UNIVERSITATEA AGRARĂ DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlul de manuscris
C.Z.U: 631.539.3

GUDÎMA ANDREI

TEHNOLOGIA DE OBȚINERE A PELEȚILOR ENPlus DIN REZIDUURI AGRICOLE ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA

255.02. TEHNOLOGII ȘI MIJLOACE TEHNICE PENTRU INDUSTRIA PRODUSELOR AGRICOLE.

Teză de doctor în tehnică

Conducător științific: Marian Grigore, dr. hab., prof. univ.

Autorul

CHIȘINĂU 2018

© GUDÎMA ANDREI, 2018

CUPRINS

ADNOTARE **5**
ABSTRACT **6**
АННОТАЦИЯ **7**
LISTA ABREVIERILOR **8**
INTRODUCERE **10**

1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL TEHNOLOGIILOR DE OBȚINERE A PELEȚILOR DIN REZIDUURI AGRICOLE ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA **16**
1.1. Generalități. Calitatea peleților și factorii care o influențează 16
1.2. Calitatea peleților funcție de variabilele materiei prime 20
1.2.1. Variabilele materiei prime 20
1.2.2. Influența umidității materiei prime asupra calității peleților de foc 22
1.2.3. Influența granulației materiei prime asupra calității peleților de foc 24
1.3. Calitatea peleților funcție de compoziția biomasei 27
1.4. Calitatea peleților în funcție de variabilele procesului de fabricație 33
1.4.1. Constatări cu privire la variabilele peletizării și mecanismul de formare a legăturilor de coeziune și adeziune dintre particule biomasei 33
1.4.2. Gradul de densificare și calitatea peleților 36
1.4.3. Rolul temperaturii la peletizarea biomasei 37
1.5. Metode de pre-tratare a materiei prime prin torefiere, probleme existente 39
1.6. Concluzii și direcții de aprofundare a cercetărilor 40

2. PROGRAMAREA EXPERIMENTELOR, METODICA GENERALĂ DE CERCETARE ȘI ECHIPAMENTE UTIȘIZATE **42**
2.1. Obiectul și metodologia cercetării 42
2.2. Metode de cercetare experimentală 44
2.2.1. Metodica de condiționare a biomasei studiate și de determinare a distribuției granulometrice 44
2.2.2. Metodica de cercetare a densificării peleților de foc 46
2.3. Metode de testare a biomasei și peleților de foc 49
2.3.1. Determinarea conținutului de umiditate 49
2.3.2. Determinarea puterii calorifice 51
2.3.3. Determinarea conținutului de cenușă 53
2.3.4. Metodica de cercetare a proprietăților chimice ale materiei prime și ale peleților de foc 55
2.4. Concluzii la capitolul 2 55

3. POTENȚIALUL ȘI CALITATEA BIOMASEI PROVENITE DIN ACTIVITĂȚI AGRICOLE PENTRU PRODUCEREA PELEȚILOR DE FOC **57**
3.1. Scopul investigațiilor și ordinea de realizare a experimentelor 57
3.2. Evaluarea potențialului energetic de biomasă provenită din activități agricole pretabilă pentru producerea biocombustibililor solizi 60
3.2.1. Generalități cu privire la potențialul energetic al biomasei lignocelulozice provenite din reziduuri agricole în condițiile Republicii Moldova 60
3.2.2. Potențialul energetic și calitatea biomasei obținute din reziduuri agricole provenite din diferite zone ale Republicii Moldova în conceptul de producere a peleților de foc 61

3.3. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova 69
CONCLUZII LA CAPITOLUL 3 74

4. ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII PELEȚILOR DE FOC PRIN PROCEDEE TEHNOLOGICE 76
4.1. Sporirea calității peleților de foc prin condiționarea primară a biomasei și formarea amestecurilor 76
4.1.1. Influența granulației particulelor asupra calității peleților de foc 76
4.1.2. Cercetări cu privire la îmbunătățirea calității BCS prin formarea amestecurilor din reziduuri agricole și culturi energetice 81
4.2. Influența parametrilor densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole 90
4.2.1. Planul cercetărilor și analiza datelor 90
4.2.2. Influența regimurilor densificării asupra densității particulelor 92
4.2.3. Influența regimurilor densificării asupra conținutului de umiditate al peleților 94
4.3. Sporirea calității peleților de foc prin torefiere 95
4.3.1. Scopul și planul cercetărilor 95
4.3.2. Modificarea puterii calorifice a biomasei 97
4.3.3. Schimbarea compoziției chimice a biomasei în rezultatul torefierii 100
4.4. Elaborarea tehnologiei și logistica producerii peleților de foc din reziduuri agricole și amestecuri pe baza acestora 102
4.4.1. Eficiența procesului de torefiere și impactul asupra aplicațiilor energetice 102
4.4.2. Stabilirea itinerarului tehnologic de fabricare a peleților de foc cu pre-tratare termochimică prin torefiere a materiei prime 104
4.5. Justificarea tehnico-economică 107
4.6. Concluzii la capitolul 4 110
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI 112
BIBLIOGRAFIE 114
ANEXE 124

ADNOTARE

Autor – Gudîma Andrei. Titlul - ***„Tehnologia de obținere a peleților ENPlus din reziduuri agricole în condițiile Republicii Moldova”,***. Teză de doctor în tehnică, Chișinău, 2017. Lucrarea este compusă din introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 124 titluri, 15 anexe, 113 pagini (până la bibliografie), 32 figuri, 24 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 15 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: Biocombustibili solizi, Calitate peleți; Densificare; Peleți, Reziduuri agricole; Tehnologie, Torefiere.

Domeniul de studiu – tehnică. ***Scopul lucrării*** este sporirea calității biocombustibililor solizi în acord cu politicile de dezvoltare a surselor regenerabile de energie. ***Obiectivele lucrării:*** identificarea stadiului actual referitor la asigurarea calității biocombustibililor solizi în formă de peleți în acord cu bunele practici promovate în UE și corelate cu cele existente la noi în țară; elaborarea recomandărilor pentru alegerea itinerarului tehnologic și dezvoltarea unui model matematic referitor la stabilirea condițiilor optime ale procesului pre-tratare a materiei prime și de stabilire a constituției amestecurilor de biomasă care vor asigura producerea peleților de foc din materie autohtonă cu caracteristici calitative conforme cerințelor normelor ENPlus 3.

Noutatea și originalitatea științifică constă în: analiză critică detaliată a stadiului actual cu privire la asigurarea calității peleților de foc produși din reziduuri agricole; cercetarea oportunității obținerii combustibililor solizi de calitate ENplus în condițiile Republicii Moldova din materie primă autohtonă; folosirea pre-tratării termochimice a biomasei lignocelulozice folosite la producerea peleților de foc și stabilirea constituției optime a materiei prime folosite la producerea peleților de foc.

Problema științifica importantă soluționată. Sporirea nivelului de calitate a peleților prin optimizarea constituției materiei prime, perfecționarea tehnologiilor de producere a peleților prin folosirea procedeelor efective de pre-tratare a materiei prime și prin concretizarea regimurilor tehnologice de condiționare și densificare a materiei prime.

Semnificația teoretică constă în propunerea unei metodologii complexe de estimare a potențialului energetic al reziduurilor vegetale agricole pentru scopuri energetice și a unui proces tehnologic original de torefiere a biomasei lignocelulozice folosite la producerea peleților de foc.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în posibilitatea folosirii tehnologiei de pre-tratare a reziduurilor agricole și a rețetelor de amestecuri de materie primă autohtonă la producerea peleților de foc cu caracteristici corelate cu cerințele normelor internaționale ENPlus precum și la perfecționarea procesului de instruire a studenților, masteranzilor și doctoranzilor de la specialitățile din domeniul științei și activităților inginerești.

Implementarea rezultatelor științifice: Rezultatele obținute sunt implementate la SRL ECOBRIPIL, Chișinău

ABSTRACT

Author – Gudima Andrei. Title – ***"Technology of obtaining of ENPlus pellets from agricultural waste in the conditions of the Republic of Moldova".*** PhD thesis in engineering, Chisinau, 2017. Thesis is composed of introduction, 4 chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 124 titles, 15 annexes, 113 pages (until bibliography), 32 Figures, 24 tables. The obtained results are published in the 15 scientific works.

Key words : Solid Biofuels, The quality of pellets, Densification, Pellets, Agricultural Waste, Technology, Torrefaction.

Field of study- technics. **Purpose of thesis** is the improvement of the quality of solid biofuels in accordance with policies of development of the renewable sources of energy. **Aims of thesis:** identification of the annual stage regarding the insurance of solid biofuels in the form of pellets in accordance with good practices which are promoted in the EU and which are correlated with those practices which are in our country; elaboration of recommendations for the technological way selection and the development of a mathematical model regarding the establishment of optimal conditions of the pretreatment process of the raw material and the establishment of mixtures of biomass composition which will ensure the production of fire pellets from our own raw material with qualitative characteristics according to requirements rules of ENPlus 3.

Scientific novelty consists of: critical detailed analysis of the actual stage regarding the insurance of fire pallets quality produced from agricultural waste; research of the opportunity of obtaining solid fuels of EnPlus quality in the Republic of Moldova from domestic raw material; using thermochemical pretreatment in lignocellulosic biomass used in the production of fire pallets and the establishment of raw material optimal composition in the production of fire pallets.

Theoretical importance consists in the proposal of a complex estimation methodology of the energetic potential of the agricultural vegetal waste with an energetic purpose and proposal of an original technological torrefaction process of lignocellulosic biomass used in the production of fire pallets.

АННОТАЦИЯ

Автор - Гудыма Андрей. Название – ***„Технология получения гранул ENPlus из сельскохозяйственных отходов в условиях Республики Молдова”.*** Диссертация на соискание ученной степени доктора (кандидата) технических наук, Кишинэу, 2017 г. Работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и рекомендаций, 124 источников литературы, 15 приложений, 113 страниц (до литературы), 32 фигур, 24 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 15 научных работах.

Ключевые слова: Твердое биотопливо, Качество гранул; Плотность; Гранулы, Сельскохозяйственные отходы; Технология; Торрефикация.

Область исследования - техника. ***Цель диссертации*** состоит в том, чтобы повысить качество твердого биотоплива в соответствии с политикой развития возобновляемых источников энергии. ***Задачи диссертации***: анализ состояния существующих технологий получения твердого биотоплива в виде гранул в соответствии с требованиями стандартов ЕС; разработка и оптимизация технологического процесса предварительной обработки исходного сырья и производства гранулированного биотоплива, разработка рекомендаций по определению фракционного состава биомассы, обеспечивающей производство гранул, из отечественного сырья, в соответствие с нормативными требованиями ENPlus 3.

Новизна и научная оригинальность состоит: впервые дан подробный анализ технологий производства твердого биотоплива в Молдове из с.-х. отходов; исследовано возможность получения качественного твердого биотоплива ENPlus 3 в Р М из отечественного сырья; в обосновании целесообразности термохимической обработки лигноцеллюлозной биомассы для производства пеллет с определением оптимального состава смеси сырья.

Теоретическая значимость состоит в разработке комплексной методологии оценки энергетического потенциала с.-х. отходов с целью использования их для производства тепловой энергии, и в разработке технологического процесса торрефикации лигноцеллюлозной биомассы, используемой для производства топливных пеллет.

Прикладная ценность заключается в возможности использования технологического процесса торрефикации с.-х. отходов, и предложенных составов смесей из отечественного сырья для производства пеллет соответствующих требованиям ENPlus а также для улучшения подготовки студентов инженерных специальностей.

Внедрение научных результатов. Полученные научные результаты внедрены в SRL «BIOBRIPIL», Кишинев.

LISTA ABREVIERILOR

A ~ conținutul de cenușă

AEBIOM ~ European Biomass Association (Asociația Europeană Biomasă)

BD ~ densitatea în vrac

C ~ conținutul de carbon

Cal. ~ calorie

Cl ~ conținutul de clor

DE ~ densitatea particulelor

DU ~ durabilitatea mecanică

EUR ~ euro

EPC ~ European Pellet Council (Consiliul European Peleți)

ED ~ densitatea energetică

F ~ conținutul de fracție fină

GCV.c. ~ putere calorifică superioară convențională

GCV~ puterea calorifică superioară

H ~ conținutul de hidrogen

K ~ factor unitar de conversie

LBCS ~ Laboratorul de biocombustibili solizi

M ~ conținutul de umiditate

m ~ masa

M_{ar} ~ conținutul de umiditate în bază umedă

M_t ~ conținutul de umiditate totală

N ~ conținutul total de azot

NCV ~ puterea calorifică inferioară

NCV_d ~ puterea calorifică inferioară în bază uscată

NCV_r ~ puterea calorifică inferioară la recepție

$NCV_{M=i}$ ~ puterea calorifică inferioară la umiditatea i

O ~ conținutul total de oxigen

P_e ~ potențial energetic

PEC ~ politica de energie comună

PIE ~ piața internă a energiei

S ~ conținutul total de sulf

S/M ~ stat membru al Uniunii Europene

SFE~ surse fosile de energie

SRE ~ surse regenerabile de energie

t.c.c. ~ tonă combustibil convențional

t.e.p. ~ tonă echivalent petrol

UASM ~ Universitatea Agrară de Stat din Moldova

U_d ~ conținutul de umiditate în bază uscată (umiditatea absolută)

UE ~ Uniunea Europeană

%wt. – procent greutate

τ ~ durata rezidenței

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța problemei abordate. Lucrarea propune un studiu al căilor de producere a biocombustibililor solizi în formă de peleți, obținuți din materie primă autohtonă în acord cu normele internaționale de calitate ENPlus 3. Tema tezei de doctorat se înscrie în direcțiile strategice ale activității din sfera științei și inovării pentru anii 2013-2020 ***Materiale, tehnologii și produse inovative*** și ***Eficiență energetică și valorificare a surselor regenerabile de energie***, aprobate prin Hotărârea Parlamentului RM nr. 150 din 14.06.2013.

Dezbătută din mai multe perspective, tema tezei de doctorat se dovedește a fi importantă și actuală. Printre argumentele cele mai semnificative amintim: problema energetică, dominată de combustibilii fosili, care sunt importați, practic, în întregime [1]; importul de resurse energetice în volum de cca. 94% [1]; epuizarea în ritm accelerat a resurselor de combustibili fosili; abundența de biomasă existentă în lume și la noi în țară; angajamentele asumate în Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030 [2]; exigențele mereu crescânde față de calitatea biocombustibililor solizi; specificul biomasei autohtone; necesitatea de o înțelege mai profundă a procesului de peletizare etc.

Creșterea galopantă a popularității peleților produși din biomasă lignocelulozică este rezultată de un șir de avantaje ale acestora în raport cu alte tipuri de combustibili:

- în comparație cu biocombustibili nedensificați, peleții sunt mai eficienți din punct de vedere al randamentului de ardere, posibilității de automatizare a procesului de combustie, prezintă un confort sporit în exploatare;

- sunt un combustibil ecologic, neutru din punct de vedere al emisiilor de gaze, eliminând, la ardere, aceeași cantitate de CO_2 care a fost absorbită de plante în timpul creșterii;

- prețul peleților este mai mic ca cel al combustibililor fosili, fiind și mai stabil;

- pot fi produși din biomasă autohtonă ce poate contribui la micșorarea importului de resurse energetice;

- necesită un volum de depozitare mai mic cu cca. 50% față de biocombustibilii tradiționali.

Cu toate avantajele enumerate, peleții produși din reziduuri agricole, de regulă, sunt de calitate inferioară, în special la capitolul putere calorifică și stabilitate dimensională și de formă. Inconvenientele enumerate, în majoritatea cazurilor, sunt rezultate de calitatea inferioară a reziduurilor agricole folosite în calitate de materie primă și incapacitatea de asigurare tehnologică a calității peleților cerute de către exigențele standardelor europene și internaționale, în special referitoare la puterea calorifică și capacitatea de absorbție a umidității din mediul înconjurător.

Una din căile posibile de lichidare a neajunsurilor menționate anterior este perfecționarea tehnologiilor de peletizare folosind pre-tratarea biomasei prin torefiere. Implementarea acestor tehnologii va contribui la mărirea puterii calorifice și a altor proprietăți fizico-mecanice a produsului finit asigurând în acest mod producerea unor peleți din materie primă autohtonă cu caracteristici calitative conforme cerințelor ENPlus 3.

Scopul și obiectivele tezei: Obiectivul general al tezei este Sporirea calității biocombustibililor solizi în formă de peleți prin elaborarea unor tehnologii de tratare preventivă termochimică a materiei prime și de densificare a produsului finit.

În calitate de ***obiect al cercetărilor*** au servit biocombustibilii în formă de peleți. Obiectul cercetărilor este unul din elementele componente importante în asigurarea cu energie termică regenerabilă a sectoarelor publice și rezidențiale în condițiile Republicii Moldova. De asemenea, obiectul cercetării prezintă interes sporit din punct de vedere al calității și influenței acestuia asupra mediului și durabilității agriculturii Republicii Moldova.

Subiectul cercetărilor se referă la studierea și estimarea cantitativă și calitativă a obiectului cercetării prin prisma sporirii calității acestuia, perfecționând metodele de procesare pe întreg ciclul de viață, optimizând constituția materiei prime cu asigurarea unor caracteristici fizico-mecanice și chimice capabile să contribuie la obținerea produselor finite în acord cu cerințele normelor de calitate ENPlus 3, având în vedere și impactul asupra mediului și asupra dezvoltării continue a agriculturii Republicii Moldova.

Pentru realizarea scopului propus se înaintează următoarele obiective:

1. Identificarea stadiului actual în asigurarea calității biocombustibililor solizi în acord cu bunelor practice promovate în UE și corelate cu cele existente la noi în țară;

2. Estimarea cantitativă și calitativă a potențialului de biomasă provenită din activități agricole pentru producerea peleților de foc;

3. Studiul impactului diferitor parametri asupra procesului de peletizare în baza căruia se va identifica parametrii cheie de proces și, în continuare, va permite elaborarea recomandărilor pentru alegerea itinerarul tehnologic și dezvoltarea unui model referitor la stabilirea condițiilor optime ale procesului tehnologic de peletizare.

4. Studierea schimbărilor calitative ale peleților în rezultatul operațiilor de pre-tratare și dezvoltarea, în baza rezultatelor obținute, a unui set de verigi tehnologice chemate să sporească indicatorii calitativi ai peleților produși din biomasă agricolă.

Obiectivele urmărite au fost abordate de mai mulți cercetători, atât din țară [5, 7, 36-38, 46, 57] cât, mai ales, de către cei din străinătate apărute în ediții de specialitate cu factor de impact [47- 51, 60-63, 71-76, 91-100]. Însă datele prezentate poartă un caracter local și, practic, se referă

la biocombustibilii densificați produși din materie primă caracteristică anumitor zone geografice. Din acest motiv, pentru realizare obiectivelor propuse au fost studiate mai multe aspecte ce țin de specificul și caracteristicile diferitor tipuri de biomasă autohtonă, optimizarea constituției amestecurilor materiei prime, folosirea suplimentară a diferitor procedee tehnologice de pre-tratare a materiei prime, stabilirea regimurilor optime de lucru, argumentarea utilajului tehnologic, al sculelor și verificatoarelor.

Problema științifica importantă soluționată. Sporirea nivelului de calitate a peleților prin optimizarea constituției materiei prime, perfecționarea tehnologiilor de producere a peleților prin folosirea procedeelor efective de pre-tratare a materiei prime și prin concretizarea regimurilor tehnologice de condiționare și densificare a materiei prime.

Noutatea și originalitatea științifică a cercetărilor preconizate constă în următoarele:

- alegerea, pentru prima dată, în calitate de obiect al cercetărilor sistemul de management al calității biocombustibililor solizi în acord cu politicile UE cu pretare la situația din Republica Moldova;
- analiză critică detaliată a stadiului actual cu privire la managementul calității biocombustibililor solizi în condițiile Republicii Moldova;
- cercetarea în premieră a oportunității obținerii combustibililor solizi de calitate ENplus în condițiile Republicii Moldova din materie primă autohtonă;
- stabilirea constituției optime a produselor finite (combustibili solizi în formă de peleți) obținute din reziduuri agrosilvice;
- elaborarea, în baza datelor experimentale obținute, a unei tehnologii noi de producere a peleților de foc cu folosirea unei verigi tehnologice de tratare termochimică a materiei prime.

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării. În baza rezultatelor de testare științifică și experimentare practica a rezultatelor obținute se constată că importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării este asigurată de:

- obținerea unor compoziții ale materiei prime provenită din resurse autohtone care asigură obținerea biocombustibililor solizi de calitatea ENPlus 3;

- concretizarea și sistematizarea unor recomandări cu privire la tipul și procentajul constituenților materiei prime folosite la producerea biocombustibililor solizi de calitatea ENPlus;

- stabilirea conținutului de Carbon, Hidrogen, Sulf, Azot și Clor în diverse amestecuri din reziduuri agrosilvice folosite pentru obținerea biocombustibililor solizi;

- folosirea datelor din lucrare în perfecționarea procesului de instruire a studenților, masteranzilor și doctoranzilor de la specialitățile din domeniul științei și activităților inginerești;

- recomandările cu privire la implementarea în producție a rezultatelor obținute.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele cercetărilor din teza de doctorat au fost diseminate prin publicarea unui număr de 15 lucrări în diverse jurnale științifice de profil, în lucrări editate cu ocazia unor manifestări științifice naționale și internaționale. Aspectele teoretice și aplicative au fost prezentate și aprobate la ședințele seminarului intercatedral al Facultății de Inginerie Agrară și Transport Auto, UASM (în anii 2012 -2017); Conferința Științifică a Studenților UASM (2010, 2011, 2012), Simpozionul Științific Internațional organizat cu ocazia aniversării de 80 ani ai UASM (2013); Simpozionul Științific Internațional *Engineering for rural development*. Jelgava, Latvia, 2013; Simpozionul Științific Internațional organizat cu ocazia aniversării de 65 ani ai FIATA UASM (2015); Seminarele tematice organizate în cadrul Expoziției internaționale specializate MOLDAGROTEH (2014, 2015, 2016, 2017).

Lucrarea este structurată în patru capitole.

Primul capitol dezvăluie ideea centrală a tezei și anume necesitatea de a elabora niște măsuri concrete pentru sporirea calității biocombustibililor solizi în formă de peleți pe întreg ciclu de viață al acestora. Ideea centrală expusă a fost formulată în baza sintetizării stadiului actual al cercetărilor din țară și pe plan mondial asupra biocombustibililor solizi, analizei realizărilor obținute și a contradicțiilor existente.

În contextul analizei celor mai recente cercetări întreprinse în ultimii ani s-a constatat că reziduurile și deșeurile agricole prezintă una din importantele surse de energie regenerabilă pe care le deține Republica Moldova și care, cu părere de rău, la ziua de azi, nu este exploatată în plină măsură. Se menționează că un argument serios în favoarea continuării cercetărilor este prezentat de către scopul şi obiectivele politicii de stat în domeniul surselor regenerabile de energie. Aceste politici prevăd sporirea securității energetice a statului şi reducerea impactului negativ al sectorului energetic asupra mediului prin majorarea anuală a ratei de energie obținute din combustibili regenerabili. Obiectivul țintă pentru anul 2020 este asigurarea producerii unui cuantum de 20% de energie din surse regenerabile în consumul final de energie a țării [2].

Datele existente în literatura de specialitate indică despre încadrarea temei tezei în stadiul actual al cunoașterii referitor la tehnologiile inovative de producere a peleților de foc din reziduuri agricole cu indicatori calitativi conformi cerințelor normelor ENPlus 3. Se mai arată că producerea peleților cu proprietăți conforme cerințelor ENPlus 3 din materie primă autohtonă este destul de problematică, motiv pentru care se argumentează importanța studierii factorilor care influențează sistemul de densificare a peleților iar, în consecință, calitatea integrală a acestora.

Printre factorii de influență cu pondere majora asupra calității produsului finit au fost nominalizați: variabilele materiei prime; compoziția biomasei și variabilele procesului. În baza confruntării datelor existente în literatura de specialitate și a experienței din domeniul industriei

producătoare de biocombustibili solizi a fost formulat scopul lucrării, obiectivele și căile de realizare.

În capitolul II este prezentat itinerarul și conținutul cercetărilor, sunt descrise metodica încercărilor de laborator și a măsurărilor, modul de alegere şi efectuare a experimentelor, scenariile şi căile de obținere a rezultatelor aferente, cerințele impuse utilajului științific și mijloacelor de măsurare procesul de validare a metodelor și utilajelor folosite în cercetare și trasabilitatea încercărilor.

Tot în acest capitol se descrie obiectul cercetării din punct de vedere al capacității de cercetare, laboratorul de cercetări științifice specifice tematicei tezei de doctorat și organizat în cadrul LBCS UASM. Un loc aparte este rezervat modului de validare a rezultatelor, analizei erorilor determinării intervalului de încredere a datelor experimentale.

Capitolul III abordează necesitatea completării cunoașterii mai profunde și exacte a potențialului de reziduuri agricole pretabile pentru utilizare în calitate de materie primă la producerea peleților de foc. Pentru realizarea scopului propus a fost analizat potențialul de biomasă provenită din diferite zone ale Republicii Moldova. În baza studiului efectuat au fost identificate principalele surse de biomasă provenită din activități agricole cu cuantificarea acestora cu termeni de energie și potențial de materie primă pentru producerea peleților de foc.

În rezultatul estimării capacității calorifice a diferitor reziduuri provenite din activități agricole în raionul Soroca, s-a constatat că doar 5% din aceste reziduuri asigură obținerea peleților de foc cu caracteristici conforme cerințelor normelor internaționale ENPlus 3, cca 20% din reziduuri au o putere calorifică apropiată de cea cerută de către normele ENPlus și pot fi folosite în calitate de adaosuri la formarea amestecurilor de materie primă. Celelalte tipuri de biomasă provenită din reziduuri agricole pot fi folosite doar la producerea biocombustibililor solizi de calitate inferioară sau necesită o prelucrare suplimentară chemată să sporească calitatea produsului finit.

Capitolul IV prezintă rezultatele experimentale și discuții privind posibilitățile de sporire a calității peleților de foc produși din reziduuri agricole. S-au studiat căile de sporire a calității peleților prin optimizarea regimurilor de condiționare primară a biomasei și prin formarea amestecurilor de biomasă folosind reziduurile agricole, lemnul de foc și diferite culturi energetice.

Rezultatele obținute în cadrul studiului realizat au scos în evidență că puterea calorifică a peleților confecționați din paie de grâu cu adaos de biomasă lemnoasă posedă o putere calorifică care se înscrie în cerințele calificative europene ENplus. Astfel, adăugând la paiele de grâu 30% de biomasă lemnoasă și 30% de biomasă din salcie energetică s-a reușit majorarea puterii calorifice a peleților, în raport cu cei produși dor din paie de grâu, cu 9,6% și micșorarea conținutului de

cenușă până la 2,92%. Experimentele efectuate au mai arătat că peleți care în conținutul său au doar biomasă din paie, practic, nu pot fi certificați cu calitativele ENplus 3, înscriindu-se în clasele de calitate A3, A4 și A5.

Investigarea influenței parametrilor densificării biomasei în peleți, realizată prin folosirea unui experiment polifactorial cu patru factori de influență, a scos în evidență că producerea peleților cu densitatea particulelor mai mare de 1,0 $g \cdot cm^{-3}$ poate fi realizată la temperatura matriței de cel puțin de 80 ºC, cu condiția că umiditatea inițială a biomasei să nu depășească 12%. Această densitate a particulelor asigură o densitate în vrac a peleților mai mare de 600 $kg \cdot m^{-3}$, adică la acest indicator peleții corespund cerințelor ENPlus 3.Tot în capitolul IV a fost cercetată posibilitatea sporirii calității peleților de foc produși din reziduuri agricole prin torefierea materiei prime. Rezultatele au demonstrat posibilitatea sporiri puterii calorifice a peleților produși din paie de grâu și reziduuri lemnoase pînă la valori care sunt cerute de către normele ENPlus 3.

Dacă peletizarea are loc la temperaturi mai mari de 80 ºC, umiditatea materiei prime înainte de densificare poate fi mărită proporțional cu mărirea temperaturii peletizării, însă nu mai mult de 15%. De asemenea, s-a constatat că cea mai mare putere calorifică a peleților se obține când umiditatea inițială a biomasei se află în diapazonul 10±2%.

Tot în capitolul IV a fost cercetată posibilitatea sporirii calității peleților de foc produși din reziduuri agricole prin torefierea materiei prime. Rezultatele au demonstrat că folosirea pre-tratării biomasei prin torefiere permite mărirea puterii calorifice a peleților produși din paie de grâu și reziduuri lemnoase până la valori cerute de către normele ENPlus 3.

Capitolul se încheie cu recomandări referitoare la întocmirea procesului tehnologice de producere a peleților cu folosirea pre-tratării biomasei prin torefiere și cu aspecte tehnico-economice rezultate de la implementarea elaborărilor propuse în lucrare.

În ultimul compartiment al tezei de doctorat se sinterizează principalele rezultate și se prezintă contribuțiile personale ale autorului.

1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL TEHNOLOGIILOR DE OBȚINERE A PELEȚILOR DIN REZIDUURI AGRICOLE ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA

1.1. Generalități. Calitatea peleților și factorii care o influențează

Condițiile climaterice, fertilitatea ridicată a solurilor și situația demografică a Republicii Moldova sunt favorabile pentru dezvoltarea agriculturii care generează o cantitate importantă de reziduuri [5, 9, 12, 36-38]. De exemplu, studiile realizate de către noi în anul 2013 arată că sectorul agricol produce, doar de la cultivarea culturilor erbacee, reziduuri care pot fi folosite în scopuri energetice cu un potențial de cca. 25 PJ [9, 12]. O altă sursă de biomasă pentru scopuri energetice o constituie reziduurile provenite din silvicultură și industria lemnului.

Experiența din industria biocombustibililor arată că majoritatea producătorilor din Republica Moldova folosesc, pentru fabricarea biocombustibililor densificați calitativi, doar biomasă lemnoasă provenită din tăieri de păduri, rezervele cărei sunt catastrofal limitate.

La mod general, în Republica Moldova, există trei aspecte importante care condiționează folosirea reziduurilor lignocelulozice pentru obținerea biocombustibililor densificați: tendința de a reduce consumul de lemn în industrie; utilizarea reziduurilor agricole pentru alte activități decât cele energetice (sectorul zootehnic, producerea compostului, folosirea în calitate de fertilizanți naturali etc.); calitatea inferioară a biomasei obținută din reziduuri agricole.

Prin urmare, industria producătoare de biocombustibili solizi se află în căutarea unor surse de materie primă calitativă alternativă (de exemplu, culturile energetice) sau de îmbunătățire a parametrilor calitativi ai materiei prime existente.

Dintre biocombustibilii solizi densificați, cel mai întrebați sunt peleții, deoarece, ei sunt mai ieftini de cât combustibilii fosili, iar în raport cu alte tipuri de biocombustibili, sunt mai eficienți din punct de vedere al randamentului de ardere, prezintă avantaje la posibilitățile de automatizare a procesului de combustie, a controlului și siguranței în utilizare [7 p. 96].

Peleții din lemn sunt produși prin densificarea biomasei solide pulverizate cu sau fără aditivi. Astăzi, peleții prezintă un mod eficient de utilizare a biomasei pentru scopuri energetice. Anume din acest motiv, peleții sunt forma de biocombustibili solizi care au cunoscut cea mai rapidă creștere în ultimii ani, dar și o sursă de subiecte cercetate destul de profund. Cu toate acestea, rezultatele prezente în literatura de specialitate adese poartă un caracter contradictoriu, în special, ce ține de tehnologicitatea procesului de fabricarea, fiabilitatea tehnologică, asigurarea calității tehnologice, impactului folosirii resurselor de biomasă, provenită de la activități agrosilvice, asupra durabilității agriculturii și mediului etc.

Peleții din lemn au început să fie folosiți încă începând cu ani 30 ai secolului trecut, devenind deosebit de populari în timpul crizei de petrol din 1973-1979. Atunci, atât în Europa, cât și în America de Nord au început intensiv să se caute surse de energie alternativă, printre care peleții de foc din biomasă au ocupat o poziție dominantă [5, pp. 127-128].

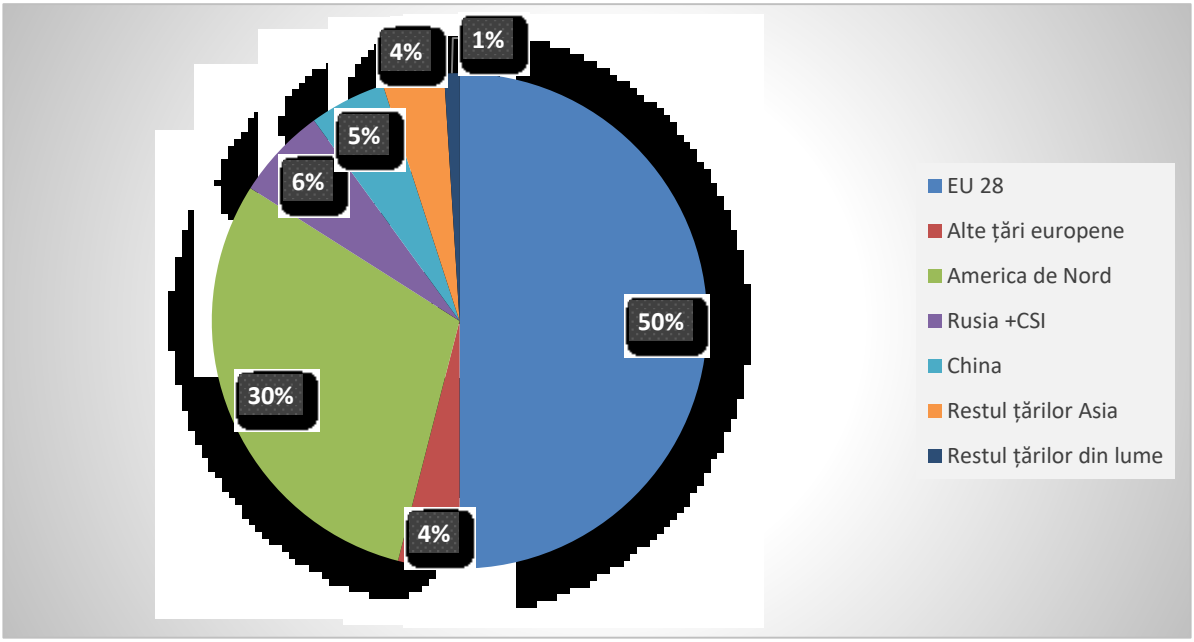


Figura 1.1. Producerea mondială de peleți. *Sursă: Hawkins Wright, EPC Survey*

Cel mai mare producător de peleți este Europa, producând cca. 50 % din volumul de peleți produși la nivel mondial. Astfel, în anul 2014, în Europa au fost produse 13,5 milioane tone de peleți din 27 milioane tone producție mondială [6].

În ciuda situației privind producerea și consumul de peleți în țările dezvoltate, la noi, în Republica Moldova, dezvoltarea acestei ramuri este destul de modestă. Acest lucru ar putea fi explicat, parțial, prin costuri semnificative al investițiilor necesare pentru lansarea afacerii, dar, nu în ultimul rând, și prin calitatea peleților produși din materie primă autohtonă.

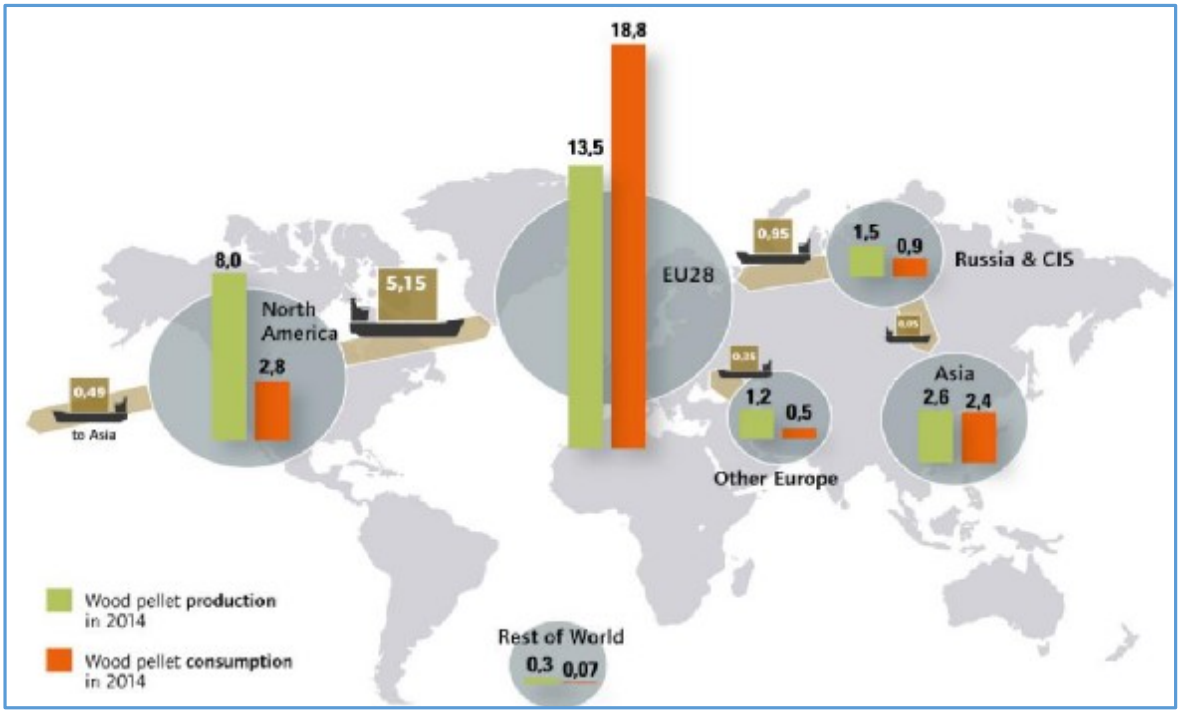


Figura 1.2. Producția/consumul global și fluxurile comerciale de peleți în anul 2014: *Sursă: EPC Survey, Hawkins Wright, FAO*

Prin calitatea peleților se are în vederea ansamblul de caracteristici care-i conferă acestora capacitatea de a satisface anumite cerințe exprimate sau implicite ale consumatorului. Cerințele de calitate deferă în funcție de destinația peleților.

Peleții după destinație sunt grupați în două categorii: peleți pentru consum neindustrial și peleți pentru consum industrial. Cerințele față de peleții pentru consum neindustrial sunt mai rigide și, la noi în țară, sunt reglementate de către standardul SM EN ISO 17225-2: 2016. Standardul reglementează următoarele caracteristici obligatorii ale peleților: conținutul de umiditate, conținutul de cenușă, densitatea în vrac, conținutul de elemente fine, durabilitatea, puterea calorifică inferioară la recepție, conținutul de elemente chimice.

Pe plan mondial, piața de peleți cunoaște o dezvoltare rapidă, iar cerințele referitoare la calitate devin din ce în ce mai riguroase. La rândul său, asigurarea nivelului de calitate cerut presupune respectarea unui șir întreg de exigențe care trebuie respectate pe întregul lanț de aprovizionare, de la alegerea materiei prime, până la livrarea produsului finit utilizatorului. Anume din acest motiv, Consiliul European de Peleți și Asociația Europeană de Biomasă au venit cu noi modificări referitoare la cerințele de calitate ale peleților, cerințe care au fost formulate în normele ENplus-3. În aceste norme indicatorii de calitate sunt integrați cu cerințele referitoare la sustenabilitatea mediului şi durabilitatea agriculturii.

Condițiile de calitate, prescrise în standardul SMV EN 14961-2, au devenit învechite și au fost înlocuite cu cele ale standardului SM EN ISO 17225-2:2016.

Tabelul 1.1. Cerințe minime referitoare la principalii parametri de calitate ai peleților din biomasă lemnoasă, conform SM EN ISO 17225: 2016

Proprietăți	**Unități de măsură**	**EN*plus* A1**	**EN*plus* A2**	**EN*plus* B**
Diametru	mm	6 ±1 sau 8 ±1		
Lungimea	mm	3,15 < L ≤ 40 4)		
Umiditate	W -% 2)	≤ 10		
Cenușă	W -% 3)	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0
Durabilitatea mecanică	W -% 2)	≥ 98,0 5)	≥ 97,5 5)	
Fracție fină (< 3,15 mm)	W -% 2		≤ 1,0 6) (≤ 0,5) 7)	
Temperatura peletelor	ºC	≤ 40 8)		
Puterea calorifică inferioară	kWh/kg (MJ/kg) 2)	≥ 4,6 (16,5) 9)		
Densitatea în vrac	Kg/m3 2)	600 ≤ BD ≤ 750		
Aditivi	W -% 2)	≤ 2 W-% 10)		
Azot, N	W -% 3)	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1
Sulf, S	W -% 3)	≤ 0,04	≤ 0,05	
Clor, Cl	W -% 3)	≤ 0,02		≤ 0,03
Temp. Fuziune cenușă 1)	ºC	≥ 1200	≥ 1100	
Arsen, As	mg/kg 3)	≤ 1		
Cadmiu	mg/kg 3)	≤ 0,5		
Crom	mg/kg 3)	≤ 10		
Cupru	mg/kg 3)	≤ 10		
Plumb	mg/kg 3)	≤ 10		
Mercur	mg/kg 3)	≤ 0,1		
Nichel	mg/kg 3)	≤ 10		
Zinc	mg/kg 3)	≤ 100		

1) cenușa produsă la 815 ºC
2) la recepție
3) în bază uscată
4) se permite 1% de pelete mai lungi de 40 mm, dar să nu depășească 45 mm
5) la punctul de încărcare al unității de transport (camion, navă) la locul de producție 6) - la poarta fabricii sau atunci când se încarcă în camion pentru livrările către utilizatorii finali (o partea din încărcătura livrată și încărcătura completă livrată
7) la poarta fabricii, la umplerea sacilor cu pelete sau la sigilarea sacilor mari
8) la ultimul punct de încărcare pentru livrările în camioane a (livrare parțială și livrare completă)
9) la recepție
10) cantitatea aditivilor în producție se limitează la 1,8% în greutate, cantitatea de aditivi în post-producție (de exemplu, uleiuri de acoperire) se limitează la 0,2% din greutate din granule.

Din tabelul 1.1 se evidențiază un șir de proprietăți fizice și chimice ale peleților, proprietăți care pot obține diferite valori în funcție de o mulțime de factori de influență care se pronunță în diferite etape ale ciclului de producere.

Proprietățile fizice sunt importante pentru performanța finală a sistemului de combustie și logistica peleților, iar proprietățile chimice sunt factorii care sunt responsabili pentru puterea de ardere, fiabilitatea centralelor termice și impactul asupra mediului.

Producerea peleților cu proprietăți conforme cerințelor ENPlus din materie primă autohtonă este destul de problematică. Din acest motiv, este foarte important să se cunoască factorii care influențează sistemul de densificare a peleților, iar în consecință calitatea integrală a acestora.

Variabilele procesului de densificare pot fi grupate în trei clase distincte:

1. Variabilele materiei prime;
2. Compoziția biomasei;
3. Variabilele procesului.

1.2. Calitatea peleților funcție de variabilele materiei prime

1.2.1. Variabilele materiei prime

Variabilele materiei prime, care influențează cel mai mult calitatea peleților, includ originea biomasei, conținutul de umiditate, dimensiunile, forma și distribuția particulelor [20, 23, 79].

În conformitate cu standardul SM EN ISO 17225-1:2016, biomasa folosită în calitate de materie primă la producerea peleților este clasificată în patru mari categorii:

- Producție forestieră și pomicultură: lemn, reziduuri din tăierea lemnului, rumeguș, copaci, arbuști, așchii, coajă, etc., rezultate din exploatarea și curățarea pădurilor, îngrijirea plantațiilor pomicole, grădinilor, parcurilor, viilor, mentenanța drumurilor;

- Reziduuri: rezultate din producția agricolă, din procesele agricole, deșeuri urbane organice;

- Culturi energetice cultivate special pentru scopuri energetice.

Deoarece subiectul acestei lucrări se referă la biomasa provenită din activități agricole prezentăm clasificarea acestui tip de biomasă efectuată de către Marian [5, p. 79].

