN, O.A., ENWEREMADU, C.C. Influence of feedstock mixtures on the fuel characteristics of blended cornhusk, cassava peels, and sawdust briquettes. In: *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023 [online]. ISSN 21906823. Disponibil la: doi:10.1007/s13399-023-04039-6

226. WANG, Y., WU, K., SUN, Y. Effects of raw material particle size on the briquetting process of rice straw. In: *Journal of the Energy Institute*. 2018 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 91, nr. 1, pp. 153-162. ISSN 17460220. Disponibil la: doi:10.1016/j.joei.2016.09.002
227. WHITTAKER, C., SHIELD, I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. vol. 71, pp. 1-17.
228. WILÈN, C., JUKOLA, P., JÄRVINEN, T., SIPILÄ, K., VERHOEFF, F., KIEL, J. Wood torrefaction – pilot tests and utilisation. ISBN 9789513880460.
229. WILLIAMS, C.L., EMERSON, R.M., TUMULURU, J.S. Biomass Compositional Analysis for Conversion to Renewable Fuels and Chemicals. In: *Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy*. 2017 [online]. nr. February. Disponibil la: doi:10.5772/65777
230. WINKLER, B., MANGOLD, A., VON COSSEL, M., CLIFTON-BROWN, J., POGRZEBA, M., LEWANDOWSKI, I., IQBAL, Y., KIESEL, A. Implementing miscanthus into farming systems: A review of agronomic practices, capital and labour demand. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 132, nr. July, p. 110053. ISSN 18790690. Disponibil la: doi:10.1016/j.rser.2020.110053
231. WITASZEK, K., HERKOWIAK, M., PILARSKA, A.A., CZEKAŁA, W. Methods of handling the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) for energy production. In: *Energies*. 2022 [online]. 4.3., vol. 15, nr. 5, p. 1897. ISSN 1996-1073. Disponibil la: doi:10.3390/en15051897
232. XU, E., FAN, G., NIU, S., ZHAO, Z., DENG, M., DONG, Y. Transcriptome-wide profiling and expression analysis of diploid and autotetraploid *Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei* under drought stress. In: *PLoS ONE*. 2014 [online]. 18.11., vol. 9, nr. 11, p. e113313. ISSN 1932-6203. Disponibil la: doi:10.1371/journal.pone.0113313
233. XUE, S., KALININA, O., LEWANDOWSKI, I. Present and future options for *Miscanthus* propagation and establishment. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015 [online]. B.m.: Elsevier, vol. 49, pp. 1233-1246. ISSN 18790690. Disponibil la: doi:10.1016/j.rser.2015.04.168
234. YADAV, N.K., VAIDYA, B.N., HENDERSON, K., LEE, J.F., STEWART, W.M., DHEKNEY, S.A., JOSHEE, N. A review of *Paulownia* biotechnology: A short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree. In: *American Journal of Plant Sciences*. 2013 [online]. vol. 04, nr. 11, pp. 2070-2082. ISSN 2158-2742. Disponibil la: doi:10.4236/ajps.2013.411259
235. YANCEY, N.A., TUMULURU, J.S., WRIGHT, C.T. Drying, grinding and pelletization studies on raw and formulated biomass feedstock's for bioenergy applications. In: *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2013 [online]. 1.10., vol. 7, nr. 5, pp. 549-558. ISSN 15566560. Disponibil la: doi:10.1166/jbmb.2013.1390

236. YANG, L., HE, Q.S., CORSCADDEN, K., UDENIGWE, C.C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. In: *Biotechnology Reports*. 2015 [online]. 3., vol. 5, pp. 77-88. ISSN 2215017X. Disponibil la: doi:10.1016/j.btre.2014.12.004

237. ZHOU, X., WANG, F., HU, H., YANG, L., GUO, P., XIAO, B. Assessment of sustainable biomass resource for energy use in China. In: *Biomass and Bioenergy*. 2011 [online]. B.m.: Elsevier Ltd, vol. 35, nr. 1, pp. 1-11. ISSN 09619534. Disponibil la: doi:10.1016/j.biombioe.2010.08.006

238. ZUB, H.W., BRANCOURT-HULMEL, M. Agronomic and physiological performances of different species of Miscanthus, a major energy crop. În: *Sustainable Agriculture Volume 2* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 469-486. ISBN 9789400703940. Disponibil la: doi:10.1007/978-94-007-0394-0_21

Lista lucrărilor științifice
DARADUDA Nicolae
(numele, prenumele)
asistent universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei
(titlul științific, funcția, instituția în care activează)

Lucrări științifice

1. Articole în reviste științifice

- **Articole în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS**

1. MARIAN, Grigore, IANUȘ, Gelu, ISTRATE, Bogdan, BANARI, Alexandru, NAZAR, Boris, MUNTEANU, Corneliu, MĂLUȚAN, Teodor, GUDIMA, Andrei, CIOLACU, Florin, **DARADUDA, Nicolae**, PALEU, Viorel. 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>
2. CIOLACU, Florin, IANUȘ, Gelu, MARIAN, Grigore, MUNTEANU, Corneliu, PALEU, Viorel, NAZAR, Boris, ISTRATE, Bogdan, GUDIMA, Andrei, **DARADUDA, Nicolae**. A Qualitative Assessment of the Specific Woody Biomass of Fruit Trees. In: *Forests*. 2022, nr. 3(13), pp. 1-14. ISSN 1999-4907. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13030405>

- **Articole în reviste din străinătate recunoscute**

3. MARIAN, Grigore, BANARI, Alexandru, NAZAR, Boris, GUDIMA, Andrei, **DARADUDA, Nicolae**, PAVLENCO, Andrei. 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.
4. Grigore MARIAN, **Nicolae DARADUDA**, Andrei GUDIMA, Boris NAZAR, Alexandru BANARI, Andrei PAVLENCO. 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.
5. MARIAN, Grigore, IANUȘ, Gelu, ISTRATE, Bogdan, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, PAVLENCO, Andrei, BANARI, Alexandru, **DARADUDA, Nicolae**. 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)
6. TITEI V., GADIBADI M., GUTU A., **DARADUDA N.**, MAZARE V., ARMAS A., CEREMPEI V. 2020, BIOMASS QUALITY OF HEMP, *Cannabis sativa L.*, AND

PROSPECTS OF ITS USE FOR VARIOUS ENERGY PURPOSES. Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol. LXIII, Issue 2, ISSN 2285-5785, 330-335.

• **Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria B+**

7. **DARADUDA, Nicolae**, MARIAN, Grigore. Perspectives for the use of biomass generated by some miscanthus genotypes in the production of densified solid biofuels. In: *Journal of Engineering Sciences*. 2022, vol. 29, nr. 2, pp. 133-143. ISSN 2587-3474. DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).13](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).13)
8. MARIAN, Grigore, IANUȘ, Gelu, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, ISTRATE, Bogdan, BANARI, Alexandru, PAVLENCO, Andrei, **DARADUDA, Nicolae**. The calorific value of pellets produced from raw material collected from both sides of the Prut river. In: *Journal of Engineering Sciences*. 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**

9. MARIAN, Grigore, BANARI, Alexandru, GUDIMA, Andrei, **DARADUDA, Nicolae**, PAVLENCO, Andrei. 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

• **În lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)**

10. DOROFTEI, Veaceslav, ABABII, Alexei, ȚIȚEI, Victor, GADIBADI, Mihail, SÎRBU, Tatiana, CEREMPEI, Valerian, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, **DARADUDA, Nicolae**, LUPAN, Aurelia. Prospects for the utilization of the prairie cordgrass spartina pectinata for bioenergy production in Moldova. In: *Biology and sustainable development*. Ediția 20, R, 24-25 noiembrie 2022, Bacău. Bacău, Romania: 2022, pp. 88-89. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/169775
11. CÎRLIG, Natalia, GUȚU, Ana, ȚIȚEI, Victor, GADIBADI, Mihail, DOROFTEI, Veaceslav, ABABII, Alexei, **DARADUDA, Nicolae**. Some biological features of Virginia mallow, *Sida hermaphrodita*, and prospects of its use in the Republic of Moldova. In: *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін присвячується 30-річчю Незалежності України*. 5-7 octombrie 2021, Kiev. Kiev, Ukraina: Видавництво Ліпа-К, 2021, pp. 88-90. ISBN 978-617-520-173-2. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/144849
12. ABABII, Alexei, DOROFTEI, Veaceslav, ȚIȚEI, Victor, COZARI, Sergiu, ANDREOIU, Andreea Cristina, GADIBADI, Mihail, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, **DARADUDA, Nicolae**. The cell wall components and theoretical ethanol potential of *Macleaya cordata* (Willd.) R.br. stems. In: *Biology and sustainable development*. Ediția 21, 23 noiembrie 2023,

- Bacău. Bacău: 2023, pp. 60-61. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/193877
13. DOROFTEI, Veaceslav, ȚIȚEI, Victor, ABABII, Alexei, ANDREOIU, Andreea Cristina, COZARI, Sergiu, GADIBADI, Mihail, CEREMPEI, Valerian, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, **DARADUDA, Nicolae**. Prospects for the utilization of the *Silphium perfoliatum* and *Silphium integrifolium* for renewable energy production in Moldova. In: *Biology and sustainable development*. Ediția 21, 23 noiembrie 2023, Bacău. Bacău: 2023, pp. 62-63. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/193879

- **În lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională**

14. 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 noiem. 2021, pp. 297-301. ISBN 978-9975-64-329-0
15. 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 noiem. 2021, pp. 292-296. ISBN 978-9975-64-329-0.
16. ȚIȚEI, Victor, ROȘCA, Ion, GUDIMA, Andrei, DOROFTEI, Veaceslav, GADIBADI, Mihail, NAZAR, Boris, GUȚU, Ana, CÎRLIG, Natalia, ABABII, Alexei, COZARI, Sergiu, **DARADUDA, Nicolae**. Salcamul alb (*Robinia pseudoacacia*) – valoarea economică și ecologică în condițiile Republicii Moldova. In: *Conservarea diversității biologice – o șansă pentru remedierea ecosistemelor*. 24-25 septembrie 2021, Chișinău. Chișinău: Pontos SC Europres SRL, 2021, pp. 386-393. ISBN 978-9975-72-585-9. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/141786
17. SCLEAR, Petru, MELNIC, Iurie, **DARADUDA, Nicolae**. Conversia biomasei în energie în condițiile Republicii Moldova. In: *Realizări și perspective în mentenanța utilajului agricol și a autovehiculelor*. Vol.28, 30 septembrie 2011, Chișinău. Chișinău: "Print-Caro" SRL, 2011, pp. 221-227. ISBN 978-9975-64-218-7. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/85421

3. Teze în culegeri științifice

- **în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)**
18. MARIAN, Grigore, **DARADUDA, Nicolae**. Folosirea biomasei, generate de unele culturi energetice, în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi densificați.