Tabelul 1.2. Resurse de biomasă, provenită din activități agricole disponibilă pentru scopuri energetice în Republica Moldova

Resursa			
Erbacee	Culturi cerealiere	Plante integre	Plante integre de cereale păioase (grâu, secară, orz, ovăz, triticale) și cereale panicoideae (porumb, sorg, mei, hrișcă)
		Paie	reziduuri în formă de paie de grâu, secară, orz, ovăz, triticale, tulpini de porumb, sorg, mei, hrișcă
		Boabe și semințe	boabe și semințe (de regulă cele de calitate inferioară sau degradate) de grâu, secară, orz, ovăz, triticale, porumb, sorg, mei, hrișcă
		Pleavă și coji	pleavă și coji de grâu, secară, ovăz, triticale, mei, porumb, sorg, pănuși de porumb
		Amestecuri și mixturi	Amestecuri de mixturi din biomasă provenită din culturi cerealiere
	Ierburi	Plante integre	Plante integre de lucernă, sparcetă, trifoi, sulfina, măzăriche, iarbă de sudan, hrișcă de sahalin, silfie etc.
		Paie	Reziduuri în formă de paie de la plante erbacee
		Semințe	Semințe de anumite specii de plante erbacee
		Coji	Coji din anumite plante erbacee
		Amestecuri și mixturi	Amestecuri și mixturi din biomasă provenită din plante erbacee
	Plante oleaginoase	Plante integre	Plante integre de f.-soarelui, rapiță de toamnă și de primăvară
		Tulpini, frunze	Tulpini și pălării de floarea-soarelui, tulpini și frunze de rapiță
		Semințe	Semințe de floarea-soarelui și rapiță
		Pleavă și coji	Coji de floarea-soarelui
		Amestecuri și mixturi	Amestecuri de mixturi din biomasă provenită din plante oleaginoase
	Culturi rădăcinoase leguminoase	Plante integre	
		Tulpini și frunze	
		Rădăcini	
		Amestecuri și mixturi	
	Biomasă ierboasă provenită din îngrijirea grădinilor, parcurilor, viilor, livezilor și mentenanța drumurilor		
	Amestecuri și mixturi din biomasă erbacee		
Lemnoasă	Copaci și arbori fructiferi	Copaci integri fără rădăcini	
		Copaci integri cu rădăcini	
		Lemn de trunchi	
		Lemn de rădăcini	
		Reziduuri de la tăierea și îngrijirea pomilor și arborilor fructiferi	
	Viță-de-vie	Tufe integre fără rădăcini	
		Tufe integre cu rădăcini	
		Lemn de trunchi și coarde	
		Lemn de rădăcini	
		Reziduuri de la tăierea și îngrijirea viței de vie	

Datele noastre preliminare [116, 117], cele prezente în literatura de specialitate de către alți autori [47, 49, 50, 51], precum și experiența producătorilor de peleți demonstrează că, din potențialul prezentat în tabelul 1.2, doar o parte de reziduuri sunt folosite la producerea peleților. Această situație este dictată de faptul că o mare cantitate din reziduurile enumerate posedă anumite caracteristici calitative care nu se înscriu în cerințele normative ENPlus. Mai mult ca atât, proprietățile calitative ale biomasei, provenite din reziduuri agricole, sunt influențate de un șir de factori specifici condițiilor concrete de cultivare, depozitare, procesare.

În această situație, este argumentat un studiu complex, mai profund, al factorilor care influențează calitatea materiei prime și al posibilității folosirii efective a reziduurilor agricole la producerea peleților de foc.

1.2.2. Influența umidității materiei prime asupra calității peleților de foc

Conținutul de umiditate în materia primă influențează direct un șir de indici fizico-mecanici ai produsului finit, cheltuielile legate de condiționarea materiei prime, lucrul cazanelor și randamentul acestora, comoditatea în exploatare, conservabilitatea și eficiența în exploatare a biocombustibililor solizi densificați [7, pp. 46-53].

Umiditatea totală a biomasei vegetale este alcătuită din două componente distincte: umiditatea exterioară (de îmbibație) care se conține în porii, capilarele, micro și macro neregularitățile biocombustibililor solizi și umiditatea interioară (higroscopică), care prezentă cantitatea de apă rămasă după îndepărtarea umidității de îmbibație.

Umiditatea higroscopică este constituită din umiditate de absorbție, hidratantă și pirogenetică. *Umiditatea de absorbție* se află parțial în stare coloidală fiind repartizată uniform în masa biocombustibilului, *umiditatea hidratantă* este parte componentă a moleculelor impurităților minerale iar u*miditatea pirogenetică* este reprezentată în formă de compuși de oxigen și hidrogen.

Atât biomasa vegetală, folosită în calitate de materie primă, cât și peleții, obținuți din această biomasă, în natură, sunt materiale higroscopice. Prin urmare, aceste materiale au capacitatea de a face schimb de umiditate cu atmosfera, iar ca rezultat au și proprietatea de a-și schimba anumite calități, în special, puterea calorifică, durabilitatea, stabilitatea în timpul transportării și păstrării.

Rezultatele experimentale, obținute de către cercetătorii din Universitatea de Științe Agricole din Suedia *Christofer Rhern, Rolf Gref* [11 p. 15], au scos în evidență variația absorbției de umiditate, a densități particulelor și a rezistenței la compresiune specifice peleților produși din molid funcție de umiditatea inițială a biomasei și temperatura peletizării. În baza cercetărilor experimentale, s-a demonstrat că, pentru peleții obținuți din biomasă de pin, ce-a mai bună

durabilitate mecanică și densitate a particulelor se obține la temperaturi ridicate și conținut scăzut de umiditate. De asemenea, s-a constatat că rezistența mecanică a peleților este direct influențată de densitatea particulelor care, la rândul său, este puțin dependentă de forța de presare, indicând faptul că presiunea în matriță nu are nevoie să fie mai mare de 50 MP.

Robert Samuelsson, Sylvia H. Larsson, Mikael Thyrel, Torbjųrn A. Lestander [10], studiind formarea legăturilor de coeziune dintre particulele materiei prime, la fabricarea peleților din pin, au stabilit că calitatea optimă a peleților se obține în cazul conținutul de umiditate a materiei prime de 11 -13 % după o depozitare de 120 zile. Conform cercetărilor realizate în Austria de către *Obernberger și Thek* [15], un conținut de umiditate a materiei prime în limitele 8 – 12 % asigură o calitate ridicată a peletelor produși din diferite tipuri de biomasă lemnoasă.

Analizând influența umidități biomasei asupra durabilității peleților, *Tumularu et al.* [20 p. 26-28; 21], au stabilit că densificarea particule poate fi realizată prin trei căi: a) prin micșorarea temperaturii de vitrificare (sticlizitate); b) prin promovarea unor punți solide de legătură; c) prin creșterea suprafețelor de contact ale particulelor datorită forțelor van der Waals. Ei au confirmat rezultatele obținute de către *Mani, Tabil și Sokhansanj* în 2003 -2006 [22-24], că umiditatea, în anumite proporții și la anumite temperaturi, acționează, în timpul densificării, ca un liant, contribuind la sporirea adeziunii dintre particulele densificate. Acest proces este explicat prin creșterea legăturilor van der Waals și, implicit, prin mărirea suprafeței de contact a particulelor. Autorii mai constată că influența conținutului de umiditate asupra densificării, pentru diferite tipuri de biomasă, este diferit și necesită cercetare individuală pentru fiecare caz aparte.

În cercetările realizate în continuare de *Yancey, Tumularu et al.* [25] s-a arătat posibilitatea procesării biomasei obținute din reziduuri de porumb cu conținut inițial de umiditate sporit. Astfel, analizând cheltuielile specifice pentru diferite operații, autorii au arătat posibilitatea obținerii peleților densificați din biomasă de porumb cu umiditatea inițială în diapazonul 28-38%. Pentru aceasta au fost folosite operații cum ar fi preîncălzire materiei prime în cicloane (uscătoare rotative) amplasate în serie, care usucă biomasa până la 15%. Ei au arătat că pentru uscarea biomasei de la 30% până la 15% se folosește 70% din energia consumată pentru procesare, pe când pentru peletizarea propriu zisă a peleților – doar 7%.

Cercetările, realizate de către *Kaliyan, N., Morey, R.V.* [27, 28], referitoare la caracteristicile de densificare a biomasei provenită din reziduuri de porumb, au arătat că mărirea conținutului de umiditate în bază umedă de la 10 la 15% sporește durabilitatea peleților de la 62 la 84%, iar pentru densificarea biomasei lemnoase, *Li, Yadong și Liu, Henry* postulează valoarea conținutului de umiditate în diapazonul 6 – 12% [29], pe când *Obernberger, I. și Thek, G* [30], pentru același tip de biomasă, recomandă conținutul de umiditate în limitele 8 – 12%.

Efectul conținutului de umiditate asupra durabilității peleților produși din paie de grâu a fost studiat de către *O'Dogherty, M.J și Wheeler, J.A*. [31]. Acești autori susțin că intervalul optim al umidității se află în limitele 10 – 20%.

Pentru peleții obținuți din biomasă erbacee în amestec cu 20 % lucernă, conținutul optim de umiditate este de 11%. Autorii *Shrivastava, M., Shrivastava, P. și Khankari, K.K*. [32] afirmă că devierea de la această valoare are un impact semnificativ asupra calității produsului finit.

În baza celor analizate se poate concluziona că umiditatea inițială a biomasei participă în formarea structurii peleților. Presiunea presării formează condiții favorabile pentru apariția legăturilor intermoleculare datorită apropierii dintre particule. Totodată conținutul de umiditate din biomasă poate avea rol de ranforsare a acestor legături sau, invers, de slăbire a acestora.

În cazul conținutului optim de umiditate, atracția intermoleculară se pronunță mai activ, contribuind la formarea unor legături de adeziune și coeziune stabile. Dacă conținutul de umiditate este mai mic ca cel necesar, atunci se micșorează suprafața de contact al particulelor acoperite cu straturi fluide de apă, ce rezultă rezistență scăzută a peleților. În acest caz sunt necesare presiuni mai mari pentru formarea contactului util, lucru care, tehnologic, este destul de problematic. Totodată, presiunea excesive poate duce la îngroșarea filmului de apă în rezultatul evacuării umidității higroscopice din capilarele interioare deformate. Surplusul de umiditate, de asemenea, influențează negativ durabilitatea peleților din cauza creșterii grosimii filmului de apă și reducerii forțelor de adeziune ale particulelor.

De aici rezultă importanța cunoașterii umidității inițiale optime, dar și modul de condiționare a umidități pentru asigurarea caracteristicilor de calitate scontate ale produsului finit. De adăugat că, datele referitoare la conținutul optim de umiditate la densificarea biomasei în peleți, acoperă o gamă largă chiar pentru una și aceiași specie de plantă, însă, adesea, aceste date poartă un caracter destul de variat, iar în unele cazuri chiar contradictoriu. Probabil că această situație are loc din cauza unor particularități de structură a biomasei respective care depinde de mai mulți factori, inclusiv locul și anul prelevări, condițiile de cultivare etc. Această situație motivează studierea proceselor dependente de conținutul de umiditate pentru diverse tipuri de biomasă autohtonă.

1.2.3. Influența granulației materiei prime asupra calității peleților de foc

Dimensiunile particulelor forma și distribuția acestora sunt factorii care influențează mult mecanismul de creare a forțelor de legătură intermoleculară în procesul de densificare a biomasei prin presare. Valoarea legăturilor intermoleculare este dependentă de mai mulți factori, printre care mai importanți sunt:

- capacitatea de combinare a atomilor, adică numărul electronilor cu care atomul participă la formarea legăturilor chimice (electronii de valență);
- legăturile de hidrogen sau puntea de hidrogen;
- forțele van der Waals, care reprezintă forțele de atracție dintre moleculele neutre.

În general, legăturile intermoleculare sunt invers proporționale cu mărimea particulelor, deoarece particulele mai mici formează o suprafață de contact mai mare la densificare. Însă, atunci când particulele sunt foarte mici produsul finit își pierde consistența fibrei și nu face priză în faza de densificare [7, p. 103].

Procesul de peletizare, fiind unul complex și de importanță majoră la producerea peleților, a fost studiat de mai mulți autori. Astfel, *Mani et al.* [23, 24, 39, 40], au studiat și descris mecanismul de compactare a paielor, a reziduurilor din culturi de câmp, utilizate în calitate de grosiere la hrana animalelor și a plantei erbacee (switchgrass) folosind diferite modele de compactare. Cea mai bună densificare, pentru materialele studiate, s-a obținut în cazul cernerii prin sita cu ecranul ochiurilor egal cu 3,2 mm.

Nguyen et al. din Centrul de Cercetare a Materialelor Renovabile din Canada [41] au studiat efectele parametrilor procesului de peletizare și caracteristicile materiei prime asupra proprietăților fizice și mecanice ale peleților produși din arțar de zahăr. Analizând diferiți indicatori tehnici și economici ai procesului de peletizare din biomasă obținută din arțar de zahăr viguros și neviguros, mărunțită cu site de 1,5 și 2,6 mm, au constat că peleții, obținuți din biomasă cu granulația 1,5 mm, cedează celor produși din biomasă cu granulația 2,5 mm. Autorii explică acest fapt prin existența unei cantități mai mari de fracție fină în cazul mărunțirii cu site 1,5 mm (31,9 % pentru lemnul neviguros și 22,9 % pentru lemn viguros). În cazul mărunțirii cu site 2,5 mm, conținutul de fracție fină este semnificativ mai mic (13,1 % pentru lemn neviguros și 10,7 pentru lemn viguros). În plus, la producerea peleților din lemn neviguros consumul de energie este mai mic și pericolul de blocare redus. Acest fenomen se explică prin micșorarea coeficientului de frecare, care apare în timpul densificării între biomasă și canalele matriței.

Există un șir de cercetări realizate pe peleți furajeri, care recomandă pentru peletizare să se folosească biomasă cu granulație mult mai fină. De exemplu, Turner [65] afirmă că peleți buni pot fi obținuți în cazul granulației 0,6 – 0,8 mm, iar Franke și Rey [66] recomandă pentru obținerea unor peleți durabili să se folosească biomasă cu dimensiunile particulelor în limitele 0,5–0,7 mm. Ei menționează că particulele mai mari de 1 mm pot predetermina apariția unor punți de rupere în interiorul peleților. Autorii mai atenționează că, cu toate că particulele fine asigură producerea peleților mai durabili, includerea în procesul tehnologic a mărunțirii fine nu se recomandă din cauza creșterii costului de producție.

Cercetările realizate de către Payne tot pe peleți furajeri [68, 69] scot în evidență că peleții cei mai durabili se obțin în cazul folosirii amestecurilor de particule cu diferite dimensiuni, deoarece variația de dimensiuni contribuie la micșorarea numărului de goluri dintre particule, astfel mărind suprafața de contact inter fazică și evident, numărul de legături de adeziune și coeziune.

Investigațiile comune realizate de către cercetătorii din Canada și SUA *Hamid Rezaei , C. JimLima, Anthony Lau* și *Shahab Sokhansanj* [42] experimental au arătat că dimensiunile, forma și densitatea particulelor de biomasă influențează transportabilitatea și fluidizarea peleților, rata de uscare și cea de descompunere.

Cercetătorii din universitate Tehnică din Turcia *H. Haykiri-Acma, A. Baykan, S. Yaman, și S. Kucukbayrak* în rezultatul studierii capacității de ardere a biomasei din cojaă de alune de pădure au stabilit că granulația acesteia influențează procesul de ardere, explicând acest lucru prin variația conținutului de extractive funcție de granulație [43].

Cercetătorii din Suedia *Dan Bergströma, Samuel Israelssonb, Marcus Öhmanc, Sten-Axel Dahlqvistd, Rolf Grefa, Christoffer Bomanb, Iwan Wästerlund* [44] au studiat influența dimensiunilor particulelor rumegușului din pin scoțian asupra calității peleților produși la presiuni ridicate. Pentru aceasta rumegușul, uscat în prealabil până la un conținut de umiditate (M_{ar}) de 8,7%, a fost măcinat într-o moară cu ciocane și cernută prin 4 site cu ecranul ochiurilor de 1,0; 1,9; 4,0 și 8 mm. Rezultatele au arătat următoarea situație:

Conținutul de fracție fină, (< 3,15 mm) a peleților se mărește odată cu micșorarea dimensiunilor particulelor. Peleții fabricați din biomasă cu particule mai mici de 1 mm conțin 1,5 % fracție fină și. respectiv, cei fabricați din biomasă cu dimensiuni 1 … 2 mm – 1,4%; 2 … 4 mm – 0,8%. Autorii n-au determinat motivul acestor rezultate, însă au expus afirmațiile lui Li [29] despre o posibilă consecință a elasticității și conținutului de umiditate diferit a particulele materiei prime. Particulele mai lungi aderă mai bine între ele datorită forțelor de adeziune mai pronunțate, pe când particulele mici, fiind supra uscate, aderă mai slab una cu alta.

Referitor la densitatea particulelor, autorii au ajuns la concluzia că, în cazul peletizării la presiuni mari, peleții arată densități, aproximativ, egale. Totodată, ei nu neagă rezultatele obținute de către alți autori pentru cazul peletizării singulare la presiuni mici și mijlocii, de exemplu, rezultatele obținute de către Mani et al. [39]. Aceiași situație s-a urmărit și în cazul studierii dependenței umidității și rezistenței la abraziune a peleților funcție de dimensiunile particulele. Practic, toate probele au arătat același conținut de umiditate și rezistență la abraziune. În schimb, rezistența la compresiune variază mult funcție de dimensiunile particulelor, remarcând 61,2 N mm^{-}

[1] pentru peleții produși din biomasă cu particule fine și 40,1 pentru peleții produși din biomasă cu fracția grosieră [44, tab. 3].

Un studiu realizat de *Serrano et al*. [55] a indicat rezultate opuse atunci când au comparat peleții fabricați la instalații de laborator cu cei fabricați industrial.

În baza analizei celor constatate în acest studiu, realizat de către diferiți autori, se poate afirma că dimensiunile particulelor au o anumită influență asupra caracteristicelor peleților și că această influență este mai pronunțată în cazul peletizării la presiuni mici și mijlocii. De asemenea, este evidentă dependența rezistenței la compresiune a peleților de dimensiunile particulelor și, implicit, că această dependență se răsfrânge la una din importantele caracteristici calitative a peleților – durabilitatea mecanică.

1.3. Calitatea peleților funcție de compoziția biomasei

Creșterea vertiginoasă a consumului de peleți din ultimii ani a avut drept rezultat diversificarea materiei prime folosite la producerea peleților. În consecință, industria a început să caute surse de materie primă accesibilă și ieftină cum ar fi biomasa vegetală rezultată din activități agricole și silvice, de la prelucrarea lemnului și a combinației acestora. Această diversificare de biomasă se deosebește prin anumite proprietăți fizice și mecanice care, într-o măsură mai mare sau mai mică, sunt condiționate de structura celulară a biomasei.

Comun pentru toate tipurile de biomasă vegetală este că aceasta este derivată din reacția dintre CO_2 în aer și lumina Soarelui prin fotosinteză, proces care determină structura biomasei și, în consecință, comportamentul chimic, fizic și termic al biomasei [56, 57 p. 23-32].

Cunoașterea compoziției chimice a biomasei are o semnificație importantă în estimarea utilizabilității pentru densificare și folosire a biomasei în scopuri energetice. În acest context, se poate face o distincție între structura moleculară a biomasei folosită, în special, la producerea peleților și cea elementară care este necesară pentru înțelegerea procesului de descompunere termică.

Biomasa vegetală este compusă din cca 90% carbon și oxigen și aproximativ 6% de hidrogen care sunt absorbite de către plantă sub formă de CO_2, O_2, H_2O sau HCO_3. Aceste trei componente se conțin în toți compușii biomasei vegetale.

Compușii chimici ai biomasei pot fi diferențiați în două clase mai importante: glucide (cca. 2/3 din volumul total de substanțe sintetizate) și substanțe organice cu conținut de azot.

Cele mai importante glucide sunt moleculele de celuloză (polimer C_6), înconjurate de hemiceluloză (polimeri predominat C_5 cu incluziuni C_6) și lignina care este depusă intre fibre. Conținutul acestor trei tipuri de biopolimeri, în masa totală a biomasei, este de cca. 95%. Proporția

rămasă este alcătuită dintr-o mulțime de materiale asociate, numite substanțe extractive în formă de rășini, grăsimi, tanin, amidon, zahăr, proteine și minerale.

Celuloza este un polimer natural, o polizaharidă cristalină formată din lanțuri lungi de molecule de glucoză (în mod normal 8000 - 10000 molecule de glucoză) cu o formulă generală $(C_6H_{10}O_5)_n$, în care n este gradul de polemizare și are valori cuprinse intre 700-800 și 2500-3000 [57 p. 19]. Celulozei îi revine rolul de a conferi plantei soliditate asigurată de către polimerii lungi care alcătuiesc fibrele plantei. Celuloza este insolubilă în apă și acizi slabi, nu degradează la încălzire până la 200 ºC și se aprinde la 275 ºC, iar temperatura de autoaprindere este de 420 ºC [5 p. 27]. Procentual celuloza din biomasa vegetală variază în limite foarte largi: 30 - 50 în paiele de cereale și stuf, 40 - 65 în masa lemnoasă, 7- 10% în unele plante lemnoase. Celuloza se folosește la producerea hârtiei, materialelor izolante, precum și în industria produselor cosmetice, textile și alimentare.

Hemiceluloza posedă un grad de polimerizare aproximativ de 200 – 300 ori mai mic decât celuloza și este o polizaharidă în formă de amestec complex de hexozani $(C_6H_{10}O_5)_n$, pentozani $(C_5H_8O_4)_n$, acid poliuronic și gume vegetale. Este concentrată în pereții celulelor vegetale, alături de celuloză și de lignină. Spre deosebire de celuloză, structura amorfă și ramificată a celulozei favorizează grupările OH să fie mai reactive în apă și acid diluat. În formă extrasă se folosește în calitate de liant la producerea cărbunelui activat, la fabricarea hârtiei pentru mărirea rezistenței acesteia, în calitate de agent de îngroșare și de gelificare în industria alimentară etc.

Lignina ($C_{40}H_{44}O_6$) este, de asemenea, un polimer fenolic foarte amorf cu greutatea moleculară nedeterminată, fiind al doilea component ca conținut după celuloză. Este, de fapt, un polimer natural aromatic, cu structura tridimensionala foarte complexă, acționează ca un liant ce solidarizează fibrele de celuloză. Fiind responsabilă pentru rigiditatea și rezistența mecanică în zona cuticulei celulelor, precum și în spațiile intercelulare. Cu toate că lignina este un material relativ rigid la temperatura camerei, odată cu încălzirea acestei la o temperatură de cca. 140 º C, ea devine plastică ce o face mai mobilă cu capacități sporite de formare a legăturilor active de adeziune și coeziune ale moleculelor de celuloză și hemiceluloză.

Conținutul de celuloză, hemiceluloză și lignină în biomasa vegetală este diferit și, drept rezultat, potențialul energetic al diferitor tipuri de biomasă este destul de variat. Totodată, deoarece conținutul principalelor elemente chimice, care sunt carbonul (C), hidrogenul (H) și oxigenul (O), nu deferă semnificativ de la un tip de biomasă la altul, rezultă că puterea de ardere a biomasei este cel mai mul influențată de raportul dintre aceste elemente. Cu cât raportul O/C și H/C este mai mic, cu atât puterea calorifică este mai mare. Astfel, cu cât conținutul de C din biomasă este mai mare cu atât puterea de ardere este mai mare [70].

Deoarece lignina conține cel mai mult C, energia termică a ligninei este mai mare și constituie cca. 5500 - 6500 kcal/kg în stare uscată [5 p. 28], iar cea a celulozei și hemicelulozei, care sunt mai sărace în carbon, este mai mică (4000 - 4500 kcal/kg în stare absolut uscată). De exemplu, puterea calorifică a biomasei provenită din lemnoase este mai mare, deoarece are un procentaj mai mare de lignină în comparație cu biomasa provenită din reziduuri agricole și culturi energetice erbacee care după cum se știe, au un procent mai mic de lignină.

Din cele menționate anterior rezultă că, la formarea constituției biocombustibililor solizi este necesar să se aibă în vedere specificul modificării ligninei la anumite temperaturi, dar și faptul că lignina este liantul principal în formarea integrității biocombustibililor solizi.

În același timp, o caracteristică completă a biomasei, folosite pentru producerea biocombustibililor solizi, presupune cunoașterea mai detaliată a compoziției chimice, în special a elementelor care influențează procesul de ardere, fiabilitatea utilajului de fabricare și a termocentralelor, precum și a celor care direct sau indirect au impact asupra mediului.

Printre elementele, conținutul cărora este reglementat de către standardele de calitate a peleților, se enumeră elementele chimice compuse dintr-un amestec de molecule organice cu conținut de hidrogen care, de obicei, includ atomi de oxigen, adesea azot, sulf și clor, precum și cantitățile de elementele majore formatoare de cenușă *(Al, Ca, Co, Fe, Mg, P, K, Si, Na și Ti),* elementele minore volatile *(As, Cd, Hg, Pb, Zn),* elementele non-volatile sau parțial volatile *(Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Mn și V).*

Biomasa vegetală, folosită la producerea peleților, conține până la 2 % de azot,, 1,8 % clor și cca. 7% sulf. Este necesar să se menționeze că normele ENPlus limitează conținutul de azot până la 0,04%, de sulf – 0,05 și de clor- până la 0,03%. Destul de severe sunt cerințele referitoare la conținutul elementelor majore și minore. De exemplu, conținutul semi-metalului *Arsen* nu trebuie să depășească 1 mg într-un kg de peleți, conținutul *cadmiului*, care este un metal foarte toxic, nu poate depăși 0,5 mg/kg, iar conținutul de mercur este și mai strict limitat – cel mult 0,1 mg/kg de peleți [5 p 75 - 78].

Azotul are impact negativ asupra mediului, favorizând formarea ploilor acide și a smogului prin oxizii de azot (NO_x), formați la arderea peleților [15].

Sulful produce o cantitate mare de căldură (cca. 15 MJ/kg), însă el se consideră dăunător, deoarece formează oxizi de sulf care activează coroziune elementelor metalice ale sistemelor de încălzire și posedă acțiune poluantă [30].

Conținutul de clor ia parte la formarea de compuși, cum ar fi HCI, dionine / furani. Cea mai mare parte a CI rămâne în cenușă (40-95%), restul formează HCI consolidată prin procese de condensare, care, împreună cu alți compuși, cauzează efecte corozive intense pieselor metalice ale

sistemelor de încălzire. În biomasa lemnoasă, clorul se conține în cantități mici, fiind depistat în reziduuri de la culturi tratate cu fertilizanți, îngrășăminte minerale etc.

Elementele majore formatoare de cenușă (Al, Ca, Co, Fe, Mg, P, K, Si, Na și Ti) sunt responsabile pentru comportarea cenușii la fuziune, formarea depunerilor pe grătare și procesele de coroziune. În plus, elementele volatile, cum sunt Na și K, sunt principalii componenți aerosoli, în formă de particule solide, aflate în dispersie în gazele eliminate de la ardere.

Elementele minore volatile (As, Cd, Hg, Pb, Zn) joacă un rol major în emisiile de gaze și, în special, de aerosoli, precum și la formarea depunerilor de zgură, la formarea și folosirea cenușii.

Elementele non-volatile sau parțial volatile (Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Mn și V) sunt elemente forte importante din componența cenușii rezultată de la arderea biocombustibililor și influențează utilizarea ulterioară a acesteia.

Este evident că, diversitatea mare de tipuri de biomasă cu caracteristici reprezentative, folosite la producerea peleților, a rezultat cerințe specifice tehnologice, dar și cerințe noi față de calitatea produsului finit. Astfel, în unele țări au apărut standarde de calitate folosirea cărora garanta utilizarea corectă a diferitor tipuri de biomasă, diversificarea pieței, unificarea metodelor de testare a peleților și materiei prime, certificarea corectă a produsului etc.

Începând cu anii 2000, standardele naționale au progresat și au fost grupate în specificațiile tehnice CEN/TS, iar din 2010, într-un șir de țări din Europa, a fost implementat standardul EN 14961. În Republica Moldova acest standard a fost acceptat în 2012 [5 p. 33-39]. Recent, standardul internațional SM EN ISO 17225 a înlocuit fosta specificație și a introdus noi clasificări a peleților și noi cerințe de calitate.

Standardul SM EN ISO 17225 a clasat peleții în două grupe cu cerințe de calitate strict formulate:

1. Clasa A - pentru sobe și cazane mici;
2. Clasa B – pentru cazane mai mari de 500 kW cu cerințe de calitate puțin mai scăzute.

Standardul include, de asemenea, un al doilea tabel, care definește cerințele de calitate pentru peleții de uz industrial, care sunt notați de la *I1* până la *I2*.

Noul standard, în raport cu standardul SMV EN 14961, a impus unele cerințe de calitate mai rigide, iar altele au devenit mai lejere. Astfel, cerințele referitoare la durabilitatea mecanică, conținutul de cenușă, puterea calorifică, conținutul de fracție fină, densitatea în vrac au devenit mai stricte, de asemenea, a fost limitată temperatura peleților la livrare și temperatura de fuziune a cenușii, care înainte erau opționale. În schimb, conținutul de sulf a fost micșorat până la 0,03 pentru clasa A și până la 0,04 pentru clasa B [52].

Concretizarea cerințelor față de materia primă folosită la producerea peleților au determinat extinderea grupurilor de biomasă folosite la producerea peleților, dar și căutarea de noi posibilități de dirijare cu proprietățile produsului finit [5 p. 147-152].

În condițiile Republicii Moldova, la momentul actual, principalele categorii de biomasă pretabilă de a fi analizată în calitate de materie primă pentru fabricarea peleților, poate fi clasată în: biomasă lemnoasă rezultată din activități agrosilvice (provenită din copaci, tufe și arbuști din păduri, plantații silvice etc.); biomasă provenită din culturi energetice; biomasă provenită din reziduuri agricole (rămășițe rezultate de la recoltarea sau prelucrarea produselor agricole și din zootehnie); biomasă din reziduuri industriale și co-produse de la fabricații industriale [5 p. 38].

Cercetările anterioare realizate de către noi [8, 12, 45, 46] și de alți autori [47 -51] denotă că folosirea biomasei provenite din activități agricole de anumite tipuri, de regulă, conduce la obținerea peleților de calitate inferioară în raport cu cele obținute din biomasă lemnoasă. Din acest motiv prezintă interes studiile realizate cu scopul stabilirii corelării dintre diferite proprietăți ale biomasei cu caracteristicile finale ale peleților.

Există mai multe studii cu privire la corelarea caracteristicilor biomasei cu parametrii calitativi ai produsului finit [11, 12, 47, 48 - 51] și de combinare a caracteristicilor biomasei cu parametrii peletizării [13, 14].

Într-un șir de lucrări se prezintă rezultate referitoare la influența anumitor componente ale materiei prime asupra calității peleților. În acest aspect, pe primul plan se află studiile referitoare la cercetarea influenței conținutul de substanțe extractive în materia primă asupra diferitor proprietăți fizice și mecanice. Astfel, Back [16] a arătat că, atunci când lemnul este proaspăt tăiat, substanțele extractive sunt concentrate la suprafața lemnului, formând un strat de dezactivare, care împiedică formarea legăturilor dintre particulele de lemn. Mai târziu, Stehr, M. și Johansson, I. [17] au numit acest strat – stratul delimitării slabe. S-a demonstrat că peleții, obținuți din rumeguș de pin, din care preventiv au fost scoase substanțele extractive, posedă o densitate a particulelor și o durabilitate mecanică mai mare ca peleții obținuți din rumeguș proaspăt (ne extractat).

Stelte și colegii din Laboratorul Național pentru energie sustenabilă (Universitatea Tehnică din Danemarca) și de la Facultatea de Științe ale Vieți (Universitatea din Copenhaga) [18] au studiat mecanismul de adeziune dintre particulele biomasei și evoluția defecțiunilor structurale în peleții produși din specii de biomasă tare, moale și din păioase (fag, molid și paie de grâu). Peleții au fost presați la temperatura de 20 ºC și 100 ºC.

Analiza rezultatelor obținute au scos în evidență că mecanismul de formare a legăturilor de coeziune și adeziune dintre particulele de biomasă este diferit și influențează direct proprietățile de integritate a peleților. Astfel, rezistența la compresiune a peleților din biomasă lemnoasă a fost

cu mult mai mare decât a peletelor din paie, atât pentru cele procesate la 20 ºC, cât și pentru cele procesate la 100 ºC. Autorii explică acest rezultat prin faptul că cantitatea de extractibile, depistată în cuticula celulelor de paie este cu mult mai mare ca cea din biomasa lemnoasă.

Aceleași cercetări realizate de către *Stelte* și colaboratorii arată, în mod convingător, că peleții presați la temperatura de 20 ºC, indiferent de originea biomasei, au o rezistență mai mică la tracțiune față de cei presați la 100 ºC. Ei au interpretat acest lucru ca dependența forțelor de adeziune de conținutul de extractive. Astfel, în paia a fost găsită o cantitate mult mai mare de extractive (4,6%) decât în speciile de lemn (în molid 1,8%, iar în fag doar 0,6%), lucru ce și-a găsit explicație prin cantități importante de ceruri semnalate în cuticula protectoare a celulelor de paie [18].

Influenta extractivelor asupra unor proprietăți fizico-mecanice ale peleților produși din pin alb, stejar alb și plop galben este demonstrată și de rezultatele cercetările realizate în Danemarca și SUA. Astfel, *Nielsen, N. P. K (Danemarca) și Cadner, D.J.* (SUA) au arătat că durabilitatea peleților este influențată de conținutul de extractive, deoarece acestea micșorează legăturile dintre moleculele particulelor de biomasă [19], lucru confirmat mai târziu și de către Samuelsson și colab. [10].

Bradfield și Levi [63] afirmă că durabilitatea peleților scade în cazul confecționați acestora din biomasă lemnoasă cu conținutul sumar de lignină și extractive mai mare de 34%. Autorii au presupus că acest efect este cauzat de pătrunderea între zonele de contact a unei cantități excesive de lignină și extractivi care, la anumite temperaturi, au rolul de separatoare de faze în formă de mastici, ceruri, grăsimi etc.

În baza analizei datelor din literatura de specialitate referitoare la dependența anumitor proprietăți fizico- mecanice ale peleților de conținutul de extractive, se poate înainta ipoteza despre posibilitatea sporirii calității peleților obținuți din biomasă autohtonă prin diverse procedee care ar micșora conținutul de extractive din biomasa folosită în calitate de materie primă.

Datele prezente în literatura de specialitate disponibilă poartă un caracter local și, practic, se referă doar la sursele de biomasă caracteristice zonelor geografice respective. Din acest motiv, pentru argumentarea ipotezei înaintate, este necesar să se studieze mai multe aspecte cum sunt:

- specificul și caracteristicile diferitor tipuri de biomasă autohtonă;
- optimizarea constituției amestecurilor materiei prime;
- folosirea suplimentară a diferitor procedee tehnologice de pretratare a materiei prime și de tratare a produsului finit;
- stabilirea regimurilor de lucru optime;
- argumentarea utilajului tehnologic, al sculelor și verificatoarelor.

1.4. Calitatea peleților în funcție de variabilele procesului de fabricație

1.4.1. Constatări cu privire la variabilele peletizării și mecanismul de formare a legăturilor de coeziune și adeziune dintre particule biomasei

Structura și proprietățile peleților, pe lângă natura materiei prime, sunt asigurate de variabilele de producție. Printre acestea se regăsesc: regimurile tehnologice (presiunea de comprimare, temperatura de formare a granulelor; viteza tăvălugilor); parametrii constructivi ai matriței (diametrul și lungimea canalelor, interstițiul dintre tăvălugi și matriță) și al.

Dintre cele mai importante proprietăți influențate de variabilele de producție ale peleților se menționează:

- Rezistența de rupere la compresiune;
- Durabilitatea mecanică;
- Densitatea particulelor;
- Forma geometrică a particulelor;
- Starea suprafeței particulelor.

Toate proprietățile rezultate de variabilele de producție sunt legate, indisolubil, de mecanismul peletizării și factorii care influențează acest mecanism.

Peleții se produc în granulatoare prin presarea biomasei, preventiv condiționată ca umiditate și fracție granulometrică, printr-o matriță cu canale cilindrice ale căror dimensiuni determină diametrul peleților. În rezultatul frecării dintre biomasa presată forțat și suprafețele canalelor se generează căldură care inițiază plasticizarea ligninei din biomasă, densificarea și integrarea peleților. Forțele fizice, care apar în timpul comprimării biomasei, sunt cruciale în capacitatea de densificare a peleților și în procesul de formare a legăturilor de adeziune dintre particule și de coeziune în interiorul particulelor.

Cu toate că mecanismul de formare a legăturilor dintre particulele de biomasă la densificare au alcătuit subiectul unor studii [18, 26, 27, 39, 71- 73], totuși, la ziua de astăzi, nu există o teorie unică a peletizării datele existente, în majoritatea cazurilor, limitându-se la tratări simpliste cu caracter experimental.

În această situație ar fi bine să apelăm la cunoștințele din domeniile conexe cum ar fi știința materialelor, presarea materialelor compozite, tabletarea în industria farmaceutică etc. În calitate de argument poate servi faptul că în procesul peletizării, practic, apar aceleași forme cunoscute de legături fizico-mecanice și fizico-chimice dintre particule. Printre acestea se regăsesc forțele capilare și tensiunile superficiale dintre fazele lichidă și solidă, forțele de adeziune și coeziune, forțele van der Waals, forțele electrostatice etc.

Unul din domeniile intens studiate se referă la producerea tabletelor farmaceutice, proces care este similar cu cel al peletizării biomasei lignocelulozice [81 - 84]. Autorii analizează două aspecte importante – primul comportarea particulelor sub presiune și al doilea – interacțiunea dintre particule.

Pietsch Wolfgang [85, p. 137] explică procesul de densificare a particulelor prin faza de reorganizare forțată a particulelor care necesită o presiune mică, urmată de a doua fază caracterizată prin creșterea brusc ascendentă a presiunii fapt care cauzează distrugerea particulelor mai fragile și deformarea celor maleabile. Pe parcursul întregului proces are loc micșorarea porozității datorită pătrunderii fazei fluide a materiei prime în spațiile libere dintre particule. Timpul presării trebuie să fie suficient pentru ca deformațiile elastice să se converseze în deformații plastice, iar particulele fragile să se distrugă.

Este evident că, cu cât durata acțiunii presiunii este mai mare, cu atât procesul densificării este mai complet însă, în același timp, mărirea duratei de acțiune a presiunii, inevitabil, duce la creșterea perioadei de fabricare a peleților, deci și la creșterea consumului de energie precum și a timpului de muncă al lucrătorului și utilajului. Din acest motiv, este important să se cunoască durata optimă a presării, valoare care derivă din viteza de rotire a tăvălucilor granulatoarelor.

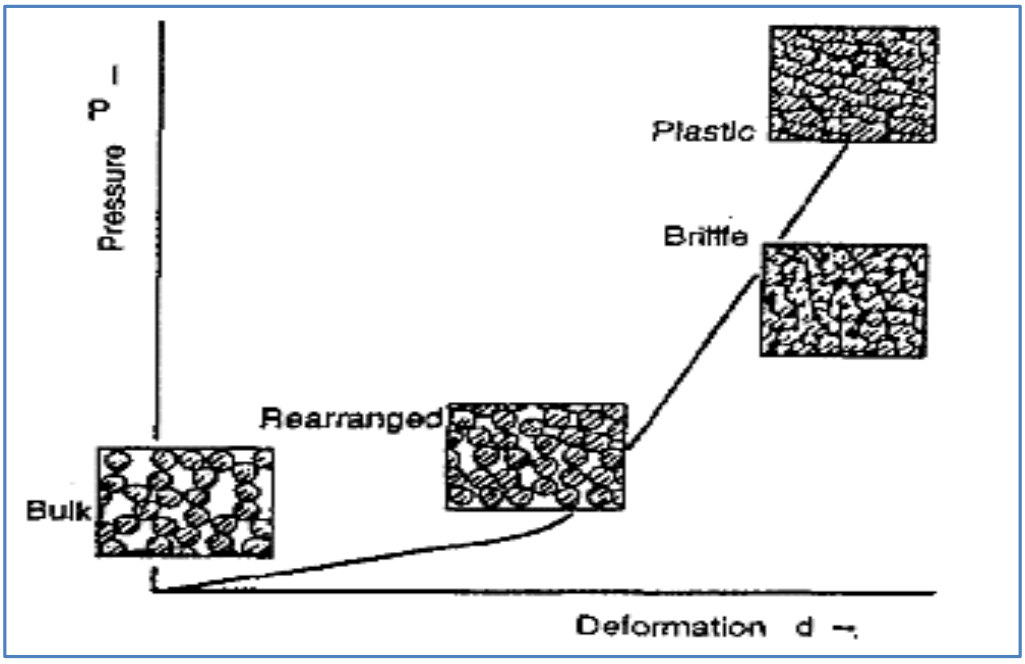


Figura 1.3. Mecanismele care au loc la densificarea particulelor solide [85]

În figura 1.4 *Pietsch* [85, p. 233] prezintă, prin patru modele, schimbarea structurală a unei mase de pulbere pe parcursul perioadei densificării cu viteză constantă.

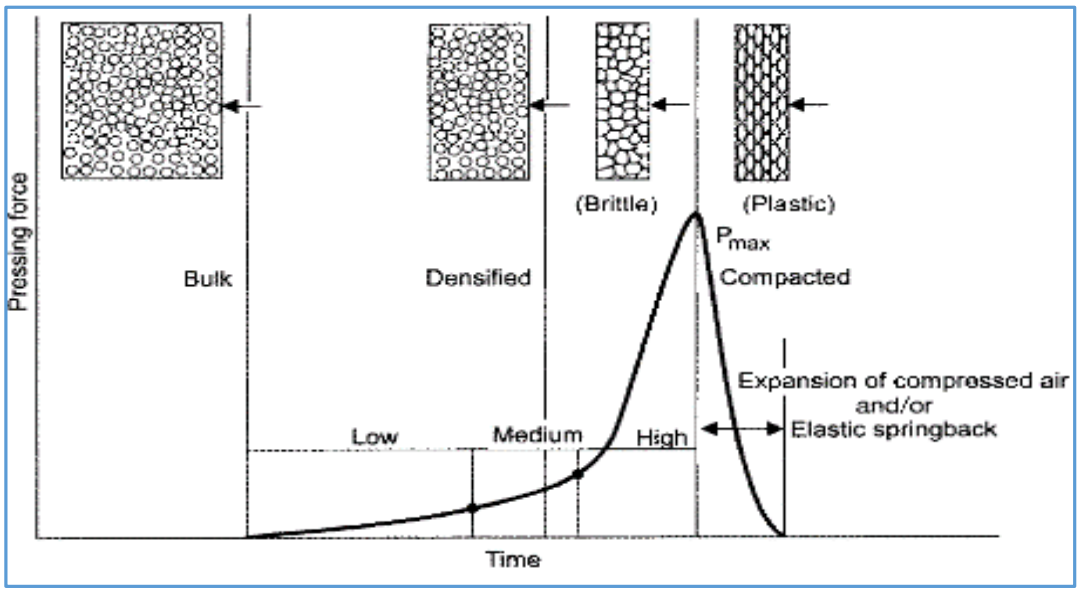


Figura 1.4. Curbele compresiunii pulberilor [85]

În partea de jos a Figurii 1.5 se prezintă diagrama evoluției presiunii în timp corelată cu modificările structurale a biomasei. Referindu-ne la graficul din Figura 1.4, se evidențiază patru pași ai aglomerării:

1. *Faza inițială.* Datorită presiunii, care inițial are o valoare joasă, particulele se rearanjează fără așsi schimba forma;

2. *Faza de tranziție*. La presiuni medii are loc inițierea procesului de deformare și distrugere a particulelor cu densificarea acestora;

3. *Faza de lucru.* Odată cu creșterea brusc ascendentă a forței de presare are loc deformarea completă a particulelor maleabile și distrugerea celor fragile. Procesul poate avea loc simultan sau în serie funcție de tipul de particule prezente în amestecul de biomasă și numărul acestora.

4. Faza de retenție/relaxare. Are loc scăderea bruscă a forței de presare și, drept rezultat, relaxarea materialului comprimat. Această fază, se referă la durata de menținere în matriță după înlăturarea presiunii. De regulă, această perioadă variază de la 5 până la 30 sec.

Pe parcursul fazei de retenție, biomasa continuă procesul de densificare fără careva deformații plastice. Durata de relaxare are importanță mare asupra durabilității peleților, deoarece caracterizează valoarea forțelor de adeziune dintre particule și celor de coeziune din interiorul acestora. Influența acestei perioade este cu atât mai mare cu cât forța de presare este mai mică. Pentru cazul presării la temperaturi foarte mari, durata fazei a patra exercită o influență mai mică asupra proprietăților peleților [86 p. 25 - 26].

Recapitulând datele din literatura disponibilă referitoare la acest subcapitol, se poate concluziona că faza a patra, fiind o derivată a mai multor factori de influență (proprietățile fizico-chimice și granulația particulelor), este influențată de viteaza de densificare și valoarea maximă a forțelor de presare. Anume în această fază, în mare măsură, se determină durabilitatea mecanică a particulelor și aspectul exterior al peleților. Aceste caracteristici ale peleților, de regulă, sunt rezultatul a două fenomene prezente în procesul de densificare și care, de fapt, vorbesc despre perfecțiunea procesului.

Primul fenomen – este caracterizat de gazele (aerul) remanente din porii materialului densificat, eliminarea cărora, în anumite faze ale formării structurii, provoacă formarea unor discontinuități care micșorează legăturile intermoleculare.

Al doilea fenomen este legat de tensiunile elastice remanente, care provoacă încovoierea peleților, apariția fisurilor interioare și exterioare, slăbirea forțelor intermoleculare etc.

1.4.2. Gradul de densificare și calitatea peleților

Cercetările ample realizate pe parcursul ultimelor ani au evaluat mecanismele peletizării particulelor de biomasă cu sau fără de pre-tratare în funcție de un șir de variabile [53, 54].

Astfel, *Bergström et al*. [26], *Kaliyan et al.* [27, 28], au studiat influența gradului de densificare a peleților asupra caracteristicelor fizice și mecanice ale produsului finit. Ei, experimental, au demonstrat că mărirea presiunii și temperaturi la densificarea particulelor are un efect benefic asupra durabilității peleților, datorită creșterii densității particulelor și rezistenței la comprimare a peleților.

Prezintă interes cunoașterea presiunii necesare pentru a obține peleți calitativi cu cheltuieli minime de energie. Valoarea presiunii este dependentă de mai mulți factori, printre care mai importanți sunt caracteristicile fizice și mecanice ale biomasei, umiditatea, temperatura și granulația materiei prime.

Există unele încercări de a calcula presiunea necesară peletizării. Astfel forțele care acționează într-un canal a matriței de peletizare au fost analizate în detaliu de către *Holm et al* [58, 59]. Ei au propus următoarea formulă pentru determinarea forței de presare la peletizare pentru condiții constante:

$$\boldsymbol{P_x = \frac{P_{No}}{V_{LR}}\left(e^{4\mu\upsilon_{LR}c} - 1\right)}, \qquad 1.1$$

în care P_{No} este presiunea de precomprimare care include plasticitatea modelului; υ_{LR} - raportul Poisson (primul indicele *L* denotă direcția tensiunilor exterioare: *L = axe longitudinale a fibrelor*, iar al doilea *R* direcția deformațiilor transversale: *R = axe radiale a fibrelor*); μ - coeficientul de

frecare; c - raportul de compresie, definit ca raportul dintre lungimea peletului în matriță (x) și diametrul (2r):

$$\boldsymbol{c = \frac{x}{2r}}, \qquad 1.2$$

Din ecuația (1.1) reiese că P_x crește exponențial cu lungimea peleților, păstrând ceilalți parametri constanți. Modelul propus poate fi folosit la determinarea aproximativă a presiunii necesare pentru peletizarea diferitor tipuri de biomasă, însă neajunsul acestui model este că el nu include un șir de parametri tehnologici cum sunt temperatura presării, proprietățile materialului.

Nielsen et al. [19, 60-62] au studiat în condiții de laborator dependența proprietăților mecanice ale peleților și consumul de energie funcție de temperatură și conținutul de umiditate [62], orientarea fibrelor [60], conținutul de substanțe extractive [19] și timpul de depozitare [61].

La acest capitol este necesar să se adauge că presiunea exercitată de role este limitată de puterea și mărimea motorului folosit la granulatoarele de peleți. Dacă forța axială P_x depășește puterea motorului, atunci, canalele matriței se vor bloca, deoarece rolele nu vor fi în măsură să asigure presiunea necesară pentru a împinge biomasa prin canalele matriței.

Din cele expuse se structurează importanța cunoașterii forței de presare optime, lucru care poate fi efectuat pe cale experimentală și prin calcule teoretice reieșind din teoria rezistenței materialelor.

1.4.3. Rolul temperaturii la peletizarea biomasei

Temperatura necesară peletizării, în cea mai mare măsură, se formează în rezultatul proceselor tribologice care au loc în interiorul biomasei și la granița de contact dintre biomasă și pereții matriței. În unele cazuri biomasa se încălzește suplimentar cu aburi sau prin alte metode pentru a asigura condiții mai bune de densificare. De regulă, în procesul de peletizare industrială, temperatura nu este un parametru controlabil, deși este estimată indirect fiind dependentă de natura, conținutul de umiditate și granulația materiei prime, de viteza de rotație a tăvălucilor, valoarea interstițiului dintre tăvălugi și matriță.

Referitor la dependența temperaturii din zona de lucru de natura materiei prime există păreri că temperatura este condiționată de conținutul de lignină, în special de blocul cristalin, care în biomasa vegetală variază în limitele 15 – 35 % [5 p. 28] și a cărui temperatură de topire constituie cca 90 ºC [80].

Practic, în toate cercetările existente, referitoare la studierea procesului de densificare a peleților, este studiată influența temperaturii asupra calității peleților, valoarea temperaturii fiind clasată printre factorii importanți de influență a caracteristicilor tehnico-economice ale peletizării.

Printre primele cercetări, referitoare la efectele temperaturii asupra densificării biomasei, se regăsesc cele efectuate de Smith et al. [78]. Ei au studiat dependența densității brichetelor din paie funcție de variația temperaturii aplicate în intervalul 60 – 149 °C. Cercetările au arătat că densitatea biomasei crește odată cu mărirea temperaturii până la valoarea de 90 °C, după care densitatea rămâne constantă.

Ивин, Е.Л. şi Глуховский, В.М. [80], din contra, consideră că temperatura de 90 °C este temperatura minimă pe care o poate avea matrița, deoarece peleții formați la temperaturi mai mici de 90 °C, cu toate că sunt denși, nu sunt „lipiți" și, de regulă, formează fisuri la granițele particulelor biomasei. Ei au mai atenționat că, în cazul formării peleților din biomasă cu umiditate sporită, la temperaturi mai mari de 100 °C, calitatea produsului se micșorează. Efectul este explicat prin trecerea lichidului trece în formă de abur care, prin explozii, formează microcavități între moleculele de biomasă sau chiar distruge aceste molecule.

Serrano și colab. [55], cu ajutorul termovizorului *Fluke IR FlexCam T115*, au studiat distribuția temperaturii în matriță, biomasă și produs. Au constatat că temperatura matriței, în cazul funcționării stabile, este de cca. 90 °C, iar a biomasei, doar de cca. 70 °C cunoscând o răcire rapidă după evacuarea din matriță (fig. 1.6).

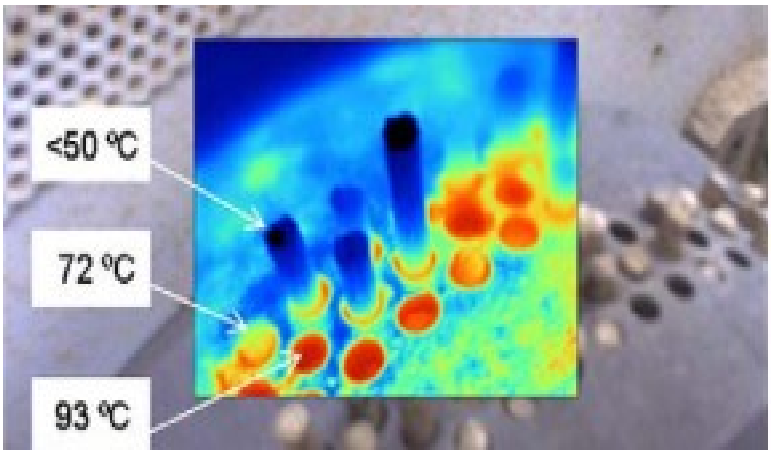


Figura 1.5. Imaginea termografică a matriței [55]

Studiul din prezentul subcapitol a permis evidențierea factorilor tehnologici care au o influență mai pronunțată asupra mecanismului de densificare a particulelor și, ca rezultat, asupra calității propriu zisă a peleților. S-a constatat că ponderea ce mai mare aparține următorilor factori tehnologici: presiunea de comprimare, temperatura de formare a granulelor, viteza tăvălugilor și parametrii constructivi ai matriței. De asemenea, s-a constatat că chiar dacă mecanismul de formare a legăturilor dintre particulele de biomasă la densificare au alcătuit subiectul unor studii [18, 26, 27, 39, 71- 73], totuși, la ziua de astăzi, nu există o teorie unică a peletizării datele existente, în majoritatea cazurilor, limitându-se la tratări simpliste cu caracter experimental.

1.5. Metode de pre-tratare a materiei prime prin torefiere, probleme existente

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

În situația creată obține noi valențe folosirea unor verigi tehnologice noi, inovative care vor putea contribui la implementarea unor proprietăți termice superioare, implicit, la mărirea eficienței energetice.

În prezent se cercetează mai multe metode de sporire a caracteristicilor energetice ale peleților de foc. Printre acestea tratările termice ocupă un loc tot mai important, în special, tratamentul termodinamic cu aburi în regim hidrotermal, tratamentul cu apă caldă, pre-tratamentul cu aburi saturați, pre-tratamentul cu aburi supraîncălziți și torefierea uscată. Din numărul semnificativ de metode folosite la îmbunătățirea calității peleților de foc, torefierii îi aparține un rol aparte, fiind un proces care are un efect impunător, în special asupra densității energetice a produsului finit.

Torefierea este un proces termo-chimic care se realizează prin încălzirea biomasei în lipsa oxigenului, cu viteze mai mici de 50 ^{o}C/min, la presiune atmosferică normală și care are ca rezultat creșterea densității energetice raportată la unitatea de masă. În rezultatul torefierii scade conținutul de umiditate din combustibil, crește densitate energetică a peleților raportată la unitatea de masă [91], materia primă devine mai omogenă [92].

Biomasa lignocelulozică conține aproximativ 80% de substanțe volatile și cca. 20% de carbon fix în bază uscată. În procesul de torefiere, biomasa lignocelulozică se încălzește la temperaturi cuprinse între 200 – 300 ^{o}C [93] întru-un mediu în care lipsește sau este redus drastic conținutul de oxigen. În rezultat, din biomasă se îndepărtează o cantitate importantă de umiditate și de materii volatile ce conduce la apariția reacțiilor de deshidratare, dehidrooxilare și decarboxilare. Astfel se micșorează raportul O/C și H/C în comparație cu biomasa originală [94, 95, 96]

Drept consecință a torefierii este scăderea conținutului de hemiceluloză a produsului tratat datorită degradării prezente în intervalul de temperaturi 250 – 300 ^{o}C, degradare care este cauzată de interacțiunea fenomenului de uscare cu piroliză incompletă [97]. Deoarece lignina conține mai mult carbon ca hemiceluloza, după torefiere, produsul posedă un conținut sporit de carbon, fapt care rezultă un raport O/C și H/C mai mic, deci și o putere calorifică mai mare.

Acest lucru ar trebui să se prezinte mai accentuat în cazul torefierii biomasei agricole care, după cum se știe, are un conținut mai mic de lignină în comparație cu biomasă provenită din specii lemnoase [5, p. 72].

Despre posibilitatea îmbunătățirii proprietăților biomasei agrosilvice există unele date în literatura de specialitate [98], însă aceste date se referă la un număr limitat de tipuri de biomasă prelevate din anumit zone climaterice cu specificul local, care lasă urme în estimarea calitativă și cantitativă veridică a acesteia.

Din cele constatate se poate înainta ipoteza despre posibilitatea sporirii calității biocombustibililor solizi produși din reziduuri agricole prin tratarea biomasei înainte de densificare prin torefiere. Pentru confirmarea ipotezei înaintate sunt necesare cercetări cu privire la stabilirea regimurilor tehnologice ale procesului și corelarea acestora în funcție de materia primă utilizată.

1.6. Concluzii și direcții de aprofundare a cercetărilor

1. În baza analizei datelor din literatura de specialitate și a experienței existente la noi în țară și pe plan mondial s-a constată că producerea peleților certificați ENPlus din reziduuri agricole, prin metode tradiționale, este foarte problematică în virtutea calității inferioare a materiei prime autohtone.

2. Au fost evidențiați principalii factori de influență a calității peleților de foc și au fost structurate căile posibile de mărire a calității acestora prin optimizare variabilelor materiei prime și a celor de fabricație.

3. În rezultatul analizei referitoare la dependența anumitor proprietăți fizico - mecanice ale peleților funcție de conținutul de extractive, a fost înaintată ipoteza despre posibilitatea sporirii calității peleților obținuți din biomasă autohtonă prin diverse procedee care ar micșora conținutul de extractive din biomasa folosită în calitate de materie primă și în special prin torefiere.

4. S-a argumentat că regimurile tehnologice, cum sunt forța și temperatura presări sunt individuale pentru diferite tipuri de materie primă, motiv pentru care sunt necesare cercetări experimentale în vederea optimizării acestor parametri pentru condiții concrete.

5. Din analiza efectuată se poate concluziona că, formarea legăturilor de coeziune și adeziune a particulelor este influențată de granulația particulelor și proprietățile fizico-chimice ale acestora, viteza de densificare și valoarea maximă a forțelor de presare

2. PROGRAMAREA EXPERIMENTELOR, METODICA GENERALĂ DE CERCETARE ŞI ECHIPAMENTE UTIŞIZATE

2.1. Obiectul și metodologia cercetării

În calitate de obiect al cercetării au servit diferite tipuri de biomasă lignocelulozică în formă de reziduuri agricole și produce finite în formă de peleți de foc fig. 2.1).

Figura 2.1. Lotul de probe luate în studiu

Cercetările au fost organizate în trei etape distincte.

În prima etapă s-a realizat o analiză aprofundată a situației în domeniul tehnologiilor de obținere a peleților din reziduuri agrosilvice în condițiile Republicii Moldova. Studiul a fost organizat printr-un sistem deductiv bazat pe informația culeasă din datele prezente în literatura de specialitate referitoare la cerințele actuale cu privire la calitatea peleților de foc produși din biomasă lignocelulozică și căile de asigurarea a acestei calități. În baza analizei realizate au fost identificate problemele existente și au fost formulate ipotezele științifice.

În cadrul etapei a doua s-au realizat cercetări privind potențialul de biomasă existent în diferite zone ale Republicii Moldova.

Au fost analizate mai multe loturi de eșantioane prelevate din trei zone ale Republicii Moldova: de Nord, Centru şi Sud. Probele, în faza inițială, au avut umiditate diferită, care a fost determinată înainte de realizare testelor calitative. Pentru testare la puterea calorifică, probele au fost uscate până la stare anhidră.

Pentru determinarea potențialului energetic s-a calculat cantitatea de biomasă rezultată din reziduuri agricole, disponibilă pentru scopuri energetice, folosind următoarea formula:

$$m_{rez.\ s.ener.} = m_{rez.d.} \cdot K_{rez.} \cdot K_{d.e.} \cdot (1-K_{per.}), \text{ kg} \cdot \quad (2.1)$$

Potențialul energetic total al biomasei în bază uscată s-a determinat cu relația:

$$P_{t.}=m_{rez.d.}\cdot NCV_d,\ MJ \quad (2.2)$$

în care $m_{rez.d.}$ este masa totală a reziduurilor resursei de biomasă cu umiditatea 0, în kg, $K_{rez.}$– factorul unitar de conversie pentru cultura respectivă; $K_{d.e.}$ – factorul de disponibilitate a biomasei pentru scopuri energetice pentru cultura respectivă, $K_{per.}$– coeficientul pierderilor inevitabile de la recoltare, transportare și stocare, NCV_d – puterea calorifică inferioară a biomasei în bază uscată, MJ/kg.

Deoarece biomasa folosită la fabricarea biocombustibililor posedă o anumită umiditate, prezintă interes cunoașterea potențialului energetic al biomasei cu anumită umiditate, de exemplu umiditatea de procesare a biomase sau umiditatea produsului finit în faza de utilizare.

Astfel potențialul energetic total al biomasei cu umiditatea M a fost calculat cu relația:

$$P_{t.M}=m_{rez.M}\cdot NCV_M,\ MJ \quad (2.3)$$

în care $m_{rez.M}$ este masa totală a reziduurilor resursei de biomasă cu umiditatea M, în kg, NCV_M – puterea calorifică inferioară a biomasei la umiditatea M, MJ/kg.

Potențialul energetic al biomasei în bază uscată și cu umiditatea M, disponibilă pentru scopuri energetice, se determină cu relațiile :

$$P_{s.ener.d.}=m_{rez.s.ener,d.}\cdot NCV_d,\ MJ \quad (2.4)$$

$$P_{s.ener.M}=m_{rez.s.ener,M.}\cdot NCV_M,\ MJ \quad (2.5)$$

În multe cazuri este necesar să se evalueze resursele de biomasă aferente suprafețelor agricole din diferite localități prin evidențierea suprafețelor disponibile pentru scopuri energetice. De regulă, aceste suprafețe se valorifică diferențiat în funcție de caracteristicile locale, considerații economice, tendințe de perspectivă. Totodată cuantificarea producției de energie de suprafețe concrete de teren poate varia în funcție de utilizarea terenului și de tipul culturilor cultivat pe acest teren.

Pentru a estima valoarea potențialului energetic anual ($P_{s.ener,S.}$), aferent unei suprafețe specifice fiecărei culturi S_i, s-a folosit expresia:

$$P_{s.ener,S.}= S_i\cdot Pt,\ MJ/an \quad (2.6)$$

în care S_i este suprafața pentru care este estimat potențialul energetic al biomasei, în ha; $m_{p.b.i.}$ – masa producției de bază la un hectar/an,

Deoarece multe din problemele existente cu privire la estimarea cantitativă și calitativă a reziduurilor agricole pretabile pentru scopuri energetice sunt unice pentru toate localitățile din Republica Moldova, s-a realizat o cercetare aprofundată printru-n studiu de caz cu privire la potențialul de biomasă lignocelulozică care poate fi folosită la producerea peleților cu caracteristici

calitative în conformitate cu cerințele normelor internaționale ENPlus 3. Studiul de caz a fost realizat prin parcurgerea următorilor pași:

1. Culegerea de informații detaliate asupra cazului. Au fost studiate diferite tipuri de reziduuri agricole specifice raionului Soroca, care prezintă interes sporit la producerea biocombustibililor solizi în formă de peleți

2. Formularea narațiunilor cu privire la obiectul studiat. Au fost expuse fapte referitoare la potențialului energetic al biomasei provenite din activități agricole bazate pe aprecierea fluxului acestor materiale în raport cu producția culturilor respective obținute din datele statistice ale raionului Soroca. Faptele expuse s-au bazat pe argumentarea tehico-economică a oportunității folosirii în calitate de biocombustibil solid densificat a potențialului de biomasă estimat și pe analiza calitativă a produsului finit în formă de peleți produși din materia primă estimată.

3. Identificarea ideii centrale a cazului, asupra căruia s-a concentrat studiul. În baza analizei comparative a peleților produși din biomasa luată în studiu s-au expus rațiuni cu privire la posibilitatea producerii peleților posibili de a fi certificați ENPlus 3.

4. Compararea cu alte studii pentru a stabili cele mai bune practici. S-a realizat o analiză comparativă cu datele obținute anterior de către noi și de către alți autori în vederea posibilității folosirii anumitor reziduuri agricole pentru producerea peleților certificați ENPlus 3.

În etapa a treia experimentele au fost structurate în direcția asigurării calității peleților de foc în faza tehnologică de producere.

2.2. Metode de cercetare experimentală

2.2.1. Metodica de condiționare a biomasei studiate și de determinare a distribuției granulometrice

Pentru confecționarea probelor experimentale s-au folosit diferite tipuri de biomasă lignocelulozică provenită din reziduuri agricole prelevate din diferite localități ale Republicii Moldova: Biomasa a fost transportată în Laboratorul de biocombustibili solizi UASM și depozitată în uscătoria experimentală a laboratorului, unde a fost menținută timp de 5 zile. În această perioadă biomasa a fost supusă uscării prin metoda conversiei naturale. Principiul de lucru al uscătoriei este descrisă amănunțit în [5 p. 120 - 123].

Figura 2.2. Schema procesului de condiționare a probelor pentru încercări experimentale

Înainte de mărunțire biomasa lemnoasă a fost curățată de coajă. Mărunțirea s-a realizat în moara cu ciocane SM 100 cu ecranul ochilor grilei de 4, 3 și 1 mm. Toată biomasa a fost adusă la umiditatea de 5 % în bază umedă.

Pentru fiecare tip de biomasă s-a determinat distribuția granulometrică prin cernere a unui eșantion de biomasă reprezentativă pentru fiecare tip, Masa fiecărui tip de biomasă a constituit câte 100 g fiecare. Biomasa a fost cernută, timp de 10 minute cu viteză constantă printr-un set de site vibrante la instalația Retsch 100 în conformitate cu SM EN ISO 17827-1,2:2016 (Fig. 2.3).

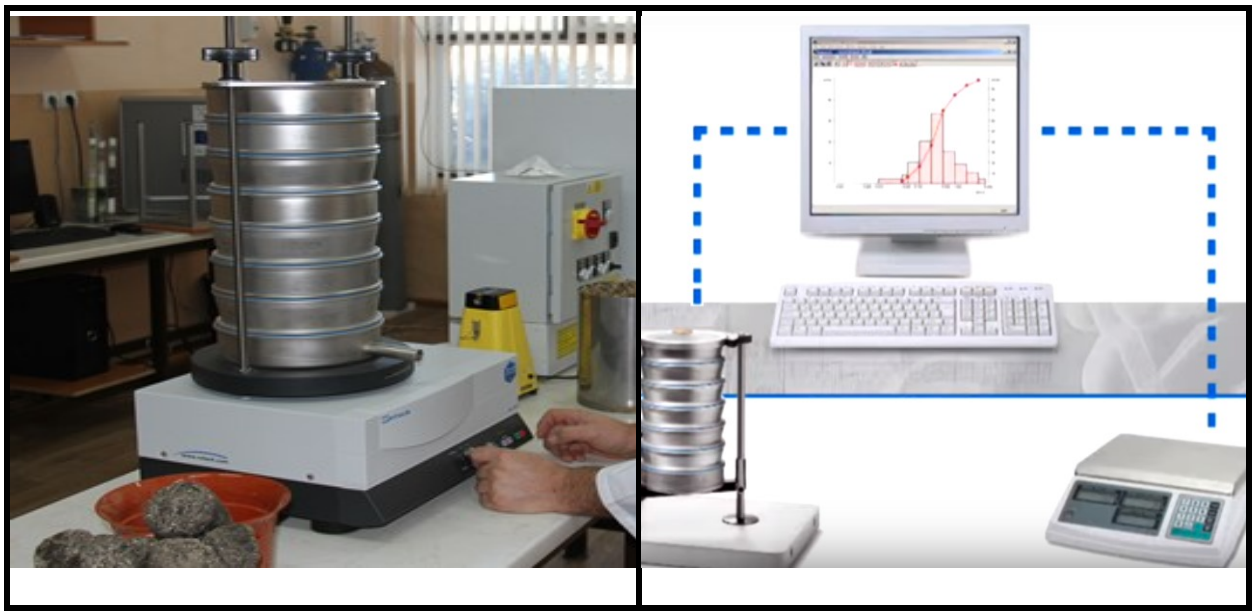


Figura 2.3. Secvențe din timpul determinării distribuției granulometrice la instalația de laborator Retsch 100 și schema de înregistrare a datelor experimentale

2.2.2. Metodica de cercetare a densificării peleților de foc

Cercetarea proprietăților de densificare au fost realizate pentru probe de biomasă obținută din reziduuri lemnoase de la tăierea pomilor fructiferi și din paie de grâu. Biomasa supusă încercărilor a fost mărunțită la moara cu ciocane SV 7 cu cernere prin site cu ecranul ochiurilor de 1 mm, 3 mm și 4 mm. Densificarea a fost estimată prin trei parametri: densificarea particulelor; durabilitatea peleților și rezistența la compresiune.

Eșantionarea probelor din masa rezultată de la mărunțire s-a efectuat prin metoda sferturilor în conformitate cu ISO EN 14780: 2017. Din fiecare grupă dimensională de biomasă supusă testării s-au prelevat câte 5 probe cu greutate de 100 g pentru care s-a determinat distribuția granulometrică prin cernere cu site oscilante în conformitate cu cerințele SM EN ISO 17827-1:2016. A fost folosit setul din 7 site: 3,15; 2,80; 2,0; 1,4; 1.00: 0,5; 0,25 mm. Durata de cernere a fost de 15 min. După cernere, masa reținută pe fiecare sită a fost cântărită la balanța analitică KERN EW 3000-2M. Testul de cernere a fost replicat de 5 ori ce a permis determinarea abaterii standard și a intervalului de încredere.

Toate tipurile de biomasă după măcinare a fost împărțită în 3 părți și uscată conform metodicii descrise în p. 2.3.1, după ce, în funcție de umiditatea cerută, a fost adăugat prin pulverizare apă distilată, proporțional conținutului cerut de planul experimental.

Astfel s-au asigurat următoarele valori ale conținutului de umiditate în bază umedă: 7,5; 10,1 și 14,7 % respectiv.

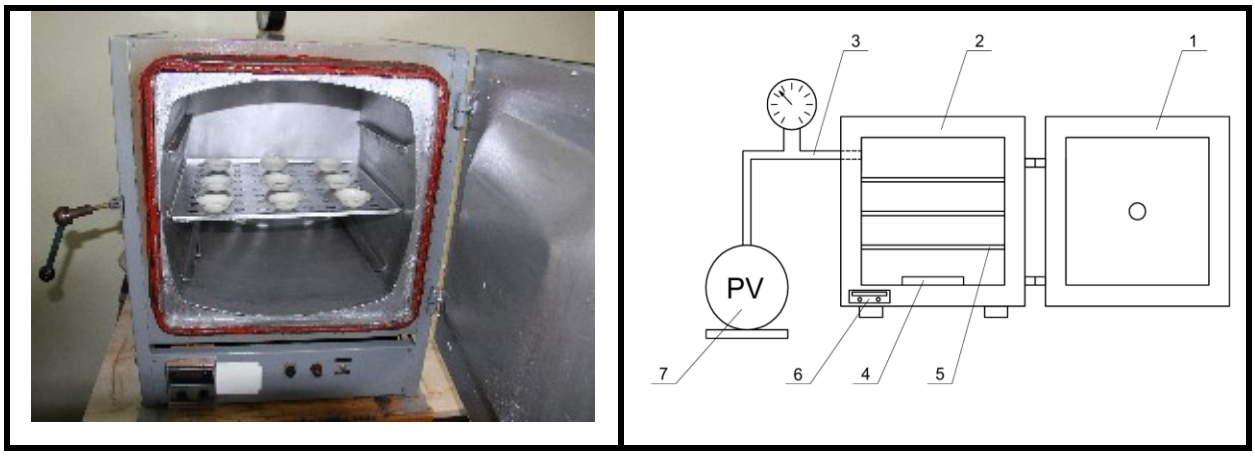


Figura 2.4. Cuptor de condiționare în vid, folosită la torefierea și condiționarea biomasei

Procesul de densificare a peleților a fost studiat printr-un experiment polifactorial cu patru variabile (Tabelul 2.1). În calitate de variabile de influență au servit temperatura peletizării, umiditatea biomasei, granulația biomasei și forța de presare.

Planul experimental este construit cu 3 niveluri ale factorilor cu câte 27 de experimente pentru fiecare tip de biomasă, total 81 de experimente. Fiecare experiment a fost repetat de 3 ori

Tabelul 2.1. Intervale experimentale și nivelele variabilelor independente

Variabile independente	**Cod**	**Nivelul variabilei codificate**		
		-1	**0**	**+1**
Temperatura, ^oC	X_1	75	100	125
Conținutul de umiditate în bază umedă, %	X_2	7,5	10,1	14,7
Presiunea, N	X_3	1500	2000	2500
Dimensiunile particulelor	X_4	< 1,5	< 2,5	< 4

Peletizarea a fost efectuată în mod individual într-un granulator cu un singur loc în condiții de control al temperaturii și forței de presare. Granulatorul fost conceput elaborat și proiecta de către noi special pentru acest scop și a fost confecționat în atelierul mecanic al catedrei *Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor*, UASM, (Fig. 2.6).

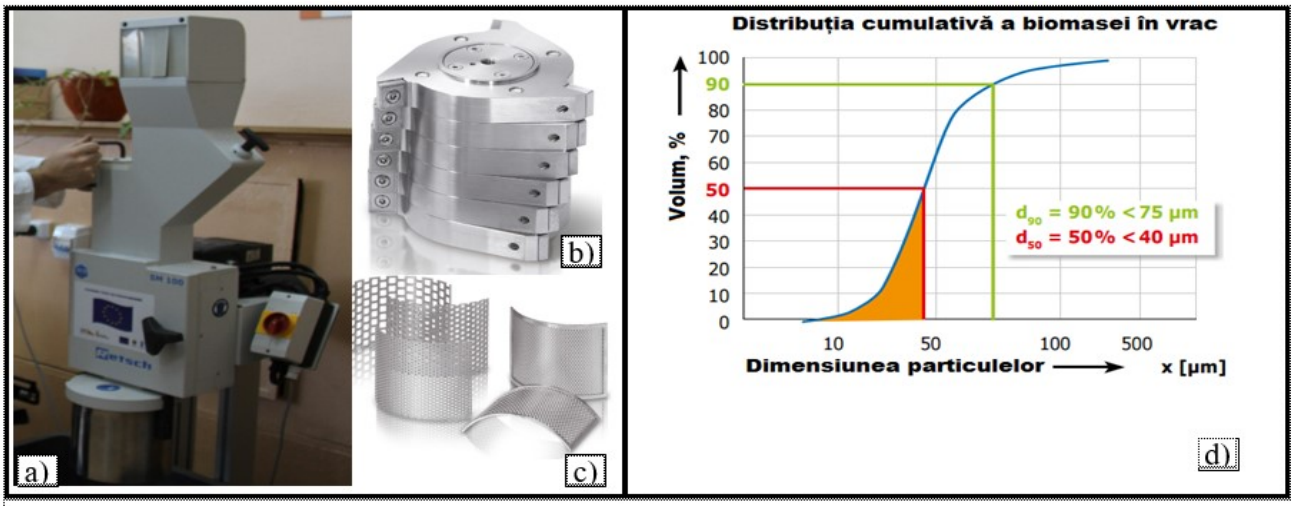


Figura 2.5. Mărunțirea biomasei la moara SM 100: *a) vederea generală, b) organul de lucru; c) site; d) curba cumulativă a distribuției normale a biomasei mărunțite*

Presa este formată dintr-un cilindru și un piston cu diametrul de 8 mm încorporat într-o carcasă metalică înfășurată de un element termic. Temperatura este controlată cu ajutorul unui termocuplu conectat la o unitate de control. Fundul matriței este închis de către o bară glisantă care, în poziția închisă, blochează evacuarea materialului densificat, iar în poziția deschisă - permite evacuarea acestuia din gaura matriței.

Înainte de fiecare utilizare, matrița este pregătită prin curățată cu acetonă și ștearsă cu ajutorul unui prosop de hârtie și analizată vizual dacă nu are defecte sau alt imperfecțiuni.

Structura stratificată similară cu cea obținută la granulatoare industriale s-a obținut prin încărcarea biomasei în trepte în cantități de câte 0,25 g, cu comprimarea fiecărei porții cu o viteză de 2 mm/s până când granula a obținut lungimea de 16 mm. După fiecare comprimare, pistonul a fost menținut timp de 5 s la presiunea finală și apoi retras în poziția inițială.

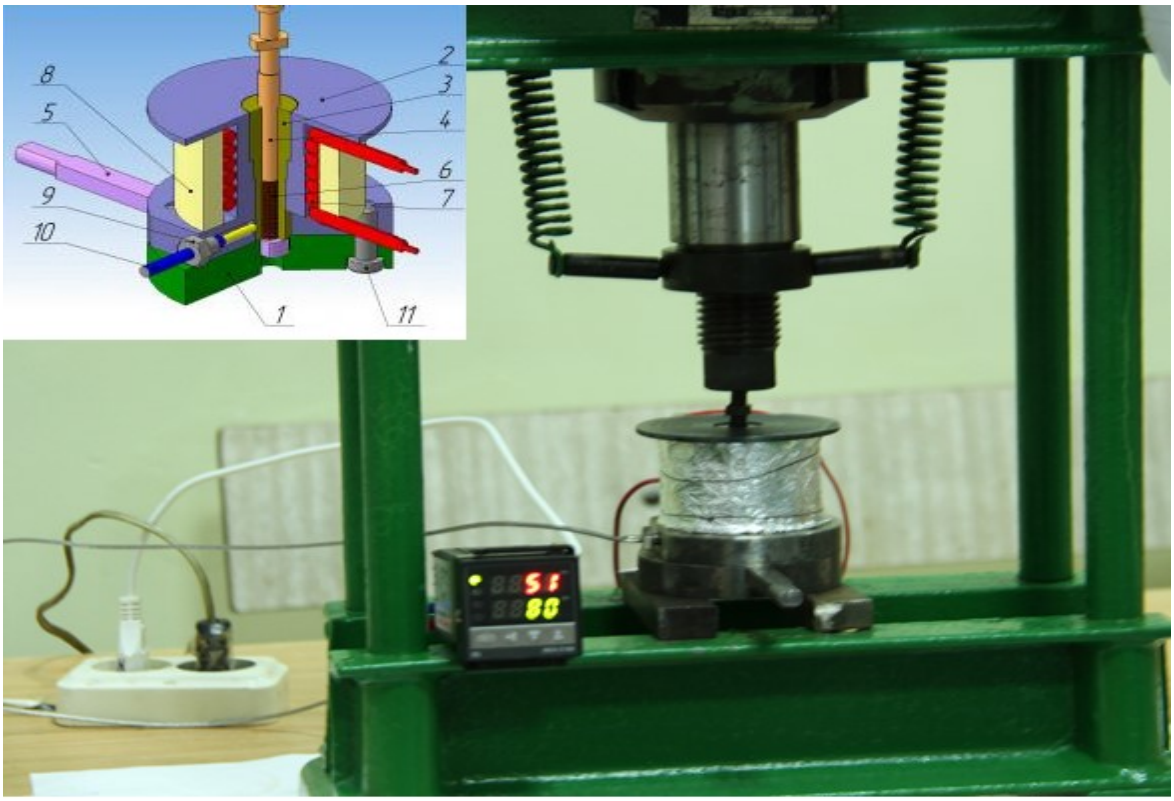


Figura 2.6. Instalația de studiere a procesului de densificare a unei granule: *1 – fundația; 2- carcasă; 3 – cilindru; 4 - piston cu diametrul 8 mm; 5 – suport glisant; 6- material densificat; 7 – element de încălzire; 8 – cămașă, 9 – fixator; 10 – termocuplu; 11 - bulon fixator.*

2.3. Metode de testare a biomasei și peleților de foc

2.3.1. Determinarea conținutului de umiditate

În lucrare conținutul de umiditate a materiei prime și a peleților a fost exprimat în două moduri: *conținutul de umiditate în bază uscată* și *conținutul de umiditate în bază umidă*.

Conținutul de umiditate în bază uscată s-a determinat cu relația:

$$U_d = \frac{m-m_0}{m_0}100\%, \quad (2.7)$$

în care *m* este masa probei înainte de uscare, g; m_0 – masa aceleiași probe după uscare până la o valoare constantă, g.

Conținutul de umiditate în bază umedă s-a calculat cu formula:

$$M_{ar} = \frac{\mathrm{m}-m_0}{m}100\%, \quad (2.8)$$

În cercetările realizate conținutul de umiditate a fost stabilit prin metoda cântăririi, în conformitate cu standardele SM EN ISO 18134-1,2,3 care se bazează pe eliminarea conținutului de lichid din probe prin uscare în etuve speciale și determinarea masei umidității în procente.

Probele au fost uscate în etuva de producție germană Memmert UNBU cu posibilitate de control și menținere stabilă a temperaturii în limitele (105±2)^{o}C și de ventilare a incintei cu viteza de la 3 până la 5 volume de lucru ale etuvei pe oră. Viteza aerului a fost reglată în funcție de granulația probelor astfel încât să nu deplaseze particulele de biomasă.

Figura 2.7. Secvențe din timpul determinării conținutului de umiditate prin cântărire la balanța analitică AS 220/C/2, RADVAG și uscare în etuva UNB 500 – Memmert

Probele pentru încercări au fost pregătite în conformitate cu cerințele standardului SM EN 14780: 2017. Toate încercările s-au repetat de 5 ori, fiind realizate pe probe prelevate din același loc.

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

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} 100, \qquad (2.9)$$

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

Precizia încercărilor s-a stabilit prin determinarea devierii standard, a intervalului de încredere și a repetabilității. Diferența maximă a determinărilor efectuate pe mostre prelevate din aceiași probă pentru toate cazurile nu a depășit 0,2% valoare absolută.

2.3.2. Determinarea puterii calorifice

Puterea calorifică a probelor studiate a fost determinată conform standardului *ISO 18125: 2015 Solid biofuels - Determination of calorific value* prin arderea completă a probelor în bomba calorimetrică LAGET MS – 10A din dotarea Laboratorului de Biocombustibil a Universității Agrare de Stat din Moldova (Fig. 2.8).

Figura 2.8. Secvențe din timpul determinării puterii calorifice la bomba LAGHET MS - 10

Principiul și metoda de determinare a puterii calorifice constă în stabilirea cantității de căldură degajată de la arderea unei cantități cunoscute de combustibil (aproximativ 0,5 g) și cedată sistemului calorimetric ce cuprinde o cantitate cunoscuta de apa (2700 ml la temperatura de 22 … 25 ^{o}C), a cărei temperatura se înregistrează.

Puterea calorifică a fost estimată prin două valori:

1. Puterea calorifică superioară (GCV_{ab} - Gross Calorific Value), considerată drept cantitatea de căldură totală rezultată din combustia perfectă și completă a unei unități de biomasă luată în studiu;

2. Puterea calorifică inferioară (NCV - Net Calorific Value), considerată drept diferența dintre puterea calorifică superioară și căldura consumată pentru evaporarea apei din gazele de ardere.

Puterea calorifică s-a determinat prin parcurgerea a patru faze distincte:

1. Faza pregătitoare, care include determinarea constantei bombei calorimetrice și pregătirea probelor supuse încercărilor.

2. Faza inițială constă din încălzirea apei din termostat până la temperatura de 22 … 25 ºC (diferența de temperatura dintre apa din termostat și temperatura mediului ambiant nu trebuie să depășească 0,5 ºC), determinarea variației de temperatură a apei în interiorul containerului calorimetric, datorită schimbului de căldură înaintea arderii. La sfârșitul fazei inițiale se amorsează mostra de combustie;

3. Faza principală presupune arderea completă și perfectă a probelor de biomasă în rezultatul căreia temperatura apei din interiorul containerului calorimetric crește în funcție de puterea calorifică a particulelor de biocombustibil testat;

4. Faza finală constă în fixarea diferenței de temperatură de la sfârșitul fazei inițiale și celei finale, modificată de arderea probelor de combustibil.

Constanta bombei calorimetrice (Tk), care reprezintă suma capacităților calorice ale părților ce alcătuiesc bomba calorimetrică, a fost determinată pentru probe standarde pastelizate din acid benzoic certificat cu masa de cca 0,5 g cu relația:

$$Tk = \frac{GCV_{ab} \times m}{dTk}, \tag{2.10}$$

în care GCV_{ab} este puterea calorifică superioară a acidului benzoic, GCV_{ab} =26434,9 J/g; m – masa cântărită a acidului benzoic și dTk - diferența dintre temperatura inițială și cea finală înregistrată la arderea probei de combustibil.

Puterea calorifică superioară a fost determinată pentru volum constant cu relația:

$$GCV_{v.d.} = \frac{dTk \cdot Tk}{m} - Q_W - Q_p \tag{2.11}$$

în care Q_w este căldura de la arderea firului incandescent pentru inițierea arderii (50 J/g); Q_p – căldura de la arderea hârtiei (1462,86 J/g).

Pentru comoditate în efectuarea calculelor ulterioară puterea calorific superioară s-a determinat pentru starea anhidră a probelor, adică la umiditatea 0 (în bază uscată).

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

$$NCV\ v._{net,\ d.:} = GCV_{v.d} - 206 \times w(H)_d, \tag{2.12}$$

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

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

$$NCV\ v._{net,\ m} =_{.:} NCV\ v._{net,\ d.}\ (1\text{-}0{,}01M_{ar}) - 23{,}05M_{ar}. \quad (2.13)$$

Precizia încercărilor a fost estimată prin abaterea standard, intervalul de încredere și repetabilitate a 5 încercări pentru aceiași probă de material. În toate cazurile repetabilitatea n-a depășit 120 J/g, valoare cerută de către standardul ISO 18125:2015.

Repetabilitatea s-a efectuat prin dublarea încercărilor în același laborator, de același operator, la același utilaj, într-un interval cât mai scurt de timp. Diferența dintre probele încercate nu trebuie să depășească 120 J/g.

2.3.3. Determinarea conținutului de cenușă

Conținutul de cenușă reprezintă o caracteristică de calitate foarte importantă a biocombustibililor. Prezența cenușii micșorează calitatea combustibililor, în special puterea calorifică; înrăutățește procesul de ardere; sporește gradul de corodare a cazanelor; mărește cheltuielile de transportare, stocare și înlăturare din focare [7 p. 63].

Conținutul de cenușă s-a determinat prin calcinarea probelor de biocombustibil în cuptorul electric de calcinare cu mufă Tip LH 05/13 produs de firma Cehă LAC (Figura 2.10) prin metoda arderii lente. Cuptorul este dotat cu sistem de aerisire suficientă pentru alimentarea cu oxigen a procesului de aprindere și calcinare (Viteza de schimb egală cu 5 ... 10 volume de lucru a incintei cuptorului în minută.

Creuzetele folosite la calcinare sunt confecționate din porțelan cu dimensiuni alese astfel încât să asigure repartizarea pe 1 cm^2 de pe suprafața fundului creuzetului a masei probei egale cu 0,1 g/cm^2.

Cantitatea de cenușă, rezultată de la arderea probelor, s-a determinat pentru substanță uscată absolut. Biomasa a fost uscată în etuvă la temperatura de 105 ^oC cel puțin timp de 3 ore. După uscare, probele s-au răcit în exsicator cu oxid de fosfor (P_2O_5) până la temperatura camerei. Probele uscate și cântărite cu precizia de 0,1 g au fost introduse din nou în etuva încălzită la temperatura de 105 ^oC, unde au fost menținute timp de cel puțin 60 min, după ce, iarăși, au fost răcite în exsicator cu oxid de fosfor până la temperatura camerei. Operația a fost repetată până la stabilirea unei mase constante a probelor (diferența dintre două măsurări consecutive n-a depășit 0,2 mg).

Calcinarea s-a realizat în modul următor: Inițial probele s-au încălzit lent în etuvă până la temperatura de (250±10) ºC timp de 50 min, s-au menținut la această temperatură pe parcursul unei ore, pentru a asigura eliminarea substanțelor volatile până la calcinare. După aceasta, probele au fost încălzite lentă până la temperatura de (550±10) ºC timp de 60 min şi menținute la această temperatură cel puțin 120 min.

Figura 2.9. Probe pentru determinarea conținutului de cenușă şi aspecte din timpul realizării experimentelor.

Creuzetele folosite la calcinare sunt confecționate din porțelan, care este un material inert, lipsit de reactivitate la materialele lignocelulozice. Dimensiunile acestora s-au ales astfel încât să asigure repartizarea pe 1 cm^2 de pe suprafața fundului creuzetului a masei probei egale cu 0,1 g/cm^2. Adâncimea creuzetului este de 20 mm.

Conținutul de cenușă în bază uscată se determină cu următoarea formulă:

$$A^d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \frac{100}{100 - M_{ar}}, \quad (2.14)$$

în care m_1 este masa creuzetului gol, g; m_2 – masa creuzetului plus masa probei supuse testării, g; m_3 – masa creuzetului plus masa cenușii, g; M_{ar} – umiditatea probei analizate, %.

2.3.4. Metodica de cercetare a proprietăților chimice ale materiei prime și ale peleților de foc

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

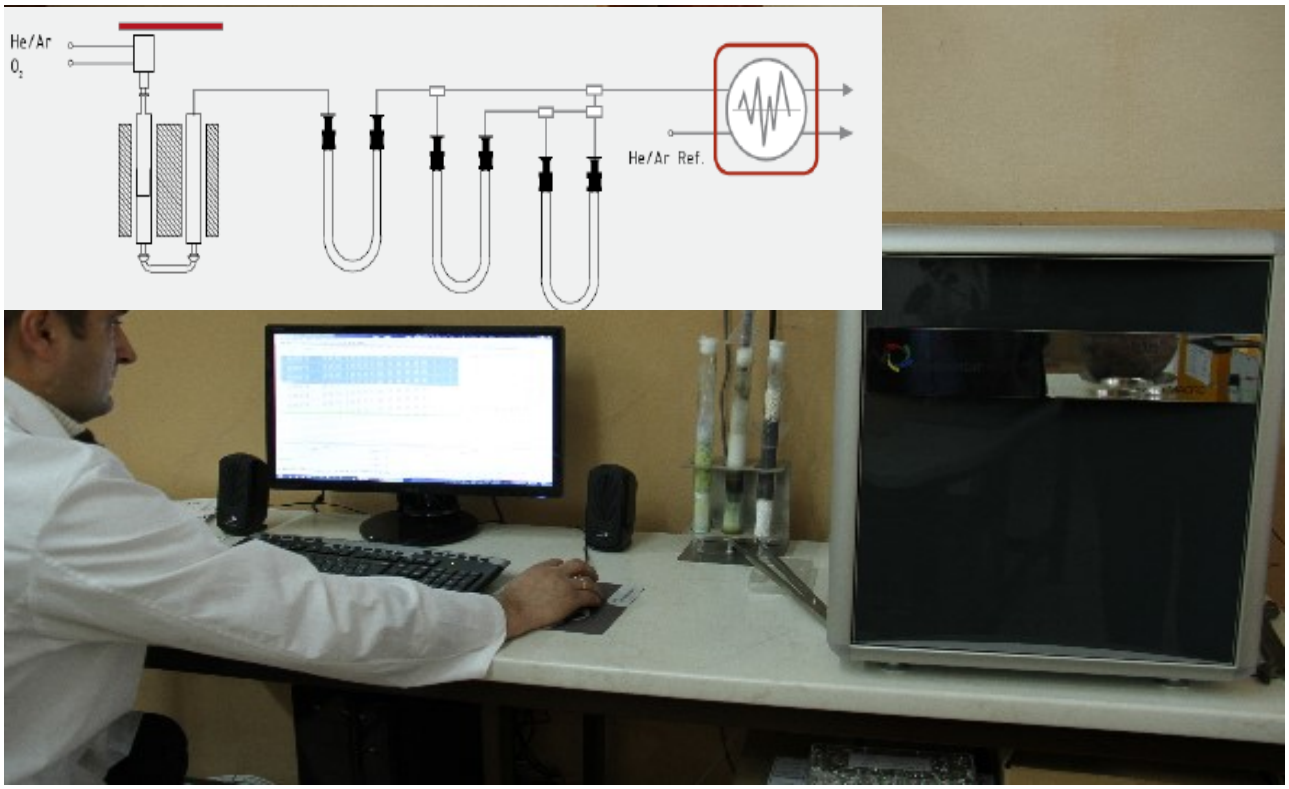


Figura 2.10. Secvențe din timpul determinării conținutului de C, H, N, S și Cl la analizorul elemental Vario MACRO cube CHNS și Cl.