In: *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*. 11-12 noiembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Print-Caro, 2023, pp. 72-73. ISBN 978-9975-165-51-8.. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/176589

19. MARIAN, Grigore, GUDIMA, Andrei, NAZAR, Boris, **DARADUDA, Nicolae**, PAVLENCO, Andrei. Stabilirea limitelor de miscibilitate și compatibilitate a constituenților amestecurilor formate pe baza miscanthus titan+. In: *Sectorul agroalimentar – realizări și perspective*. 11-12 noiembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Print-Caro, 2023, pp. 96-97. ISBN 978-9975-165-51-8.. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/176618
20. MARIAN, Grigore, **DARADUDA, Nicolae**, GUDIMA, Andrei. Effects of densification parameters on the quality of briquettes produced from mixing Miscanthus giganteus and agricultural residues. In: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education dedicated to the 90th anniversary of the founding of higher agricultural education in the Republic of Moldova*. 5-6 octombrie 2023, Chișinău. Chișinău: Tehnica-UTM, 2023, p. 148. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/193137
21. **DARADUDA, Nicolae**, MARIAN, Grigore, PAVLENCO, Andrei. Characterization and evaluation of energy properties of briquettes produced from miscanthus, sea buckthorn and arboriculture residues and their mixtures. In: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education dedicated to the 90th anniversary of the founding of higher agricultural education in the Republic of Moldova*. 5-6 octombrie 2023, Chișinău. Chișinău: Tehnica-UTM, 2023, p. 150. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/193144
22. NAZAR, Boris, MARIAN, Grigore, MALAI, Leonid, **DARADUDA, Nicolae**. Quality assessment of biomass mixtures from sea buckthorn and fruit trees residues. In: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education dedicated to the 90th anniversary of the founding of higher agricultural education in the Republic of Moldova*. 5-6 octombrie 2023, Chișinău. Chișinău: Tehnica-UTM, 2023, p. 152. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/193147

4. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții

DARADUDA, Nicolae, MARIAN, Grigore, NAZAR, Boris, GUDÎMA, Andrei, GHEORGHÎȚA, Andrei, BANARI, Alexandru, GELU, Ianuș, ISTRATI, Bogdan,. Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete. Brevet MD 1734Y 10.01.2023

ANEXE

Anexa 1. Declarație cu privire la originalitatea tezei

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, Daraduda Nicolae, 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.

Daraduda Nicolae

Semnătura



Data

Anexa 2. Rezultatele obținute din experimentele efectuate asupra probelor examinate în cadrul LȘBCS folosind analizorul Vario MACRo cube în ceea ce privește analiza chimică

Document: 07.11.2021 continuare partea II și III (varioMACROcube) from: 08.11.2021 0:18:04

analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Text report

No.	Weigh..	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
5	76200	Sorg recoltat vara	sulf3 Chisinau	10 464	307 410	127 982	100	0.99	42.10	5.275	0.05
6	67900	Sorg recoltat vara	sulf3 Chisinau	9 691	275 095	117 713	140	1.03	42.23	5.367	0.06
7	74000	Sorg recoltat vara	sulf3 Chisinau	10 607	298 527	127 908	173	1.04	42.09	5.429	0.07
8	75500	Sorg recoltat primavara	sulf3 Chisinau	4 610	319 065	134 529	156	0.44	44.13	5.649	0.06
9	70100	Sorg recoltat primavara	sulf3 Chisinau	3 906	298 662	125 024	144	0.40	44.45	5.579	0.06
10	65900	Sorg recoltat primavara	sulf3 Chisinau	3 476	281 063	118 241	133	0.38	44.47	5.559	0.06
11	76200	Phacelia tonifolia (reziduuri)	sulf3 Chisinau	20 218	297 671	122 545	250	1.92	40.76	5.013	0.09
12	83700	Phacelia tonifolia (reziduuri)	sulf3 Chisinau	20 634	327 361	137 297	315	1.79	40.85	5.220	0.10
13	71100	Phacelia tonifolia (reziduuri)	sulf3 Chisinau	18 553	277 518	115 722	322	1.89	40.69	5.025	0.12
14	76800	Mure 2020	sulf3 Chisinau	5 621	343 706	142 393	207	0.53	46.77	5.943	0.08
15	74400	Mure 2020	sulf3 Chisinau	5 395	330 846	135 817	139	0.52	46.45	5.797	0.06
16	81400	Mure 2020	sulf3 Chisinau	5 551	362 185	148 131	116	0.49	46.54	5.880	0.05
17	81300	Mure 2021	sulf3 Chisinau	6 593	353 536	146 470	118	0.58	45.47	5.807	0.05
18	67700	Mure 2021	sulf3 Chisinau	5 578	293 558	119 043	107	0.59	45.23	5.454	0.05
19	86400	Mure 2021	sulf3 Chisinau	7 093	376 735	154 986	113	0.59	45.63	5.851	0.04
20	72700	Silfium perfoliatum	sulf3 Chisinau	2 218	324 104	137 462	64	0.22	46.56	6.019	0.03
21	84500	Silfium perfoliatum	sulf3 Chisinau	2 655	374 300	161 848	62	0.22	46.35	6.307	0.03
22	82500	Silfium perfoliatum	sulf3 Chisinau	2 607	362 410	154 493	67	0.22	45.94	6.104	0.03
23	76400	Hemafrodita Nalba de Virginia	sulf3 Chisinau	2 008	335 432	147 454	70	0.18	45.87	6.230	0.03
24	57700	Hemafrodita Nalba de Virginia	sulf3 Chisinau	1 481	255 380	110 084	56	0.18	46.10	5.844	0.03
25	81300	Hemafrodita Nalba de Virginia	sulf3 Chisinau	2 151	358 016	154 737	82	0.19	46.05	6.206	0.04
26	1000	Blnk	blank with O2	0	724	2 753	44	0.00	0.00	0.000	0.00
27	1000	Blnk	blank without ...	0	47	330	49	0.00	0.00	0.000	0.00
28	77500	Miscanthus giganteus titan rec.	sulf3 Chisinau	4 856	343 204	141 685	85	0.45	46.28	5.854	0.04
29	78000	Miscanthus giganteus titan rec.	sulf3 Chisinau	4 607	346 717	147 969	92	0.42	46.46	6.128	0.04
30	79300	Miscanthus giganteus titan rec.	sulf3 Chisinau	4 884	354 905	149 896	101	0.44	46.80	6.122	0.04
31	72000	Galega orientalis	sulf3 Chisinau	19 281	304 436	130 949	259	1.94	44.12	5.737	0.10
32	78400	Galega orientalis	sulf3 Chisinau	20 905	326 689	137 059	287	1.93	43.52	5.562	0.10
33	76200	Galega orientalis	sulf3 Chisinau	20 314	314 644	128 524	270	1.93	43.11	5.302	0.10
34	88800	Mazăre tulpini	sulf3 Chisinau	16 488	365 593	141 384	331	1.34	43.07	5.096	0.10
35	87200	Mazăre tulpini	sulf3 Chisinau	16 760	346 430	122 989	331	1.39	41.53	4.399	0.10
36	80400	Mazăre tulpini	sulf3 Chisinau	15 211	304 356	93 248	302	1.37	39.50	3.470	0.10
37	82300	Cătină Cora Pogrebea 2021	sulf3 Chisinau	12 520	350 850	102 917	268	1.10	44.57	3.792	0.09
38	70300	Cătină Cora Pogrebea 2021	sulf3 Chisinau	10 068	297 429	90 410	186	1.03	44.14	3.833	0.08
39	79800	Cătină Cora Pogrebea 2021	sulf3 Chisinau	12 060	336 500	97 899	208	1.09	44.06	3.694	0.07
40	65100	Cătină Clara Orhei 2021	sulf3 Chisinau	8 600	260 463	62 901	90	0.95	41.68	2.779	0.05
41	70500	Cătină Clara Orhei 2021	sulf3 Chisinau	9 366	273 218	52 991	94	0.96	40.39	2.138	0.05
42	79100	Cătină Clara Orhei 2021	sulf3 Chisinau	10 131	289 052	31 496	89	0.92	38.11	1.120	0.04
43	80700	Hrișcă 2021 subțire	sulf3 Chisinau	4 124	434 820	149 964	57	0.37	56.51	6.019	0.02
44	77700	Hrișcă 2021 subțire	sulf3 Chisinau	4 121	444 662	145 809	70	0.38	60.04	6.044	0.03
45	67200	Hrișcă 2021 subțire	sulf3 Chisinau	3 917	193 234	0	6	0.42	29.88	0.000	0.00
46	68400	Hrișcă 2021 lungă	sulf3 Chisinau	4 652	179 811	0	0	0.49	27.30	0.000	0.00
47	66100	Hrișcă 2021 lungă	sulf3 Chisinau	4 979	164 544	0	0	0.54	25.83	0.000	0.00

Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser

31.05.2023 14:01:50

varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

continuare Anexa 2

Document: 07.11.2021 continuare partea II și III (varioMACROcube) from: 08.11.2021 0:18:04

analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Text report

No.	Weigh..	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
48	76.400	Hrișcă 2021 lungă	sulf3 Chisinau	6 370	192 194	0	0	0.60	26.14	0.000	0.00
49	1.000	Blnk	blank without ...	1 211	789	1 639	33	0.00	0.00	0.000	0.00
50	80.100	Miscanthus giganteus titan pri...	sulf3 Chisinau	5 608	595 463	141 739	50	0.50	78.44	5.666	0.02
51	69.000	Miscanthus giganteus titan pri...	sulf3 Chisinau	4 475	578 329	132 019	136	0.46	88.38	6.044	0.06
52	73.200	Miscanthus giganteus titan pri...	sulf3 Chisinau	4 448	176 935	0	1	0.44	25.10	0.000	0.00
53	68.600	Plop 2021	sulf3 Chisinau	4 269 9...	312 761	104 895	120	449.67	47.59	4.649	0.06
54	75.100	Plop 2021	sulf3 Chisinau	4 349 1...	340 502	113 648	145	418.32	47.38	4.658	0.06

Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser

31.05.2023 14:01:51

varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

continuare Anexa 2

Document: 08.11.2021 continuare partea II și III (varioMACROcube) from: 08.11.2021 18:20:54

analytic functional testing

varioMACROcube

serial number: 20157085

Text report

No.	Weigh..	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
4	79400	Hrișcă lungă 2021	blank without ...	2 623	268 908	140 003	87	0.23	35.29	5.633	0.04
5	64900	Hrișcă lungă 2021	blank without ...	1 918	221 811	113 581	49	0.21	35.55	5.387	0.03
6	63700	Sorg zaharat	sulf3 Chisinau	4 383	418 904	104 366	187	0.49	68.93	4.978	0.09
7	65500	Sorg zaharat	sulf3 Chisinau	4 033	280 622	109 838	138	0.44	44.67	5.134	0.07
8	76500	Sorg zaharat	sulf3 Chisinau	4 738	325 514	124 864	155	0.44	44.44	5.104	0.06
9	66100	Fl. soarelui Heliantes decat	sulf3 Chisinau	4 319	292 411	106 939	132	0.47	46.14	4.933	0.06
10	68800	Fl. soarelui Heliantes decat	sulf3 Chisinau	4 518	304 943	113 843	129	0.47	46.26	5.095	0.06
11	65200	Fl. soarelui Heliantes decat	sulf3 Chisinau	4 336	287 463	108 558	128	0.48	45.98	5.089	0.06
12	66000	Heliantus St.	sulf3 Chisinau	2 327	294 848	112 348	88	0.25	46.60	5.230	0.05
13	77700	Heliantus St.	sulf3 Chisinau	2 792	345 875	128 429	93	0.26	46.53	5.195	0.04
14	65900	Heliantus St.	sulf3 Chisinau	2 349	293 697	108 764	95	0.25	46.49	5.046	0.05
15	77600	Rapița	sulf3 Chisinau	10 006	339 208	128 771	399	0.93	45.68	5.218	0.13
16	63900	Rapița	sulf3 Chisinau	8 258	280 250	105 300	405	0.93	45.73	5.014	0.16
17	63500	Rapița	sulf3 Chisinau	8 047	276 399	0	0	0.91	45.37	0.000	0.00

Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser

31.05.2023 13:58:25

varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085

Elementar Analysensysteme GmbH

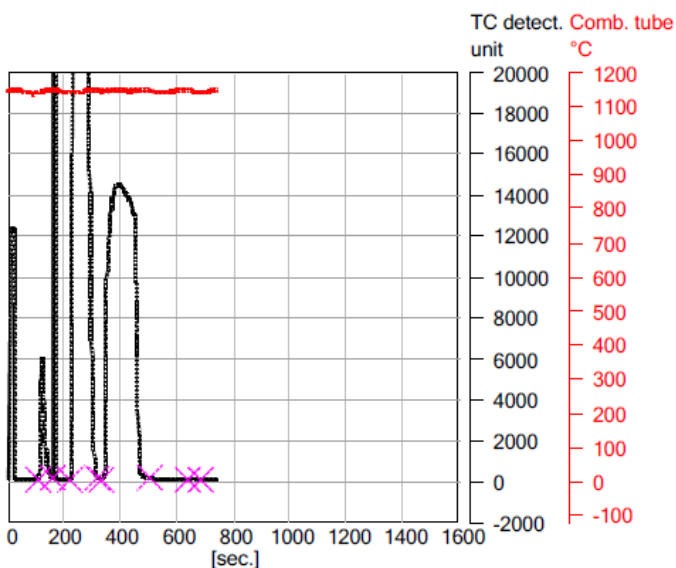
Anexa 4 Imaginile asociate cu evaluarea conținutului de elemente chimice în probele experimentale folosind analizorul Vario MACRo cube

Document: Probe 2021 (varioMACROcube) from: 14.01.2021 10:54:17

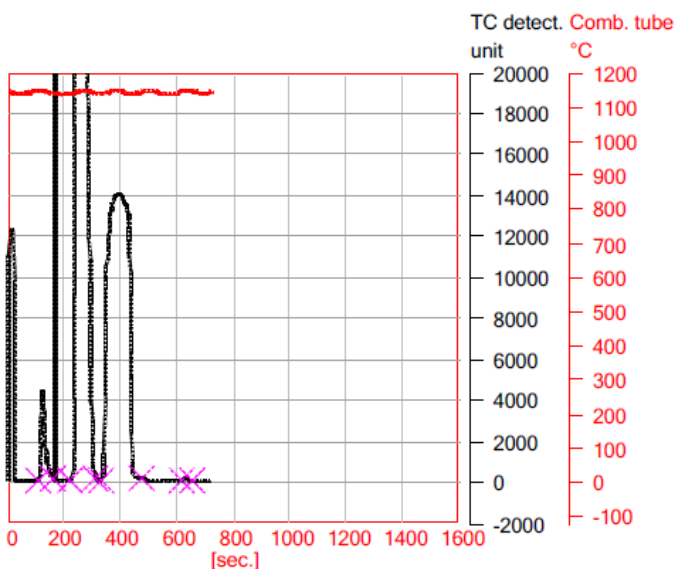
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
11	82.100	Cătină albă Cora (emondare)	sulf3 Chisinau	9 276	383 266	151 296	168	0.82	48.86	5.980	0.06



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
12	64.800	Cătină albă Cora (emondare)	sulf3 Chisinau	7 611	303 574	120 856	176	0.85	48.89	5.800	0.08



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser

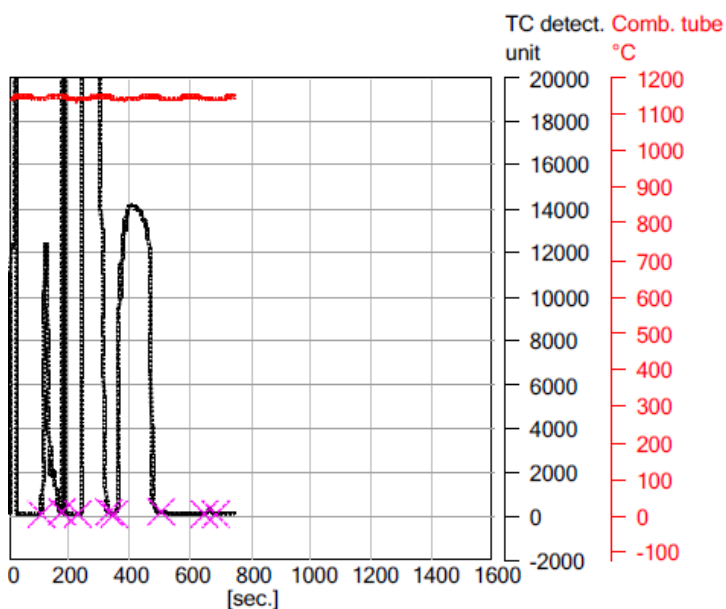
31.05.2023 14:06:58

varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

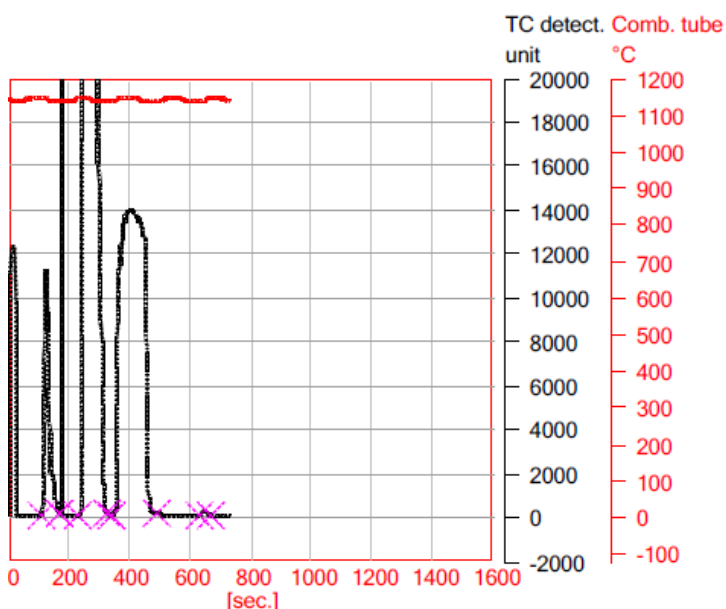
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
15	77.900	Cătină albă Cora (recoltare)	sulf3 Chisinau	22 414	372 064	141 980	430	2.08	49.97	5.838	0.14