2.4. Concluzii la capitolul 2

1. Pentru studierea, descrierea și formularea concluziilor referitoare la fenomenele și factorii de influență asupra calității biocombustibililor în formă de peleți au fost folosite metode empirice realizate prin proiectarea experimentelor folosind programe polifactoriale Box – Benkin, și monofactoriale iar datele experimentale au fost prelucrate cu aplicarea facilităților programelor STATGRAPHICS Plus şi Excel;

2. Experimentele au fost realizate pe eșantioane de probe preparate și eșantionate în conformitate cu standardele SMV EN 14778- 1489:2012 și SM EN ISO 14780:2017. Toate încercările s-au efectuat prin metode acreditate de către Centrul Național de Acreditare MOLDAC (certificat de acreditare nr. LÎ-103 din 04.03.2016 cu modificare din 07.11.2016).

3. Pentru studierea procesului de densificare și de torefiere a biomasei solide au fost elaborate, proiectate și confecționate utilaje speciale dotate cu echipamentul necesar de urmărire, control și înregistrare a datelor experimentale. Încercările fizice, mecanice și chimice au fost realizate pe utilaje standarde din dotarea Laboratorului de biocombustibili solizi UASM. Toate utilajele folosite în prezenta teză de doctorat au fost validate și etalonate în conformitate cu cerințele standardelor în vigoare.

4. Credibilitatea încercărilor experimentale este asigurată de prelucrarea statistică a datelor experimentale cu determinarea, pentru toate încercările, a abaterii standard, domeniului de încredere și prin determinarea incertitudinii de măsurare și repetabilității încercărilor.

3. POTENȚIALUL ȘI CALITATEA BIOMASEI PROVENITE DIN ACTIVITĂȚI AGRICOLE PENTRU PRODUCEREA PELEȚILOR DE FOC

3.1. Scopul investigaților și ordinea de realizare a experimentelor

Biomasa lignocelulozică, provenită din reziduuri agricole constituie o sursă importantă de obținere a unei cantități importante de energie termică suplimentară, ecologic curată și relativ ieftină pentru condițiile Republica Moldova. Cu toate acestea, în literatura de specialitate, există puțină informație despre potențialul energetic și calitatea biomasei provenite din diverse specii de culturi agricole specifice zonelor climaterice ale Republicii Moldova, iar datele modeste existente ne rezervă continuitatea și aprofundarea cercetărilor în această direcție**.** Cuantificarea potențialului de biomasă disponibil va servi reper de referință la argumentarea cercetărilor referitoare la stabilirea constituției materiei prime pentru producerea peleților de foc din reziduuri agricole, precum și un ghid de referință pentru producătorii de peleți la întocmirea planurilor de afaceri cu privire la înființarea și extinderea întreprinderilor specializate de producere a peleților, la fundamentarea regimurilor tehnologice de condiționare a materiei prime și de procesarea a produsului finit.

Obiectivul general al cercetărilor din acest capitol este suplinirea golului informațional referitor la potențialul de biomasă existent în Republica Moldova prin identificarea celor mai adecvate reziduuri agricole și cuantificarea acestora în termeni de energie și potențial de materie primă pentru obținerea biocombustibililor solizi în formă de peleți, certificați ENPlus.

În calitate de obiect al cercetării au servit reziduurile rezultate din activitățile agricole în diverse zone climaterice ale Republicii Moldova. Importanța și actualitatea studiului realizat sunt justificate de volumul mare de reziduuri agricole în Republica Moldova, rolul pe care-l are valorificarea acestora la producerea biocombustibililor solizi în condițiile țării noastre.

Biomasa provenită din activități agricole, folosită pentru producerea peleților de foc, este asociată cu cantitatea disponibilă și calitatea reziduurilor provenite din diverse activități agricole. această biomasă constituie potențialul energetic pretabil pentru a fi folosit în scopuri energetic. La rândul său, potențialul energetic disponibil pentru producerea peleților de foc trebuie să posede anumite caracteristice calitative și cantitative, care depind direct de un șir de factori cum sunt: tipul culturii de bază, recolta globală, condițiile climaterice, structura terenurilor, asolamentul practicat pe parcursul ultimilor ani, folosirea îngrășămintelor minerale și organice etc.

Multiplii factori care determină potențialul energetic al biomasei pretabile pentru producerea biocombustibililor solizi, în general, și a celei adecvate cerințelor cantitative și

calitative pentru producerea peleților de foc, în particular, trebuie să se bazeze pe o metodologie complexă de estimare. Metodologiile existente de apreciere a potențialului de biomasă, provenită din reziduuri agricole, se bazează pe estimarea bazează pe trei tipuri de date: teoretice, tehnice și economice [49].

Luând în vedere cerințele referitoare la stabilirea potențialului real de reziduuri pentru scopuri energetice, în cercetările noastre anterioare, am elaborat o metodă de estimare a potențialului de biomasă bazată pe disponibilitatea acesteia pentru a fi folosită în scopuri energetice fără a influența semnificativ alte domenii de activitate, cum ar fi dezvoltarea agriculturii durabile și protecția mediului, dar și având în vedere indicatorii economici, sociali și calitatea produsului finit [116].

Pentru calcularea cantității totale de reziduuri agricole se propune drept punct inițial masa producției de bază folosind următoarea relație de calcul:

$$m_{rez.} = m_{p.b.} \cdot K_{rez.}\,, \tag{3.1}$$

în care $m_{p.b.}$ este masa producției de bază, $K_{rez.}$ – factorul unitar de conversie, care este o mărime adimensională și se determină cu raportul dintre masa reziduurilor culturilor respective către masa biomasei de bază (recoltei).

Cu toate că valoarea factorului unitar de conversie trebui să fie cât mai stabil, în literatura de specialitate, acest factor se prezintă în limite foarte largi, adesea fără specificarea în ce bază a umidității a fost stabilit. Evident că această situație conduce la date destul de eterogene referitoare la potențialul de biomasă pasibilă pentru utilizări în scopuri energetice. Anume din acest motiv, noi recomandăm determinarea potențialului energetic al biomasă la umiditatea 0, putând fi recalculată pentru orișice umiditate biomasei.

Reieșind din cele menționate anterior, în metoda noastră se propune determinarea factorului unitar de conversie pentru biomasa absolut uscată, adică pentru biomasa cu conținutul de umiditate egal cu zero. În tabelul 3.1 se prezintă rezultatele determinării factorului unitar de conversie pentru principalele culturi pretabile de a fi folosite în calitate de materie primă la producerea peleților de foc.

Un alt element important care influențează rezultatele calculului potențialului energetic este factorul de disponibilitate al biomasei $K_{d.e.}$. acest factor se stabilește pentru condiții concrete, fiind determinat de necesarul de reziduuri pentru alte scopuri decât cel energetic (furaj pentru animale, materie primă pentru diferite domenii industriale, îngrășăminte minerale etc.).

Tabelul 3.1. Factorul unitar de conversie pentru diferite culturi agricole și cel determinat în Laboratorul de biocombustibili solizi (LBCS) UASM

Planta	Reziduuri	Producția de deșeuri și reziduuri t/t cultură						
		[97], p. 30	[88], p. 40	[88], p. 63	[49]	[89]	[90]	LBCS UASM
Grâu	**paie**	1,5	1,85	1,1	1	1,0-1,8	1	0,81
Orz	**paie**	1,5	0,8	0,8	0,8	1,5–1,8		0,75
Ovăz	**paie**	1,5	1,4	1,05		1,8		0,7
Secară	**paie**	1,5	1,7	1,7		1,8-2,0		1,35
Triticale	**paie**	1,5	-	1,3		-		0,85
Porumb	**tulpina+știulete**	1,6	1,2	1,2	1,5	1,2 – 2,5	1,2	1,2
Floarea-soarelui	**tulpini**	2			2	-	3,5	1,45
Floarea-soarelui	**Coji de semințe**						0,18	0,18

Factorul de disponibilitate deferă de la o cultură la alta și este necesar să se stabilească pentru condiții concrete reieșind din considerente specifice zonei respective.

Estimarea calitativă a biomasei s-a efectuat în trei faze. În prima fază s-a determinat puterea calorifică pentru diferite tipuri de biomasă prelevate din diferite zone ale Republicii Moldova și s-a realizat o analiză a oportunității folosirii paielor de grâu, în calitate de cel mai reprezentativ tip de biomasă din grupa spicoaselor, posibilă să fie folosită în calitate de materie primă la producerea peleților de foc.

În faza a doua a cercetărilor s-a analizat parametrii cantitativi și calitativi ai reziduurilor de porumb prin stabilirea puterii calorifice pentru reziduurile colectate în diferite zone ale republicii și prin determinarea umiditatea la colectare și a coeficientul de conversie *boabe – tulpină - ciocălăi* cu estimarea diferitor părți componente ale hibridului simplu semitardiv de porumb ”Porumbeni - 458 MRf”. Probele au fost prelevate în 5 Gospodării Țărănești din c. Trușeni, mun. Chișinău și în SDE ”Chetrosu”, Anenii Noi.

În faza a treia s-a realizat un studiu de caz pentru raionul Soroca, care se referă la determinarea potențialului de biomasă rezultată de la culturile agricole pretabilă pentru a fi folosit în calitate de materie primă la producerea peleților de foc.

3.2. Evaluarea potențialului energetic de biomasă provenită din activități agricole pretabilă pentru producerea biocombustibililor solizi

3.2.1. Generalități cu privire la potențialul energetic al biomasei lignocelulozice provenite din reziduuri agricole în condițiile Republicii Moldova

Cantitatea de biomasă pentru scopuri energetice depinde direct de recolta globală a culturilor respective și de caracteristicile termice ale acestora care, în mare măsură, sunt influențate de condițiile climaterice, structura terenurilor, asolament, folosirea îngrășămintelor minerale și organice etc.

Cu toate că Republica Moldova este o țară cu o suprafață mică (cca. 3384,6 mii ha) cu o întindere de la Nord spre Sud de 350 km și de la Vest la Est – 150 km, condițiile meteorologice și de mediu variază destul de mult de la o zonă la alta. Acest lucru lasă amprente destul de pronunțate și asupra spectrului culturilor agricole cultivate în zonele climaterice respective.

În Tabelul 3.2 sunt prezentate date cu privire la recolta globală a unor culturi agricole în întreprinderile de producție amplasate în diferite zone ale Republicii Moldova în anul 2014. Din acest tabel rezultă că în zona de nord a republicii se produce cea mai mare cantitate de produse agricole ale cărora reziduuri pot fi folosite pentru obținerea peleților, urmată de zona de sud. Astfel, întreprinderile de producție cu activitate de bază agricultura din raioanele de nord ale republicii, în anul 2014, au produs cca. 46% cerealiere, 47% floarea-soarelui și 67% de fructe și pomușoare. Același tip de întreprinderi, amplasate în sudul republicii, inclusiv Unitatea Teritorială Autonomă Găgăuzia, în anul 2014, au produs cca 36% cerealiere, 35% floarea soarelui și 14%. fructe și pomușoare Suplimentar în zona de sud, inclusiv UTAG, se produce o cantitate mare de struguri (cca. 79% din producția totală de struguri).

Tabelul 3.2. Recolta globală a unor culturi agricole în întreprinderile de producție cu activitate de bază agricultura în diferite zone ale Republicii Moldova în anul 2014 [1]

	M.Chișinău		**Nord**		**Centru**		**Sud**		**UTA Găgăuzia**	
	tone	**%**	**tone**	**%**	**tone**	**%**	**tone**	**%**	**tone**	**%**
Cerealiere și leguminoase boabe	3415	0,23	675253	45,86	256937	17,45	409393	27,80	127522	8,66
Floarea-soarelui	1090	0,27	189800	46,57	73567	18,05	109 363	26,84	33 716	8,27
Fructe și pomușoare	2084	0,87	159720	66,81	43 832	18,34	23 362	9,77	10 056	4,21
Struguri	4186	3,02	348	0,25	25083	18,11	86 162	62,20	22 734	16,41

Pentru zona de centru, culturile caracteristice sunt strugurii, cerealierele și floarea-soarelui. De menționat că în zona de centru o sursă importantă de materie primă pentru producerea peleților o poate constitui industria alimentară și cea de prelucrătoare a lemnului.

3.2.2. Potențialul energetic și calitatea biomasei obținute din reziduuri agricole provenite din diferite zone ale Republicii Moldova în conceptul de producere a peleților de foc

Din reziduurile obținute de la cultivarea cerealierelor și leguminoaselor pentru boabe o răspândire mai amplă, dar și teme de discuții, prezintă paiele de grâu, reziduurile de porumb, cele de floarea-soarelui și cele rezultate de la îngrijirea pomilor fructiferi.

Potențialul de paie. În cercetările noastre [46, 117] s-au prezentat aspecte privind potențialul de paie disponibil pentru scopuri energetice, considerații pro și contra referitor la folosirea paielor în calitate de materie primă pentru fabricarea biocombustibililor solizi în condițiile Republicii Moldova.

În procesul de recoltare a grâului, paiele sunt separate de tulpină, iar cantitatea de paie rezultate depinde de tehnologia utilizată la recoltare. O parte însemnată de paie rămâne ca miriște în câmp, care mai târziu este arată și încorporată în sol. Paiele recoltate se utilizează în diferite scopuri: pentru necesitățile sectorului zootehnic (așternut în grajduri, nutreț complementar pentru vite); îngrășăminte organice pentru necesități nutritive și menținerea fertilității solului, pentru cultivarea ciupercilor în interior etc. [5, p. 98].

Deoarece potențialul de paie în lume, inclusiv și la noi în țară, este foarte mare există un șir de recomandări cu privire la folosirea paielor în calitate de sursă pentru obținerea energiei termice, inclusiv și a peleților. Cu toate acestea, analiza indicatorilor calitativi ai peleților din paie arată că calitatea acestora, după un șir de parametri, nu corespunde cerințelor ENPlus, însă paiele pot fi folosite ca adaos la formarea amestecurilor pentru producerea biocombustibililor solizi de calitate. La aceasta mai trebuie de adăugat și faptul că paiele conțin mult clor (cca. 0,75 %) și metale alcaline (cca. 1,18%), datorită cărora, la ardere, se formează compuși chimici în formă de clorură de sodiu și clorură de potasiu care, împreună cu alți compuși, cauzează efecte corozive a elementelor metalice ale instalațiilor de încălzire.

În Tabelul 3.3. se prezintă rezultatele cercetărilor efectuate de către noi cu privire la puterea calorifică a paielor colectate din diferite zone al Republicii Moldova [113]. S-a constatat că paiele colectate în zona de sud au o putere calorifică ceva mai mare în comparație cu cele prelevate din zonele de nord și de centru. Cea mai mică putere calorifică s-a semnalat la paiele prelevate din zona de centru, însă diferența semnalată nu este semnificativă, cunoscând o variație destul de eterogenă în localitățile din cadrul zonelor respective. De exemplu, paiele prelevate în comuna Mănoilești din zona de centru au o putere calorifică de 1,05 ori mai mare ca a celor prelevate din comuna Gotești, care este situată în zona de sud a tarii. Această deviere poate fi explicată prin gradul diferit de degradare a paielor, condițiile de cultivare și colectare etc.

Tabelul 3.3. Puterea calorifică a probelor de biomasă din paie de grâu prelevate din diferite zone climaterice ale Republicii Moldova

Zona.	Localitate	GCV_d J/g	NCV_d J/g	NCV, J/g (M10%)	Devierea standard	Intervalul de încredere
Nord	s. Bulboaca, rn. Briceni	18083,6	16847,6	14932,4	175,5	153,9
	s. Drochia, rn. Drochia	17715,3	16479,3	14600,9	311,4	273,0
	s. Viișoara, rn. Glodeni	18164,0	16928,0	15004,7	447,7	392,4
	rn. Șoldănești	18102,2	16866,2	14949,1	232,1	203,4
	s. Chișcăreni, rn Sângerei	18152,0	16916,0	14993,9	231,2	202,7
	Media	**18043,4**	**16807,4**	**14896,2**	**279,6**	**245,1**
Centru	s. Hârtopul Mare, rn. Criuleni	18111,7	16875,7	14957,6	269,3	236,0
	s. Drăgușenii Noi, rn. Hâncești	17677,2	16441,2	14566,6	239,6	210,0
	s. Mănoilești, rn. Ungheni	18397,7	17161,7	15215,0	256,4	224,8
	s. Pănășești, rn Strășeni	18020,9	16784,9	14875,9	344,7	302,1
	s. Mereni, rn Anenii Noi	17659,0	16423,0	14550,2	273,2	239,5
	Media	**18043,4**	**16807,4**	**14896,2**	**279,6**	**245,1**
Sud	s. Feștelița, rn. Ștefan-Vodă	18174,5	16938,5	15014,2	168,8	147,9
	rn. Cimișlia	18004,8	16768,8	14861,4	336,9	295,3
	s. Sărăteni, rn. Leova	18494,7	17258,7	15302,3	142,4	124,8
	s. Gotești, rn. Cantemir	17549,6	16313,6	14451,7	188,9	165,6
	s. Chircani, rn. Cahul	18350,9	17114,9	15172,9	555,2	486,7
	Media	**18114,9**	**16878,9**	**14960,5**	**278,4**	**244,1**

Reziduuri de la cultivarea porumbului. A doua cultură, din grupul specioaselor și leguminoaselor boabe, importantă din punct de vedere a potențialului pentru producerea peleților de foc este porumbul.

Porumbul face parte din familia *Gramineelor.* Are tulpina înaltă și dreaptă, viguroasă, neramificată, este plină înăuntru cu măduvă afânată. Principala utilizare a porumbului a fost și va fi alimentația omului și animalelor.

Prezența în porumb a unei cantități notabile de celuloză, lignină și hemiceluloze asigură o folosire destul de largă a tulpinilor de porumb, rezultate după recoltarea boabelor, în calitate de furaj pentru animale, a ciocălăilor măcinați – ca hrană pentru rumegătoare, a pănușilor pentru diferite împletituri. Ciocălăii și tulpinile, la sate, se foloseau, iar în unele cazuri și astăzi se mai folosesc în calitate de combustibil suplimentar.

Prezența celulozei și ligninei fac posibilă folosirea reziduurilor de porumb la fabricarea biocombustibililor solizi densificați, inclusiv a peleților. În calitate de materie primă pentru fabricarea biocombustibililor solizi poate fi folosită tulpina, știuleții și cioclejul porumbului.

În Tabelul 3.4 se prezintă rezultatele cercetărilor referitoare la puterea calorifică a probelor de biomasă obținută din reziduuri de porumb prelevate din diferite zone al Republicii Moldova. Probele au fost colectate direct din câmp și uscate prealabil în uscătoria UASM.

Analiza datelor obținută remarcă că puterea calorifică maximă s-a constatat la probele de porumb prelevate din zona de Nord ($NCV_{M=10\%}$=14,997 MJ/kg) urmată de cea din zona de Centru cu $NCV_{M=10\%}$=14,831 MJ/kg și de ce-a din zona Sud cu $NCV_{M=10\%}$=14,14,598 MJ/kg.

Tabelul 3.4. Puterea calorifică a probelor de biomasă din porumb prelevate din diferite zone climaterice ale Republicii Moldova

Zona.	**Localitate**	**GCV_d J/g**	**NCV_d J/g**	**NCV, J/g (M10%)**	**Devierea standard**	**Intervalul de încredere**
N	s. Bulboaca, Briceni, (Ciocleji)	18155,5	16919,5	14997,1	257,4	225,7
C	s. Drăgușenii Noi, Hâncești	17971,1	16735,1	14831,1	51,9	45,5
S	s. Sărăteni, Leova (Ciocleji)	17712,2	16476,2	14598,1	239,0	209,5
Media		17946,3	16710,3	14808,7	182,8	160,2

În continuare, au fost realizate cercetări mai detaliate pentru toate părțile componente ale porumbului pretabile de a fi folosite în calitate de materie primă pentru producerea peleților [118].

Rezultatele obținute evidențiază că, pentru probele luate în studiu, umiditatea absolută a boabelor la colectare, în mediu, este de 2,28 ori mai mică ca cea a ciocălăilor fără boabe, umiditatea absolută a boabelor fiind U_d*=16,67%,* iar a ciocălăilor fără boabe U_d *=38,09%.*

De menționat, că raportul umidității relative $M_{ar.}/ U_{d.}$ este egal cu 1,86, umiditatea relativă a boabelor fiind $M_{ar.}$*=14,24%,* iar a ciocălăilor fără boabe $M_{ar..}$*=26,49%.*

Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în tabelele 3.5 și 3.6.

Din cele menționate rezultă că, la estimarea potențialului energetic de biomasă, precum și la elaborarea proceselor tehnologice de procesare a biomasei, este important să se specifice care umiditate este luată în calcul – cea în bază uscată sau cea în bază umedă. Aceeași situație se remarcă și la estimarea coeficientului de conversie. De exemplu, pentru datele prezentate în Tabelul 3.6, raportul *masă boabe/masă ciocălăi fără boabe* estimat la colectarea biomasei constituie 4,5 iar pentru biomasa substanță absolut uscată acest raport est egal cu 5,3.

Tabelul 3.5. Umiditatea în bază umedă și în bază uscată a tulpinilor hibridului simplu semitardiv de porumb ”Porumbeni -458 MRf” la colectare

Proba	Masa, g					Umiditatea, %	
	m_c	m_{cp1}	m_{cp2}	m_1	m_2	U_d	M_{ar}
Tr. 1	80,3235	98,7339	94,0011	18,4104	13,6776	34,6026	25,7072
Tr. 2	80,0151	94,9282	90,8264	14,9131	10,8113	37,9399	27,5047
Tr. 3	81,0949	91,0367	88,2867	9,9418	7,1918	38,2380	27,6610
Tr. 4	81,0949	92,1355	88,9822	11,0406	7,8873	39,9795	28,5609
Tr. 5	81,0949	92,1000	88,9882	11,0051	7,8933	39,4233	28,2760
Ch. 1	80,3235	98,8339	94,0011	18,5104	13,6776	35,3337	26,1086
Ch. 2	80,9131	95,9282	91,5864	15,0151	10,6733	40,6791	28,9162
Ch. 3	81,0949	91,0367	88,2867	9,9418	7,1918	38,2380	27,6610
Ch. 4	81,0949	92,0360	88,9712	10,9411	7,8763	38,9117	28,0118
Media						37,5862	27,3031

Legendă: *m_c –masă creuzet, m_{cp1} – masă creuzet +proba până la uscare, m_{cp2} – masă creuzet+ proba uscată absolut, m_1 – masa probei până la uscare; m_2 – masa probei uscată absolut, W_{dry} –umiditatea absolută, W_{wed} – umiditatea relativă.*

Din cele menționate rezultă că, la estimarea potențialului energetic de biomasă, precum și la elaborarea proceselor tehnologice de procesare a biomasei, este important să se specifice care umiditate este luată în calcul – cea în bază uscată sau cea în bază umedă. Aceeași situație se remarcă și la estimarea coeficientului de conversie. De exemplu, pentru datele prezentate în Tabelul 3.6, raportul *masă boabe/masă ciocălăi fără boabe* estimat la colectarea biomasei constituie 4,5 iar pentru biomasa substanță absolut uscată acest raport est egal cu 5,3.

O altă caracteristică importantă pentru biomasa folosită în calitate de biocombustibili solizi este cantitatea de cenușă rezultată de la ardere. Se știe că prezența cenușii micșorează calitatea combustibililor, sporește cheltuielile de transportare, stocare și înlăturare din focare.

Compoziția chimică a cenușii din biomasa lignocelulozică variază mult în raport de tipul plantei, vârsta acesteia, partea plantei de unde a fost preluată, compoziția solului, condițiile locale de creștere etc. Compoziția cenușii rezultată de la arderea biomasei lignocelulozice, folosite pentru scopuri energetice, este destul de omogenă având aproximativ următoarea constituție: 35% CO, 16% Na_2O +K_2O, 7% MgO, 5% MnO, 3% Al_2O_3, 20% CO_2, 5% CO_3, 4% P_2O_5, 2% SiO_2 [4, p. 91]. Prezența acestor elemente face cenușa atractivă pentru folosire în calitate de îngrășământ mineral.

Tabelul 3.6. Umiditatea absolută și relativă a boabelor și ciocălăilor fără boabe a hibridului simplu semitardiv de porumb ”Porumbeni -458 MRf” la colectare

Localitatea	Nr. probă	Masa, substanță la colectare și raportul în % din totalul boabe+ciocălăi					Masa, substanță uscată absolut și raportul în % din totalul boabe+ciocălăi					Umiditatea			
		boabe		ciocălăi fără boabe		Total boabe+ciocălău	boabe		ciocălăi fără boabe		Total boabe+ciocălău	boabe	ciocălăi fără boabe	boabe	ciocălăi fără boabe
		g	%	g	%	g	g	%	g	%		(U_d), %		(M_{ar}),%	
c. Trușeni, m. Chișinău	Tr.1	228,75	83,43	45,44	16,57	274,19	196,05	87,03	29,23	12,97	225,28	16,68	55,46	14,30	35,67
c. Trușeni	Tr.2	227,98	79,92	57,29	20,08	285,27	188,89	84,36	35,03	15,64	223,92	20,69	63,55	17,15	38,85
c. Trușeni	Tr.3	188,45	85,73	31,37	14,27	219,82	165,79	86,23	26,47	13,77	192,26	13,67	18,51	12,02	15,62
c. Trușeni	Tr.4	202,15	82,06	44,19	17,94	246,34	174,95	83,46	34,67	16,54	209,62	15,55	27,46	13,46	21,54
c. Trușeni	Tr.5	160,78	81,79	35,79	18,21	196,57	131,52	85,85	21,67	14,15	153,19	22,25	65,16	18,20	39,45
SDE ”Chetrosu”	Ch.1	192,96	83,28	38,74	16,72	231,70	166,36	85,33	28,59	14,67	194,95	15,99	35,50	13,79	26,20
SDE ”Chetrosu”	Ch.2	160,79	82,55	34,00	17,45	194,79	138,60	83,06	28,27	16,94	166,87	16,01	20,27	13,80	16,85
SDE ”Chetrosu”	Ch.3	189,91	78,52	51,94	21,48	241,85	165,89	80,00	41,46	20,00	207,35	14,48	25,28	12,65	20,18
SDE ”Chetrosu”	Ch.4	167,32	79,49	43,18	20,51	210,50	145,88	81,64	32,81	18,36	178,69	14,70	31,61	12,81	24,02
Media		191,01	81,86	42,44	18,14		163,77	84,11	30,91	15,89		16,67	38,09	14,24	26,49

Totodată, conținutul de cenușă influențează puterea calorifică a biomasei deoarece este un material ce nu generează energie fiind greu fuzibil. Cu cât cantitatea de cenușă este mai mare, cu atât puterea calorifică a biocombustibilului este mai mică.

Cercetările realizate pe probe din porumb, prelevate în comuna Trușeni, au demonstrat că conținutul de cenușă la starea anhidră, rezultată de la arderea diferitor părți componente ale porumbului, prezintă valori destul de scăzute fiind cuprinse între 1,25 – 4,61% (vezi Tabelul 3.7). Cel mai scăzut conținut de cenușă îl au ciocălăii fără boabe (în mediu 1,25%), iar cel mai ridicat îl prezintă tulpinile (4,61%). Boabele, de asemenea, prezintă un conținut de cenușă în stare anhidră scăzut (în mediu 1,41%).

Tabelul 3.7. Conținutul de cenușă în bază uscată al biomasei de porumb ”Porumbeni -458MRf”

Nr. probă	**Specificație**	**Masa, g**			**Cenușă,%**
		m_c	**m_{cp}**	**m_{cc}, g**	
Tr. 1	Boabe	25,5076	34,0003	25,6391	1,5484
	Ciocălău	24,2716	28,9950	24,3273	1,1792
	Tulpină	25,1262	29,4073	25,3126	4,3540
Tr. 2	Boabe	24,3946	38,0112	24,5691	1,2815
	Ciocălău	24,8747	29,8107	24,9311	1,1426
	Tulpină	26,0971	30,7277	26,3435	5,3211
Tr. 3	Boabe	25,5564	37,9111	25,7282	1,3906
	Ciocălău	25,2462	29,9742	25,3140	1,4340
	Tulpină	26,1321	31,5777	26,3585	4,1575
Media	**Boabe**				**1,4068**
	Ciocălău				**1,2520**
	Tulpină				**4,6109**

Legendă: *mc –masă creuzet, mcp – masă creuzet +proba până la testare, mcp2 – masă creuzet+ cenușă.*

Este variată și puterea calorifică a diferitor părți componente ale porumbului, diferență fiind de cca 3 –4 MJ/kg (vezi Tabelul 3.8). Testarea biomasei, obținută din porumb „Porombeni – 458 MRF”, prelevată din diferite localități ale republicii a scos în evidență că puterea calorifică este destul de mare la boabe ($NCV_{M=10\%}$ = 15305±180 J/g) și la tulpini ($NCV_{M=10\%}$ = 14800,8±178,9 J/g). La rândul său, ciocălăii fără boabe prezintă o putere calorifică mai scăzută ($NCV_{M=10\%}$ = 11994,7±206,1 J/g)). Acest lucru se explică și prin compoziția chimică a miezului de ciocălău.

Tabelul 3.8. Puterea calorifică a biomasei de porumb ”Porumbeni -458MRf

Localitate	Boabe					Ciocălăi					Tulpini				
	GCV_d J/g	**NCV_d J/g**	**$NCV_{M=10\%}$, J/g**	**Devierea standard**	**Intervalul de încredere**	**GCV_d J/g**	**NCV_d J/g**	**$NCV_{M=10\%}$, J/g**	**Devierea standard**	**Intervalul de încredere**	**GCV_d J/g**	**NCV_d J/g**	**$NCV_{M=10\%}$, J/g**	**Devierea standard**	**Intervalul de încredere**
s. Bulboaca, Briceni	18609,8	17373,8	15405,9	251,2	220,2	14819,6	13583,6	11994,7	243,6	213,5	18155,5	16919,5	14997,1	188,7	165,4
c. Trușeni, mun. Chișinău	18309,4	17073,4	15135,6	168,4	147,6	14819,6	13583,6	11994,7	301,1	263,9	17971,1	16735,1	14831,1	200,7	175,9
SDE Chetrosu, Anenii Noi	18730,9	17494,9	15514,9	199,7	175,0	14819,6	13583,6	11994,7	197,5	173,1	17712,2	16476,2	14598,1	213,1	186,8
s. Sărăteni, Leova	18344,5	17108,5	15167,2	200,7	175,9	14819,6	13583,6	11994,7	198,5	174,0	17911,1	16675,1	14777,1	214,1	187,7
Media	**18498,6**	**17262,6**	**15305,9**	**205,0**	**179,7**	**14819,6**	**13583,6**	**11994,7**	**235,2**	**206,1**	**17937,5**	**16701,5**	**14800,8**	**204,2**	**178,9**

Reziduuri de la cultivarea florii-soarelui sunt prezente în formă de tulpini, pălării și coajă de semințe. La ziua de astăzi, în Republica Moldova și țările vecine, lipsesc exemple de folosire a tulpinilor și pălăriilor de floarea-soarelui la producerea peleților de foc. Acest lucru poate fi explicat prin umiditatea sporită la colectare, puterea calorifică joasă și conținutul mare de cenușă rezultată de la arderea acestor reziduuri. În schimb, coaja de semințe de floarea-soarelui se folosește foarte activ, atât la producerea brichetelor, cât și a peleților.

În Tabelul 3.9 se prezintă puterea calorifică a biomasei din coajă de semințe de floarea-soarelui prelevată din raioanele Drochia, Hâncești și Cantemir. Se constată o deviere nesemnificativă a puterii calorifice a biomasei în funcție de zona prelevării. Această deviere poate fi explicată prin mai mulți factori de influențe printre care se regăsesc condițiile climaterice, condițiile de cultivare, folosirea diferitor agenți chimici în calitate de pesticide și îngrășăminte minerale.

Important este că biomasa respectivă poate asigura obținerea unor peleți cu caracteristici apropiate de cele cerute de normele internaționale ENPlus.

Tabelul 3.9. Puterea calorifică a biomasei din coajă de semințe de floarea-soarelui prelevată din diferite zone ale Republicii Moldova

Zona de prelevare	**Localitatte**	**GCVd J/g**	**NCV$_d$ J/g**	**NCV $_{M = 10\%,}$ J/g**	**Devierea standard**	**Intervalul de încredere**
N	s. Drochia, Drochia	20340,06455	19104,1	16963,2	251,2	220,2
C	s. Sărata Galbenă, Hâncești	20122,87368	18886,9	16767,7	168,4	147,6
S	s. Gotești, Cantemir	19610,39528	18374,4	16306,5	199,7	175,0
Media		**20024,4**	**18788,4**	**16679,1**	**206,4**	**180,9**

În baza celor constatate se poate afirma că reziduurile provenite din coajă de floarea-soarelui pot fi folosite la producerea peleților calitativi, indiferent de zona de cultivare a florii-soarelui.

Reziduuri de la îngrijirea pomilor fructiferi. Cercetările realizate la ziua de astăzi referitoare la folosirea biomasei rezultate de la pomii fructiferi demonstrează că cercetările referitoare la estimarea calitative a acestui tip de biomasă poartă un caracter general. Există dor câteva analize speciale consacrate posibilității folosirii biomasei lemnoase provenite de la pomii fructiferi pentru producerea peleților. Astfel cercetările realizate la Facultatea de Științe și Tehnologii de la Universitate Liberă din Bozen-Bozano, Italia de către Daio Pranto și colegii [101]

au arătat posibilitățile folosirii reziduurilor de măr pentru producerea peleților, menționând și un șir de factori care influențează calitatea produsului finit și condițiile de mediu.

3.3. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova

Sectorul agricol are un rol semnificativ în contribuția economică a raionului Soroca. Din suprafața totală de 104299 hectare, mai mult de 60% este ocupată de activități legate de agricultură și cca 9% sunt teritorii ale fondului silvic și teritorii destinate ocrotirii naturii. Din cele 63206 ha de terenuri cu destinație agricolă 54495 ha este teren arabil și 7117 ha. Consumul anual de resurse energetice în raion constituie aproximativ 4 mii t cărbune (0,09 PJ), 8 mil m^3 gaz (0,27 PJ) și 1mie de m^3 de lemne (0,01 PJ).

Din punct de vedere istoric, reziduurile agricole, în raionul Soroca, au constituit o sursă tradițională de furaj pentru animale, îngrășăminte organice și supliment de energie pentru pregătirea bucatelor și încălzirea locuințelor în mediul rural. Folosirea, în ultimul deceniu, a reziduurilor agricole în formă densificată (peleți și brichete) a condus la extinderea domeniului de utilizare a acestora exprimată prin utilizarea lor în calitate de combustibil de bază pentru diverse termocentrale de ultima generație, folosite în grădinițe de copii, școli, case individuale etc.

Potențialul de biomasă, pasibil pentru generarea de energie, este destul de semnificativ fiind vizat ca o opțiune eficientă de sporire a securității energetice din surse autohtone. Se estimează că Republica Moldova poate genera anual biomasă provenită din reziduuri agricole cu un potențial de cca 21 PJ ce ar putea acoperi 22% din necesarul total de resurse energetice consumate în Republica Moldova [5]. La aceasta se mai adaugă și o posibilă reducere a emisiilor de CO_2 estimate la 1,2 mil tone/an.

Cu părere de rău, perspectiva optimistă, expusă de către IDIS „Viitorul” [38], dar și de alți autori [5, 36], pe parcursul ultimilor ani, a fost realizată doar parțial. Astfel, conform datelor statistice [1], în structura consumului final de resurse energetice, în anul 2014, biocombustibilii și deșeurile constituie 13,1 %. Situația creată are mai multe explicații, printre care, pe primul loc se plasează cunoașterea insuficientă a potențialului real de biomasă agricolă. Informația despre valoarea acestui potențial, în mod obligatoriu, trebuie să fie argumentată cu indicatori complecși cantitativi și calitativi de ordin tehnic, economic și social.

Este important să se aibă în vedere că calitatea biocombustibililor solizi, produși din biomasă provenită din activități agricole, este diferită față de cea a biocombustibililor obținuți din biomasă lemnoasă de origine silvică. În majoritatea cazurilor, peleții și brichetele din reziduuri

agricole au un conținut mai mare de cenușă, fuzibilitatea cenușii este mai mică, conțin mai mult sulf, azot și clor. Din acest motiv, biomasa provenită din reziduuri agricole trebuie tratată separat atât ca potențial energetic și impact asupra dezvoltării durabile a agriculturii, cât și ca posibilitate de folosire a acesteia în calitate de materie primă la producerea biocombustibililor solizi cu caracteristici pretate la cerințele normelor internaționale ENPluss.

Cantitatea de reziduuri, provenite anul din culturi agricole cultivate în raionul Soroca, s-a calculat și estimat folosind datele statistice ale autorităților locale din raionul Soroca. În tabelul 1 se prezintă situația producției agricole din raion pentru anii 2012-2015. Potențialul energetic s-a calculat pentru media anilor luați în studiu.

Pentru a estima potențialul energetic al biomasei provenită din culturi agricole a fost măsurată puterea calorifică superioară a probelor respective și, apoi, a fost calculată puterea calorifică inferioară pentru umiditatea 0 și pentru umiditatea de 10% conform metodologiei descrise în compartimentul *Materiale și metode*. Datele respective au fost introduse în Tabelul 3.10. Potențialul energetic pentru fiecare suprafață specifică fiecărei culturi s-a determinat cu relația (3.7).

Ierarhizând tipurile de biomasă după diferiți indicatori (Tabelul 3.11) constatăm că cel mai mare volum de biomasă, rezultată din activități agricole în raionul Soroca, se obține de la cultivarea florii-soarelui (cca 17,7 mii tone), urmată de porumb (16,8 mii tone) și de reziduuri lemnoase de la pomi fructiferi din specia sămânțoaselor (5,24 mii tone). Însă, aici trebuie menționat că, biomasa rezultată de la cultivarea florii-soarelui și a porumbului posedă o putere calorifică joasă, plasând-o, la acești indici, pe locurile 9 și 10. Aceste afirmații nu se referă la biomasa obținută din coji de semințe de floarea-soarelui care, după datele din Tabelul 3.9, posedă o putere calorifică superioară în bază uscată egală cu $GCV_{d.} = 20,02$ *MJ/kg* sau, recalculată, o putere calorifică inferioară la umiditatea 10% $NCV_{M=10\%} = 16,68$ *MJ/kg*.

Conform normelor internaționale, peleții pentru consum neindustrial de calitatea ENPlus 3, trebuie să posede o putere calorifică inferioară la recepție, de cel puțin 16,5 MJ/kg [7, p. 121]. Astfel, putem confirma că, peleți cu o putere calorifică corespunzătoare normelor EN plus pot fi fabricați din biomasa lemnoasă rezultată din operațiile de tăiere și emondare a pomilor fructiferi (poz. 3 și 10, tab. 3.12) adăugând la aceasta și biomasa din coji de semințe de floarea-soarelui.

Tabelul 3.10. Date statistice cu privire la producția agricolă în raionul Soroca pe anii 2012-2015

Anul	Suprafață, ha					Recolta, kg/ha				
	2012	2013	2014	2015	Media pe 5 ani	2012	2013	2014	2015	Media pe 5 ani
Grâu	10092	11366	10508	10387	10588,3	2130	2740	3810	3130	2952,5
Orz de tomnă și de primăvară	1531	2075	1808	1606	1755,0	1870	1970	3040	2790	2417,5
Ovăz	10	9	11	4	8,5	8	32	10	21,7	17,9
Porumb	4072	4675	3804	4858	4352,3	17,5	41,5	59,9	18,1	34,3
Sorg pentru boabe	0	130	384	17	132,8	0	47,7	44,5	11,9	26,0
Floarea-soarelui	11872	10596	10758	12002	11307,0	13,9	20,7	21,1	15,7	17,9
Mazăre	148	193	205	246	198,0	29,6	36	33,8	17,2	29,2
Soie	2579	1452	1996	2105	2033,0	8,3	10,4	17,9	4,9	10,4
Sfeclă de zahăr	2083	2707	2472	2090	2338,0	214,6	287,8	310,8	211,6	256,2
Rapiță	198	910	1790	1045	985,8	8,5	19,4	23,1	16,6	16,9
Pomi sămânțoase	2744	2585	2340	2026	2423,8	81,5	108	131,2	108,6	107,325
Pomi sâmburoase	274	257	246	218	248,8	20,9	93,6	91,3	103,9	77,425
Pomi nuciferi	96	173	10	749	257,0	1.0	1,9	2,1	2,1	2,033333
Arbuști fructiferi	79	69	55	52	63,8	7,6	6,3	9,3	12,9	9,025

Tabelul 3.11. Potențialul de biomasă accesibil pentru producerea peleților provenită din reziduuri agricole în raionul Soroca (media pe anii 2012-2015)

Tip biomasă	Anul	S_i	$M_{p.b.i.}$	$K_{rez.}$	$K_{d.e}$	$K_{per.}$	$M_{b.r.s.e.}$	NCVv.net, MJ/kg		Potențialul energetic al biomasei în stare uscată pentru suprafața S_i			Potențialul energetic al biomasei în stare umedă (W-10%) pentru suprafața S_i		
								W=0	W=10%	$P_{s.ener,S}$, MJ	$P_{s.ener,Si}$, PJ	$P_{s.ener,Si}$, tep	$P_{s.ener,S}$, MJ	$P_{s.ener,Si}$, PJ	$P_{s.ener,S}$, tep
Paie de grâu	Media pentru anii 2011-2015	10588,0	2952,5	0,74	0,15	0,10	3,12E+06	17,12	15,18	5,35E+07	0,053	1,272	4,741E+07	0,047	1,128
Paie de orz		1755,0	2417,5	0,65	0,15	0,10	3,72E+05	16,86	14,95	6,28E+06	0,006	0,149	5,566E+06	0,006	0,132
Paie de ovăz		8,5	1790,0	0,90	0,15	0,10	1,85E+03	16,84	14,93	3,11E+04	0,000	0,001	2,760E+04	0,000	0,001
Reziduuri de porumb		4352,3	3430,0	2,50	0,60	0,25	1,68E+07	16,71	14,81	2,81E+08	0,281	6,679	2,487E+08	0,249	5,920
Reziduuri sorg pentru boabe		132,8	2600,0	1,60	0,60	0,25	2,49E+05	17,30	15,36	4,30E+06	0,004	0,102	3,819E+06	0,004	0,091
Reziduuri floarea-soarelui inclusiv coaja de semințe		11307,0	1790,0	1,25	1,00	0,30	1,77E+07	16,76	14,86	2,97E+08	0,297	7,064	2,632E+08	0,263	6,263
Reziduuri mazăre		198,0	2920,0	1,30	1,00	0,10	6,76E+05	13,80	12,19	9,33E+06	0,009	0,222	8,246E+06	0,008	0,196
Reziduuri soia		2033,0	1040,0	0,75	0,60	0,10	8,56E+05	13,81	12,20	1,18E+07	0,012	0,281	1,045E+07	0,010	0,249
Reziduuri sfeclă de zahăr		2338,0	25620,0	0,10	0,10	0,15	5,09E+05	13,80	12,19	7,03E+06	0,007	0,167	6,206E+06	0,006	0,148
Reziduuri rapiță		985,8	1690,0	2,90	0,80	0,10	3,48E+06	17,30	15,35	6,02E+07	0,060	1,432	5,340E+07	0,053	1,271
Resturi lemnoase pomi sământoase		2423,8	10732,5	0,28	0,80	0,10	5,24E+06	19,20	17,10	1,01E+08	0,101	2,396	8,968E+07	0,090	2,134
Resturi lemnoase pomi sâmburoase		248,8	7742,5	0,26	0,80	0,10	3,61E+05	19,20	17,10	6,92E+06	0,007	0,165	6,166E+06	0,006	0,147
Reziduuri pomi nucifieri		257,0	203,0	0,10	0,80	0,15	3,55E+03	16,80	14,89	5,96E+04	0,000	0,001	5,282E+04	0,000	0,001
Reziduuri arbuști fructifieri		63,8	902,0	0,00	0,80	0,45	2,53E+01	16,20	14,40	4,10E+02	0,000	0,000	3,646E+02	0,000	0,000
	Total biomasă									8,38E+08	0,84	19,93	7,43E+08	0,743	17,681
Total cu $NCV_{w=10\%} > 16,5$ MJ/kg										1,08E+08	0,108	2,561	9,58E+07	0,096	2,281
Total cu $NCV_{w=10\%}$ 15 - 16,5 MJ/kg										1,18E+08	0,12	2,81	1,05E+08	0,105	2,490

S_i este suprafața pentru care este estimat potențialul energetic al biomasei, în ha; $M_{p.b.i.}$ ×– masa producției de bază anuală de pe un hectar, kg/ha; $K_{rez.}$– factorul unitar de conversie pentru cultura respectivă; $K_{d.e.}$ ×– factorul de disponibilitate a biomasei pentru scopuri energetice pentru cultura respectivă, $K_{per.}$– coeficientul pierderilor inevitabile de la recoltare, transportare și stocare, $M_{b.r.s.e.}$ - masa biomasei disponibilă real pentru scopuri energetice în kg; NCVv.net – puterea calorifică inferioară a biomasei respective, MJ/kg

Tabelul 3.12. Ierarhizarea tipurilor de biomasă după diferite criterii

Nr. crt.	Tip biomasă	$m_{b.r.s.e.}$		NCV v.net. W=10%		Ps.ener,Si, PJ	
		ierarhi-zare	mii tone	ierarhi-zare	MJ/kg	ierarhi-zare	PJ
1	Reziduuri floarea-soarelui inclusiv coaja de semințe	1	17,70	9	14,86	1	0,263
2	Reziduuri de porumb	2	16,80	10	14,81	2	0,249
3	Resturi lemnoase pomi sământoase	3	5,24	1	17,1	3	0,09
4	Reziduuri rapiță	4	3,48	4	15,35	4	0,053
5	Paie de grâu	5	3,12	5	15,18	5	0,047
6	Reziduuri soia	6	0,86	12	12,2	6	0,01
7	Reziduuri mazăre	7	0,68	13	12,19	7	0,008
8	Reziduuri sfeclă de zahăr	8	0,51	14	12,19	8	0,006
9	Paie de orz	9	0,37	6	14,95	9	0,006
10	Resturi lemnoase pomi sâmburoase	10	0,36	2	17,1	10	0,006
11	Reziduuri sorg pentru boabe	11	0,25	3	15,36	11	0,004
12	Reziduuri pomi nuciferi	12	0,00	8	14,89	12	0
13	Paie de ovăz	13	0,00	7	14,93	13	0
14	Reziduuri arbuști fructiferi	14	0,00	11	14,4	14	0
Total			49,4	-	-	-	0,74

Biomasa cu nr. de ordine 4, 5 și 11, deoarece posedă o putere calorifică inferioară apropiată de 15,5 MJ/kg, ca putere calorifică, poate fi folosită în amestec pentru obținerea peleților certificați ENPlus. De asemenea, este important să menționăm că puterea calorifică a produsului finit poate fi mărită prin diverse procedee tehnologice, de exemplu, torefierea sau adausul de aditivi naturali cu putere calorifică sporită.