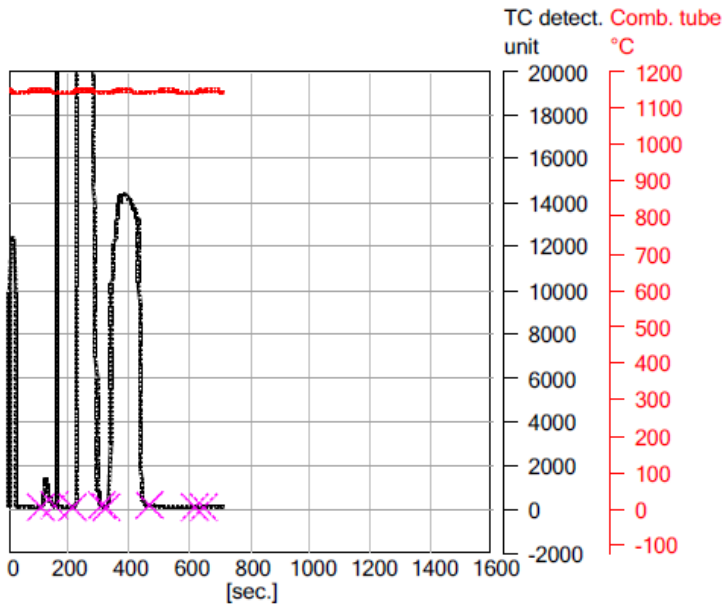
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
16	71.700	Cătină albă Cora (recoltare)	sulf3 Chisinau	19 952	340 737	132 841	407	2.02	49.66	5.859	0.14



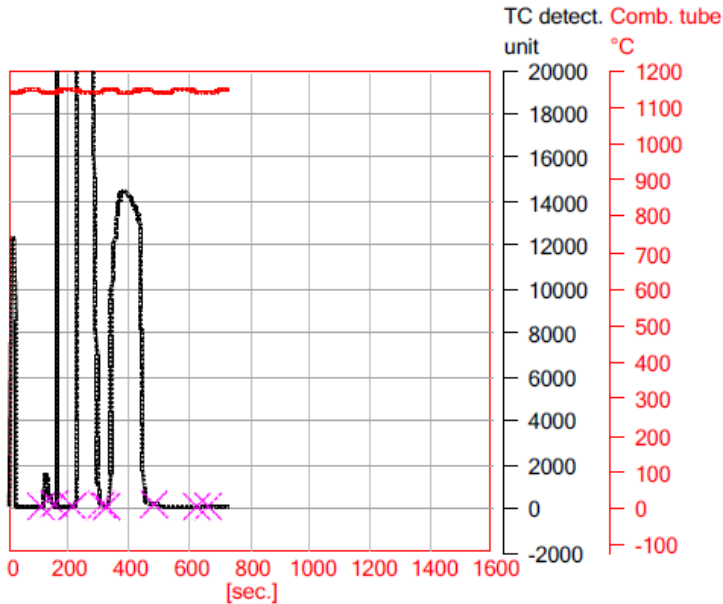
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
23	68.700	MG 1/16	sulf3 Chisinau	2 209	304 632	132 028	71	0.23	46.27	6.071	0.04



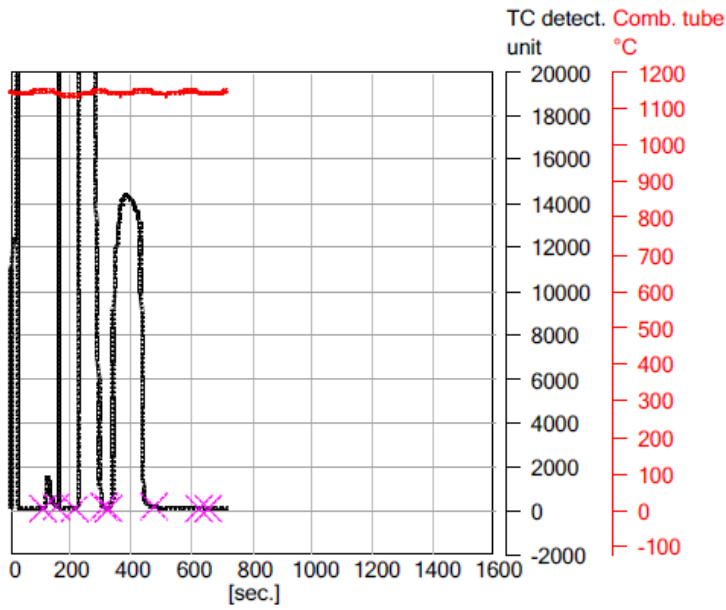
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
24	74.600	MG 1/16	sulf3 Chisinau	2 495	330 137	140 037	84	0.24	46.23	5.997	0.04



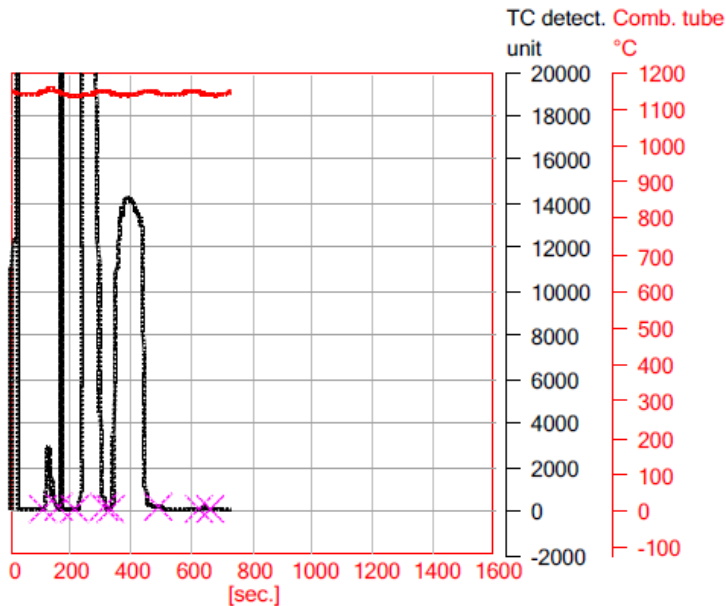
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh..	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
25	69.500	MG 1/16	sulf3 Chisinau	2 419	308 165	129 856	80	0.25	46.28	5.884	0.04



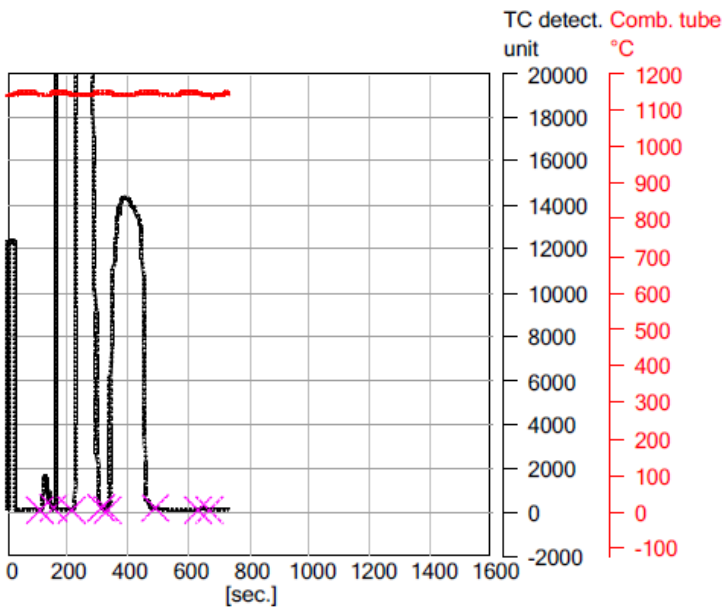
No.	Weigh..	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
26	71.900	MG 42/16	sulf3 Chisinau	4 550	307 162	131 028	144	0.45	44.59	5.749	0.06



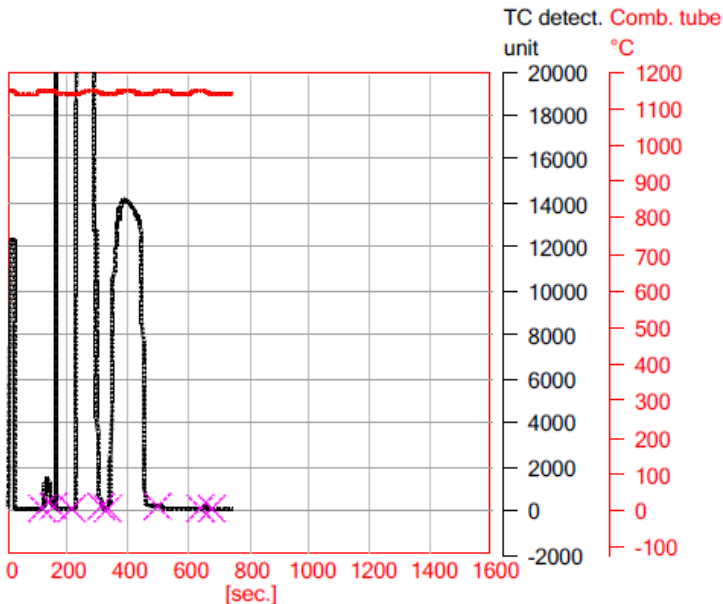
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
77	80.900	Hrișca de sahalin 2019	sulf3 Chisinau	2 658	362 814	147 273	214	0.23	46.91	5.875	0.07



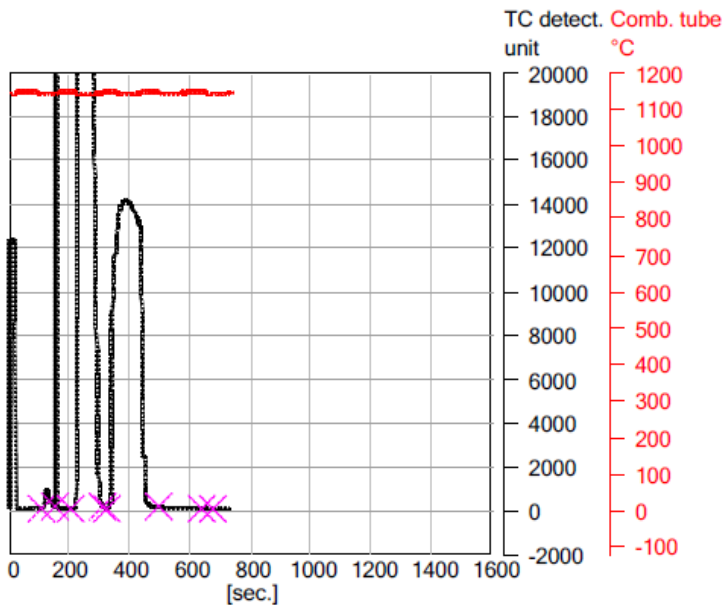
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
78	78.100	Hrișca de sahalin 2019	sulf3 Chisinau	2 466	352 149	139 541	192	0.22	47.14	5.704	0.07



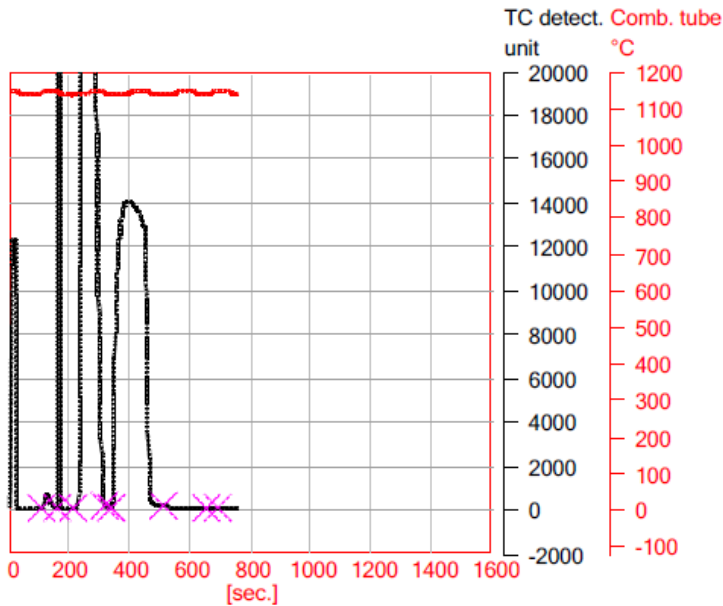
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
81	75.500	Miscantus 2019	sulf3 Chisinau	1 422	342 293	138 096	129	0.13	47.38	5.827	0.05



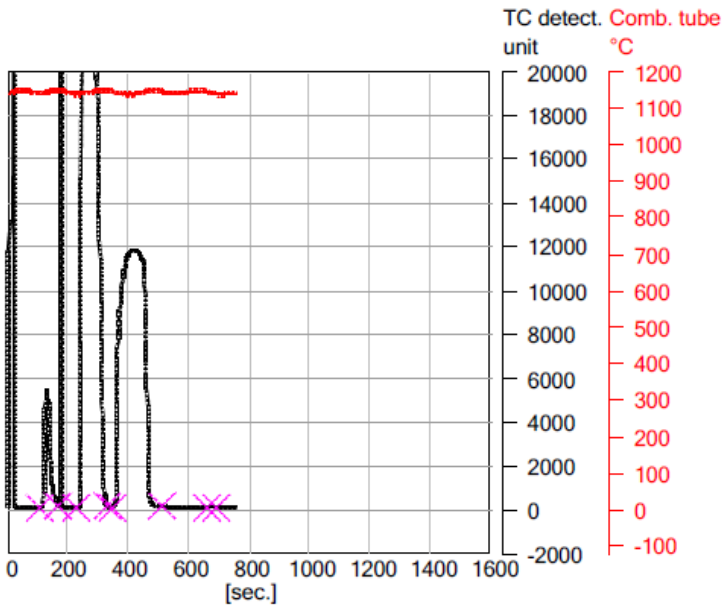
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
82	78.500	Miscantus 2019	sulf3 Chisinau	1 093	356 347	145 172	104	0.10	47.47	5.951	0.05



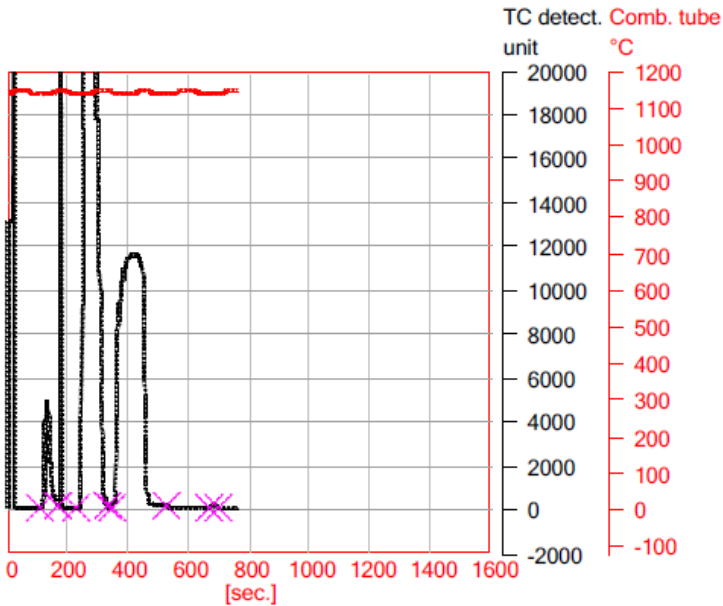
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
4	67.500	Catina alba Cora pohrebea	sulf3 Chisinau	10 176	320 204	110 209	203	1.09	49.53	5.002	0.09



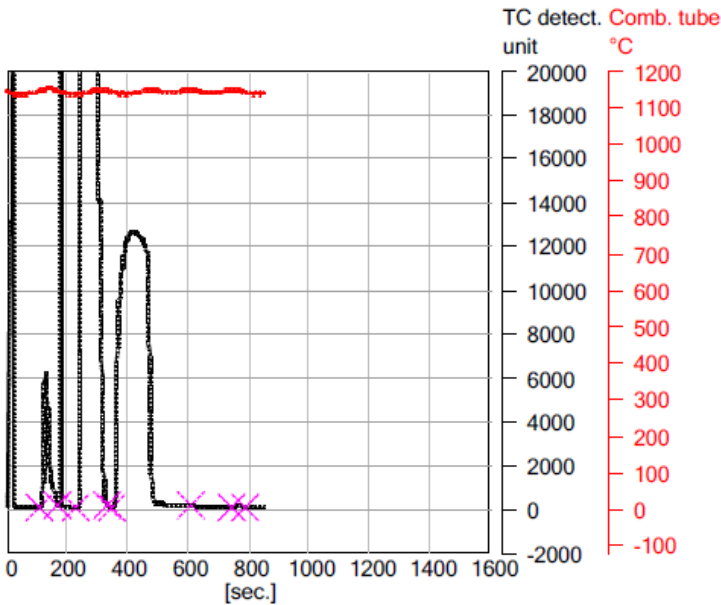
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
5	62.300	Catina alba Cora pohrebea	sulf3 Chisinau	9 441	295 588	104 707	213	1.09	49.50	5.109	0.10



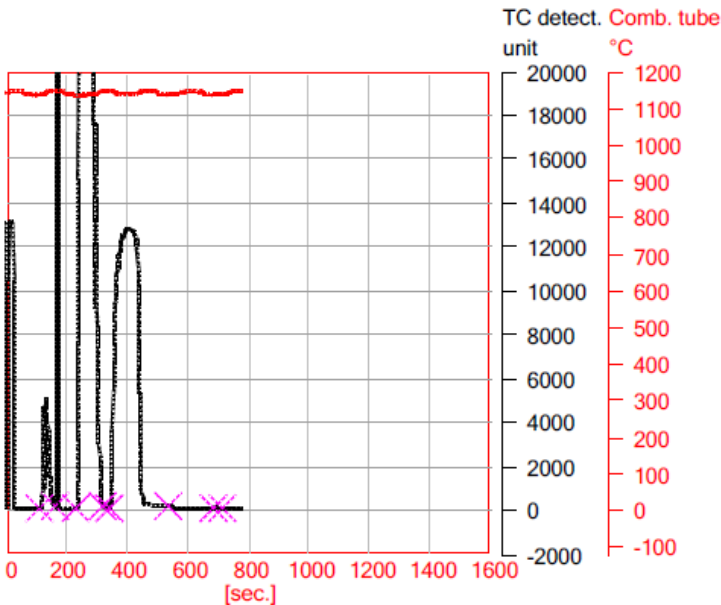
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
6	78.100	Catina alba Cora pohrebea	sulf3 Chisinau	11 739	370 132	129 723	250	1.09	49.58	5.230	0.09



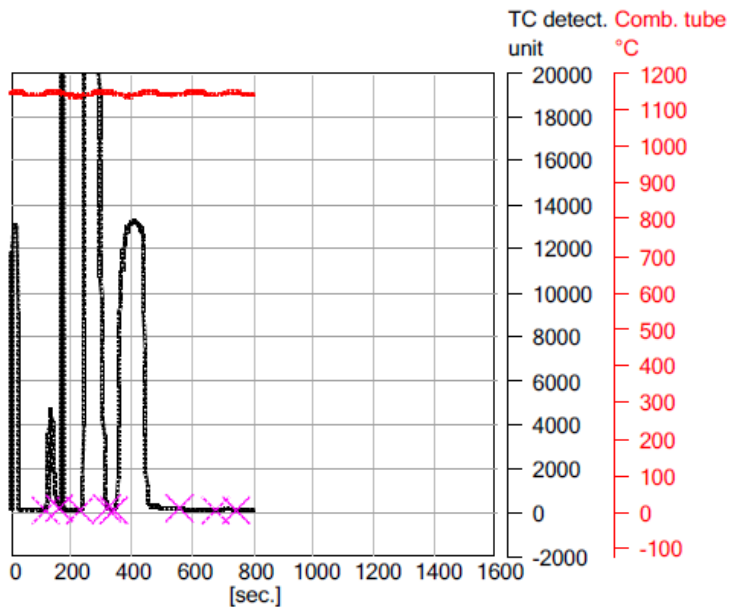
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
7	64.200	Catina alba Clra Orhei	sulf3 Chisinau	8 416	301 887	106 452	142	0.95	49.07	5.053	0.07