La acest capitol este necesar să se aibă în vedere că normele ENPlus înaintează un șir de alte cerințe referitoare la calitatea biocombustibililor solizi, cerințe care sunt dependente de materia primă. Printre acestea se regăsesc, în primul rând, conținutul și fuzibilitatea cenușii, conținutul de elemente chimice, conținutul de aditivi și alt.

Cercetările experimentale întreprinse în cadrul studiului de caz pentru condițiile raionului Soroca, Republica Moldova, demonstrează că în raion, din activități agricole, rezultă cca 49,4 mii tone de reziduuri agricole disponibile de a fi folosite în calitate de biocombustibili solizi ce constituie aproximativ 0,74 PJ. Acest potențial depășește de două ori potențialul de surse energetice folosite pentru încălzire în raion. Din volumul de biomasă rezultat din activități agricole în raionul Soroca, doar 5 % posedă o putere calorifică inferioară mai mare de 16,5 MJ/kg și care poate fi folosită direct la fabricarea peleților și brichetelor cu o putere de ardere corespunzătoare cerințelor ENPlus, aproximativ 20% de biomasă agricolă (paie de grâu, reziduuri de rapiță, și de sorg) poate fi folosită pentru fabricarea biocombustibililor solizi de calitate prin formarea unor amestecuri, în care biomasa menționată ar avea rolul de componentă principală, celelalte tipuri de biomasă pot fi folosite în calitate de umpluturi ca componente secundare.

CONCLUZII LA CAPITOLUL 3

1. Au fost identificate principalele surse de biomasă provenită din activități agricole cu cuantificarea acestora în termeni de energie și potențial de materie primă pentru producerea peleților de foc certificați conform normelor internaționale ENPlus 3.

2. A fost propusă o metodologie perfecționată de determinare a potențialului energetic anual de biomasă agricolă pretabilă pentru producerea peleților de foc bazată pe criterii tehnici, economici și sociali specifici localității de prelevare a biomasei.

3. S-a estimat valoarea calorifică a diferitori tipuri de biomasă provenită din activități agricole pentru diferite zone climaterice ale Republicii Moldova. S-a constatat că puterea calorifică a biomasei prelevată din diferite zone al republicii nu este influențată semnificativ de zona de cultivare, fiind mai mult, o derivată a tipului de biomasă, a condițiilor climaterice ale anului de cultivare, a conținutului de chimicale folosite în calitate de pesticide, îngrășăminte minerale, protecție împotriva dăunătorilor.

4. S-a constatat că paiele de specioase nu pot fi folosite în stare pură pentru producerea peleților de foc cu cerințe calitative impuse de normele ENPlus 3, deoarece prezintă o putere calorifică scăzută ($NCV_{M10\%}$ = (14,9±0,24) MJ/kg, conțin mult clor (cca. 0,75 %) și metale alcaline (cca. 1,18%), datorită cărora, la ardere, se formează compuși chimici în formă de clorură de sodiu și clorură de potasiu care, împreună cu alți compuși, cauzează coroziunea mai rapidă a elementelor metalice ale instalațiilor de încălzire.

5. În baza analizei cantitative și calitative a reziduurilor de porumb s-a constatat că puterea calorifică a părților componente ale porumbului este diferită. Astfel, testarea reziduurilor de porumb „Porombeni – 458 MRF”, cultivat în diferite localități ale republicii, a arătat că puterea

calorifică este destul de mare la boabe (NCV $_{M = 10\%}$ = 15305±180 J/g) și la tulpini (NCV $_{M = 10\%}$ = 14800,8±178,9 J/g), pe când ciocălăii fără boabe prezintă o putere calorifică mai scăzută (NCV $_{M = 10\%}$ = 11994,7±206,1 J/g), lucru explicat prin compoziția chimică a miezului de ciocălău.

6. Cercetarea reziduurilor provenite de la cultivarea florii-soarelui a precizat că, la ziua de astăzi, în calitate de materie primă pentru producerea peleților de foc calitativi poate fi folosită doar coaja de semințe de floarea-soarelui, care posedă o putere calorifică NCV $_{M = 10\%,}$ egală cu cca. (16,7± 0, 181)MJ/kg.

7. Cercetările experimentale întreprinse în cadrul studiului de caz pentru condițiile raionului Soroca, Republica Moldova afirmă că, din cca 49,4 mii tone de reziduuri agricole disponibile de a fi folosite în calitate de biocombustibili solizi, doar 5 % posedă o putere calorifică NCV $_{M = 10\%,}$ >16,5 MJ/kg putând fi folosite direct la fabricarea peleților și brichetelor cu o putere de ardere corespunzătoare cerințelor ENPlus. Aproximativ 20% de biomasa rezultată din reziduuri agricole, poate fi folosită pentru fabricarea biocombustibililor solizi de calitate prin formarea unor amestecuri ca umpluturi cu rol de componente secundare. Celelalte tipuri de biomasă pot fi acceptate în calitate de materie primă doar la producerea biocombustibililor de calitate mai joasă decât cea cerută de normele ENPlus 3.

4. ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII PELEȚILOR DE FOC PRIN PROCEDEE TEHNOLOGICE

4.1. Sporirea calității peleților de foc prin condiționarea primară a biomasei și formarea amestecurilor

4.1.1. Influența granulației particulelor asupra calității peleților de foc

În rezultatul analizei datelor din literatura de specialitate prezentată în subcapitolul 1.4 a fost înaintată ipoteza că granulația particulelor biomasei lignocelulozice, folosite în calitate de materie primă, poate fi o metodă de îmbunătățire a calității peleților de foc. Dimensiunile particulelor influențează mecanismele reacțiilor, cinetica și durata procesului de formare a legăturilor intermoleculare etc.

Pentru a putea studia influența dimensiunilor particulelor biomasei lignocelulozice asupra nivelului de calitate al produsului finit, s-a analizat distribuția granulometrică pentru trei tipuri de biomasă, caracteristică pentru condițiile Republicii Moldova, provenită din activități agricole:

1. Biomasă lemnoasă rezultată de la tăierea pomilor fructiferi din specia sămânțoaselor uscată în condiții naturale,
2. Biomasă lemnoasă rezultată de la tăierea pomilor fructiferi din specia sămânțoaselor uscată forțat în condiții intensive;
3. Biomasă din paie de grâu.

Biomasa lemnoasă a fost studiată pentru două moduri de condiționare a umidității: uscată în câmp, în condiții normale timp de un an de zile și uscată forțat în uscătoria experimentală a LBCS, UASM. Înainte de mărunțire toate cele trei tipuri de biomasă au fost aduse la aceiași umiditate prin menținerea tuturor probelor în etuva de condiționare în vid EV MGGA 1, unde a fost menținute timp de 60 min la temperatura de 20 ^{o}C și umiditatea relativă 60%. Astfel, probele luate în studiu au avut un conținut de umiditate egal cu 10 ± 1,5 ^{o}C.

După menținerea în etuvă, biomasa, imediat, a fost mărunțită la moara cu ciocane SV 7 cu trecerea prin site cu diferite dimensiuni ale ecranului ochiurilor și anume 4, 3 și 1 mm. pentru toate cele trei loturi de biomasă mărunțită a fost determinată distribuția granulometrică prin cernere cu site vibratorii cu următoarele dimensiuni ale ecranului ochiurilor: 0,25, 0,5, 1, 1,4, 2,0, 2,8 și 3,15 mm. Procentajul distribuției biomasei măcinate cu indicarea intervalului de încredere este prezentat în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Distribuția granulometrică a particulelor diferitor tipuri de biomasă funcție de ecranul ochiurilor (mm) sitei de cernut, %

Nr. sită	Tip biomasă	Fracția biomasei, mm							
		< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 1,4	1,4 - 2,0	2,0 - 2,8	2,8 – 3,15	> 3,15
1 mm	Lemn sămânțoase condiționat regim natural	43,30±1,55	44,99±0,48	11,71±1,56	-	-	-	-	-
	Lemn sămânțoase condiționat regim intensiv	84,76±2,50	13,01±2,67	2,23±0,16	-	-	-	-	-
	Paie de grâu	38,80±1,66	45,55±1,14	15,66±0,66	-	-	-	-	-
3 mm	Lemn sămânțoase condiționat regim natural	29,88±0,66	25,46±0,55	27,48±0,32	10,6±0,35	5,71±0,25	0,69±0,12	0,13±0,08	-
	Lemn sămânțoase condiționat regim intensiv	12,32±1,39	16,96±1,60	46,63±1,57	20±2,59	3,68±0,74	0,33±0,03	0,12±0,1	-
	Paie de grâu	16,22±0,34	16,99±1,22	30,86±1,07	31,1±0,9	3,93±0,27	0,46±0,06	0,43±0,14	-
4 mm	Lemn sămânțoase condiționat regim natural	18,67±0,72	18,93±0,98	25,68±0,74	14±0,69	15,1±1.05	5,06±0,27	0,17±0,08	2,38±0,19
	Lemn sămânțoase condiționat regim intensiv	8,29±0,55	14,58±0,22	40,54±1,09	24,2±0,87	9,83±0,47	1,63±0,16	0,1±0,06	0,83±0,23
	Paie de grâu	12,05±0,39	12,02±0,93	27,3+9±1.07	32,7±5,07	4,8±3,6	0,44±0,20	0,01±0,01	11,86±2,09

Rezultatele experimentale obținute demonstrează că, în cazul condiționării biomasei în condiții naturale, distribuția granulometrică este mai uniformă, atât a biomasei mărunțite prin sită cu ecranul ochiurilor de 3 mm, cât și a celei mărunțite prin sită cu ecranul ochiurilor de 4 mm.

În cazul mărunțirii cu sită cu ecranul ochiurilor egal cu 3 mm, biomasa lemnoasă uscată în mod natural posedă o distribuție granulometrică foarte uniformă a particulelor pentru toate fracțiile dimensionale mai mici de 1 mm, constituind 82,38% wt. Repartizată după cum urmează: (< 0,25) - 29,88% wt.; (0,25 - 0,5) - 25,46% wt și (0,5 – 1) - 27,48% wt. Această situație se vizualizează foarte clar din figurile 4.1 şi 4.3.

Biomasa uscată forțat și mărunțită prin sită cu ecranul ochiurilor egal cu 3 mm posedă o distribuție dimensională extrem de eterogenă în limitele 0 – 1 mm. Conținutul de biomasă cu dimensiuni mai mici de 1 mm constituie 75,91% wt., iar fracția cu dimensiuni mai mici de 0,25 mm este de 3,78 ori mai mică de cât cea cuprinsă în limitele (0,5 – 1 mm).

Aproximativ același fenomen se urmărește și în cazul măcinării cu sită de 4 mm. Biomasa uscată în condiții naturale cunoaște o distribuție dimensională relativ uniformă, începând cu dimensiunile particulelor mai mici de 2 mm.

Acest fenomen poate fi explicat prin conținutul de extractive care, fiind prezent în formă de rășini, grăsimi, tanin, amidon, zahăr, proteine și minerale, fac procesul de mărunțire mai dificil de unde și neuniformitatea dimensională. Conținutul de extractive este mai mare în biomasa uscată artificial, deoarece eliminarea acestora nu are loc în virtutea vitezei mare de uscare. În cazul biomasei uscate în mod natural, eliminarea unui număr însemnat de extractive are loc cvazi uniform pe parcursul duratei mai lungi de uscare, dar și în rezultatul degradării unei părți semnificative de extractive. Aceste afirmații se înscriu în constatările făcute de către *Back* [16], *Stehr, M. și Johansson*, I. [17].

Afirmațiile despre influența extractivelor asupra uniformității distribuției dimensionale a particulelor de biomasă se confirmă indirect și prin faptul că distribuția fracționară a biomasei din paie, care conține cca. 4,6% extractive, ce este mai mult ca la speciile lemnoase [18], este, de asemenea, destul de neuniformă.

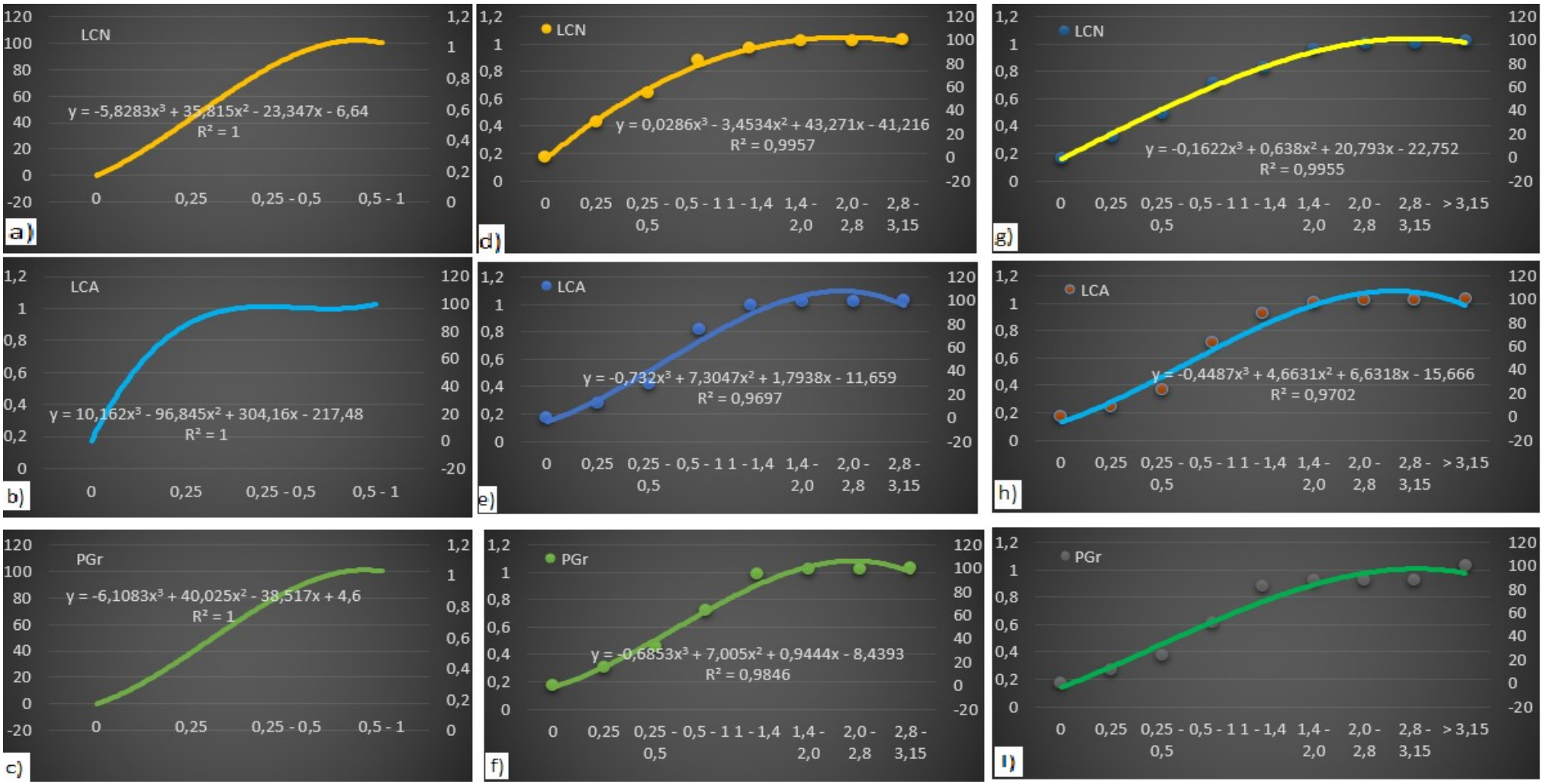


Figura 4.1. Distribuția cumulativă a dimensiunilor particulelor biomasei măcinate prin sita cu ecranul ochiurilor 1 mm (a, b, c), 3 mm (d, e, f) și 4 mm (g, h, l): *LCN – biomasă lemnoasă condiționată în regim natural; LCA – biomasă lemnoasă condiționată în regim artificial forțat; PGr – biomasă provenită din paie de grâu.*

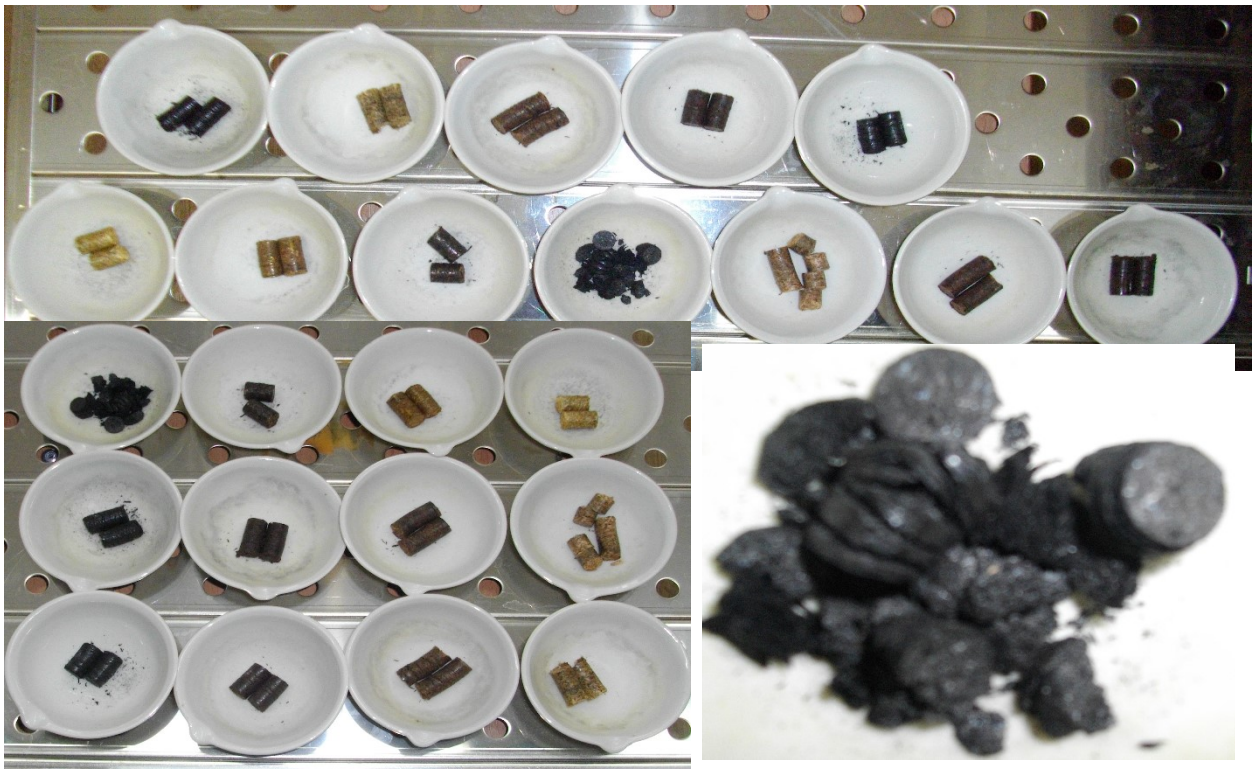


Figura 4.2. Probe densificate din biomasă cu granulația cercetată

Rezultatele obținute corelează și cu cele obținute de către *Samuelsson* [10] și de către *Nielsen și Cadner* [19] referitoare la influența conținutului de extractive asupra durabilității biomasei lignocelulozice și a peleților obținuți din această biomasă.

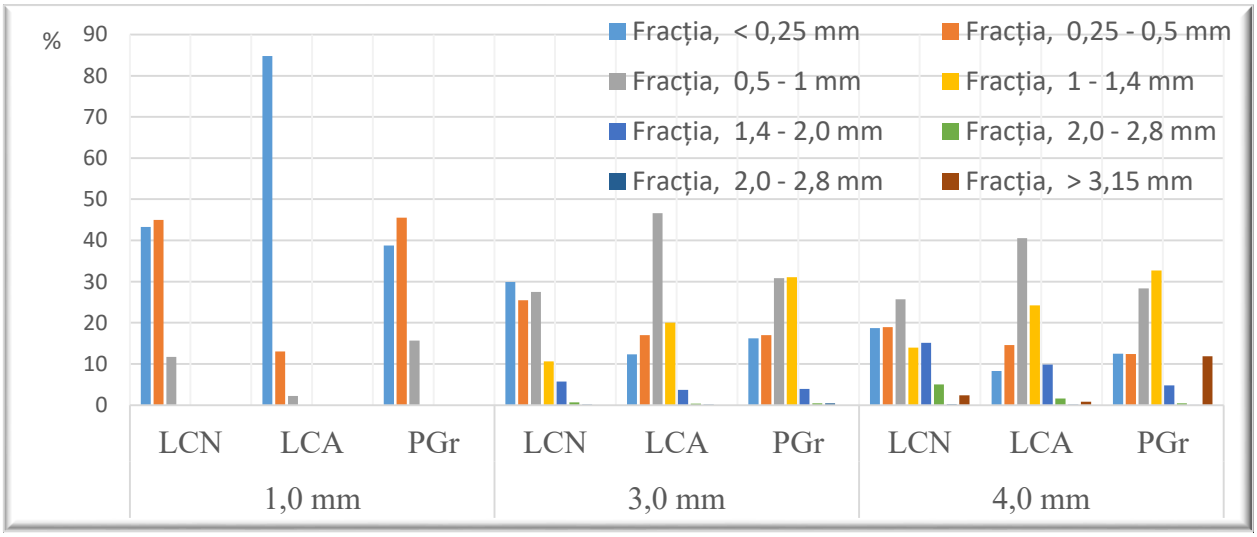


Figura 4.3. Distribuția granulometrică a biomasei măcinate prin sita cu ecranul ochiurilor 1, 3 și 4 mm: *LCN – biomasă lemnoasă condiționată în regim natural; LCA – biomasă condiționată în regim artificial forțat; PGr – biomasă provenită din paie de grâu.*

4.1.2. Cercetări cu privire la îmbunătățirea calității BCS prin formarea amestecurilor din reziduuri agricole și culturi energetice

Securitatea aprovizionării cu materie primă calitativă și accesibilă a întreprinderilor de producere a biocombustibililor solizi din Republica Moldova este principalul obstacol în calea instalării centralelor termice eficiente care funcționează pe bază de biomasă. Dacă, inițial, atenția producătorilor și a cercetătorilor era focusată spre folosirea în scopuri energetice a biomasei lemnoase provenită din activități silvice și din reziduuri agricole în stare naturală, astăzi tot mai insistent se vorbește despre perspectivele folosirii reziduurilor agricole în amestec cu diferite culturi energetice, care pot fi cu succes cultivate în condițiile țării noastre.

Această situație este motivată atât de considerente economice, cât și de strategiile de dezvoltare a agriculturii Moldovei, strategii care, în mare măsură, sunt bazate pe dezvoltarea continuă a agriculturi durabile și sustenabile. Deoarece tehnologiile de obținere a producției în condițiile unei agriculturi durabile, de regulă, presupune lăsarea în sol a unei cantități importante de biomasă de origine vegetală sau animală cum sunt reziduurile erbacee, cele de la îngrijirea viței-de-vie precum și a substanțelor vegetale și animale din grădinărit și diferite activități casnice, este evident interesul sporit și actualitatea folosirii la producerea biocombustibililor solizi a biomasei lignocelulozice provenită din diferite amestecuri cu folosirea culturilor energetice.

Culturile energetice posedă o capacitate sporită de creștere și are proprietăți termice destul de bune, ce poate asigura un potențial important de biomasă pretabilă pentru folosită în calitate de componente de bază sau auxiliară la producerea biocombustibililor solizi, inclusiv și a peleților.

Un alt factor care impulsionează folosirea amestecurilor de biomasă vegetală la producerea biocombustibililor solizi densificați este prezentat de exigențele mereu crescânde referitoare la calitatea peleților, exigențe impuse de către normele internaționale ENPlus.

Au fost studiate următoarele plante înregistrate în registrul de plante al Republicii Moldova: *Topinambur* – Solar (înregistrat în anul 2014), **Silfia** – Vital și Hrișcă de Sahalin – Gigant (2012), și soiurile de salcie energetică *Tordis* și *Inger* (2013).

Probele luate în studiu au fost prelevate de pe loturile experimentale ale Grădinii Botanice (Institut) a A.Ș.M și de pe plantațiile test de salcie energetică din SRL BioAgroinvest, com. Bozieni, raionul Hâncești.

Pentru argumentarea utilității și semnificației tipurilor de biomasă luate în studiu, în prima etapă a cercetărilor se prezintă o analiză succintă a acestora.

Topinamburul (Helianthus tuberosus) (Figura 4.4, a), care în popor mai este numit și măr-de-pământ, para pământului, guli, nap porcesc, morcovul pământului, morcov-porcesc, cartoful ciorii, pere-iernatice, cartoful săracilor, este o plantă erbacee, perenă din familia Asteraceae, aparținând, genului Helianthus. Are tulpina erectă, cilindrică, lemnoasă cu diametrul tulpinii la baza solului de 22 – 50 mm, este ușor brăzdată în lung, aspru-păroasă, înaltă de până la 4 m, ramificată în partea superioară.

Patria topinamburului este America de Nord, iar denumirea provine de la tribul indian *TOPINAMBA* unde, încă în primul mileniu înainte de Hristos, a fost adusă din America de Nord.

Valoarea topinamburului, atât în calitate de cultură furajeră și de legumă tehnică și medicală, cât și ca plantă energetică pentru obținerea biocombustibililor se bazează pe compoziția chimică și pe potențialul productiv al plantei.

a) b)

Figura 4.4. Plantații de Topinambur (a) și Silfia perfoliatum L. de pe lotul experimental al Grădinii Botanice din Chișinău

Plantele de topinambur folosesc eficient energia solară posedând un coeficient de valorificare a energiei fotosintetice active de peste 3,5%, depășind porumbul de 3 ori. Aceasta permite atingerea potențialului productiv de 150 tone masă verde și circa 200 tone tuberculi de pe un hectar. Evident că acestea sunt cifre pentru recolte record. În mod obișnuit, recolta medie de pe un hectar constituie cca 35 – 50 tone masă verde și 25 tone tuberculi.

Topinamburul se înmulțește prin tuberculi. Are pretenții mici fată de tipul de sol, plantele vegetează foarte bine și dau cele mai mari recolte pe soluri luto-humoase de luncă, suficient de

umede și afânate, dar valorifică bine și solurile ușor nisipoase, chiar și nisipurile mobile. Are o mare putere de adaptare la condițiile variate de climă.

Silfia perfoliatum L. (Figura 4.4, b) este o plantă erbacee din familia Asteraceae, originară din America de Nord, perenă, policarpica, cu tulpină erectă în patru muchii cu perișori, în partea superioară ramificată, cu înălțimea de 2 - 3,5 m și grosimea la bază de 20 - 40 mm. Dezvoltă un sistem radicular pivotant cu extindere până la 3,5 m adâncime. Valorifică bine solurile umede și cele contaminate cu metale grele. Posedă o rezistență înaltă la ger și înghețuri, moderată la arșiță și secetă. Se înmulțește prin semințe și vegetativ (bucăți de rizomi, răsad).

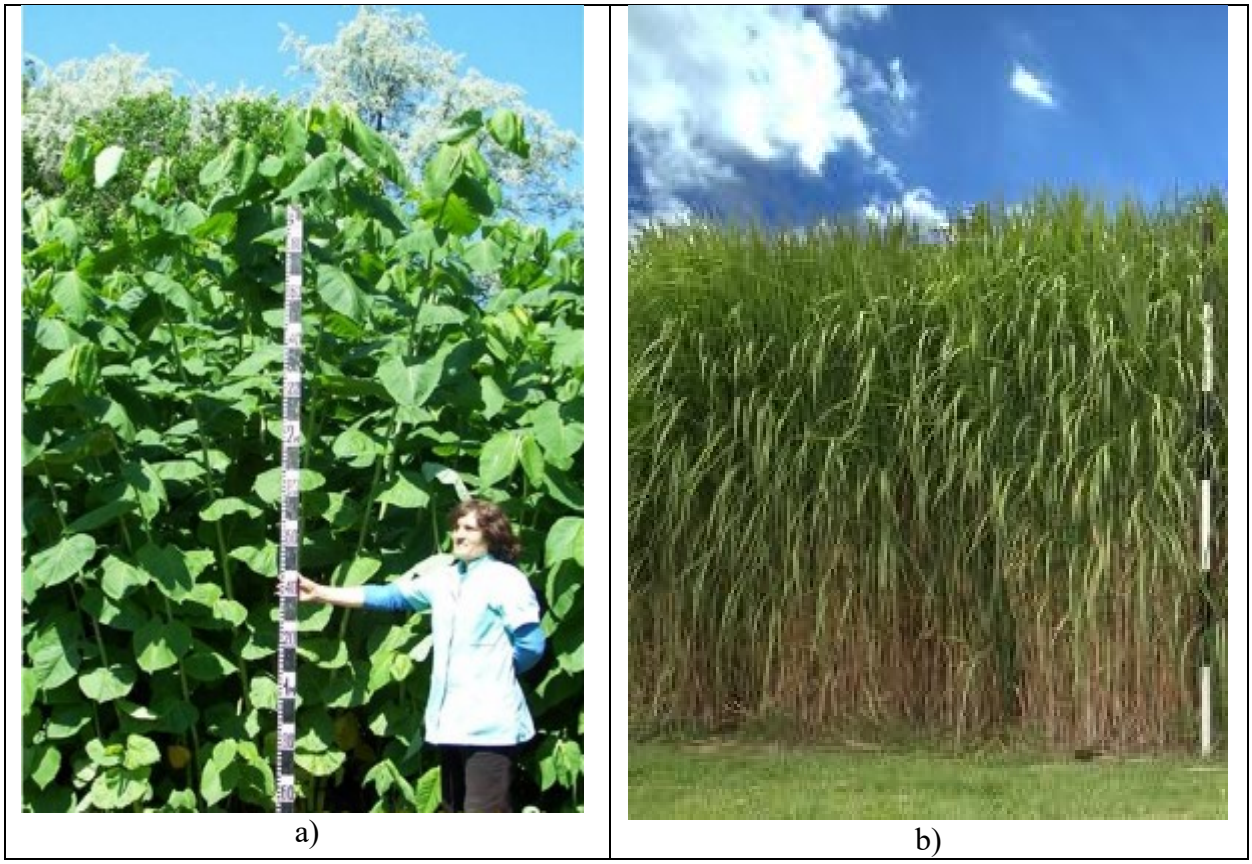
La înmulțirea prin semințe, în primul an de vegetație, plantele dezvoltă 12-16 frunze care formează rozeta centrală și un sistemul radicular format din rizomi și rădăcini adventive subțiri și lungi. În anii următori parcurge toate fazele fenologice. La reluarea vegetației în primele 25 - 30 zile creșterea este lentă, apoi se accelerează formându-se lăstarii care, la sfârșitul lunii mai, ating 1,6 m. Creșterea în această perioadă este de cca 7 cm/zilnic. Pe parcursul lunii iulie - august ritmul de creștere a tulpinii este mai lent, înălțimea tulpinilor la finele vegetației fiind de 2,5 - 3,2 m. Recolta anuală de masă proaspătă variază de la 70 până la 100 t/ha în funcție de condițiile climaterice.

Hrișca de Sahalin, Polygonum sachalinense F. Schmidt (Figura 4.5, a) este răspândită în flora spontană din partea de răsărit a Rusiei și nordul Japoniei, pătrunde în Europa în a doua jumătate a secolului IXX. A fost implementată în cultură, pe parcursul secolului 20, în fosta Uniune Sovietică datorită toleranței la factorii pedoclimaterici și productivității stabile care este de peste 100 tone masă proaspătă. Se înmulțește prin plantarea rizomilor înrădăcinați la adâncimea de 7 - 10 cm.

În primul an de vegetație, din rizomii înrădăcinați, se dezvoltă plante de 1,5 - 1,7 cm cu sistem radicular pivotant, care constă dintr-o rădăcină principală și rădăcini laterale concentrate în stratul de sol de 30 cm cu o extindere laterală de 65 - 70 cm. În anul doi demarează vegetația odată cu stabilirea temperaturilor pozitive, manifestând un ritm de creștere foarte intensiv. Astfel, la finele lunii mai, lăstarii ating înălțimea de 3 m, iar la finele vegetației – plantele pot atinge o înălțimea de 4,5 m cu diametrul, în partea de la sol, de cca 3,7 - 4,8 cm. Odată cu stabilirea temperaturilor negative, pe parcursul a 10 zile frunzele cad complet, iar în decembrie – ianuarie deshidratarea lăstarilor devine accentuată ajungând valorile de 20 % umiditate.

Iarba elefantului, *Miscanthus x giganteus* (Figura 4.5, b) este una din plantele energetice cunoscute în lume cu o largă utilizare în bioenergetică. O răspândire mai accentuată se înregistrează începând cu anii 80 ai secolului trecut în țările din Europa de Nord și celei Centrale.

Planta energetică *Miscanthus* face parte din categoria plantelor C4, foarte rezistentă și perenă, originară din regiunile tropicale și subtropicale ale Africii și Asiei de Sud. Fiind o plantă ierboasă sterilă, se înmulțește doar pe cale vegetativă, prin bucăți de rizomi și plantule obținute prin cultură de țesut. Se amplasează pe terenuri profund prelucrate bine asigurate cu umiditate.



a) b)

Figura 4.5. Plantații de Hrișcă de Sahalin, Grădina Botanică din Chișinău (a) și de Miscantus (b)

După plantare, în primul an de vegetație, în condițiile Republicii Moldova, miscanthusul atinge înălțimea de 1,2 - 1,5 m, cu un conținut înalt de frunze. În următorii ani, pe parcursul lunii aprilie, demarează vegetația și până la finele ei atinge înălțimea de 3,0 m, conținutul de frunze fiind sub 20%. Deshidratarea țesuturilor la stabilirea temperaturilor negative se accelerează, astfel ca pe parcursul lunii decembrie poate demara recoltarea biomasei. La vârsta plantației de 3-4 ani productivitatea de biomasă uscată atinge 14,2 – 16,3 t/ha, densitatea în vrac a biomasei recoltate constituie 138 kg/ m^3.

După primul an, de regulă, nu este necesară tratarea plantelor sau îngrijirea ternului.

Salcia energetică, *salix viminalis* este un gen de plantă din familia *Salicaceae* cu creștere rapidă (cca 3 - 3,5 cm/zi). Realizează 1 - 3 lăstari și ajungând la 2 - 3 m înălțime deja în primul an de la înființare.

În continuare salcia are o dezvoltare rapidă, aducând 10 - 15 lăstari în al doilea an de la înființare cu o înălțime de până la 6 - 7 m. Prima recoltare a plantei poate fi realizată deja în anii 2 - 3 de vegetație atingând o valoare de recoltare de până la 30 t/ha cu umiditatea de 35 - 40%.

În Republica Moldova, prima plantație test de salcie energetică a fost înființată la Bozieni, raionul Hâncești (Figura 4.6).

Salcia energetică de specie *Tordis* provine din încrucișarea speciilor Tora si Ulv. Această specie se caracterizată printr-o creștere rapidă. În primul an de vegetație ea atinge înălțimea de până la 4 m. Este important că această cultură posedă rezistență sporită la secetă și temperaturi înalte.

Figura 4.6. . Secvențe din plantația de salcie energetică SRL BioAgroinvest, com. Bozieni, raionul Hâncești

Salcia energetică *Inger* provine din încrucișarea speciei de salcie din Rusia de tip *Salix Triandra*, din regiunea Novosibirsk cu specia Jorr. Avantajele acestei specii sunt rezistență sporită la temperaturi joase și nepretențiozitate pe timpuri de secetă.

Prelucrarea biomasei lignocelulozică în biocombustibili solizi are loc în mai multe operații tehnologice care, într-o măsură sau alta, influențează calitatea produsului finit. Dirijarea calității în aceste etape prezintă subiecte de cercetare aparte și depinde de respectarea perfectă a tuturor regimurilor tehnologice pe parcursul întregului itinerar. Totodată calitatea produsului finit este semnificativ influențat de calitatea materiei prime – în cazul nostru de calitatea biomasei.

Printre proprietățile cele mai importante care definesc calitatea biocombustibililor solizi se regăsesc puterea calorifică și conținutul de cenușă valorile cărora, pentru tipurile de biomasă studiate, sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Puterea calorifică și conținutul de cenușă a diferitor tipuri de biomasă lignocelulozică

Tip biomasă	Puterea calorifică, J/kg				Conținutul de cenușă, %
	GCV_d	NCV_d	$NCV_{M=10\%}$	Interv. de încredere	
Topinamburul Helianthus tuberosus	18568,85	17332,85	15369,07	519,5	2,263
Silfia Silfia perfoliatum	17823,02	16587,02	14697,82	739,3	2,497
Hrișca de Sahalin Polygonum sachalinense	18735,77	17499,77	15519,29	344,7	2,935
Miscantus/Iarba elefantului (Miscanthus x Giganteus)	18683,57	17447,57	15472,31	143,5	2,237
Salcie energetică Tordis	19750,30	18514,3	16432,37	104,8	1,745
Salcie energetică Inger	19119,24	17883,24	15864,42	165,2	1,554
Paie de grâu	17973,29	16737,29	14833,06	352,4	3,23

Studiul nostru a demonstrat că puterea calorifică inferioară în bază uscată a tuturor speciilor de biomasă studiate posedă valori care depășesc pragul de 16,5 MJ/kg, adică în cazul umidității biomasei apropiată de 0, după puterea calorifică, toate tipurile de biomasă prezente în Tabelul 4.2, cu excepția paielor de grâu, ar putea fi folosită la producerea peleților de foc de clasa EN plus. Însă, după conținutul de cenușă, doar biomasă din salcie energetică corespunde cerințelor ENPlus, deoarece au un conținut de cenușă mai mic de 2 %.

Puterea calorifică mai mare a salciei energetice poate fi explicat prin conținutul de lignină mai ridicat în salcia energetică de cât în celelalte tipuri de biomasă studiate [5, p. 72].De adăugat că probele de biomasă de salcie au fost preparate din кфьгкш virgine, de 1 - 2 ani care, după cum se știe, conțin un procentaj de lignină mai mic decât partea lemnoasă de salcie energetică cu vârstă mai mare.

În baza analizei comparative a datelor din tabelul 4.2 se poate afirma că, în comparație cu celelalte specii de biomasă studiate, biomasa obținută din salcie energetică posedă cele mai elevate caracteristici calitative și poate fi folosită atât în stare curată cât și în amestec cu alte tipuri de biomasă pentru producerea peleților de foc cu caracteristici ENPlus.

Deoarece, din reziduurile agricole, paiele posedă cele mai bune șanse de a fi folosite în calitate de adaos la producerea biocombustibililor solizi în formă de peleți, am studiat posibilitatea formării amestecurilor de materie primă pentru producerea peleților de foc din paie de grâu și salcie energetică cu adaos de biomasă lemnoasă provenită din tăieturi de salcâm..

A fost determinată puterea calorifică și conținutului de cenușă a unui eșantion alcătuit din 9 probe de peleți, în diferite amestecuri din paie, salcâm și salcie energetică. Cercetările au fost realizate conform matricei - program cu 2 factori Box – Benkin prezentată în tabelul 1, iar datele obținute au fost prelucrate cu aplicarea următorului program STATGRAPHICS: *Special Experimental design Create design Response surface.*

Tabelul 4.3. Program de realizare a experimentelor

Factori de influență			
Coordonate codate		**Coordonate naturale**	
x_1	x_2	X_1	X_2
-1	0	0	15
-1	1	0	30
1	1	30	30
-1	-1	0	0
0	1	15	30
0	0	15	15
1	0	30	15
0	-1	15	0
1	-1	30	0

Legendă: *x_1 – conținutul de biomasă provenită din salcâm; x_2 – conținutul de biomasă provenită din salcie energetică Inger. Amestecurile au fost stabilite în % proporție masică.*

Astfel au fost încercate probe în următoarele amestecuri:

- proba 1: 15% salcie energetică + 85% paie;
- proba 2: 30% salcie energetică + 70% paie;
- proba 3: 30% salcâm + 30% salcie energetică + 40% paie;
- proba 4: 100% paie;
- proba 5: 15% salcâm + 30% salcie energetică + 55% paie;
- proba 6: 15% salcâm + 15% salcie energetică + 70% paie;
- proba 7: 30% salcâm + 15 salcie energetică + 55% paie;
- proba 8: 15% salcâm + 85% paie;
- proba 9: 30% salcâm + 70 % paie.

Rezultatele studiului sunt prezentate în figurile 4.7 – 4.9. Analiza datelor obținute scot în evidență influența diferită a biomasei lemnoase (salcâm și salcie energetică) și a paielor asupra puterii calorifice a peletelor fabricați conform rețetelor din tabelul 4.3 și asupra conținutului de

cenușă rezultată de la arderea probelor luate în studiu. Astfel, se constată că NCV a tuturor probelor este mai mare de 16,5 MJ/kg, adică conform acestui parametru peleții studiați se înscriu în cerințele standardelor EN plus.

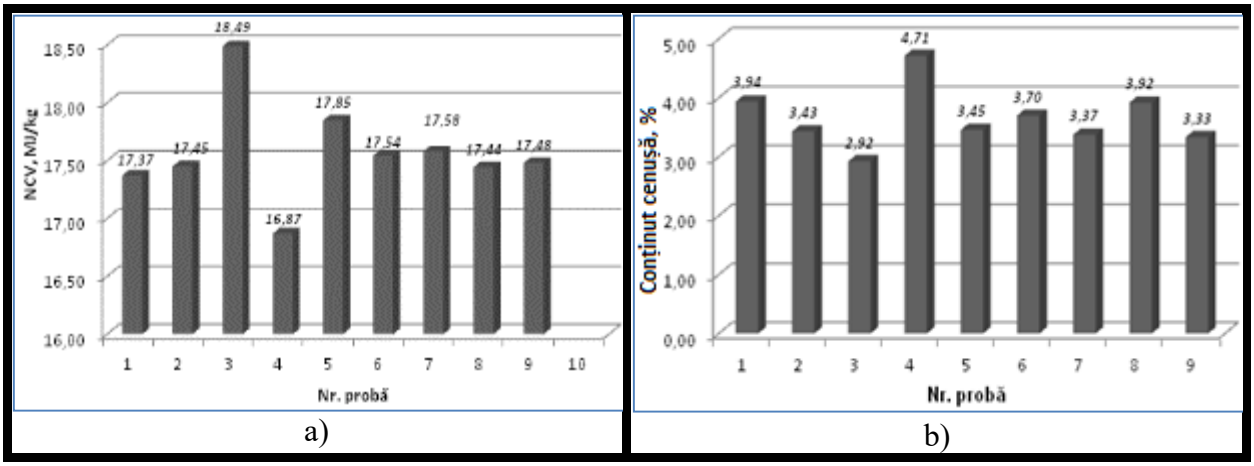


Figura 4.7. Puterea calorifică inferioară în bază uscată (a) și conținutul de cenușă (b) a probelor luate în studiu

Puterea calorifică inferioară în bază uscată a peleților fabricați din 100% paie este egală cu 16,87 MJ/kg. Prin adaos de 60% biomasă lemnoasă (30% salcâm + 30% salcie energetică) s-a reușit mărirea puterii calorifice cu 9,6% atingând valoarea de 18,49 MJ/kg. De asemenea, se constată că adaosul, atât a biomasei provenită din salcie energetică, cât și a celei provenite din salcâm, practic are aceiași pondere asupra capacității de ardere.