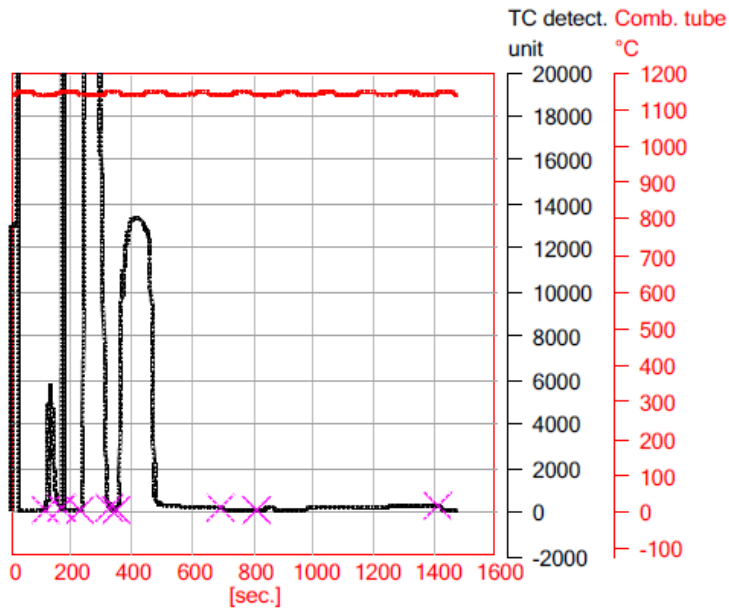
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
34	62.100	Salcia energetică	sulf3 Chisinau	8 216	283 570	113 255	345	0.95	47.61	5.611	0.14



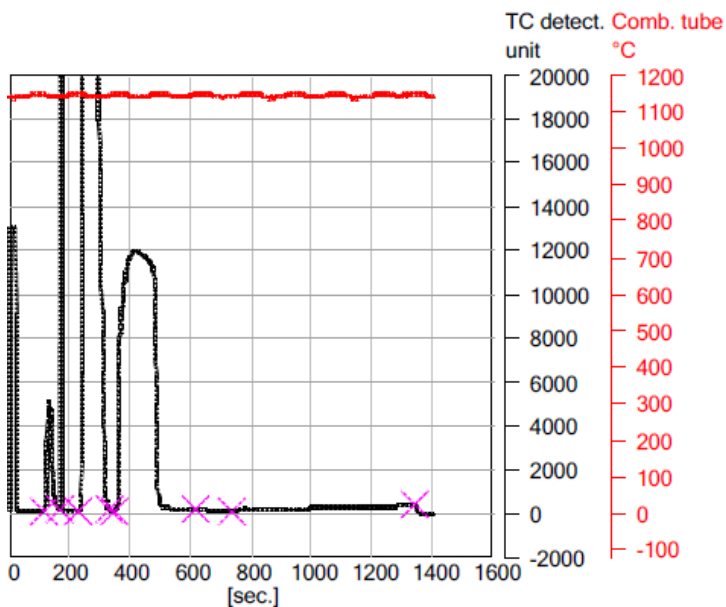
No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
35	67.500	Salcia energetică	sulf3 Chisinau	10 034	355 172	138 179	7 073	1.07	55.02	6.523	2.38



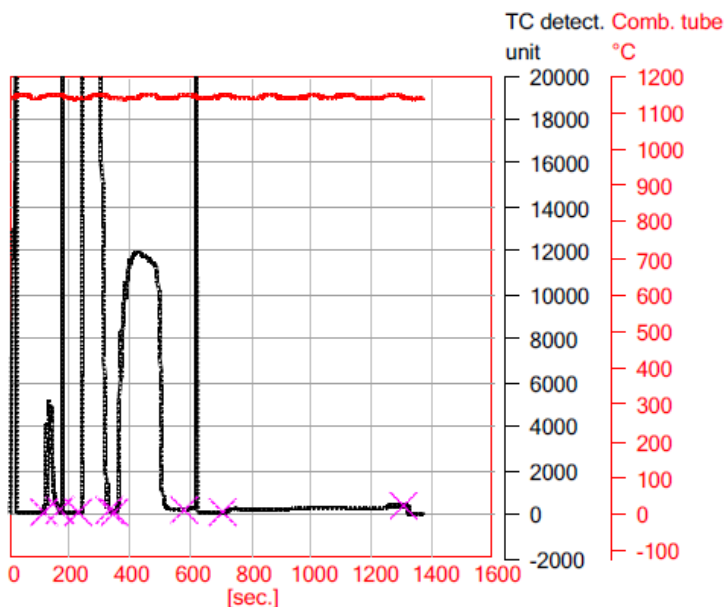
analytic functional testing
 varioMACROcube
 serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
36	77.100	Plop hibrid energetic	sulf3 Chisinau	8 831	354 765	141 832	10 390	0.83	48.11	5.892	3.06



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]
37	79.400	Plop hibrid energetic	sulf3 Chisinau	9 385	363 328	152 095	10 691	0.85	47.86	6.223	3.06



Anexa 4 - Brevet de invenție de scurtă durată „Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete” - Brevet MD 1734 Y 10.01.2023.

F-01-BI-026-I-04-0307

AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA
INTELLECTUALĂ A REPUBLICII MOLDOVA



STATE AGENCY ON INTELLECTUAL PROPERTY
OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

DIRECȚIA BREVETE

AGEPI
IDNO 1015601000112

PATENTS DIRECTION

nr. 12907
2023.10.11
din _____

NAZAR Boris,
str. Igor Vieru nr. 5, bloc 1, ap. 36,
MD-2075, Chișinău, Republica Moldova
boris.nazar@if.utm.md

H O T Ă R Ă R E

nr. 10333 din 2023.10.11

În urma examinării dosarului cererii de brevet de invenție de scurtă durată:

- (21) Nr. depozit: s 2023 0002
- (22) Data depozit: 2023.01.10
- (54) Titlu: **Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete**

și în temeiul art. 52(3) din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor, Direcția Brevete, Secția Examinare

H O T Ă R Ă Ș T E

Acordarea brevetului de invenție de scurtă durată conținând următoarele date:

- (13) Y
- (51) **Int.Cl:** *G01N 9/00* (2006.01)
G01N 9/36 (2006.01)
B30B 11/00 (2006.01)
B30B 11/02 (2006.01)
- (21) s 2023 0002
- (22) 2023.01.10
- (71)(73) INSTITUȚIA PUBLICĂ UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD
- (72) DARADUDA Nicolae, MD; MARIAN Grigore, MD; NAZAR Boris, MD; GUDÎMA Andrei, MD; GHEORGHIȚA Andrei, MD; BANARI Alexandru, MD; GELU Ianuș, RO; ISTRATI Bogdan, RO
- (54) **Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete**
- (57) **Rezumat:** Invenția se referă la utilaje de prelucrare a biomasei, în special la dispozitive de laborator pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete.

Dispozitivul, conform invenției, conține un poanson cilindric (1) pentru presarea biomasei (10), acționat de către o presă hidraulică (13) conectată la un calculator (11), și amplasat cu posibilitatea deplasării într-o matriță, formată dintr-o cameră superioară (2) și o cameră inferioară detașabilă (9). Camera superioară (2) este dotată cu un element termic (4) și un termocuplu (5), conectate la o unitate de monitorizare a temperaturii (12), iar partea inferioară a camerei superioare (2) este unită cu o placă-suport (7) și dotată cu un dop

detașabil (14). Camera inferioară detașabilă (9) este dotată cu un inel limitator (8) cu un traductor tensorezistiv de presiune conectat la calculator (11), și conține un con de ghidare tranzițională, precum și un element de calibrare.

Revendicări: 1

Figuri: 3

(54) Устройство для изучения процесса уплотнения растительной биомассы в виде брикетов

(57) **Реферат:** Изобретение относится к оборудованию для переработки биомассы, в частности к лабораторным устройствам для изучения процесса уплотнения растительной биомассы в виде брикетов.

Устройство, согласно изобретению, содержит цилиндрический пуансон (1) для прессования биомассы (10), приводимый в движение гидравлическим прессом (13), подключенным к компьютеру (11), и размещенный с возможностью перемещения в матрице, образованной из верхней камеры (2) и нижней съемной камеры (9). Верхняя камера (2) снабжена термоэлементом (4) и термопарой (5), подключенными к блоку контроля температуры (12), а нижняя часть верхней камеры (2) соединена с пластиной-опорой (7) и снабжена съемной пробкой (14). Нижняя съемная камера (9) снабжена ограничительным кольцом (8) с тензореzисторным датчиком давления, подключенным к компьютеру (11), и содержит переходный направляющий конус, а также калибровочный элемент.

П. формулы: 1

Фиг.: 3

(57) Întinderea protecției conferite de brevet este determinată de conținutul revendicărilor de mai jos bazate pe descrierea și desenele invenției.

Revendicări:

Dispozitiv pentru studierea procesului de densificare a biomasei vegetale în formă de brichete, care conține un puanson cilindric (1) pentru presarea biomasei (10), acționat vertical de către o presă hidraulică (13) conectată la un calculator (11), și amplasat cu posibilitatea deplasării într-o matrită, formată dintr-o cameră superioară (2) și o cameră inferioară detașabilă (9), camera superioară (2) fiind dotată cu un element termic (4) izolat printr-un element izolator (3), și un termocuplu (5), conectate la o unitate de monitorizare a temperaturii (12), iar partea inferioară a camerei superioare (2) este unită cu o placă-suport (7), fixată prin buloane (6), și dotată cu un dop detașabil (14), totodată camera inferioară detașabilă (9) este dotată cu un inel limitator (8) cu un traductor tensorezistiv de presiune conectat la calculator (11), și conține un con de ghidare tranzițională cu diametrul inițial D_1 egal cu diametrul camerei superioare (2), cu o micșorare treptată până la diametrul următor D_2 printr-o teșitură cu un unghi de înclinare egal cu $8,5 \pm 0,5^\circ$, precum și un element de calibrare, în care sunt executate două tăieturi longitudinale cu lungimea l_2 , stabilită în funcție de lungimea totală l_1 a camerei inferioare (9) prin raportul $l_2/l_1 = 0,75 \pm 0,05$.

(56) 1. Munteanu I., Dispozitivul și metodică de cercetare experimentală a procesului de producere a brichetelor din biomasă. Simpozionul "Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto", Inginerie agrară și transport auto, V.51, 2018, pag. 435-442 [regăsit la 2023.09.20]. Găsit pe Internet <https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/96474>

2. Marian G., Gudîma A., Pavlenco A. Influența parametrilor densificării asupra calității peștilor produși din reziduuri agricole. Știința agricolă, nr. 1, 2017, pag. 82-87 ISSN 2587-3202 [regăsit la 2023.09.20]. Găsit pe Internet <https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/52504>

Mențiunea de acordare a brevetului de scurtă durată se publică în termen de 3 luni în Buletinul Oficial de Proprietate Intelectuală (BOPI) cu atribuirea numărului de brevet respectiv și înscrierea datelor respective în Registrul Național de Brevete de Invenție de Scurtă Durată, după care brevetul acordat se va pune la dispoziția publicului.

Conform art. 58 din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor solicitantul are dreptul să depună contestație la Comisia de Contestații a AGEPI, în cazul în care nu este de acord cu motivele hotărârii, în termen de 2 luni de la data expedierii acesteia.

Orice persoană în termen de 6 luni de la data publicării mențiunii de acordare a brevetului în BOPI, conform art. 57 din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor, poate face opoziție cerând revocarea hotărârii de acordare a brevetului.

Brevetul va fi valabil pe teritoriul Republicii Moldova 6 ani de la 2023.01.10 până la 2029.01.10, cu condiția eliberării brevetului de scurtă durată și achitării taxelor legale anuale de menținere în vigoare a brevetului de invenție de scurtă durată.

Titularul de brevet poate prezenta la AGEPI o cerere de prelungire a termenului de valabilitate a brevetului de scurtă durată pentru o perioadă de cel mult 4 ani, cu condiția că titularul va solicita la AGEPI efectuarea cercetării documentare a stadiului tehnicii conform art. 8 din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor și întocmirea unui raport de documentare însoțit de o opinie privind brevetabilitatea referitoare la invenția care face obiectul brevetului și va achita taxa respectivă de prelungire, dar nu mai devreme de un an și nu mai târziu de 6 luni înainte de expirarea termenului de valabilitate a brevetului de scurtă durată.

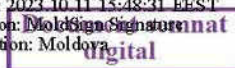
ATENȚIE!

În vederea eliberării brevetului, titularul trebuie să achite taxele de eliberare și menținere în vigoare a brevetului, începând de la data depozitului pentru fiecare an, inclusiv pentru anul în care se eliberează brevetul, într-un termen ce nu depășește 6 luni de la data publicării mențiunii de acordare a brevetului în BOPI.

Taxele de eliberare și menținere în vigoare pot fi plătite ulterior în decurs de 6 luni de la data termenului omis, cu o majorare de 50%. Neplata taxelor în cuantumul și termenul stabilit conduce la încetarea valabilității brevetului înainte de termen și la decăderea titularului din drepturi.

Specialistă principală, Secția
Examinare
tel.: +(373 22) 188 519

Digitally signed by Andreeva Svetlana
Date: 2023.10.11 15:48:31 EEST
Reason: Moldovan Signature
Location: Moldova



ANDREEVA Svetlana

Anexa 5 – Act de implementare în producție a rețetelor de amestecuri de materie primă din biomasă vegetală pentru producerea brichetelor ENplus 3.



ACT

De implementare în producție a rețetelor de amestecuri de materie primă din biomasă vegetală pentru producerea brichetelor EN Plus 3 (conform SM EN ISO 17225.3)

Autor – prof. univ., dr. hab. Grigore MARIAN, doctorand Nicolae DARADUDA

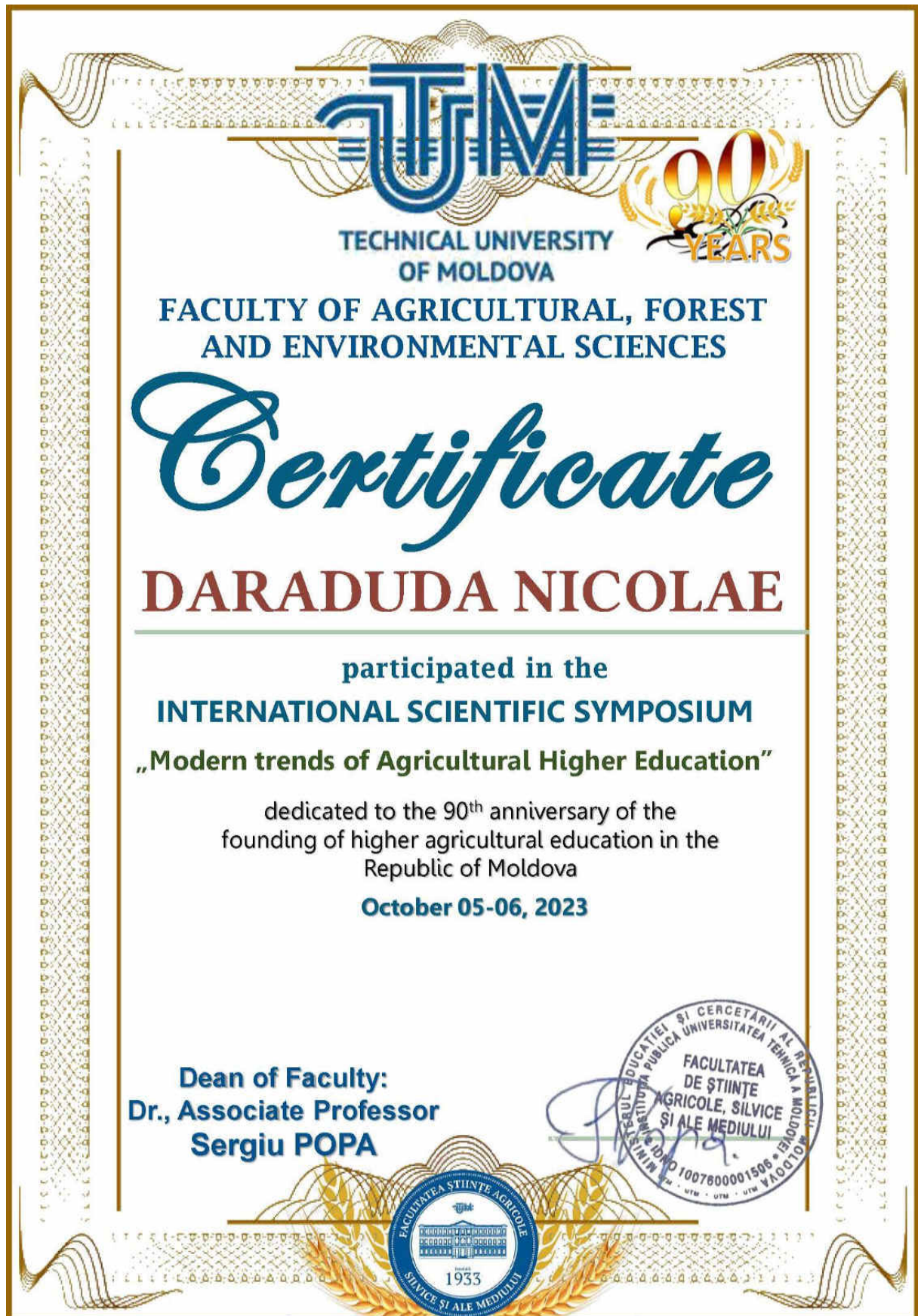
Comisia în componență: director SRL „ESSENTIALIS” BĂȚ Stela, directorul Centrului de Cercetare și Extensiune pentru Agricultură, Biodiversitate și Dezvoltare Rurală UTM conf. univ. dr. Grigore BATÎRU, decanul Facultății de Științe Agricole, Silvice și ale Mediului conf. univ. Sergiu POPA, șeful Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi prof. univ., dr. hab. Grigore MARIAN, cercetător științific superior LȘBCS Andrei GUDÎMA au alcătuit prezentul act despre implementarea în producție a rezultatelor cercetărilor științifice, efectuate în cadrul Laboratorului Științific de Biocombustibili Solizi de către prof. univ., dr. hab. Grigore MARIAN și doctorandul Nicolae DARADUDA în formă de rețetă de amestec de materie primă pe bază de biomasă de *Miscanthus x Giganteus* și diferite reziduuri agricole pentru producerea biocombustibililor solizi densificați în formă de brichete pentru uz rezidențial cu caracteristici conforme cerințelor specificate în standardul SM EN ISO 17225.3.

Comisia, cu vot unanim, a hotărât: În baza testării pozitive a biocombustibililor solizi în formă de brichete, produse din materie primă sub formă de amestecuri de biomasă vegetală, se recomandă pentru implementare în producție următoarele rețete de amestecuri de materie primă, formate pe baza biomasei de *Miscanthus x Giganteus*:

1. Pentru producerea brichetelor de uz rezidențial, clasa A1 (SM EN ISO 17225.3): biomasă de *Miscanthus x Giganteus* până la 25 % , restul reziduuri vegetale de cătină albă;
2. Pentru producerea brichetelor de uz rezidențial, clasa A2 (SM EN ISO 17225.3): biomasă de *Miscanthus x Giganteus* până la 75 % , restul reziduuri agricole arboricole sau reziduuri-de-viță de vie sau mixturi de reziduuri agricole arboricole cu reziduuri de viță-de-vie.