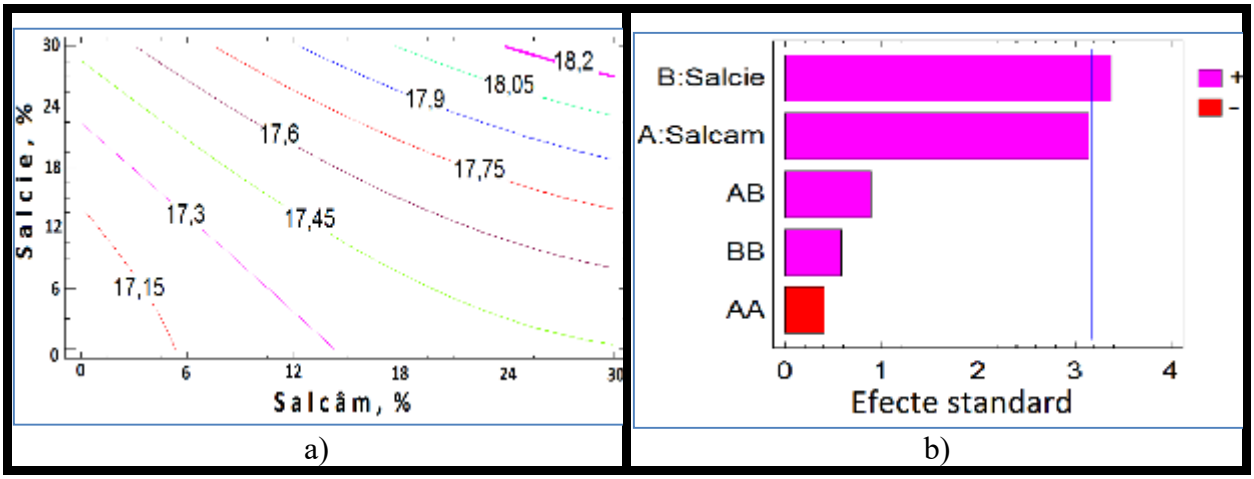


Figura 4.8. Contururile estimării suprafețelor de răspuns (a) și Graficul Pareto standard (b) pentru NCV, MJ/kg

Totodată, datele obținute demonstrează că toate probele luate în studiu, cu excepția probei 3, rezultă de la ardere un procentaj de cenușă ce depășește cerințele de calitate ENplus. Astfel, se poate concluziona că peleții care conțin biomasă din paie, practic, nu pot fi certificate cu calitativele ENplus înscriindu-se în clasele A3, A4 și A5.

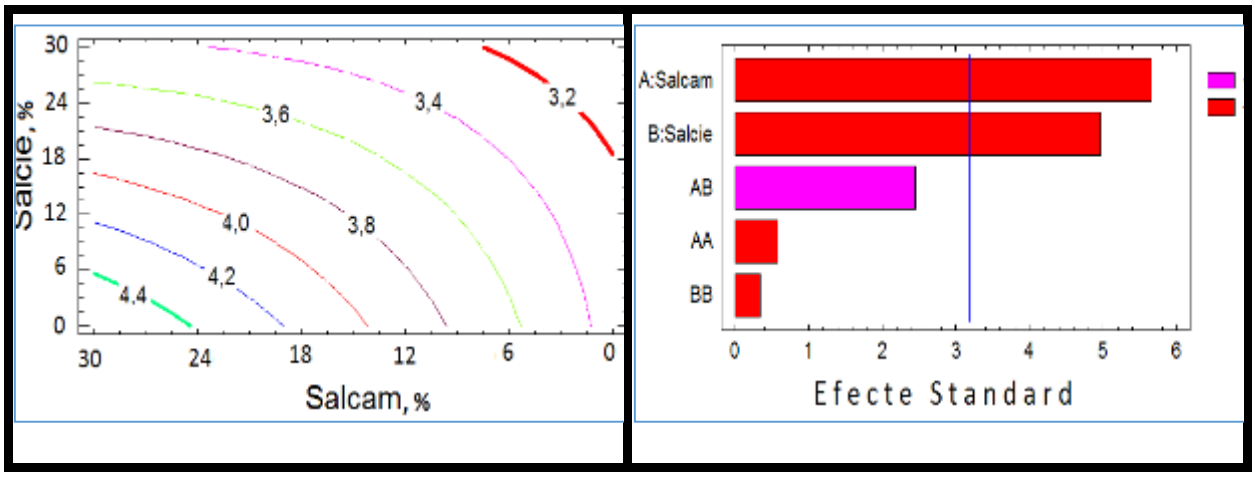


Figura 4.9. Contururile estimării suprafețelor de răspuns (a) și Graficul Pareto standard (b) pentru conținutul de cenușă, %

În baza rezultatelor obținute în cadrul studiului privind posibilitatea îmbunătățirii calității peleților de foc prin formarea diferitor amestecuri din paie de grâu cu biomasă lemnoasă din salcie energetică și salcâm au permis formularea unor concluzii referitor la subiectul analizat după cum urmează:

1. Puterea calorifică a peleților confecționați din paie de grâu cu adaos de biomasă lemnoasă posedă o putere calorifică care se înscrie în cerințele calificative europene ENplus.

2. Prin adaos de biomasă lemnoasă în proporție de 30% salcâm + 30% salcie energetică s-a reușit majorarea puterii calorifice a peleților cu 9,6% (NCV în bază uscată a peleților din paie este de 16,87 MJ/kg, iar al peleților produși din amestecul menționat – 18,49 MJ/kg).

3. S-a constatat că conținutul de cenușă rezultată de la arderea peletelor cu diferit procentaj de biomasă lemnoasă, prezintă valori semnificative, cuprinse între 2,92 – 4,72%. Cel mai scăzut conținut de cenușă îl are proba 3 cu următoarea constituție: 30% salcâm + 30% salcie energetică + 40% paie (2,92%). Cel mai ridicat conținut de cenușă îl prezintă proba 4, care este fabricată totalmente din biomasă parvenită din paie de grâu (4,72%).

4. Peletele care în conținutul său au biomasă provenită doar din paie, practic, nu pot fi certificate cu calitativele ENplus 3, înscriindu-se în clasele A3, A4 și A5.

4.2. Influența parametrilor densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole

4.2.1. Planul cercetărilor și analiza datelor

În baza analizei datelor din literatura de specialitate referitoare la căile de asigurare a calității peleților de foc produși din reziduuri agricole a fost înaintată ipoteza despre posibilitatea sporirii calității peleților prin folosirea diferitor procedee termo-chimice de tratare a materiei prime. Pentru demonstrarea eficienței acestor procedee au fost realizate cercetări cu privire la stabilirea regimurilor optime de densificare a peleților pentru a putea argumenta regimurile tehnologice de obținere a peleților. În acest scop a fost studiat procesul de densificare a peleților folosind instalația descrisă în subcapitolul 2.2.2.

Pentru stabilirea unui număr cât mai mare de factori care influențează procesul de peletizare s-a realizat un experiment multifactorial cu patru factori de influență (vezi tab. 2.1). Planul și rezultatele experimentelor sunt prezentate în Tabelul 4.4. Probele care, după nivelul indicilor respectivi de calitate, nu corespund cerințelor normelor internaționale *ENPlus* sunt marcate colorat. Astfel, probele 1, 7, 8, 11, 15, 25 și 26 nu corespund cerințelor referitoare la densitatea particulelor, probele 1, 3, 22 și 25 au marcat un conținut de umiditate la recepție mai mare de 10% ce, de asemenea, depășește cerințele *ENPlus*, iar probele 1-8, 11, 13, 15, 19, 22, 25 și 26 nu corespund cerințelor *ENPlus* după rezistența mecanică.

Tabelul 4.4. Planul experimentelor și rezultatele obținute

Nr. exp.	X1	X2	X3	X4	x1	x2	x3	x4	Factori de răspuns					
	T°C	M, %	Gr, mm	P, MPa	T°C	M, %	Gr, mm	P, MPa	DE, g/cm^3	NCVd, J/g	NCVr, J/g	$NCV_{M=10\%}$, J/g	M_r, %	DU, %
1	-1	1	0	0	75	14,7	3	125	0,79	19224,71	16425,84	17071,74	13	93
2	-1	0	0	1	75	11,1	3	150	1,07	19215,47	17106,46	17169,64	9,8	94
3	-1	0	0	-1	75	11,1	3	100	1,00	18956,40	16660,17	16893,30	11	94
4	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,04	19188,21	17683,68	17038,89	7	95
5	1	0	0	1	125	11,1	3	150	1,17	19178,39	18362,02	17030,05	3,8	95
6	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,02	19084,41	17587,15	16945,47	7	95
7	0	0	-1	1	100	11,1	1	150	0,99	19064,58	17226,79	16927,62	8,6	94
8	0	1	1	0	100	14,7	4	125	0,95	19218,17	17367,18	17065,85	8,6	94
9	-1	-1	0	0	75	7,5	3	125	1,14	18968,87	17564,79	16841,48	6,6	97
10	0	-1	-1	0	100	7,5	1	125	1,13	18706,57	17403,85	16605,41	6,2	98
11	0	1	-1	0	100	14,7	1	125	0,75	19077,91	17046,53	16939,62	9,5	93
12	1	0	1	0	125	11,1	4	125	1,19	19160,33	18451,97	17013,80	3,3	98
13	0	0	1	1	100	11,1	4	150	1,11	19046,48	17744,04	16911,33	6,1	95
14	1	-1	0	0	125	7,5	3	125	1,17	19100,01	18522,07	16959,51	2,7	97
15	0	0	-1	-1	100	11,1	1	100	0,94	19090,58	17207,77	16951,02	8,8	94
16	0	-1	1	0	100	7,5	4	125	1,20	19042,16	18060,19	16907,44	4,6	98
17	1	0	-1	0	125	11,1	1	125	1,19	19389,84	18587,13	17220,35	3,7	98
18	0	-1	0	-1	100	7,5	3	100	1,16	19093,92	17874,18	16954,02	5,7	97
19	0	0	0	0	100	11,1	3	125	1,02	19198,21	17692,99	17047,89	7	95
20	0	-1	0	1	100	7,5	3	150	1,20	19158,11	18084,96	17011,80	5	98
21	1	1	0	0	125	14,7	3	125	1,16	19481,40	18413,87	17302,76	4,9	98
22	-1	0	-1	0	75	11,1	1	125	1,00	19090,64	16737,12	16951,07	11	93
23	-1	0	1	0	75	11,1	4	125	1,09	18748,98	16790,96	16643,58	9,3	97
24	1	0	0	-1	125	11,1	3	100	1,13	18760,16	17580,51	16653,64	5,6	97
25	0	1	0	1	100	14,7	3	150	0,91	19150,71	16897,86	17005,14	11	94
26	0	1	0	-1	100	14,7	3	100	0,78	19177,41	17072,14	17029,17	9,8	93
27	0	0	1	-1	100	11,1	4	100	1,08	19304,01	17748,16	17143,11	7,2	97

Cele trei niveluri ale planului experimental au fost folosite pentru a investiga efectul temperaturii *T* (75 ºC, 100 ºC și 125 ºC), umidității materiei prime prezente înainte de densificare

M (7,5 %, 11,1 % și 14,7 %) dimensiunile ecranului sitelor de la moara de mărunțire a biomasei *Gr* (1 mm, 3 mm și 4 mm), presiunea densificării P (100 MPa, 125 MPa și 150 MPa). Pentru acești factori au fost efectuate 27 de experimente cu repetarea fiecăruia din ele de 3 ori. Valorile pentru factorii de răspuns au fost determinate în conformitate cu metodicile descrise în p. 2.2. Datele experimentale au fost prelucrate folosind programul STATGRAPHICS Centirion. Au fost obținute următoarele ecuații de regresie:

$$DE = 1,027 + 0,08T - 0,14M + 0,05Gr. + 0,03P + 0,07T^2 + 0,08TM - 0,023TGr - 0,01TP - 0,025M^2 + 0,03MGr.+ 0,02M{\cdot}P + 0,01Gr^2 - 0,005GrP, \quad (4.1)$$

$$M_r = 7,0 - 3,04T + 2,13Mi - 0,73Gr - 0,34P - 0,23T^2 - 1,05TMi + 0,33TGr - 0,2TP + 0,09Mi + 0,17MiGr + 0,35MiP + 0,07Gr^2 - 0,23GrP + 0,67P^2, \quad (4.2)$$

$$NCV_{M=10\%} = 17010,8 + 50,78T + 94,55M + 7,5Gr + 35,94{\cdot}P - 3,28{\cdot}T^2 + 28,25TM + 25,24TGr + 25,02TP - 10,4M^2 - 43,95MGr. - 20,45MP - 62,12Gr^2 - 52,1GrP - 12,16P^2, \quad (4.3)$$

$$DU = 95,0 + 1,13T - 1,45833M + 0,67Gr - 0,08P + 0,52T^2 + 1,13TM - 0,875TGr - 0,375TP + 0,4M^2 + 0,25MGr + 0,33Gr^2 - 0,375GP - 0,42P^2 . \quad (4.4)$$

în care DE este densitatea particuleor, g/cm^3; NCV $_{M=10\%}$ - puterea calorifică inferioară la umiditatea 10%, J/g; M_r – conținutul de umiditate la recepție, %; DU – durabilitatea mecanică, %.

4.2.2. Influența regimurilor densificării asupra densității particulelor

Densitatea particulelor nu este un indicator obligatoriu pentru biocombustibilii în formă de peleți, însă acest indicator este obligatoriu pentru brichete. Mai mult ca atât, densitatea particulelor este folosită de către mai mulți cercetători pentru caracterizarea gradului de densificare [29, 41, 42, 44, 102-104].

Cercetările realizate până în prezent și practica producătorilor de biocombustibili solizi prezintă că biocombustibilii solizi în formă de peleți trebuie să depășească 1,0 g·cm^{-3} iar pentru brichete 0,9 g·cm^{-3}. În această situație, peleții posedă o densitate în vrac mai mare de 600 kg·m^{-3} [104]. De menționat că, dacă normele EN 14961-2 nu limitau densitatea maximă în vrac, implicit și densitatea particulelor, apoi standardul SM EN ISO 17225-2:2017 limitează valoarea maximă a densității în vrac la 750 kg·m^{-3}. Acest lucru este motivat de eficiența combustiei reduse la peleții cu densitate mare din cauza accesului limitat al oxigenului în volumul compactat [103].

Densitatea unui pelet singular a fost calculată prin raportul masei la volumul probei studiate. Masa a fost măsurată la balanța analitică cu precizia ±0,0001 g. Volumul a fost calculat din lungimea și diametrului singular, presupunând o formă perfect cilindrică. Dimensiunile peletului au fost măsurate cu ajutorul unui șubler electronic cu precizia de ±0,01 mm. Densitatea

particulelor a fost determinată imediat după ejecția probei. Valorile au fost raportate la media obținută din trei măsurări, pentru care s-a calculat abaterea standard și intervalul de încredere.

Analizând datele din tabelul 4.4, în baza cărora a fost obținută ecuația de regresie 4.1 vizualizată în figura 4.10, se constată că cea mai mare influență asupra densității particulelor este exercitată de conținutul de umiditate, cu micșorarea căruia se mărește densitatea particulelor, valoarea optimă a densității fiind obținută la umiditatea de 7,45%.

Temperatura peletizării are efect invers conținutului de umiditate. Cu mărirea temperaturii densitatea particulelor se micșorează, având valori maxime la temperatura matriței egală cu 80 ºC. Această temperatură se consideră optimă dacă procesul de densificare a probelor are loc la presiunea de 150 MPa, iar granulația particulelor este maximă, adică cernută prin sită cu ecranul ochiurilor egal cu 4 mm. Rezultatul poate fi explicat prin următoarele efecte prezente la aceste regimuri: micșorarea temperaturii de sticlozitate ce conduce la vitrificarea mai completă a biomasei; formarea unor punți solide de legătură cvaziechilibrate; creșterea legăturilor de contact dintre particule datorită forțelor van der Waals mai pronunțate.

De menționat că, peleți cu densificarea particulelor destul de bună ($1{,}15<DE<1{,}25$) $g \cdot cm^{-3}$, pot fi obținuți prin presare la temperaturi mai înalte, însă în acest caz este necesar să se mărească conținutul de umiditate în biomasă înainte de densificare (vezi fig. 4.11).

Prin analiza vizuală s-a constat că peleții densificați la temperaturi mai joase de 80 ºC sunt crăpăcioși, iar cei densificați la temperaturi mai joase de 80 ºC și presiuni joase sunt de calitate forte joasă, deoarece integrarea lor a fost foarte dificilă sau chiar imposibilă (probele 1, 3, 22).

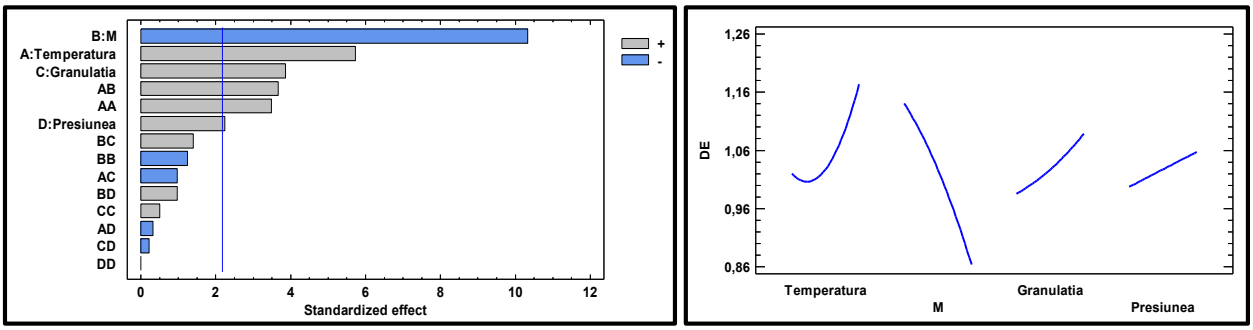


Figura 4.10. Diagrama Pareto standardizată și factorii dominanți de influență asupra densității particulelor peleților singulari

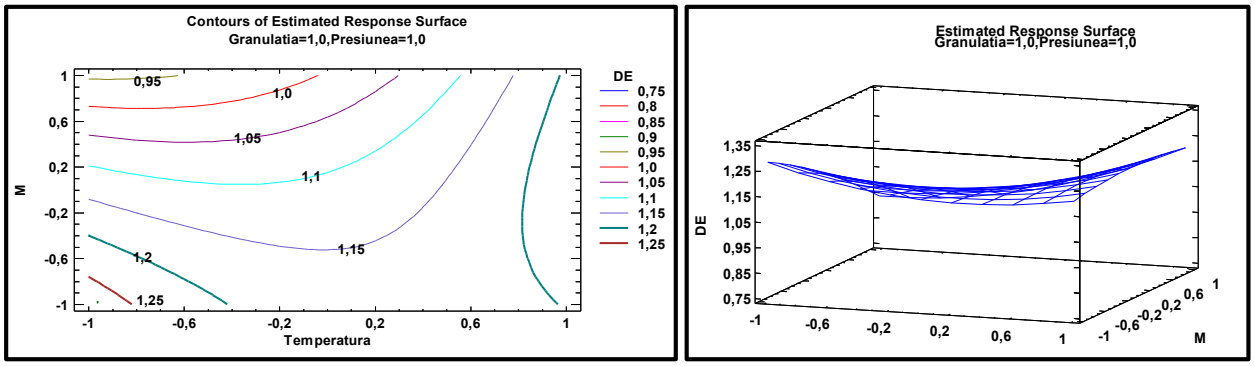


Figura 4.11. Contururile și suprafețele de răspuns a influenței temperaturii și conținutului de umiditate inițială asupra densității particulelor peleților singulari fabricați din particule de biomasă cu granulația 4 mm la presiunea de 125 MPa

În baza rezultatelor experimentale obținute se poate concluziona că producerea peleților cu densitatea particulelor mai mare de 1,0 g·cm^{-3}, ce asigură o densitate în vrac a peleților mai mare de 600 kg·m^{-3}, adică corespund cerințelor ENPlus 3, poate fi realizată în domeniul temperaturilor pentru care s-au realizat încercările experimentale, însă nu mai mică de 80 °C. De avut în vedere că umiditatea inițială a biomasei nu trebuie să depășească 12% dacă peletizarea are loc la temperaturi joase (în jurul de 80 °C), putând fi mărită, proporțional, cu mărirea temperaturii peletizării.

4.2.3. Influența regimurilor densificării asupra conținutului de umiditate al peleților

Conținutul de umiditate la recepție al peleților densificați a fost evaluat în funcție de conținutul de umiditate și granulația biomasei în faza pre-densificare, temperatura și presiunea densificării. Analizând ecuația 4.2 și graficele din figurile 4.12 și 4.13 se poate afirma că factorii dominați care influențează conținutul de umiditate al produsului finit la recepție sunt temperatura peletizării și conținutul de umiditate a materiei prime înainte de densificare.

Influența temperaturii asupra conținutului de umiditate a peleților la recepție poartă un caracter brusc descendent, pe când conținutul de umiditate inițială al biomasei influențează brusc ascendent umiditate peleților la recepție. De menționat că granulația biomasei și presiunea densificării influențează lent descendent conținutul de umiditate la recepție a peleților.

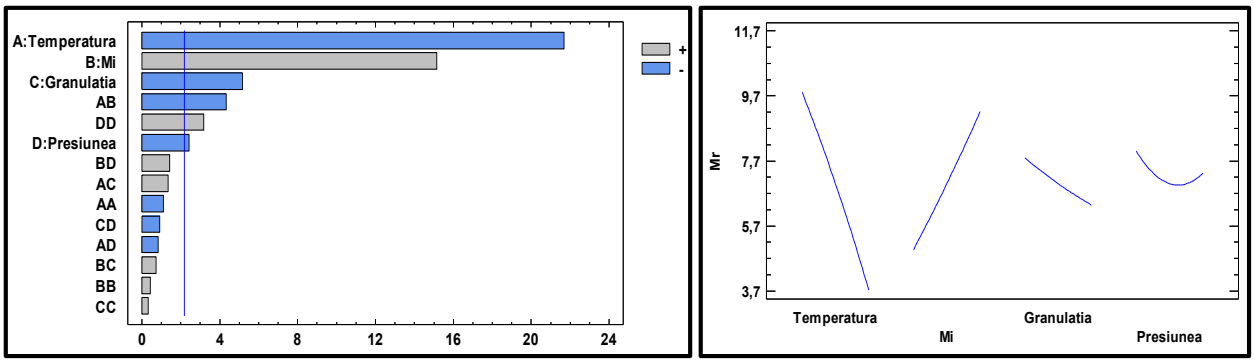


Figura 4.12. Diagrama Pareto standardizată și factorii dominanți de influență asupra cantității de umiditate la recepție a peleților densificați singular

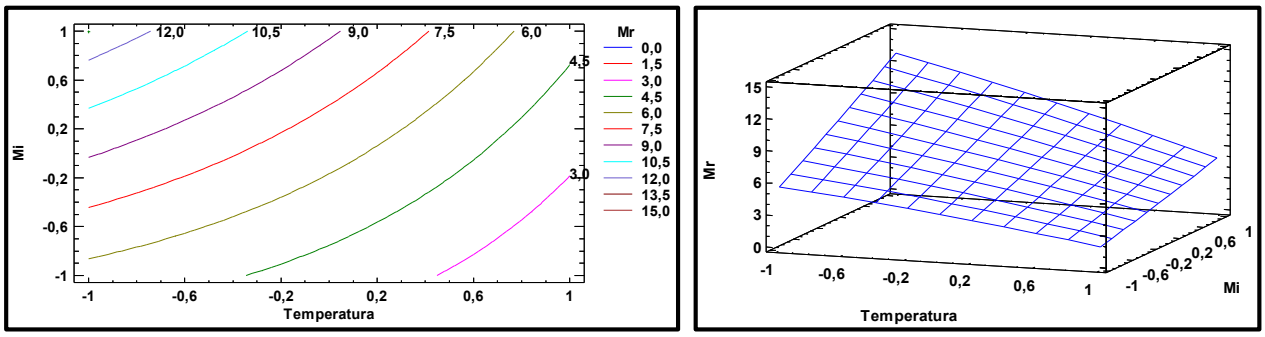


Figura 4.13. Contururile și suprafețele de răspuns a influenței temperaturii și conținutului de umiditate inițiale asupra umidității finale a peleților singulari fabricați din particule de biomasă cu granulația 4 mm la presiunea de 125 MPa.

Puterea calorifică a fost estimată prin valoarea puterii calorifice inferioare recalculată pentru conținutul de umiditate la recepție egal cu 10%. A fost stabilită această valoare a umidității deoarece normele ENPlus 3, referitoare la peleții de foc, admit un conținut maxim de umiditate în peleți la recepție egal cu 10%. [7 p. 121].

4.3. Sporirea calității peleților de foc prin torefiere

4.3.1. Scopul și planul cercetărilor

Cercetările din acest subcapitol au scopul de a confirma ipoteza înaintată în p. 1.5 despre posibilitatea sporirii calității biocombustibililor solizi în formă de peleți produși din biomasă autohtonă prin torefiere.

Fiind un proces termochimic, torefierea este influențată de mai mulți parametri tehnologici cum sunt: viteza de încălzire, temperatura reacției, absența oxigenului, timpul de menținere în

mediul respectiv, presiunea mediului ambiant, flexibilitatea și conținutul de umiditate a materiei prime, dimensiunile particulelor de biomasă.

Există două metode de bază a torefierii: torefierea biomasei cu condiționarea biomasei în prealabil și torefiere cu uscarea biomasei în procesul tratări termice. Ambele metode presupun prelucrarea termică în lipsa oxigenului.

Prima metodă se folosește în special în cazul cercetărilor de laborator, în virtutea utilajului de torefiere mai simplu din punct de vedere constructiv. A doua metodă este eficientă, din punct de vedere economic, în cazul programelor mari de producere, adică când este rațională folosire utilajului respectiv.

Pentru înțelegerea mai bună a proceselor care au loc în timpul torefierii, au fost luate în studiu trei tipuri de biomasă provenită din reziduuri agricole cu perspective mai bune de folosire în calitate de materie primă la producerea peleților de foc. Astfel probele au fost confecționate din paie de grâu, reziduuri lemnoase cu vârsta de 1-2 ani rezultate de la tăierea și emondarea pomilor fructiferi uscate rapid în condiții artificiale conform metodicii descrise în p. 2.2.1 (Lemn A) și lemn de foc din pomi fructiferi uscat în condiții naturale timp de 2 ani (Lemn N). Probele sunt prezentate în figura 4.14.

Torefierea biomasei s-a realizat pe o instalație de laborator care simulează procesul de torefiere în mediu fără oxigen prin formarea atmosferei vidate într-un spațiu închis (fig. 2.4). Instalația este alcătuită dintr-un cuptor de uscare cu vid pretat pentru realizarea torefierii probelor de biomasă în condiții de laborator. Aerul din cuptor este evacuat de o pompă de vid care asigură o depresiune de 0,08 MPa. Cuptorul asigură un interval de temperaturi de la +35 ºC până la +350 ºC cu o sensibilitate de ±2 ºC.

Figura 4.14. Materia primă și probele folosite la studierea procesului de torefiere

Au fost analizate cele mai relevante caracteristici (parametrii fizico-mecanici), caracteristicile de combustie (parametrii chimici și puterea calorifică) și caracteristicile de torefiere (temperatura și durata expunerii. Condițiile torefierii sunt prezentate în Tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Condițiile torefierii folosite în experiment

Numele condiției experimentului	**Temperatură, °C**	**Durată expunere, min**
230/5, 15, 30	230	5; 15; 30
255/5, 15, 30	255	5; 15; 30
280/5, 15, 30	280	5; 15; 30

Rezultatele experimentelor sunt prezentate în Tabelul 4.6. Toate experimentele au fost repetate de 3 ori și verificate prin stabilirea repetabilității pentru fiecare valoare estimată. Proprietățile calitative ale biomasei și peleților au fost determinate în conformitate cu metodica descrisă în capitolul 2.

4.3.2. Modificarea puterii calorifice a biomasei

Puterea calorifică a probelor a fost măsurată la bomba calorimetrică LAGET MS – 10A conform metodicei descrisă în p. 2.3.2. Eroarea maximă a acestei metode este de (±0,2%). Balanța analitică la care au fost cântărițe probele a asigurat precizia (±0,0001 g).

Tabelul 4.6. Date experimentale referitoare la efectele torefierii asupra materiei prime

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

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

Rezultatele obținute arată că efectul torefierii s-a manifestat cel mai pronunțat în cazul biomasei provenite din reziduuri de la cultivarea spicoaselor, marcând o sporire a puterii calorifice inferioare în bază uscată de la 17,584 MJ/kg până la 22,752 MJ/kg ce reprezintă o sporire relativă de 29.4% (fig.4.15). Este necesar să se menționeze că puterea calorifică inferioară la umiditatea maximă admisă de către normele ENPlus 3 (10%) a probei de reper este de 15,454 MJ/kg (normele ENPlus admite puterea calorifică la recepție cel puțin 16,5 MJkg). După torefiere puterea calorifică inferioară la umiditate 10% este de 20,246 MJkg, adică la acest parametru biomasa torefiată, produsă din paie de grâu, satisface completamente cerințele ENPlus 3.

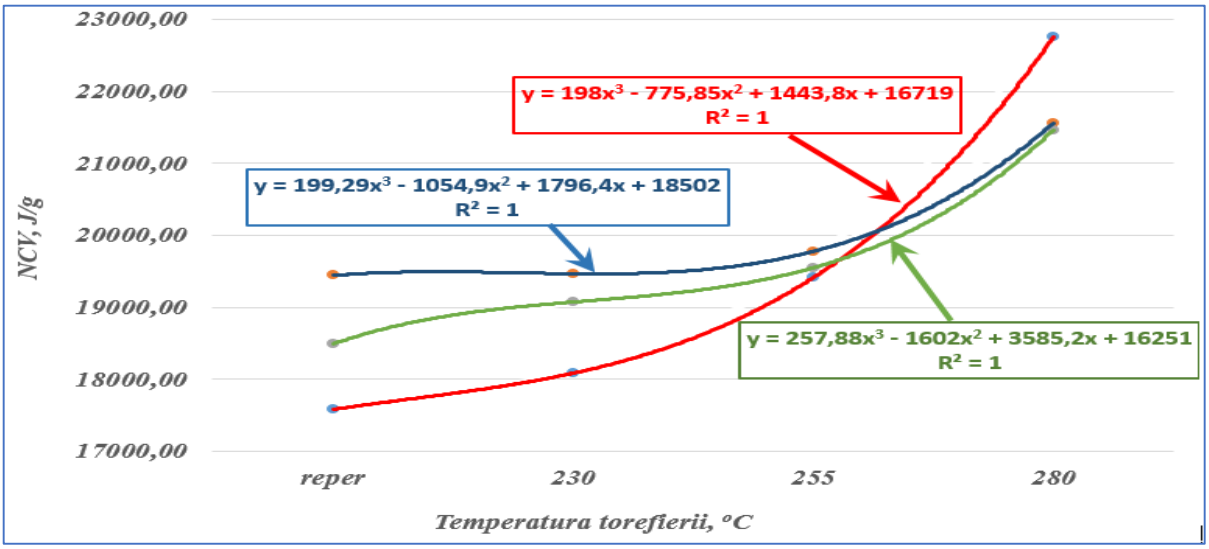


Figura 4.15. Modificarea puterii calorifice inferioare în bază uscată pentru diferite tipuri de materie primă funcție de regimurile torefierii: *paie de grâu; reziduuri lemnoase de 1-2 ani rezultate de la tăierea și emondarea pomilor fructiferi uscate în condiții artificiale; lemn de foc uscat în condiții naturale timp de 2 ani*

Destul de pronunțată este și creșterea puterii calorifice a reziduurilor lemnoase de 1-2 ani, care au marcat o majorare a puterii calorifice inferioare în bază uscată de 16,1%. Acest tip de biomasă, la umiditatea 10%, posedă o putere calorifică inferioară egală cu 16,41 MJ/kg, valoare care este puțin mai mică ca cea admisă de către normele ENPlus 3. După torefiere, la temperatura de 280 °C, puterea calorifică a crescut pana la 19,087 MJ/kg, adică și acest tip de biomasă, după torefiere, posedă o putere calorifică care satisface cerințele ENPlus 3.

Ce-a mai mică creștere a puterii calorifice și a conținutului de carbon s-a semnalat la biomasa din lemne de foc uscate în mod natural pe parcursul la doi ani. Astfel, pentru acest tip de biomasă, s-a înregistrat o creștere a puterii calorifice inferioare în bază uscată cu 10,9%. Însă, este necesar să se constate că puterea calorifică inferioară la umiditatea 10% a probei

reper constituie 17, 278 MJ/kg, adică această biomasă, la parametrul puterea calorifică, pateu fi folosită fără pre-tratare.

Fenomenul urmărit poate fi explicat prin conținutul diferit de hemiceluloză în tipurile de biomasă luate în studiu. Paiele conțin 31 % hemiceluloză și 7,7 % lignină iar biomasa lemnoasă 25,7 % hemiceluloză și 15,6% de lignină [91].

Vorbind despre puterea calorifică a biomasei torefiate nu putem să nu avem în vedere și influența umidității biomasei după torefiere și cea rezultată după densificare asupra puterii calorifice. Este cunoscut că conținutul inițial de umiditate a biomasei folosite la producerea peleților variază în limite foarte mari (6-50%), însă peletizarea poate avea loc la anumite umidități, De regulă, umiditatea biomasei recomandată în procesele tehnologice este de 10±2 ºC.

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

Rezultatele experimentale, realizate în cadrul acestui capitol, au arătat că, după torefiere, umiditate se reduce la paie cu 1,4%, la reziduurile lemnoase de 1-2 ani cu 3,2% și la biomasa lemnoasă uscată în mod natural cu 3,8% în valori absolute.

4.3.3. Schimbarea compoziției chimice a biomasei în rezultatul torefierii

Pe lângă îmbunătățirea proprietăților fizice, torefierea conduce la schimbări importante ale biomasei din punct de vedere al compoziției chimice. Experimentale, referitoare la modificarea compoziției chimice a biomasei lignocelulozice în rezultatul torefierii, confirmă ipotezele înaintate de către noi în p. 1.5 despre schimbările compoziției chimice ale biomasei în rezultatul torefierii și despre corelarea dintre modificările compoziției chimice cu cele ale puterii calorifice.

Schimbarea compoziției chimice a probelor de biomasă supuse torefierii se poate urmări din figura 4.5 de unde se vede că modificarea compoziției chimice deferă destul de mult de la un tip de biomasă la altul, și că modificările semnalate se află în corelare, în special, cu cele referitoare la puterea calorifică.

Deoarece principalele elemente chimice care influențează puterea calorifică sunt conținutul de carbon și cel de hidrogen, vom urmări cum se schimbă conținutul acestor elemente pentru biomasa din paie de grâu, reziduuri lemnoase condiționate în mod artificial și cele condiționate în mod natural.

Rezultatele obținute denotă că conținutul de carbon cel mai mult s-a schimbat în paiele de grâu. Astfel, conținutul de carbon s-a majorat cu 1,4% în cazul torefierii la temperatura de 230 ºC

și respectiv, cu 4,6% - la temperatura 255 ºC și 14% - la temperatura 280 ºC, adică a cunoscut o creștere relativă de, respectiv, 3, 10 și 30 %. Concomitent s-a micșorat conținutul de hidrogen de la 6,68% - pentru proba reper, adică ne torefiată, până la 1,9 - pentru proba torefiată la temperatura de 280 ºC ce în valori relativă reprezintă 72%.

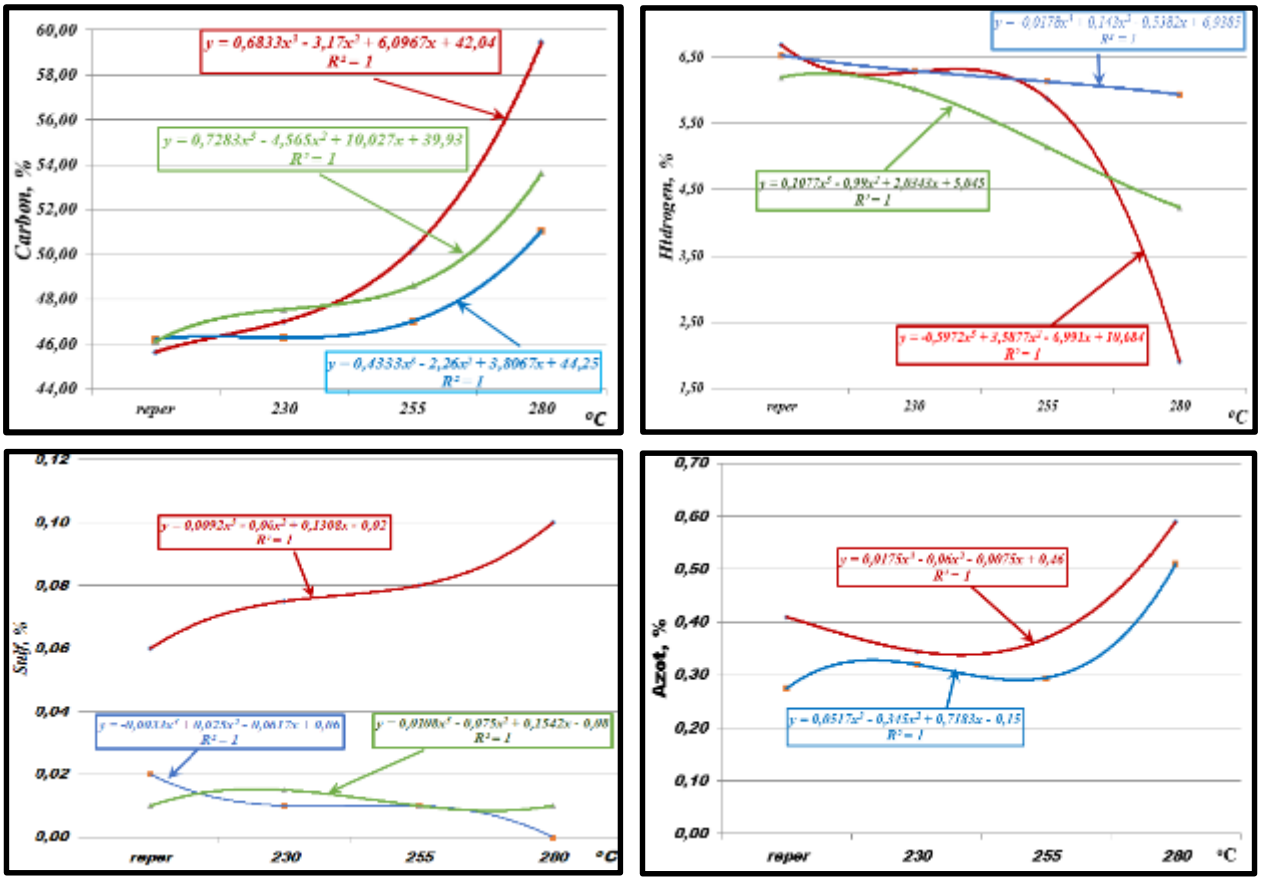


Figura 4.16. Modificarea compoziției chimice a diferitor tipuri de biomasă funcție de regimurile torefierii: — *paie de grâu;* — *reziduuri lemnoase de 1-2 ani rezultate de la tăierea și emondarea pomilor fructiferi;* — *lemn de foc uscat în condiții naturale timp de 2 ani.*

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

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

Analizând caracterul modificării puterii calorifice și a conținutului de carbon pentru tipurile de biomasă luate în studiu se observă o corelare destul de bună dintre schimbarea, parvenită în rezultatul torefierii, a puterii calorifice și a conținutului de carbon (fig. 4.15, 4.16). Astfel, în rezultatul torefierii la temperatura de 280 ºC, puterea calorifică în bază uscată a paielor de grâu a crescut cu 29,4%, iar conținutul de carbon s-a majorat cu 30,2%, a reziduurilor lemnoase de 1 - 2 ani - respectiv, cu 22% și 17,4% și a biomasei lemnoase condiționată în mod natural – respectiv cu 23% și 11,1%.

Din analiza efectuată se observă că, practic, puterea calorifică a ultimelor două tipuri de probe este egală, iar conținutul de carbon diferă. Acest lucru poate fi explicat prin micșorarea semnificativ mai mică a conținutului de hidrogen, implicit și celui de oxigen, în probele confecționate din reziduuri lemnoase de 1 – 2 ani. De asemenea, nu este de neglijat și specificul schimbărilor care au loc la anumite temperaturi, și anume cele legate de modificarea regiunilor amorfe și cristaline ale biomasei vergine, datorită prezenței mai pronunțate a extractivelor în biomasa vergină, fapt descris în p. 1.2 și confirmat de către mai mulți autori [16, 17, 18, 43, 63].

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

Conținutul de azot, pentru toate probele, practic nu se schimbă în cazul torefierii până la temperatura de 255 ºC, după ce se marchează o creștere bruscă.

Astfel, se poate concluziona că, pentru a menține conținutul de sulf și de azot la valori aproximativ egale cu cele din biomasa ne torefiată este necesar că torefierea să aibă loc la temperaturi mai joase de 255 ºC.

4.4. Elaborarea tehnologiei și logistica producerii peleților de foc din reziduuri agricole și amestecuri pe baza acestora

4.4.1. Eficiența procesului de torefiere și impactul asupra aplicațiilor energetice

La mod general pre-tratarea termochimică reprezintă un proces prin care biomasa vegetală este descompusă termic în diferite condiții de mediu, temperatură, presiune sau durate de rezidențe, sub acțiune unor compuși chimici sau prin oxidare parțială

Cum s-a constatat anterior, torefierea biomasei lignocelulozice contribuie la sporirea densității energetice și îmbunătățește proprietățile generale de combustie și conservabilitate ale produsului finit. Cu toate acestea, torefierea este un proces tehnologic care necesită consumuri

suplimentare de energie, datorită necesității încălzirii biomasei și creării unui mediu cu conținut redus de oxigen.

În situația creată o importanță deosebită are refolosirea excesului de căldură generată în procesul torefierii. De asemenea, un impact deosebit asupra eficienței energetice a procesului revine substanțelor volatile condensabile (apă, acid acetic, acid formic, acid lactic, furfurol, metanol, fenol, hidroxiacetonă etc.) și necondensabile (monooxid de carbon, bioxid de carbon și în cantități neînsemnate hidrogen și metan) [105].

Reieșind din cele menționate, pentru a obține o eficiență energetică ridicată la costuri accesibile este necesar ca schema tehnologică de producere a peleților cu torefierea materiei prime să conțină elemente de captare a excesului de căldură și a energie volatilă rezultate de la tratarea termochimică. În acest scop poate fi folosită schema conceptuală propusă de cercetătorii din Centrul de Cercetare a Energiei din Olanda [99, 100, 106], care este prezentată în figura 4.17.