BĂȚ Lucia
BATÎRU Grigore
POPA Sergiu
MARIAN Grigore
GUDÎMA Andrei

Anexa 6 - Certificate de confirmare a participării la Simpozioane Științifice, atât Internaționale, cât și Naționale.





Romania-Republic of Moldova
ENI-CROSS BORDER COOPERATION



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
A MOLDOVEI



Universitatea Tehnică a Moldovei
LABORATORUL DE BIOCOMBUSTIBILI SOLIZI

CERTIFICAT

se acorda *D-lui (D-nei)*

Daeaduda Nicolae

pentru participare la Conferința cu participare internațională organizată cu ocazia
închiderii proiectului transfrontalier

**IMPROVING THE QUALITY OF SOLID BIOFUELS PRODUCED FROM RAW
MATERIAL COLLECTED FROM BOTH SIDES OF PRUT RIVER - 2SOFT/1.2/44**
desfășurată în perioada 4-5 noiembrie 2022 la Chișinău

Prof. univ. dr. hab.

Grigore MARIAN

Președintele comitetului organizatoric

Prof. univ. dr. hab.

Victor BOSTAN
Rector UTM

CHIȘINĂU

2022





UNIVERSITY OF AGRONOMIC SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST
THE INTERNATIONAL CONFERENCE

AGRICULTURE FOR LIFE, LIFE FOR AGRICULTURE

JUNE 3-5, 2021 – BUCHAREST, ROMANIA



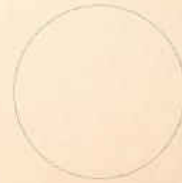
CERTIFICATE OF PARTICIPATION

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 NICOLAE, GUDIȚA ANDREI, NAZAR BORIS, BANARI ALEXANDRU, PAVLENCO
ANDREI,



Răzvan Ionuț Teodorescu

RĂZVAN IONUȚ TEODORESCU, PROFESSOR, PHD
RECTOR OF THE UNIVERSITY OF AGRONOMIC
SCIENCES AND VETERINARY MEDICINE OF BUCHAREST

JUNE, 2021
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



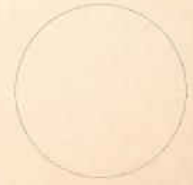
CERTIFICATE OF PARTICIPATION

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 NICOLAE, 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



Nicolae DARADUDA

📍 Acasă : Mircești 22/2 B, 2049, Chișinău, Moldova

✉ E-mail: n.daraduda@gmail.com ✉ E-mail: nicolae.daraduda@tran.utm.md

🏠 Telefon: (+373) 22312193 📞 Telefon: (+373) 67435511

Data nașterii: 19/12/1979 Cetățenie: moldoveană

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

[01/09/2022 – În curs] **Asistent universitar, Departamentul Transporturi**

Universitatea Tehnică a Moldovei, bd. Ștefan cel Mare, 168, Chișinău, Moldova, MD-2004

Profesor discipline tehnice speciale

[01/01/2019 – 31/08/2022] **Asistent universitar, Departamentul Inginerie în Agricultură și Transport Auto**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

Cursuri și lucrări de laborator la disciplinele: Atelierul mecanic, Studiul materialelor, Tehnologia materialelor, Mașini unelte și prelucrări mecanice, Reparații de mașini, Tehnologii de recondiționare a pieselor automobilelor, Tehnologii de recondiționare a pieselor utilajului agricol, Sisteme de standard. și O.A. Conduc: - Practica didactică în Atelierul mecanic, FIATA, UASM; - Practica tehnologică în ÎS al ICȘ „MecAgro”;

[2018 – 2019] **Lector universitar, Catedra Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

- principalele cursuri de predare: Atelierul mecanic, Exploatarea tehnică a parcului de mașini și tractoare - lucrări de laborator la cursurile: Reparații de mașini; Reparații de automobile; Tehnologii de recondiționare a pieselor utilajului agricol; Tehnologii de renovare a autoturismelor

[2013 – 2018] **Lector superior universitar, Catedra Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

- principalele cursuri de predare: Atelierul mecanic, Exploatarea tehnică a parcului de mașini și tractoare - lucrări de laborator la cursurile: Reparații de mașini; Reparații de automobile; Tehnologii de recondiționare a pieselor utilajului agricol; Tehnologii de renovare a autoturismelor

[2009 – 2013] **Lector universitar catedra Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor, UASM.**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

- principalele cursuri de predare: Atelierul mecanic, Mentenanța preventivă a utilajului agricol
- lucrări de laborator la cursurile: Studiul materialelor; Mașini unelte și prelucrări mecanice; Mașini unelte și control dimensional; Reparații de mașini; Reparații de automobile; Interschimbabilitate standardizare și măsurări tehnice; Fiabilitatea automobilelor; Tribologie și fiabilitate; Interschimbabilitate, standardizare și metrologie.

[2006 – 2009] **Asistent universitar, Catedra Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova,

MD-2049

lucrări de laborator la cursurile: Atelierul mecanic, Studiul materialelor; Mașini unelte și prelucrări mecanice; Mașini unelte și control dimensional; Reparații de mașini; Reparații de automobile.

[2005 – 2006] **Asistent universitar, catedra Tractoare și automobile**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

[2003 – 2005] **Asistent universitar, catedra Mecanizarea și automatizarea sectorului zootehnic**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

EDUCAȚIE ȘI FORMARE PROFESIONALĂ

[21/01/2018 – 27/01/2018] **Stagiu de perfecționare**

Česká Zemědělská Univerzita v Praze din Republica Cehă

[02/02/2014 – 09/02/2014] **Stagiu de perfecționare**

Universitatea Agrară de Stat din Liov, Ucraina

[2010 – 2014] **Studii de doctorat, specialitatea 255.02. Tehnologii și mijloace tehnice pentru industria produselor agricole**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

specialitatea Exploatarea și mentenanța tehnicii agricole și celei din industria prelucrătoare

[2002 – 2003] **Magistru în Mecanică, Inginerie și management în agrotehservice**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

[1997 – 2002] **Licențiat în inginerie și activități ingineresti**

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Moldova, MD-2049

Localitatea: Chișinău

Țara: Moldova

[1986 – 1997] **Studii medii generale**

Școala Medie Generală "Alexei Mateevici"

Localitatea: Căinari

COMPETENȚE LINGVISTICE

Limbă(i) maternă(e): română

Altă limbă (Alte limbi):

rusă

COMPREHENSIUNE ORALĂ C1 C ITIT C1 SCRIS C1

EXPRIMARE SCRISĂ C1 CONVERSAȚIE C1

franceză

COMPREHENSIUNE ORALĂ B2 C ITIT B1 SCRIS B2

EXPRIMARE SCRISĂ A2 CONVERSAȚIE B1

engleză

COMPREHENSIVNE ORALĂ A1 CITTIT A2 SCRIS A1

EXPRIMARE SCRISĂ A1 CONVERSAȚIE A1

Niveluri: A1 și A2 Utilizator de bază B1 și B2 Utilizator independent C1 și C2 Utilizator experimentat

COMPETENȚE DIGITALE

Realizarea managementului site-urilor web sistemelor de operare a calculatoarelor | Civil Site Design | Abilitați de dezvoltare a site-urilor web folosind HTML, CSS, JavaScript, PHP | / Bune abilități de utilizare a Pachetului Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint) | Statgraphics Centurion | Reference Management software [Zotero, EndNote, Mendeley] | Proiectare CAD în diverse software-uri (Catia V5, Fusion 360, SolidEdge) | Experienda folosind software de modelare 2D/3D : AutoCAD / SolidWorks | O bună stăpânire a pachetului Компас (КОМПАС-3D, КОМПАС-Строитель, ВЕРТИКАЛЬ | Foarte bune cunoștințe de instalare și diagnosticare hardware și softare pc | Utilizarea programe de diagnosticare auto | Cunoștințe de bază în Adobe Photosop, Adobe Illustrator, Adobe After Effects

PROIECTE

• Proiect internațional 22/2007-2009/03 "Support to curricula development at the Agrarian University of Moldova and harmonization its education system with EU standards", membru.

• Proiect instituțional aplicativ 11.817.06.07A "Perfecționarea sistemului de gestionarea deșeurilor și produselor secundare din agricultură pentru obținerea energiei termice", cercetător științific stagiar.

• Proiect instituțional aplicativ 15.817.05.26A "Dezvoltarea capacității de sporire a calității biocombustibililor solizi în acord cu practicile și politicile de dezvoltare a securității energetice și a agriculturii durabile", cercetător științific

• Proiect de Stat 20.80009.5107.02 nr. 42/2-PS Mobilizarea resurse-lor genetice vegetale, ameliorarea soiurilor de plante, valorificarea lor ca culturi furajere, melifere și energetice în circuitul bioeconomic, cercetător stagiar

COMPETENȚE ORGANIZATORICE

Competențe organizatorice

abilitați de organizare a excursiilor cu studenții, la diferite întreprinderi de specialitate, expoziții agricole, evenimente culturale

COMPETENȚE DE COMUNICARE ȘI INTERPERSONALE

Competențe de comunicare și interpersonale

- bune abilități de comunicare dobândite în urma experienței mele ca profesor universitar
- excelente abilități de interacțiune cu studenții, dobândite prin activitatea de curator de grupă

COMPETENȚE DOBÂNDITE LA LOCUL DE MUNCĂ

Competențe dobândite la locul de muncă

Abilități de redactare a materialelor științifice: monografii, articole, prezentări, postere; Abilități lucru în echipă