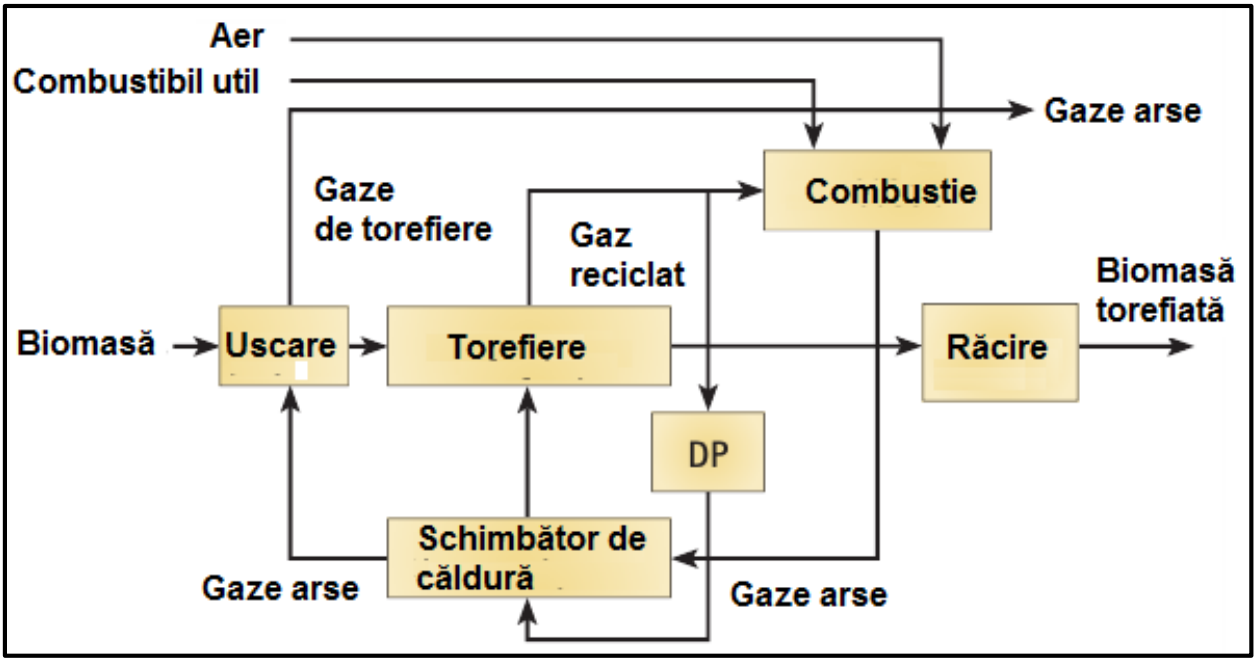


Figura 4.17. Structura conceptuală a procesului de torefiere [99]

Procesul se bazează pe încălzirea directă a biomasei în timpul torefierii cu gazul fierbinte rezultat din procesul torefierii care este reciclat. Gazul rezultat de la torefiere este suficient pentru menținerea temperaturii necesare procesului de torefiere și pentru uscarea biomasei înainte de torefiere. În cazul dacă conținutul energetic al gazului torefiat este insuficient se folosește o anumită cantitate de combustibil suplimentar, numit combustibil util.

Revenind la gazul provenit de la torefiere, se știe că acest gaz conține cca. 50% apă și 10% CO_2 ce constituie 60% din masa totală a gazului emis de la torefiere [99]. În această situație prezintă interes atât tehnic cât și economic valorificarea acestei cantități de energie. Pentru

captarea acestei energii se propune reciclarea gazelor de torefiere prin crearea condițiilor de condensare a vaporilor din gazele de torefiere în zona schimbătorului de căldură astfel încât căldura eliberată să fie recuperată in agentul primar care circulă prin schimbător. Deoarece cantitatea de energie din gazele emise constituie până la 16 % din potențialul biomasei înainte de torefiere (în funcție de temperatura și timpul de rezidență a torefierii), prin condensarea completă a vaporilor, practic, putem recupera 10 -12 % din potențialul inițial al biomasei.

4.4.2. Stabilirea itinerarului tehnologic de fabricare a peleților de foc cu pre-tratare termochimică prin torefiere a materiei prime

Luând în considerare rezultatele obținute în capitolele precedente cu privire la specificul materiei prime provenite din reziduuri agricole și corelate cu datele din literatura de specialitate am conceput și elaborat schema conceptuală de producere a peleților de foc cu aplicare a pre-tratării prin torefiere a materiei prime (fig. 4.18).

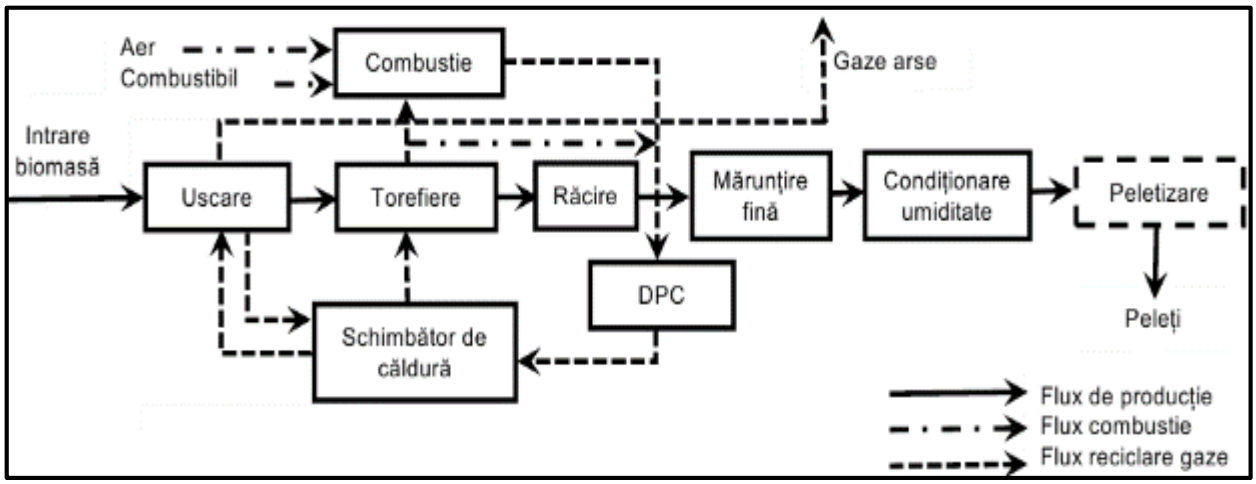


Figura 4.18. Structura procesului tehnologic de peletizare a reziduurilor agricole cu torefierea materiei prime

Ciclul de torefiere cuprinde câteva faze distincte:

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

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

3. Energia termică necesară sistemului este produsă de un cazan. La pornirea sistemului cazanul funcționează ca un cazan clasic alimentat cu biocombustibili solizi tradiționali. Cum am

mai menționat anterior, la această fază, pot fi folosiți și peleți de calitate inferioară produși din reziduuri agricole. Acest tip de peleți mai sunt numiți agropeleți, datorită faptului că sunt produși din reziduuri aricole.

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

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

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

7. Manevrarea sistemului se face printr-un tablou de comandă cu fixarea și urmărirea parametrilor dați în vederea obținerii produsului final dorit.

Itinerarul procesului tehnologic de producere a peleților din biomasă torefiată, cu specificarea regimurilor de lucru, este prezentat în Tabelul 4.7.

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

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

Tot la condiționarea materiei prime se referă și uscarea preventivă a biomasei. Deoarece biomasa supusă torefierii poate avea o umiditate de până la 40%, uscarea preventivă se recomandă să fie efectuată în mod natural în câmp sau în depozite special amenajate.

Tabelul 4.7. Itinerarul tehnologic de producere a peleților cu torefierea bioamsei

Nr. crt.	Denumire etapă/operație	Regimuri	Notă
1	**Condiționare primară**		
1.1.	Mărunțire primară	L = 10 -35 mm	De regulă se realizează în câmp
1.2	Uscare preventivă		M_{ar} < 40%
2	**Torefiere**		
2.1.	Transportat biomasa în reactor		
2.2	Uscarea biomasei	T = 110-180ºC;	Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
2.3	Carbonizarea biomasei	T = 255 ±15ºC τ = 25 ±10 min	Procesul trebuie realizat în mediu inert sau cu conținut redus de oxigen. Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
3	**Condiționare finală**		
3.1	Răcire	Temperatura mediului	
3.2	Mărunțire fină	-	Tăiere cu trecere prin sită cu ecranul ochiurilor 4 mm
4	**Peletizarea**		
4.1	Densificare	$T = 80 \pm_5^{10}$ ºC P =120–150 MPa	Temperatura și presiunea se reglează prin valoarea interstițiului dintre tăvălugi și matriță
4.2	Răcirea produsului finit	La temperatura camerei	Este prevăzută în instalația de peletizare realizându-se în strat fluidizat
5	**Controlul și ambalarea peleților**		

Operația a doua ***Torefierea*** are scopul de a îmbogăți biomasa cu conținut de carbon și se realizează în două etape. În cadrul primei etape biomasa se usucă prin încălzirea acesteia la temperaturi mai joase de temperatura de descompunerea a hemicelulozei, însă suficientă pentru uscarea rapidă a biomasei. Conținutul biomasei după uscare trebuie să se înscrie în 4 – 8%.

În faza a doua a torefierii se efectuează carbonizarea propriu zisă a biomasei la temperaturi stabilite în p. 4.2 al prezentei lucrări.

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

Celelalte operații se realizează conform procesului clasic de peletizare folosind linii de producere a peleților. La această fază este important să se regleze interstițiul dintre tăvălugi și matriță astfel că să se asigure o temperatură a matriței de $T = 80 \pm_5^{10}$ ºC și o presiune în zona de densificare de 120–150 MPa.

4.5. Justificarea tehnico-economică

Partea tehnico-economică a acestei lucrări se bazează pe datele mai multor studii cum sunt publicații științifice și rapoarte tehnice [30, 74, 107, 108], precum și datele producătorilor de peleți din Republica Moldova. Sigur că indicatorii tehnico-economici variază de la un autor la altul, lucru explicat prin mai multe considerente, printre care se regăsesc specificul biomasei și a condițiilor climaterice, nivelul de dezvoltare tehnică și economică, costurile de producție etc.

Pentru justificarea tehnico-economică a procesului tehnologic propus în această lucrare vom aborda problema prin compararea beneficiilor obținute de la implementarea procesului propus și costurile necesare pentru implementarea acestuia analizând trei situații și anume:

1. Producerea peleților din biomasă lemnoasă (lemne de foc) prin metode clasice, când calitatea biomasei permite obținerea peleților cu caracteristici calitative conforme cerințelor normelor internaționale ENPlus 3;

2. Producerea peleților din reziduuri agricole cu puterea calorifică inferioară în limitele 14 – 16 MJ/kg, adică din biomasă care, procesate prin metode tradiționale, nu asigură calitatea peleților conform normelor ENPlus;

3. Producerea peleților din reziduuri agricole de calitate inferioară cu folosirea torefierii materiei prime.

Deoarece prețul de producție variază în funcție de programa anuală, calculele au fost realizate pentru programă medie și anume pentru productivitatea utilajului de 500 kg/oră. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.8. Pentru a putea compara eficiența rezultatelor obținute, s-a calculat costul unei tone de peleți și costul unui *GJ*.

Analizând datele obținute se urmărește efectul economic evident al torefierii biomasei obținute din reziduuri agricole. Astfel, peleții produși din biomasă lemnoasă, care este cea mai scumpă dar și cea mai deficitară, au un preț de producție egal cu 78,25 EUR pentru o tonă. De adăugat că în *GJ* astfel de peleți costă 4,6 EU. Calculele au fost realizate pentru puterea calorifică inferioară a peleților egală cu 18 MJ/kg la umiditatea în bază umedă limită admisă de către normele ENPlus 3 (M = 10%). Valoarea puterii calorifice a fost stabilită în baza datelor experimentale obținute în p. 3.2.2; 3.3; 4.3 și celor din literatura de specialitate [8, 14, 47, 49 - 51, 109, 113].

Tabelul 4.8. Date cu privire la calculul prețului de producție a peleților de foc fabricați prin metoda tradițională și conform tehnologiei propuse

Nr. crt.	Denumire cheltuieli	PBL		PRANT		PRAT	
		EUR/t	EUR/GJ	EUR/t	EUR/GJ	EUR/t	EUR/GJ
Investiții capitale							
1	Mijloace fixe	22,94	1,35	23,24	1,55	33,04	1,65
1.1.	Costuri directe	14,80	0,87	15,10	1,01	23,10	1,16
1.1.1.	Echipament de uscare	2,50	0,15	2,50	0,17	2,50	0,13
1.1.2.	Reactor cu tambur		0,00		0,00	4,60	0,23
1.1.3.	Echipament mărunțire	1,10	0,06	1,10	0,07	0,80	0,04
1.1.4.	Diferite procurări	1,90	0,11	1,90	0,13	1,90	0,10
1.1.5.	Instalare echipament	5,20	0,31	5,50	0,37	8,80	0,44
1.1.6.	Diferite instalare	4,10	0,24	4,10	0,27	4,50	0,23
1.2.	Costuri indirecte	6,90	0,41	6,90	0,46	8,70	0,44
1.2.1.	Inginerie și supraveghere	3,90	0,23	3,90	0,26	4,20	0,21
1.2.2.	Cheltuieli construcții, taxe contracte	0,90	0,05	0,90	0,06	1,30	0,07
1.2.3.	Cheltuieli neprevăzute	2,10	0,12	2,10	0,14	3,20	0,16
1.3.	Mijloace circulante	1,24	0,07	1,24	0,08	1,24	0,06
Investiții de producție							
1.	Costuri de fabricație	55,31	3,25	40,31	2,69	40,01	2,00
1.1.	Cheltuieli materiale	28,00	1,65	13,00	0,87	14,00	0,70
1.1.1.	Cheltuieli materie primă	25,00	1,47	10,00	0,67	11,00	0,55
1.1.2.	Altele	3,00	0,18	3,00	0,20	3,00	0,15
1.2.	Cheltuieli personal	4,50	0,26	4,50	0,30	4,50	0,23
1.3.	Bunuri și servicii	19,56	1,15	19,56	1,30	18,26	0,91
1.3.1.	Servicii energetice comunale	13,40	0,79	13,40	0,89	11,40	0,57
1.3.2.	Servicii de mentenanță	3,10	0,18	3,10	0,21	3,80	0,19
1.3.3.	Alte servicii	3,06	0,18	3,06	0,20	3,06	0,15
1.5.	Cheltuieli de regie	3,25	0,19	3,25	0,22	3,25	0,16
	Cheltuieli total	78,25	4,60	63,55	4,24	73,05	3,65

Legendă: PBL - Peleți din biomasă lemnoasă; PRANT ă peleți din reziduuri agricole ne torefiate; PRAT – peleți din reziduuri agricole torefiate

Analizând costurilor pentru variantele luate în studiu, s-a constatat că peleții fabricați din reziduuri lemnoase sunt cei mai ieftini, dacă vorbim despre costul unei tone de peleți. Însă, prețul unui *GJ* este cu mult mai mare, ca a peleților fabricați din același tip de biomasă, dar care preventiv a fost supusă torefierii. Astfel, prețul de producere a unei tone de peleți din reziduuri agricole ne

torefiate costă 63,55 EUR, iar cei produși din reziduuri agricole torefiate costă 73,05 EUR/t, adică în unități masă, peleții produși din biomasă torefiată sunt cu 15 % mai scumpi.

Revenind la prețul de cost al unui *GJ,* constatăm o situație inversă - prețul de producție al unui *GJ* al peleților fabricați din reziduuri agricole torefiate este cu 16% mai mic de cât al peleților fabricați din aceleași reziduuri agricole, însă ne torefiate.

O altă latură foarte importantă se referă la calitatea peleților fabricați din reziduuri agricole prin metoda clasică și a celor fabricați din biomasă torefiată. Urmărind datele din Tabelul 4.9 și contrapunându-le cu cele din Tabelul 1.1, constatăm că peleții produși din reziduuri agricole prin metoda tradițională la mulți parametri nu corespund cerințelor ENPlus, în special ce se referă la puterea calorifică și conținutul de cenușă.

Tabelul 4.9. Caracteristicile calitative ale peleților obținuți prin metodele luate în studiu

Denumire proprietăți	**PBL**	**PRANT**	**PRAT**
Puterea calorifică inferioară la M_{ar}=10%, MJ/kg	16,5 -18,5	< 15,5	17,5 -20,5
Conținutul de umiditate, $\%_w$	< 10	< 10	< 10
Conținutul de cenușă, $\%_w$	< 2	< 3,6	< 2
Durabilitate mecanică, $\%_w$	≥ 98	≥ 98	≥ 97,7
Fracție fină (< 3,15 mm), $\%_w$	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 1
Densitatea în vrac, kg/m^3	600 -750	600 -750	600 -700
Conținutul de carbon, $\%_w$	46	45-47	51-59
Conținutul de hidrogen, $\%_w$	5,8 - 6,3	5,8 - 6,8	2- 5,8
Conținutul de sulf, $\%_w$	≤ 0,04	≤ 0,07	≤ 0,05
Conținutul de azot, $\%_w$	≤ 0,5	≤ 1	≤ 0,5
Conținutul de clor, $\%_w$	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,03
Proprietăți higroscopice	Hidrofil	Hidrofil	Hidrofob
Degradare biologică	Da	Da	Nu

În principiu, peleții produși din reziduuri ne torefiate nu se recomandă să se folosească în termocentrale rezidențiale, însă aceștia pot fi folosiți în ciclul de producere a peleților după schema propusă de către noi, și anume pentru încălzirea inițială a cazanului.

În continuare, datorită utilizării gazelor de piroliză eliminate în procesul torefierii, din punctul de vedere al energiei termice sistemul se autoîntreține ce, de asemenea, reprezintă un avantaj tehnico-economic important.

Un alt avantaj ce micșorează cheltuielile de producție este asigurat de faptul că umiditatea inițială a biomasei poate fi până la 40%, deoarece în reactorul de torefiere, în prima fază are loc încălzirea preventivă a biomasei cu uscarea acesteia.

În baza analizei datelor tehnico economice obținute de către noi în acest studiu și corelate cu cele din literatura de specialitate se structurează schema efectelor rezultate de la aplicarea procesului de torefiere a biomasei în procesul tehnologic de fabricare a peleților din reziduuri agricole (fig. 4.19).

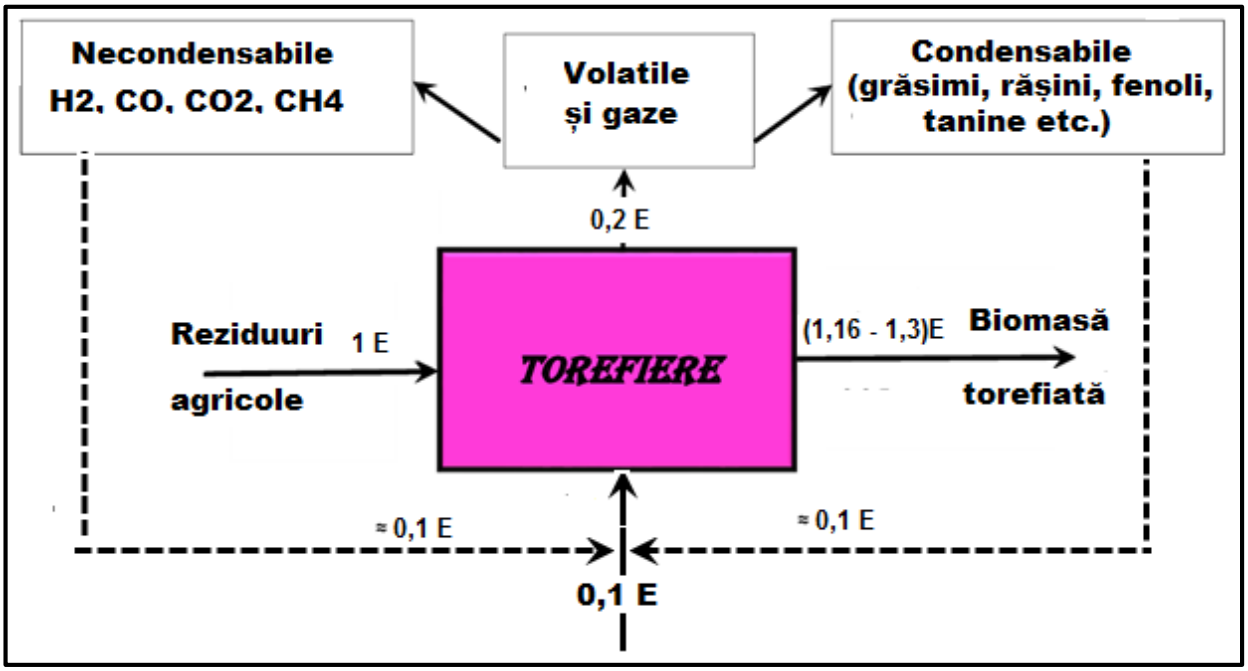


Figura 4.19. Schema de echilibru al efectelor tehnico-economice ale torefierii

Din schemă se vede că pentru mărirea puterii calorifice a biomasei provenite din reziduuri agricole cu 16 - 30 % se folosesc foarte puține surse energetice (cca 0,1 E) și aceste consumuri au loc doar în faza de inițiere a procesului. În continuare, datorită gazelor rezultate de la torefiere procesul se autoîntreține. Cheltuielile suplimentare necesare pentru implementarea torefierii sunt legate de procurarea și instalare utilajului și constituie cca. 6 % din costurile consumate pentru producerea unei unități de căldură.

4.6. Concluzii la capitolul 4

Principalele constatări obținute în acest capitol sunt rezumate după cum urmează:

1. Studiul privind posibilitatea îmbunătățirii calității peleților de foc prin condiționarea primară a materiei prime a scos în evidență că distribuția fracționară a biomasei lignocelulozice este influențată de dimensiunile ecranului sitelor prin care se trece biomasă și de conținutul de extractive rămase în biomasă după uscare. Pe cale experimentală, s-a demonstrat că cea mai uniformă distribuție fracționară se obține la măcinarea biomasei uscată în mod natural cernută prin sită cu ecranul ochiurilor egal cu 4 mm.

2. În baza rezultatelor obținute în cadrul estimării proprietăților energetice a diferitor amestecuri cu folosirea paielor de grâu s-a constatat că peleții confecționați din paie de grâu cu adaos de biomasă lemnoasă în proporție de 30% plus 30% de salcie energetică posedă o putere calorifică corespunzătoare cerințelor ENPlus 3 cu un conținut de cenușă de 2,92%. Experimentele efectuate au mai arătat că peleți care în conținutul său au doar biomasă din paie, practic nu pot fi certificați cu calitativele ENplus, înscriindu-se în clasele A3, A4 și A5.

3. Cercetarea influenței regimurilor densificării asupra densității particulelor, a demonstrat că producerea peleților cu densitatea particulelor mai mare de 1,0 $g \cdot cm^{-3}$, ce asigură o densitate în vrac a peleților mai mare de 600 $kg \cdot m^{-3}$, adică corespund cerințelor ENPlus 3, poate fi realizată la temperatura matriței de cel puțin 80 ^oC, iar umiditatea inițială a biomasei nu trebuie să depășească 12%. Dacă peletizarea are loc la temperaturi mai mari de 80 ^oC, umiditatea inițială a biomasei poate fi mărită, proporțional, cu mărirea temperaturii peletizării, însă nu mai mult de 15%. De asemenea, s-a constatat că cea mai mare putere calorifică a peleților se obține când umiditatea inițială a biomasei se află în diapazonul 10±2%.

4. Experimentele referitoare la efectele torefierii au scos în evidentă că integrarea în procesul tehnologic de producere a peleților de foc din reziduuri agricole a torefierii ar pute fi un mijloc sigur de sporire a puterii calorifice a peleților. S-a demonstrat că efectul torefierii se manifestă cel mai pronunțat în cazul biomasei provenite din reziduurilor de la cultivarea spicoaselor, marcând o sporire a puterii calorifice inferioare în bază uscată a produsului finit de la 17,584 MJ/kg până la 22,752 MJ/kg ce reprezintă o sporire relativă de 29.4%. Peleții obținuți din paie de grâu torefiate se înscriu în cerințele normelor internaționale ENPlus 3.

5. Destul de pronunțată este și creșterea puterii calorifice a reziduurilor lemnoase de 1-2 ani, care au marcat o majorare a puterii calorifice inferioare în bază uscată de 16,1%. Acest tip de biomasă, la umiditatea 10%, posedă o putere calorifică inferioară egală cu 16,41 MJ/kg, valoare care este puțin mai mică ca cea admisă de către normele ENPlus 3. După torefiere la temperatura de 280 ^oC, puterea calorifică a reziduurilor lemnoase de 1-2 ani a crescut pana la 19,087 MJ/kg, adică și acest tip de biomasă, după torefiere, posedă o putere calorifică care satisface cerințele ENPlus 3.

6. În baza cercetărilor efectuate a fost elaborată o tehnologie nouă de producerea a peleților din reziduuri agricole cu caracteristici corespunzătoare normelor ENPlus. Pentru tehnologia propusă au fost argumentate regimurile torefierii și a fost calculat costul unui GJ obținut de la arderea peleților produși după tehnologia nouă. Astfel prețul de producție este egal cu 3,65 EUR/GJ, fiind mai mic cu 16% ca cel al peleților produși din aceleași reziduuri agricole prin metoda tradițională.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Sinterizând concluziile de la fiecare capitol și corelându-le cu obiectivele și ipotezele înaintate care stau la baza soluționării uneia din ***problemele științifice importante,*** stabilite în sistemul de asigurare a calității biocombustibililor solizi densificați şi anume – *mărirea nivelului de calitate a peleților prin optimizarea constituției materiei prime, perfecționarea tehnologiilor de producere a peleților prin folosirea procedeelor efective de pre-tratare a materiei prime și prin concretizarea regimurilor tehnologice de condiționare și densificare a materiei prime,* au fost extrase următoarele concluziile finale și recomandări:

1. Au fost identificate căile posibile de îmbunătățire a calității peleților de foc produși din reziduuri agricole şi a fost înaintată ipoteza despre posibilitatea măririi puterii calorifica a peleților de foc prin torefierea biomasei înainte de densificare [1, 3, 5].

2. S-a estimat puterea calorifică a diferitor tipuri de biomasă vegetală, provenită din activități agricole specifice anumitor zone climaterice ale Republicii Moldova, pretabile pentru a fi folosite la producerea peleților de foc. S-a constatat că paiele de specioase nu pot fi folosite în stare pură pentru producerea peleților de foc cu indicatori calitativi conformi cerințelor ENPlus 3, deoarece prezintă o putere calorifică scăzută ($NCV_{M10\%}$ = (14,9±0,24) MJ/kg, conțin mult clor (cca. 0,75 %) și metale alcaline (cca. 1,18%) [2 - 7].

3. S-a demonstrat că puterea calorifică a părților componente ale diferitor culturi agricole diferă de la caz la caz. Astfel, pentru porumb, s-au obținut următoarele rezultate: boabe $NCV_{M=10\%}$ = 15305±180 J/g; tulpini ($NCV_{M=10\%}$ = 14800,8±178,9 J/g, ciocălăii fără boabe ($NCV_{M=10\%}$ = 11994,7±206,1 J/g).

4. S-a constatat că pentru producerea peleților prin metode tradiționale, cu caracteristici calitative conforme normelor ENPlus 3, pot fi folosite direct doar 5% din reziduurile agricole [2, 9] şi cca. 20% pot fi folosite în calitate de componente în amestecuri de materie primă [2, 11 - 13].

5. Studierea impactului diferitor parametri asupra procesului de peletizare și de pre-tratare termochimică a biomasei a permis identificarea parametrilor cheie de proces și elaborarea recomandărilor pentru alegerea itinerarul tehnologic și stabilirea condițiilor optime ale procesului tehnologic de peletizare [3, 11, 14].

6. În baza sintetizării rezultatelor din studiul realizat în această lucrare a fost elaborat un proces tehnologic cu elemente inovative de producere a peleților din reziduuri agricole cu caracteristici calitative conforme cerințelor ENPlus 3 [1].

7. Rezultatele încercărilor de laborator şi a celor din producție, confirmate prin testările pozitive şi prin implementarea acestora la SRL „ECOBRIPIL-PLUS”, cât şi prin recomandările

Ministerului Agriculturii şi Industriei Alimentare privind implementarea rezultatelor obținute la întreprinderile de producere a peleților de foc, au demonstrat posibilitatea implementării tehnologiei elaborate în industria de producere a biocombustibililor solizi densificați în formă de peleți.

Sugestii privind cercetările de perspectivă. Pe lângă cercetările efectuate în prezentul studiu, rezultatele obținute pot fi completate ca investigații mai detaliate care pot ajuta în continuare la înțelegerea mai bună a proceselor de tratare preventivă a biomasei lignocelulozice:

1. Evaluarea modului în care torefierea influențează alte tipuri de biomasă decât cea provenită din reziduuri agricole;

2. Investigarea posibilității de sporire a calității biocombustibililor solizi densificați prin alte metode de pre-tratare a materiei prime și a produsului finit;

3. Aprofundarea cercetărilor în direcția studierii stabilității proprietăților biocombustibililor solizi obținuți din biomasă torefiată;

4. lărgirea diapazonului de cercetări teoretice în vederea explicării morfologiei torefierii și a proceselor de coagulare a particulelor de biomasă torefiată.

BIBLIOGRAFIE

1. Anuarul Statistic al Republicii Moldova ediția 2015. http://www.statistica.md/public/files/publicatii_electronice/Anuar_Statistic/2015/15_Resurse_energetice_combustibil.pdf

2. HG Nr.102 din 05.02.2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030. http://lex.justice.md/md/346670/

3. Legea nr.10 din 26.02.2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile. Publicat:25.03.2016 în Monitorul Oficial nr. 69 - 77 art. nr. 117.

4. Hotărârea Guvernului nr. 833 din 10.11.2011 cu privire la Programul național pentru eficiență energetică 2011-2020 Publicat :18.11.2011 în Monitorul Oficial Nr. 197-202 art nr : 914;

5. Marian Grigore. Managementul biomasei agrosilvice pentru scopuri energetice. Chișinău: Iunie Prim, 264 p.

6. AEBIOM Statistical Report 2015.

7. Marian Grigore. Biocombustibili solizi, producere și proprietăți. Chișinău, 2016, 172 p.

8. Batidzirai, B., Valk, M. Wicke, B. et al. Current and future technical, economic and environmental feasibility of maize and wheat residues supply for biomass energy application: Illustrated for South Africa. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 92, 2016, pp. 106 - 129.

9. Havrland, B., Pobedinschi, V M., Ivanova, T. et. al. Biomass processing to biofuel. Powerprint, Praha. Prague-Chișinău, 2011. 86 p..

10. Samuelsson, R., Larsson, S., Thyrel, M. and Lestander, T. A.. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. In: *Applied energy*, V. 99, 2012, pp. 109-115.

11. Rhen, C., Gref, R., Sjostromb, M., Wasterlund, I. Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets. In: *Fuel Processing Technology,* V. 87, 2005. pp. 11 – 16.

12. Berkesy, L., Begea, M., Berkesy1, C. et. al. Aspecte calitative cu privire la biomasa destinată încălzirii. În: *Ecoterra, nr. 30, 2012*. pp. 64 - 71.

13. Torbjurn A. Lestander, Michael Finell, Robert Samuelsson, Mehrdad Arshadi, Mikael Thyrel. Industrial scale biofuel pellet production from blends of unbarked softwood and hardwood stems—the effects of raw material composition and moisture content on pellet quality. In: *Fuel Processing Technology*, V. 95, 2012, pp. 73–77.

14. Samuelsson, R., Thyrel, M., Sjцstrцm. M. et al. Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. In: *Fuel Processing Technology*, V. 90, 2009, pp. 1129 – 1134.

15. Obernberger I, Thek G. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 27, 2004, pp. 653 – 669.

16. Back, E. L. Oxidative activation of wood surfaces for glue bonding. În: *Forest Products Journal,* V. 41(2). 1991, pp. 30-36.

17. Stehr M. and Johansson I. Weak boundary layers on wood surfaces. În: *Journal of Adhesion Science and Technology*, V. 14:10, 2000, pp. 1211-1224.

18. Stelte, W., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J. & Henriksen U.B., A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources, În: *Biomass and Bioenergy*, V. 35, 2011, pp. 910-918.

19. Nielsen, N., Peter K., Gardner, D. J., Felby, C. Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust. În: *Fuel*, V. 89(1), 2010, pp. 94–98.

20. Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Kenney, K. L., & Hess, J. R.. A. Review on biomass densification technologies for energy applications. În: *Technical Report INL/EXT-10e18420, Idaho Falls*, Idaho. 2010, 96 p.

21. Tumuluru, J. S., Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. În: *Biosystems engineering*, V. 119, 2014, pp. 44-57.

22. Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. An overview of compaction of biomass grinds. În: *Powder Handling Processing*, V. 15 (3), 2003. pp. 160-168.

23. Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S.. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species. În: *Canadian Biosystems Engineering*, V. 46 (3), 2004, pp. 55 - 61.

24. Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. Specific energy requirement for compacting corn stover. Bioresource. În: *Technology*, V. 97, 2006, pp. 1420 - 1426.

25. Yancey, N. A., Tumuluru, J. S., & Wright, C. T. Drying, grinding and pelletization studies on raw and formulated biomass feedstock's for bioenergy applications. În: *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, V. 7 (5), 2013, pp. 549 - 558.

26. Bergström D., Finell, M. & Gref, R. Effects of Extractives on the Physical Characteristics of Scots Pine Sawdust Fuel Pellets. În: *Forest Prod. J.* V. 60 (7/8), 2010, pp. 640 – 644.

27. Kaliyan N., Morey R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 33, 2009, pp. 337 – 259.

28. Kaliyan, N., Morey, R. V. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. În: *Transactions of the ASABE*. V. 52 (3), 2009, pp. 907 - 920.

29. Li, Y., Henry L. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 19, 2000, pp. 177 - 186.

30. Thran, D., Witt, J., Schaubach, K. et al. Moving torrefaction towards market introduction e Technical improvements and economic-environmental assessment along the overall torrefaction supply chain through the SECTOR project. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 89, 2016, pp. 184 – 200.

31. O'Dogherty, M. J., and J. A. Wheeler. Compression of straw to high densities in closed cylindrical dies. În: *J. Agric. Eng. Res.,* V. 29, 1984, pp. 61 - 72.

32. Shrivastava, M., Shrivastava, P. and Khankari, K.K.. Densification characteristics of rice husk under cold and hot compression. In: *Agricultural Engineering*, 1989, pp. 2441 - 2443.

33. MacBain, Reed. *Pelleting Animal Feed*, Chicago, IL: American Feed Manufacturing Association, 1966.

34. Vest, L. Southeastern survey: factors which influence pellet production and quality. În: *Feed Mgmt*. V. 44 (5), 1993, pp. 60 - 68.

35. Wei Gao, Lope G. Tabil, Tim Dumonceaux c , Sebastian Espinel Ríos d , Rongfei Zhao. Optimization of biological pretreatment to enhance the quality of wheat straw pellets. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 97, 2017, pp. 77 - 89.

36. Hăbășescu, Ion și Cerempei, Valerian. Potențialul energetic al masei vegetale din agricultura Republicii Moldova. http:// agriculture.md/sip/files/pemva.pdf

37. Hăbășescu, Ion. Biomasa- sursă eficientă de energie regenerabilă. În *Akademos*, nr. 3 (10), 2008. pp. 75 - 78.

38. Estimarea potențialului energetic al biomasei din culturile agricole pentru brichetare la nivel de regiuni și raioane, pentru anii 2009-2010. Studiu elaborat de IDIS „Viitorul" în cadrul proiectului Energie și Biomasă în Moldova. Chișinău: Bons oficec, 2012, 172 p.

39. Mani, S., Tabil, L. G. Sokhansanj, S., Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, În: *Biomass and Bioenerg.* V. 30, 2006, p. 648 - 654.

40. Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansanj, S. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species. În: *Canadian Biosystems Engineering* V. 46, 2004; pp. 355 – 61.

41. 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. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 80, 2016, pp. 338 – 349.

42. Rezaei, H., Lima C. J., Lau, A., Sokhansanj, S. Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles. În: *Powder Technology,* V. 301, 2016, pp. 737 – 746.

43. Haykiri-Acma, H., Baykan, A., Yaman, S., Kucukbayrak S. Effects of fragmentation and particle size on the fuel properties of hazelnut shells. În: *Fuel*, V. 112, 2013, pp. 326 – 330.

44. Bergströma, D., Israelssonb, S., Öhmanc M. et al. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. În: *Fuel Processing Technology*, V. 89, 2008, pp. 1324 – 1329.

45. Arranz, J. I., Miranda, M. T., Montero, I. Characterization and combustion behavior of commercial. În: *Fuel,* V. 142, 2015, pp. 199 – 207.

46. Marian Gr. Considerații pro și contra privind utilizarea pentru scopuri energetice a biomasei derivată de la cultivarea cerealierelor spicoase. În: *Știința agricolă*, 2014. Nr. 1, pp. 56 - 62.

47. Niedziółka, I., Szpryngiel, M., Kachel-Jakubowska, M. et al. Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass. În: *Renewable Energy*, V. 76, 2015, pp. 312 - 317.

48. Miranda, T., Montero, I. et al. Review of Pellets from Different Sources. În: *Materials,* V. 8, 2015, pp. 1413 - 1427.

49. Гелетуха, Г. Г., Желєзна, Т. А., Жовмір, М. М. et al. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в україні. частина 1. відходи сільського господарства та деревна біомаса. În: *Пром. теплотехника, №6, 2010, p. 58 - 65*.

50. Гелетуха, Г. Г., Желєзна, Т. А. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в украине. Аналитическая записка БАУ №7, 2014. 35 с.

51. Головач, А. А. Использование соломы для сохранения и повышения плодородия почв. În: *Белорусское сельское хозяйство,* № 7(87), 2009, сс. 32 - 35.

52. ENplus Handbook, Part 3 - Pellet Quality Requirements.

53. Lam, P. S., Lam, P. Y., Sokhansanj, S. et al. Mechanical and compositional characteristics of steam-treated Douglas fir (Pseudotsuga menziesii L.) during pelletization. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 56, 2013, pp. 116 – 126.

54. Tooyserkani, Z., Kumar, L., Sokhansanj, S. et al. SO_2-catalyzed steam pretreatment enhances the strength and stability of wood pellets. În: Bioresour Technol, V. 130, 2013, pp. 59 – 68.

55. Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., Portero, H. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. În: *Fuel Processing Technology*. V. 92, 2011, pp. 699 – 706.

56. Orfao, J. J. M., Figueiredo, J. L., 2001. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. În: *Thermochimica Acta*, V. 380 (1), pp. 67 – 78.

57. ARION,V.; Bordeianu, A.; Boșcăneanu, A. și al. *Biomasa și utilizarea ei în scopuri energetice*. Ed.: Caromond-Studio, 2008. 268 p.

58. Holm, J.K., Henriksen, U. B., Hustad, J. E., Sorensen, L. H. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production. În: *Energy Fuels* V. 20, 2006, pp. 2686 - 2694.

59. Holm, J.K., Henriksen, U.B., Wand, K., Hustad, J.E., Posselt, D. Experimental verification of novel pellet model using a single pelleted unit. Energy Fuels. V. 21 (4), 2007, pp. 2446 - 2449.

60. Nielsen, N., Holm, J. K., Felby, C. Effect of fiber orientation on compression and frictional properties of sawdust particles in fuel pellet production. În: *Energy Fuels.* V. 23, 2009, pp. 3211 - 3216.

61. Nielsen, N., Nørgaard, L., Strobel, B. W., Felby, C. Effect of storage on extractives from particle surfaces of softwood and hardwood raw materials for wood pellets. În: *Eur J Wood Prod*. V. 67, 2009, pp. 19 - 26.

62. Nielsen, N., Gardner, D.J., Poulsen, T., Felby, C. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood into fuel pellets. În: *Wood Fiber Sci* V. 41, 2009, pp. 414 - 425.

63. Bradfield, J., Levi, M. P. Effect of species and wood to bark ratio on pelleting of southern woods. În: *Forest Products Journal*, V. 34, 1984, pp. 61 – 63.

64. Singh, D., Kashyap, M. M. Mechanical and combustion characteristics of paddy husk briquettes. În: *Agricultural Wastes.* V. 13, 1985, pp. 189 – 96.

65. Turner, R. Bottomline in feed processing: achieving optimum pellet quality. În: *Feed Management,* V. 46, 1995, pp.30 – 33.

66. Franke M, Rey A. Pelleting quality. În: *World Grain,* 2006.

67. Kumar, R., Singh, S., Singh, O.V. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. În: *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* V. 35, 2008, pp. 377 - 391.

68. Payne, J. D. Improving quality of pellet feeds. În: *Milling Feed and Fertilizer, V.* 162, 1978, pp. 34 – 41.

69. Payne, J.D. Troubleshooting the pelleting process. In*: Feed technology technical report series.* Singapore: American Soybean Association International Marketing Southeast Asia, 2006. p. 17 – 23.

70. Garcна-Torrent, J., Ramнrez-Gymez, Á., Fernandez-Anez, N. et al. Influence of the composition of solid biomass in the flammability and susceptibility to spontaneous combustion. În: *Fuel*, V. 184, 2016, pp. 503 – 511.

71. Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R. et al. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. În: *Fuel.* 2011, V. 90, pp. 3285 - 3290.

72. Holm, J. K., Stelte, W., Posselt, D. et al. Optimization of a multiparameter model for biomass pelletization to investigate temperature dependence and to facilitate fast testing of pelletization behavior. În: *Energy and Fuels*, V. 25, 2011, pp. 3706 - 3711.

73. Holm, J. K., Henriksen, U. B., Wand, K. et al. Experimental verification of novel pellet model using a single pelleter unit. În: *Energy and Fuels.* V. 21, 2007, pp. 2446 - 2449.

74. Mobini, M., Meyer, J.-C., Trippe, F. et. al. Assessing the integration of torrefaction into wood pellet production. În: *Journal of Cleaner Production,* V. 78, 2014, pp. 216 - 225

75. Lam, P. S., Sokhansanj, S., Bi, X., Lim, C. J., Melin, S. Energy input and quality of pellets made from steam-exploded Douglas fir (Pseudotsuga menziesii). În: Energy and Fuels. V. 25, 2011, pp. 1521 - 1528.

76. Filbakk, T., Skjevrak, G., Hoibo, O. et al. The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. În: Fuel Processing and Technology. V. 92, 2011, pp. 871 - 878.

77. Gilbert, P., Ryu, C., Sharifi, V., Swithenbank, J. Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. În: *Fuel*, V. 88, 2009, pp. 1491 - 1497.

78. Smith, I. E., Probert, S. D., Stokes, R. E., Hansford, R. J. Briquetting of wheat straw. Journal of Agricultural Engineering Research. V. 22, 1977, pp. 105 - 111.

79. Гомонай. М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы, М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006, 68 с

80. Ивин, Е. Л., Глуховский, В. М. Гранулирование древесины. Практические и теоретические основы, или что происходит внутри гранулятора. În: *Биоэнергетика,* №2. 2007, p. 64.

81. Leuenberger, H., Rohera, D. Fundamentals of powder compression the compactibility and compressibility of pharmaceutical powders. În: *Pharmaceutical Research*. V. 3, 1986, pp. 12 - 22.

82. Hiestand, E. N. Principles, tenets and notions of tablet bonding and measurements of strength. În: *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.* V. 44, 1997, pp. 229 - 242.

83. Mahmoodi, F. Compression mechanics of powders and granular materials probed by force distributions and micromechanically based compaction equation. Uppsala, 2012, 58 p.

84. Johansson, B., Wikberg, M., Ek, R., and Alderborn, G. Compression behaviour and compactability of microcrystalline cellulose pellets in relationship to their pore structure and mechanical properties. În: *International Journal of Pharmaceutics* V. 117(1),1995, pp. 57 - 73.

85. Pietsch, W. *Agglomeration Processes Phenomena, Technologies, Equipmen*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2002, 614 p.

86. Tooyserkani, Z. Hydrothermal pretreatment of softwood biomass and bark for pelletization. PhD thesis. Vancouver, 2013.

87. Hăbășescu, I., Cerempei, V., Deleu, V. et al. /red. șt. Ion Hăbășescu. *Energie din biomasă: tehnologii și mijloace tehnice.* Ch.: Bons Offices, 2009, 368 p.

88. Гаврланд, Б., Побединский, В. М. Биомасса для энергетического использования. Прага: CzechAid, 2008. 154 с.

89. Ion, V. Ion and Ion, Dana-Ioana. Energie din biomasă. În: *Tehnica instalațiilor*, 2006, nr. 7(38). pp. 14 – 30.

90. Клюс, С. В., Забарный, Г. Н. Оценка и прогноз потенциала твердого биотоплива Украины. În: *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. Nr. 2(24), 2011, pp. 8 - 13.

91. Tumuluru, J. S., Sokhansanj, S., Hess, J. R., Wright, C. T., Boardman, R. D., A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications, Industrial. În: *Biotechnology,* V. 7, 2011, pp. 384 – 401.

92. Chang, S., Zhao, Z., Zheng A., He, F., Huang, Z., Li, H. Characterization of products from torrefaction of sprucewood and bagasse in an auger reactor. În: *Energy and Fuels 26,* 2012, pp. 7009 – 7017.

93. Prins, M. J., Ptasinski, K. J., Janssen, F. J. J. G. Torrefaction of wood: part 2. Analysis of products. În: *J. Anal. Appl. Pyrol*. V. 77, 2006, pp. 35 – 40.

94. Chew, J. J., Doshi, V. Recent advances in biomass pretreatment - torrefaction fundamentals and technology. În: *Renew. Sustain. Energy Rev*. V. 8, 2011, pp. 4212 – 4222.

95. Poudel, J., Seacheon, O. Effect of torrefaction on the properties of corn stalk to enhance solid fuel qualities. În: *Energies*. V. 7, 2014, pp. 586 – 5600.

96. Stelt, M. J. C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., Ptasinski, K.J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 35, 2011, pp. 3748 – 3762.

97. Cao, L., Yuan, X., Li, H. et al. Complementary effects of torrefaction and co-pelletization: Energy consumption and characteristics of pellets. În: Bioresource Technology, V 185, 2015, pp. 254 – 262.

98. Meia, Y., Chea, Q., Yangb, Q. et al. Torrefaction of different parts from a corn stalk and its effect on the characterization of products. În: *Industrial Crops and Products*, V. 92, 2016, pp. 26 – 33.

99. Bergman, P., Boersma, A., Zwart, R. and Kiel, J. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. În: *Report ECN-C-05-013*, ECN, Petten, 2005a.

100. Bergman, p., boersma, a., kiel, j. et al. Torrefied biomass for entrained-flow gasification of biomass. În: Report *ECN-C-05-026*, ECN, Petten ,2005b.

101. Prando, D., Boschiero, M., Campana, D. et.al. Assessment of different feedstocks in South Tyrol (Northern Italy): Energy potential and suitability for domestic pellet boilers. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 90, 2016, pp. 155 - 162.

102. Carone, M. T., Pantaleo, A., Pellerano, A. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of Olea europaea L. În: *Biomass and Bioenergy, V.* XXX, 2010, pp. 1 – 9.

103. Tarasov, D., Shahi, C., and Leitch, M. Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review. *În: Hindawi Publishing Corporation ISRN Forestry*, 2013, pp. 1 – 6.

104. Zamorano, M., Popov, V., Rodríguez, M. L., García-Maraver, A. A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. În; *Renewable Energy,* V. 36, 2011, pp. 3133 – 3140.

105. Kiel, J. Torrefaction for biomass upgrading into commodity fuels. In: *Proceedings of the IEA Bioenergy Task 32 Workshop on Fuel Storage*, Handling and Preparation and System Analysis for Biomass Combustion Technologies. Berlin, Germany, 2007 (2007b).

106. Williams PT and Besler S. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. În: *Renewable Energy*, V. 7(3), 1996, pp. 233 – 250.

107. Sermyagina, Ekaterina, Saari, J., Kaikk, J., Vakkilainen, Esa. Integration of torrefaction and CHP plant: Operational and economic analysis. În: *Applied Energy*, V. 183, 2016, pp. 88 – 99.

108. Agar, D. A. A comparative economic analysis of torrefied pellet production based on state-of-the-art pellets. În: *Biomass and Bioenergy,* V/ 97, 2017, pp. 155 - 161.

109.Portugal-Pereira, J., Soria, R. et al., Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. În: *Biomass and Bioenergy*, V. 81, 2015, pp. 521 - 533.

Lucrări publicate cu participarea autorului

110.Gudîma, A., Marian, Gr., Pavlenco, A. Stadiul actual al cercetărilor cu privire la influența variabilelor de producție asupra calității biocombustibililor densificați în formă de peleți. În: *Meridian ingineresc*, V. 1, 2017, pp. 51 - 60.

111.Gudîma, A. Evaluarea utilizării reziduurilor agricole pentru scopuri energetice. Studiu de caz pentru raionul Soroca, Republica Moldova, În: *Meridian ingineresc*, V. 1, 2017, pp. 26 - 29.

112.Marian, Gr., Gudîma, A., Pavlenco, A. Torefierea - o nouă direcție de sporire a calității peleților de foc produși din biomasă autohtonă. În: *Știința agricolă,* V. 1, 2017.

113.Marian Gr., Soji Kurasawa, Muntean, A., Gudima, A., Druceoc, Stela. Estimarea capacității calorifice a biomasei lignocelulozice provenite din diferite zone ale Republicii Moldova în conceptul de producere de combustibili solizi. În: *Știința agricolă*, 2013, nr. 1, pp. 97 - 114.

114.Gudîma, A**.** Stadiul actual cu privire la utilizarea deșeurilor agricole și silvice pentru obținerea energiei termice în condițiile Republicii Moldova. În: *Lucrări științifice* / Univ. Agrară de Stat din Moldova., V. 28, 2011, pp. 249 - 252.

115.Muntean, A., Ivanova, T., Gudîma, A. Perspectivele utilizării biocombustibilului solid în condițiile Republicii Moldova. În: *Lucrări științifice* /Univ. Agrară de Stat din Moldova. 2011. Vol. 28, pp. 252 - 255.

116.Marian G., Muntean A., Gudîma A., Pavlenco A. Considerații cu privire la estimarea potențialului de biomasă pentru scopuri energetice rezultată din reziduuri agrosilvice. În: *Lucrări științifice UASM*. V. 38, 2013. pp. 66 - 70.

117.Marian, G., Gudîma, A, Muntean, A., Gorobeț, V, Pavlenco A. Pelete din paie, considerații pro și contra. Lucrări științifice FIATA, UASM, V. 45, 2015, pp. 115 – 120

118.Marian Gr., Muntean, A., Gudîma, A., Pavlenco, A. Considerații referitoare la folosirea biomasei provenită de la cultivarea porumbului pentru obținerea biocombustibililor solizi. În: *Știința agricolă*, 2013, nr. 2, pp. 84 - 92.

119.Gudima, A., Marian, G. Energy potential of biomass characteristic for the Republic of Moldova. În.: *Engineering for rural development*. Jelgava, Latvia, 2013. p. 194 - 196.

120.Marian Gr., Muntean, A., Țiței, V., Gudîma, A., Pavlenco, A. Analiza comparativă a biomasei obținute din culturi energetice. În: *Ştiinţa agricolă*, nr. 2, 2014, pp. 70 - 76.

121.Țîței, V., Gudima, A., Muntean, A. et al. Prospects for the utilization of the *Miscanthus giganteus* and *Polygonum sachalinense* for solid biofuel production in the Republic Moldova. În*.: Scientific papers*. Series A. Agronomy. V. LIX, Bucharest, 2016, pp. 543 – 547.

122.Kolaříková, M., Ivanova, T., Gudîma, A. et al. Comparison of maximum energy yield of selected crops grown for energy purposes. În: *Lucrări științifice* UASM, V. 38, pp. 14-17.

123.Marian Gr., Gudîma A., Pavlenco A. Influenţa parametrilor densificării asupra calității peleților produși din reziduuri agricole. În: *Știința agricolă*, nr. 1, 2017, pp.

124.Grigore Marian, Andrei Gudima*. Teorii şi tehnologii de management al deşeurilor agricole,* Indicații metodice, Centrul Ed. UASM, Chişinău, 2016, 40 p.

ANEXE

Anexa1. Date experimentale referitoare la studierea distribuției granulometrice

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă	Fracția (%)																				
		Dischizătura ochiurilor sitei																				
		< 0,25							0,25 - 0,5							0,5 - 1						
		1	2	3	media	%	σ	IÎ	1	2	3	medi	%	σ	IÎ	1	2	3	medi	%	σ	IÎ
	măr natural uscat	22,15	21,15	20,86	21,39	43,26	0,68	0,77	22,15	22,14	22,51	22,27	45,04	0,21	0,24	5,00	6,22	6,13	5,78	11,70	0,68	0,77
	măr artificial uscat	40,36	42,12	42,34	41,61	84,76	1,09	1,23	7,71	5,89	5,56	6,39	13,01	1,16	1,31	1,17	1,03	1,09	1,10	2,23	0,07	0,08
1,0 mm	paie de grâu	18,69	20,01	18,83	19,18	38,80	0,73	0,82	22,89	21,95	22,70	22,51	45,55	0,50	0,56	7,92	7,41	7,89	7,74	15,66	0,29	0,32
	măr natural uscat																					
	măr artificial uscat																					
1,5 mm	paie de grâu	29,50	29,17	31,03	29,90	30,22	0,99	1,12	28,36	29,51	29,05	28,97	29,29	0,58	0,65	38,97	38,58	37,39	38,31	38,73	0,82	0,93
	măr natural uscat	29,56	29,89	28,78	29,41	29,88	0,57	0,65	25,5	24,6	25,1	25,06	25,46	0,48	0,54	26,8	27,1	27,3	27,05	27,48	0,28	0,32
	măr artificial uscat	13,56	11,17	11,94	12,22	12,32	1,22	1,38	17,7	15,2	17,5	16,82	16,96	1,40	1,59	45,3	45,7	47,8	46,26	46,63	1,38	1,56
3,0 mm	paie de grâu	15,86	16,42	15,97	16,08	16,22	0,30	0,34	15,7	17,2	17,7	16,85	16,99	1,07	1,21	31,3	30,9	29,5	30,60	30,86	0,94	1,06
	măr natural uscat	18,69	17,82	19,05	18,52	18,67	0,63	0,72	19,7	18,1	18,6	18,78	18,93	0,86	0,98	25,8	24,7	25,9	25,47	25,68	0,65	0,73
	măr artificial uscat	8,28	8,72	7,75	8,25	8,29	0,49	0,55	14,6	14,3	14,7	14,52	14,58	0,19	0,22	39,4	41,3	40,3	40,36	40,54	0,96	1,08
4,0 mm	paie de grâu	12,66	11,98	12,32	12,32	12,05	0,34	0,38	12,2	11,5	13,1	12,29	12,02	0,81	0,92	28,1	27	28,9	28,00	27,39	0,93	1,06

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă																					
		< 0,25							0,25 - 0,5							0,5 - 1						
		1	2	3	%	%W	σ	IÎ	1	2	3	%	%W	σ	IÎ	1	2	3	%	%W	σ	IÎ
	măr natural uscat	44,80	42,78	42,20	43,26	43,26	1,37	1,55	44,80	44,78	45,53	45,04	45,04	0,43	0,48	10,11	12,58	12,40	11,70	11,70	1,38	1,56
	măr artificial uscat	82,22	85,80	86,25	84,76	84,76	2,21	2,50	15,71	12,00	11,33	13,01	13,01	2,36	2,67	2,38	2,10	2,22	2,23	2,23	0,14	0,16
1,0 mm	paie de grâu	37,81	40,48	38,09	38,80	38,80	1,47	1,66	46,31	44,41	45,92	45,55	45,55	1,01	1,14	16,02	14,99	15,96	15,66	15,66	0,58	0,66
	măr natural uscat																					
	măr artificial uscat																					
1,5 mm	paie de grâu	29,82	29,49	31,37	30,224	30,22	1,00	1,14	28,67	29,83	29,37	29,29	29,288	0,59	0,66	39,39	39,00	37,80	38,73	38,73	0,83	0,94
	măr natural uscat	30,03	30,37	29,24	29,88	29,88	0,58	0,66	25,94	24,96	25,49	25,46	25,463	0,49	0,55	27,19	27,49	27,76	27,48	27,478	0,28	0,32
	măr artificial uscat	13,67	11,26	12,04	12,32	12,32	1,23	1,39	17,87	15,33	17,67	16,96	16,96	1,41	1,60	45,64	46,03	48,22	46,63	46,63	1,39	1,57
3,0 mm	paie de grâu	16,00	16,56	16,11	16,22	16,22	0,30	0,34	15,78	17,33	17,86	16,99	16,99	1,08	1,22	31,61	31,17	29,79	30,86	30,86	0,95	1,07
	măr natural uscat	18,85	17,97	19,21	18,67	18,67	0,64	0,72	19,89	18,20	18,70	18,93	18,93	0,87	0,98	26,02	24,93	26,10	25,68	25,68	0,65	0,74
	măr artificial uscat	8,32	8,76	7,78	8,29	8,29	0,49	0,55	14,61	14,37	14,75	14,58	14,58	0,19	0,22	39,60	41,52	40,49	40,54	40,54	0,96	1,09
4,0 mm	paie de grâu	12,39	11,72	12,05	12,05	12,05	0,33	0,38	11,94	11,28	12,85	12,02	12,02	0,79	0,90	27,47	26,44	28,26	27,39	27,39	0,91	1,03

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă	Fracția (%) Dischizătura ochiurilor sitei																				
		1 - 1,4							1,4 - 2,0							2,0 - 2,8						
		1	2	3	media	%	σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ
	măr natural uscat	0	0	0	0	0	0	0					0							0		
	măr artificial uscat	0	0	0	0	0	0	0					0							0		
1,0 mm	paie de grâu	0	0	0	0	0	0	1					0							0		
	măr natural uscat																					
	măr artificial uscat																					
1,5 mm	paie de grâu	1,67	1,65	1,50	1,61	1,62	0,09	0,11	0,12	0,15	0,13	0,13	0,13	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	10,26	10,34	10,83	10,48	10,6	0,31	0,35	5,50	5,50	5,87	5,62	5,71	0,21	0,24	0,79	0,59	0,66	0,68	0,69	0,10	0,11
	măr artificial uscat	19,00	22,37	18,04	19,80	20	2,27	2,57	3,37	4,40	3,19	3,65	3,68	0,65	0,74	0,31	0,36	0,31	0,33	0,33	0,03	0,03
3,0 mm	paie de grâu	31,51	29,97	31,06	30,85	31,1	0,79	0,90	4,00	3,63	4,06	3,90	3,93	0,23	0,26	0,40	0,50	0,48	0,46	0,46	0,05	0,06
	măr natural uscat	13,35	14,54	13,79	13,89	14	0,60	0,68	14,37	16,04	14,52	14,98	15,1	0,92	1,05	4,84	5,28	4,92	5,01	5,06	0,23	0,27
	măr artificial uscat	24,43	23,23	24,65	24,10	24,2	0,76	0,86	10,24	9,70	9,43	9,79	9,83	0,41	0,47	1,78	1,54	1,54	1,62	1,63	0,14	0,16
4,0 mm	paie de grâu	36,84	32,04	27,99	32,29	31,6	4,43	5,01	8,35	3,40	2,50	4,75	4,65	3,15	3,56	0,62	0,40	0,28	0,43	0,42	0,17	0,20

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă	Fracția (%) Dischizătura ochiurilor sitei																				
		1 - 1,4							1,4 - 2,0							2,0 - 2,8						
		1	2	3	media	%	σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ
	măr natural uscat	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0					0							0		
	măr artificial uscat	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0					0							0		
1,0 mm	paie de grâu	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1					0							0		
	măr natural uscat																					
	măr artificial uscat																					
1,5 mm	paie de grâu	1,69	1,67	1,52	1,62	1,62	0,09	0,11	0,12	0,15	0,13	0,13	0,13	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	10,42	10,50	11,00	10,64	10,64	0,31	0,35	5,59	5,59	5,96	5,71	5,71	0,22	0,25	0,80	0,60	0,67	0,69	0,69	0,10	0,12
	măr artificial uscat	19,15	22,55	18,18	19,96	20	2,29	2,59	3,40	4,44	3,22	3,68	3,68	0,66	0,74	0,31	0,36	0,31	0,33	0,33	0,03	0,03
3,0 mm	paie de grâu	31,78	30,23	31,33	31,11	31,1	0,80	0,90	4,03	3,66	4,09	3,93	3,93	0,23	0,27	0,40	0,50	0,48	0,46	0,46	0,05	0,06
	măr natural uscat	13,46	14,66	13,90	14,01	14	0,61	0,69	14,49	16,17	14,64	15,10	15,1	0,93	1,05	4,88	5,32	4,96	5,06	5,06	0,24	0,27
	măr artificial uscat	24,54	23,33	24,76	24,21	24,2	0,77	0,87	10,28	9,74	9,47	9,83	9,83	0,41	0,47	1,79	1,55	1,55	1,63	1,63	0,14	0,16
4,0 mm	paie de grâu	36,04	31,34	27,38	31,59	31,6	4,33	4,90	8,17	3,33	2,45	4,65	4,65	3,08	3,49	0,61	0,39	0,27	0,42	0,42	0,17	0,19

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă	2,8-3,15							> 3,15						
		1	2	3	media		σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ
	măr natural uscat					0							0		
	măr artificial uscat					0							0		
1,0 mm	paie de grâu					0							0		
	măr natural uscat														
	măr artificial uscat														
1,5 mm	paie de grâu	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	0,09	0,21	0,09	0,13	0,13	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr artificial uscat	0,07	0,22	0,06	0,12	0,12	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
3,0 mm	paie de grâu	0,32	0,56	0,39	0,42	0,43	0,12	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	0,10	0,24	0,17	0,17	0,17	0,07	0,08	2,27	2,55	2,25	2,36	2,38	0,17	0,19
	măr artificial uscat	0,16	0,08	0,07	0,10	0,1	0,05	0,06	0,68	0,74	1,05	0,82	0,83	0,20	0,22
4,0 mm	paie de grâu	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	10,08	12,49	13,80	12,12	11,9	1,89	2,14

Dimensiunile sitei de la moară	Tip biomasă	2,8-3,15							> 3,15						
		1	2	3	media		σ	IÎ	1	2	3	media	%	σ	IÎ
	măr natural uscat					0							0		
	măr artificial uscat					0							0		
1,0 mm	paie de grâu					0							0		
	măr natural uscat														
	măr artificial uscat														
1,5 mm	paie de grâu	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	0,09	0,21	0,09	0,13	0,13	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr artificial uscat	0,07	0,22	0,06	0,12	0,12	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
3,0 mm	paie de grâu	0,32	0,56	0,39	0,43	0,43	0,12	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	măr natural uscat	0,10	0,24	0,17	0,17	0,17	0,07	0,08	2,29	2,57	2,27	2,38	2,38	0,17	0,19
	măr artificial uscat	0,16	0,08	0,07	0,10	0,1	0,05	0,06	0,68	0,74	1,05	0,83	0,83	0,20	0,23
4,0 mm	paie de grâu	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	9,86	12,22	13,50	11,86	11,9	1,85	2,09

Anexa 2. Prelucrarea datelor experimentale referitoare la determinarea puterii calorifice funcţie de parametrii densificării

Cod	Nr ciclu	Masa (g)	dTk, °C	Tb, °C	Tk	GCV_d, J/g	GCV_d, kcal/kg	GCV_d, kWh/kg	NCV_d J/g	NCV_d kcal/kg	NCV_dkWh/kg	NCV, J/g (receptie)	NCV, J/g (10%)	NCV, Mcal/kg (receptie)	NCV, kWh/kg (receptie)	Mr, %	M_{10}, %	H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	16	19
1	1	0,5257	1,28542	23,7141	9070,6164	20666,24	4935,10	5,74	19368,44	4625,18	5,38	16550,89	17201,09	3,95	4,60	13	10	
	2	0,5532	1,33513	23,7283	9070,6164	20378,77	4866,45	5,66	19080,97	4556,54	5,30	16300,80	16942,38	3,89	4,53	13	10	
	Media					20522,51	4900,77	5,70	19224,71	4590,86	5,34	16425,84	17071,74	3,92	4,56	13	10	6,3
	Abaterea standard					203,27	48,54	0,06	203,27	48,54	0,06	176,84	182,94	0,04	0,05			
	Intervalul de incredere					281,71	54,93	0,06	230,01	54,93	0,06	200,11	207,01	0,05	0,06			
2	1	0,5641	1,3671	23,7507	9070,6164	20469,84	4888,20	5,69	19172,04	4578,28	5,33	17067,29	17024,33	4,08	4,74	9,8	10	
	2	0,5441	1,32384	23,8172	9070,6164	20556,69	4908,94	5,71	19258,89	4599,02	5,35	17145,63	17102,51	4,09	4,76	9,8	10	
	Media					20513,27	4898,57	5,70	19215,47	4588,65	5,34	17106,46	17063,42	4,09	4,75	9,8	10	
	Abaterea standard					61,42	14,67	0,02	61,42	14,67	0,02	55,40	55,28	0,01	0,02			
	Intervalul de incredere					85,12	16,60	0,02	69,50	16,60	0,02	62,69	62,55	0,01	0,02			
3	1	0,6105	1,46543	23,2726	9070,6164	20260,04	4838,10	5,63	18962,24	4528,18	5,27	16665,38	16835,51	3,98	4,63	10,8	10	
	2	0,5827	1,39795	23,6677	9070,6164	20248,37	4835,31	5,62	18950,57	4525,40	5,26	16654,97	16825,01	3,98	4,63	10,8	10	
	Media					20254,20	4836,70	5,63	18956,40	4526,79	5,27	16660,17	16830,26	3,98	4,63	10,8	10	
	Abaterea standard					8,25	1,97	0,00	8,25	1,97	0,00	7,36	7,43	0,00	0,00			
	Intervalul de incredere					11,43	2,23	0,00	9,34	2,23	0,00	8,33	8,40	0,00	0,00			
4	1	0,5355	1,30667	23,3102	9070,6164	20620,29	4924,13	5,73	19322,49	4614,21	5,37	17808,57	17159,74	4,25	4,95	7	10	
	2	0,5503	1,32649	23,6475	9070,6164	20351,73	4859,99	5,65	19053,93	4550,08	5,29	17558,80	16918,03	4,19	4,88	7	10	
	Media					20486,01	4892,06	5,69	19188,21	4582,14	5,33	17683,68	17038,89	4,22	4,91	7	10	
	Abaterea standard					189,90	45,35	0,05	189,90	45,35	0,05	176,61	170,91	0,04	0,05			
	Intervalul de incredere					263,19	51,32	0,06	214,89	51,32	0,06	199,85	193,40	0,05	0,06			
5	1	0,5801	1,40245	23,4379	9070,6164	20416,27	4875,40	5,67	19118,47	4565,49	5,31	18304,37	16976,12	4,37	5,08	3,8	10	
	2	0,5355	1,3017	23,3686	9070,6164	20536,11	4904,02	5,70	19238,31	4594,11	5,34	18419,66	17083,98	4,40	5,12	3,8	10	
	Media					20476,19	4889,71	5,69	19178,39	4579,80	5,33	18362,02	17030,05	4,38	5,10	3,8	10	
	Abaterea standard					84,74	20,24	0,02	84,74	20,24	0,02	81,52	76,27	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					117,44	22,90	0,03	95,89	22,90	0,03	92,25	86,30	0,02	0,03			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	16	19
6	1	0,5627	1,36039	23,7896	9070,6164	20416,37	4875,43	5,67	19118,57	4565,51	5,31	17618,92	16976,21	4,21	4,89	7	10	
	2	0,5704	1,37471	23,9084	9070,6164	20348,06	4859,12	5,65	19050,26	4549,20	5,29	17555,39	16914,73	4,19	4,88	7	10	
	Media					20382,21	4867,27	5,66	19084,41	4557,36	5,30	17587,15	16945,47	4,20	4,89	7	10	
	Abaterea standard					48,30	11,53	0,01	48,30	11,53	0,01	44,92	43,47	0,01	0,01			
	Intervalul de incredere					66,94	13,05	0,02	54,66	13,05	0,02	50,83	49,19	0,01	0,01			
7	1	0,6201	1,49686	23,5708	9070,6164	20382,71	4867,39	5,66	19084,91	4557,48	5,30	17245,38	16945,92	4,12	4,79	8,6	10	
	2	0,5596	1,34831	23,6532	9070,6164	20342,04	4857,68	5,65	19044,24	4547,76	5,29	17208,21	16909,32	4,11	4,78	8,6	10	
	Media					20362,38	4862,54	5,66	19064,58	4552,62	5,30	17226,79	16927,62	4,11	4,79	8,6	10	
	Abaterea standard					28,76	6,87	0,01	28,76	6,87	0,01	26,28	25,88	0,01	0,01			
	Intervalul de incredere					39,85	7,77	0,01	32,54	7,77	0,01	29,74	29,29	0,01	0,01			
8	1	0,5406	1,31656	23,7768	9070,6164	20577,43	4913,89	5,72	19279,63	4603,98	5,36	17423,35	17121,17	4,16	4,84	8,6	10	
	2	0,5757	1,39424	23,7479	9070,6164	20454,51	4884,54	5,68	19156,71	4574,62	5,32	17311,01	17010,54	4,13	4,81	8,6	10	
	Media					20515,97	4899,21	5,70	19218,17	4589,30	5,34	17367,18	17065,85	4,15	4,82	8,6	10	
	Abaterea standard					86,92	20,76	0,02	86,92	20,76	0,02	79,44	78,22	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					120,46	23,49	0,03	98,35	23,49	0,03	89,89	88,52	0,02	0,02			
9	1	0,593	1,42893	23,8563	9070,6164	20344,27	4858,21	5,65	19046,47	4548,30	5,29	17637,27	16911,32	4,21	4,90	6,6	10	
	2	0,5626	1,34605	23,9042	9070,6164	20189,07	4821,15	5,61	18891,27	4511,23	5,25	17492,31	16771,64	4,18	4,86	6,6	10	
	Media					20266,67	4839,68	5,63	18968,87	4529,77	5,27	17564,79	16841,48	4,19	4,88	6,6	10	
	Abaterea standard					109,74	26,21	0,03	109,74	26,21	0,03	102,50	98,77	0,02	0,03			
	Intervalul de incredere					152,09	29,66	0,03	124,18	29,66	0,03	115,99	111,77	0,03	0,03			
10	1	0,5861	1,39586	23,0621	9070,6164	20089,79	4797,44	5,58	18791,99	4487,53	5,22	17483,97	16682,29	4,18	4,86	6,2	10	
	2	0,6568	1,55187	23,2856	9070,6164	19918,96	4756,65	5,53	18621,16	4446,73	5,17	17323,74	16528,54	4,14	4,81	6,2	10	
	Media					20004,37	4777,04	5,56	18706,57	4467,13	5,20	17403,85	16605,41	4,16	4,83	6,2	10	
	Abaterea standard					120,79	28,85	0,03	120,79	28,85	0,03	113,30	108,71	0,03	0,03			
	Intervalul de incredere					167,41	32,64	0,04	136,69	32,64	0,04	128,21	123,02	0,03	0,04			
11	1	0,5685	1,36871	23,7911	9070,6164	20325,39	4853,70	5,65	19027,59	4543,79	5,29	17000,99	16894,33	4,06	4,72	9,5	10	
	2	0,5231	1,26521	23,7425	9070,6164	20426,03	4877,74	5,67	19128,23	4567,82	5,31	17092,08	16984,91	4,08	4,75	9,5	10	
	Media					20375,71	4865,72	5,66	19077,91	4555,80	5,30	17046,53	16939,62	4,07	4,74	9,5	10	
	Abaterea standard					71,17	16,99	0,02	71,17	16,99	0,02	64,41	64,05	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					98,63	19,23	0,02	80,53	19,23	0,02	72,88	72,48	0,02	0,02			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	16	19
12	1	0,5176	1,26209	23,3342	9070,6164	20604,48	4920,35	5,72	19306,68	4610,43	5,36	18593,49	17145,51	4,44	5,17	3,3	10	
	2	0,6002	1,44413	23,2791	9070,6164	20311,78	4850,45	5,64	19013,98	4540,54	5,28	18310,45	16882,08	4,37	5,09	3,3	10	
	Media					20458,13	4885,40	5,68	19160,33	4575,49	5,32	18451,97	17013,80	4,41	5,13	3,3	10	
	Abaterea standard					206,97	49,42	0,06	206,97	49,42	0,06	200,14	186,27	0,05	0,06			
	Intervalul de incredere					286,84	55,93	0,07	234,20	55,93	0,07	226,47	210,78	0,05	0,06			
13	1	0,5271	1,26994	23,7345	9070,6164	20340,94	4857,42	5,65	19043,14	4547,50	5,29	17740,90	16908,33	4,24	4,93	6,1	10	
	2	0,5373	1,29491	23,7524	9070,6164	20347,61	4859,01	5,65	19049,81	4549,10	5,29	17747,17	16914,33	4,24	4,93	6,1	10	
	Media					20344,28	4858,21	5,65	19046,48	4548,30	5,29	17744,04	16911,33	4,24	4,93	6,1	10	
	Abaterea standard					4,72	1,13	0,00	4,72	1,13	0,00	4,43	4,25	0,00	0,00			
	Intervalul de incredere					6,54	1,27	0,00	5,34	1,27	0,00	5,01	4,80	0,00	0,00			
14	1	0,6085	1,45706	23,806	9070,6164	20206,83	4825,39	5,61	18909,03	4515,48	5,25	18336,25	16787,63	4,38	5,09	2,7	10	
	2	0,5437	1,32479	23,872	9070,6164	20588,78	4916,60	5,72	19290,98	4606,69	5,36	18707,89	17131,38	4,47	5,20	2,7	10	
	Media					20397,81	4871,00	5,67	19100,01	4561,08	5,31	18522,07	16959,51	4,42	5,15	2,7	10	
	Abaterea standard					270,08	64,49	0,08	270,08	64,49	0,08	262,79	243,07	0,06	0,07			
	Intervalul de incredere					374,30	72,98	0,08	305,62	72,98	0,08	297,37	275,06	0,07	0,08			
15	1	0,5529	1,33245	23,6896	9070,6164	20346,69	4858,79	5,65	19048,89	4548,87	5,29	17169,74	16913,50	4,10	4,77	8,8	10	
	2	0,5444	1,31697	23,7709	9070,6164	20430,07	4878,70	5,68	19132,27	4568,79	5,31	17245,79	16988,54	4,12	4,79	8,8	10	
	Media					20388,38	4868,74	5,66	19090,58	4558,83	5,30	17207,77	16951,02	4,11	4,78	8,8	10	
	Abaterea standard					58,96	14,08	0,02	58,96	14,08	0,02	53,77	53,06	0,01	0,01			
	Intervalul de incredere					81,71	15,93	0,02	66,72	15,93	0,02	60,85	60,05	0,01	0,02			
16	1	0,6635	1,58063	23,4758	9070,6164	20095,71	4798,86	5,58	18797,91	4488,94	5,22	17827,18	16687,62	4,26	4,95	4,6	10	
	2	0,5596	1,36325	23,5276	9070,6164	20584,21	4915,51	5,72	19286,41	4605,59	5,36	18293,20	17127,26	4,37	5,08	4,6	10	
	Media					20339,96	4857,18	5,65	19042,16	4547,27	5,29	18060,19	16907,44	4,31	5,02	4,6	10	
	Abaterea standard					345,42	82,49	0,10	345,42	82,49	0,10	329,53	310,87	0,08	0,09			
	Intervalul de incredere					478,71	93,34	0,11	390,87	93,34	0,11	372,89	351,78	0,09	0,10			
17	1	0,5221	1,27682	23,6081	9070,6164	20669,76	4935,94	5,74	19371,96	4626,02	5,38	18569,91	17204,26	4,43	5,16	3,7	10	
	2	0,5387	1,31954	23,3364	9070,6164	20705,52	4944,48	5,75	19407,72	4634,56	5,39	18604,35	17236,45	4,44	5,17	3,7	10	
	Media					20687,64	4940,21	5,75	19389,84	4630,29	5,39	18587,13	17220,35	4,44	5,16	3,7	10	
	Abaterea standard					25,29	6,04	0,01	25,29	6,04	0,01	24,35	22,76	0,01	0,01			
	Intervalul de incredere					35,05	6,83	0,01	28,62	6,83	0,01	27,56	25,75	0,01	0,01			
18	1	0,534	1,29069	23,7614	9070,6164	20411,02	4874,15	5,67	19113,22	4564,24	5,31	17892,38	16971,40	4,27	4,97	5,7	10	
	2	0,5515	1,33064	23,8155	9070,6164	20372,41	4864,93	5,66	19074,61	4555,02	5,30	17855,97	16936,65	4,26	4,96	5,7	10	
	Media					20391,72	4869,54	5,66	19093,92	4559,63	5,30	17874,18	16954,02	4,27	4,97	5,7	10	
	Abaterea standard					27,31	6,52	0,01	27,31	6,52	0,01	25,75	24,58	0,01	0,01			
	Intervalul de incredere					37,84	7,38	0,01	30,90	7,38	0,01	29,14	27,81	0,01	0,01			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	16	19
19	1	0,5196	1,26118	23,7055	9070,6164	20503,46	4896,23	5,70	19205,66	4586,31	5,34	17699,91	17054,59	4,23	4,92	7	10	
	2	0,5518	1,33843	23,7352	9070,6164	20488,56	4892,67	5,69	19190,76	4582,75	5,33	17686,06	17041,19	4,22	4,91	7	10	
	Media					20496,01	4894,45	5,69	19198,21	4584,53	5,33	17692,99	17047,89	4,23	4,92	7	10	
	Abaterea standard					10,53	2,52	0,00	10,53	2,52	0,00	9,80	9,48	0,00	0,00			
	Intervalul de incredere					14,60	2,85	0,00	11,92	2,85	0,00	11,09	10,73	0,00	0,00			
20	1	0,5933	1,43336	23,122	9070,6164	20400,94	4871,74	5,67	19103,14	4561,83	5,31	18032,73	16962,33	4,31	5,01	5	10	
	2	0,5401	1,31138	23,5937	9070,6164	20510,89	4898,00	5,70	19213,09	4588,08	5,34	18137,18	17061,28	4,33	5,04	5	10	
	Media					20455,91	4884,87	5,68	19158,11	4574,96	5,32	18084,96	17011,80	4,32	5,02	5	10	
	Abaterea standard					77,74	18,56	0,02	77,74	18,56	0,02	73,85	69,97	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					107,74	21,01	0,02	87,97	21,01	0,02	83,57	79,17	0,02	0,02			
21	1																	
	2	0,553	1,35906	23,2115	9070,6164	20779,20	4962,07	5,77	19481,40	4652,16	5,41	18413,87	17302,76	4,40	5,12	4,9	10	
	Media					20779,20	4962,07	5,77	19481,40	4652,16	5,41	18413,87	17302,76	4,40	5,12	4,9	10	
	Abaterea standard																	
	Intervalul de incredere																	
22	1	0,5739	1,38217	23,6834	9070,6164	20332,64	4855,44	5,65	19034,84	4545,52	5,29	16687,46	16900,86	3,98	4,64	11	10	
	2	0,5357	1,29676	23,794	9070,6164	20444,23	4882,08	5,68	19146,43	4572,17	5,32	16786,77	17001,29	4,01	4,66	11	10	
	Media					20388,44	4868,76	5,66	19090,64	4558,84	5,30	16737,12	16951,07	4,00	4,65	11	10	
	Abaterea standard					78,90	18,84	0,02	78,90	18,84	0,02	70,22	71,01	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					109,35	21,32	0,02	89,29	21,32	0,02	79,46	80,36	0,02	0,02			
23	1	0,6377	1,51225	23,4057	9070,6164	19997,32	4775,36	5,56	18699,52	4465,44	5,19	16746,10	16599,06	4,00	4,65	9,3	10	
	2	0,6323	1,50634	23,6769	9070,6164	20096,24	4798,98	5,58	18798,44	4489,07	5,22	16835,82	16688,09	4,02	4,68	9,3	10	
	Media					20046,78	4787,17	5,57	18748,98	4477,26	5,21	16790,96	16643,58	4,01	4,66	9,3	10	
	Abaterea standard					69,95	16,70	0,02	69,95	16,70	0,02	63,44	62,95	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					96,94	18,90	0,02	79,15	18,90	0,02	71,79	71,24	0,02	0,02			
24	1	0,5533	1,32142	23,1651	9070,6164	20150,06	4811,83	5,60	18852,26	4501,92	5,24	17667,45	16736,53	4,22	4,91	5,6	10	
	2	0,5528	1,309	23,1038	9070,6164	19965,86	4767,85	5,55	18668,06	4457,93	5,19	17493,57	16570,75	4,18	4,86	5,6	10	
	Media					20057,96	4789,84	5,57	18760,16	4479,93	5,21	17580,51	16653,64	4,20	4,88	5,6	10	
	Abaterea standard					130,25	31,10	0,04	130,25	31,10	0,04	122,95	117,22	0,03	0,03			
	Intervalul de incredere					180,51	35,20	0,04	147,39	35,20	0,04	139,13	132,65	0,03	0,04			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	16	19
25	1	0,5729	1,37853	23,7873	9070,6164	20313,14	4850,78	5,64	19015,34	4540,86	5,28	16776,71	16883,31	4,01	4,66	10,5	10	
	2	0,5355	1,30452	23,8055	9070,6164	20583,87	4915,43	5,72	19286,07	4605,51	5,36	17019,01	17126,97	4,06	4,73	10,5	10	
	Media					20448,51	4883,10	5,68	19150,71	4573,19	5,32	16897,86	17005,14	4,04	4,69	10,5	10	
	Abaterea standard					191,44	45,71	0,05	191,44	45,71	0,05	171,33	172,29	0,04	0,05			
	Intervalul de incredere					265,31	51,73	0,06	216,63	51,73	0,06	193,88	194,96	0,05	0,05			
26	1	0,5672	1,36872	23,7911	9070,6164	20375,60	4865,69	5,66	19077,80	4555,78	5,30	16982,28	16939,52	4,06	4,72	9,8	10	
	2	0,5225	1,27233	23,7425	9070,6164	20574,83	4913,27	5,72	19277,03	4603,35	5,36	17161,99	17118,83	4,10	4,77	9,8	10	
	Media					20475,21	4889,48	5,69	19177,41	4579,57	5,33	17072,14	17029,17	4,08	4,74	9,8	10	
	Abaterea standard					140,88	33,64	0,04	140,88	33,64	0,04	127,07	126,79	0,03	0,04			
	Intervalul de incredere					195,24	38,07	0,04	159,41	38,07	0,04	143,79	143,47	0,03	0,04			
27	1	0,555	1,35608	23,6278	9070,6164	20650,17	4931,26	5,74	19352,37	4621,35	5,38	17793,04	17186,63	4,25	4,94	7,2	10	
	2	0,5473	1,33143	23,664	9070,6164	20553,45	4908,16	5,71	19255,65	4598,25	5,35	17703,28	17099,58	4,23	4,92	7,2	10	
	Media					20601,81	4919,71	5,72	19304,01	4609,80	5,36	17748,16	17143,11	4,24	4,93	7,2	10	
	Abaterea standard					68,39	16,33	0,02	68,39	16,33	0,02	63,47	61,55	0,02	0,02			
	Intervalul de incredere					94,78	18,48	0,02	77,39	18,48	0,02	71,82	69,65	0,02	0,02			

Anexa 3. Date experimentale referitoare la studierea conținutului de elemente chimice în biomasa torefiată

No.	Weight [m	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio
1	1	Blnk	blank with	107196	2778	27432	189	0	0	0	0	0	0
3	1	Blnk	blank with	759	66	221	45	0	0	0	0	0	0
19	1	Blnk	blank with	93	19	38	26	0	0	0	0	0	0
20	1	Blnk	blank with	25	45	89	21	0	0	0	0	0	0
21	67,3	1 PA reper	sulf3 Chisir	4654	295198	127199	131	0,5	45,76	5,93	0,06	92,3343	7,7162
22	90,8	1 PA reper	sulf3 Chisir	4078	394916	175042	189	0,32	45,55	6,464	0,06	141,8044	7,0456
23	64,4	2 PA 230	sulf3 Chisir	3100	284326	121211	168	0,34	46,04	5,856	0,08	134,4119	7,8619
24	89,5	2 PA 230	sulf3 Chisir	4429	393050	167280	229	0,35	45,99	6,201	0,07	129,7632	7,4156
25	85,3	3 PA 255	sulf3 Chisir	4293	399228	147616	230	0,36	49,02	5,587	0,07	136,0744	8,7732
26	65,3	3 PA 255	sulf3 Chisir	3461	308275	111426	197	0,38	49,27	5,236	0,09	130,3898	9,4101
27	68	4 PA 280	sulf3 Chisir	5377	386299	76432	337	0,57	59,47	3,287	0,13	104,7634	18,0899
28	68	4 PA 280	sulf3 Chisir	5743	385874	74121	328	0,61	59,4	3,179	0,13	97,8889	18,6891
29	78,3	5 LN reper	sulf3 Chisir	2871	365383	155321	47	0,26	48,81	6,474	0,02	187,415	7,5401
30	86,8	5 LN reper	sulf3 Chisir	3501	404072	171147	42	0,29	48,77	6,577	0,02	169,5258	7,415
31	75,4	6 LN 230	sulf3 Chisir	3322	348727	135744	29	0,31	48,35	5,717	0,01	153,9964	8,457
32	66,4	6 LN 230	sulf3 Chisir	3073	299875	109857	15	0,33	47,12	5,066	0,01	143,1239	9,3018
33	77,3	7 LN 255	sulf3 Chisir	3117	350739	116038	17	0,29	47,43	4,636	0,01	165,3257	10,2309
34	66,2	7 LN 255	sulf3 Chisir	2766	285827	81468	12	0,3	45,02	3,623	0,01	151,8631	12,4262
35	71,3	8 LN 280	sulf3 Chisir	4969	338425	57931	0	0,5	49,6	2,324	0	99,236	21,3458
36	64,9	8 LN 280	sulf3 Chisir	4720	288103	35563	5	0,52	46,3	1,541	0	88,8246	30,0344
37	65,2	9 LA reper	sulf3 Chisir	5242	227583	31286	28	0,58	36,32	1,35	0,01	62,9369	26,897
38	63,2	9 LA reper	sulf3 Chisir	5732	199725	7834	17	0,65	32,84	0,4	0,01	50,4009	82,0832
39	71,3	10 LA 230	sulf3 Chisir	7190	225509	0	15	0,73	32,9	0	0,01	45,3074	0
40	73,2	10 LA 230	sulf3 Chisir	7808	212628	0	35	0,77	30,2	0	0,02	39,2921	0
41	67,2	11 LA 255	sulf3 Chisir	3101750	313365	122543	2	333,98	48,68	5,684	0	0,1458	8,5642
42	67,9	11 LA 255	sulf3 Chisir	3696730	315397	119884	0	393,62	48,49	5,483	0	0,1232	8,8447
43	70,6	12 LA 280	sulf3 Chisir	11165	179521	0	0	1,14	26,4	0	0	23,1095	0
44	63,6	12 LA 280	sulf3 Chisir	4101660	342105	96308	117	466,01	56,22	4,55	0,06	0,1206	12,3559

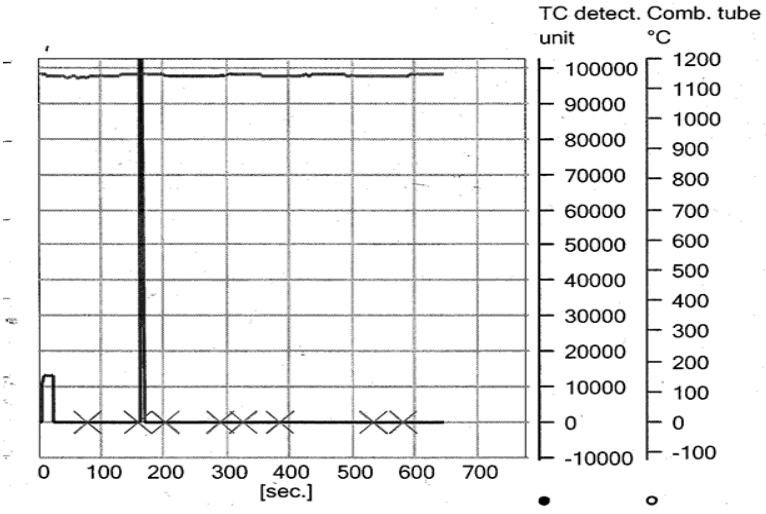
Anexa 4. Imaginile referitoare la estimarea conținutului de elemente chimice în probele experimentale la analizorul Vario macro CUBE

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

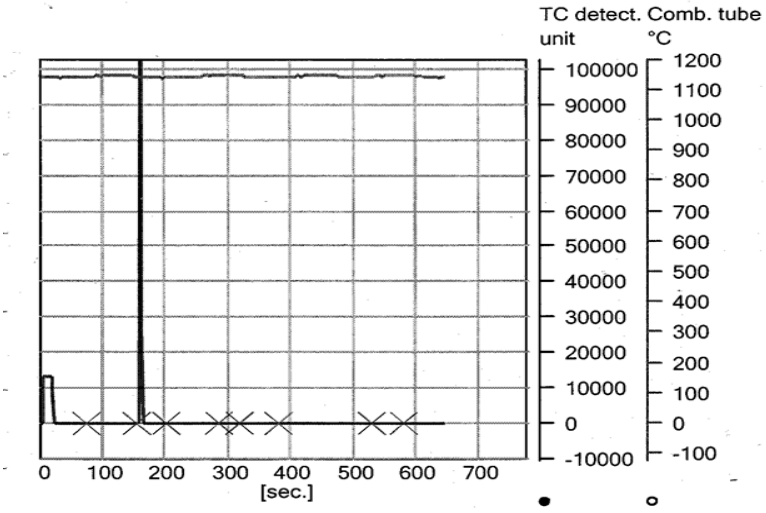
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date	Time
19	1.000	Blnk	blank with O2	93	19	38	26	0.00	0.00	0.000	0.00	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	93	19	38	26			13.03.2017	15:44



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date	Time
20	1.000	Blnk	blank without O2	25	45	89	21	0.00	0.00	0.000	0.00	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	25	45	89	21			13.03.2017	15:55



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:49

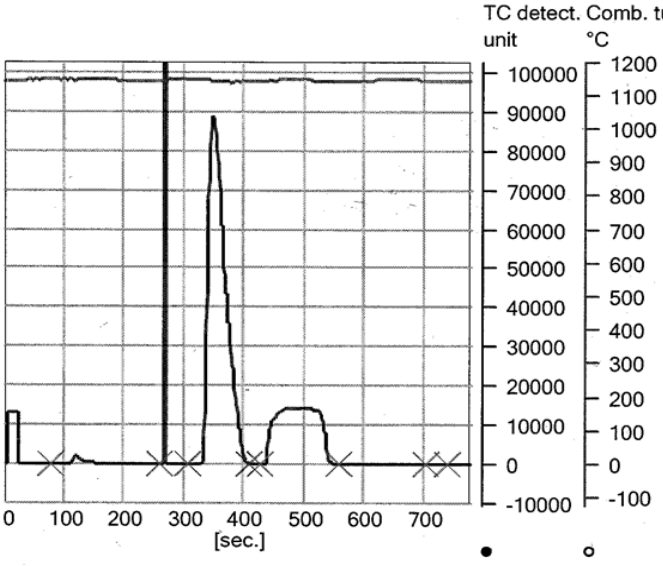
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

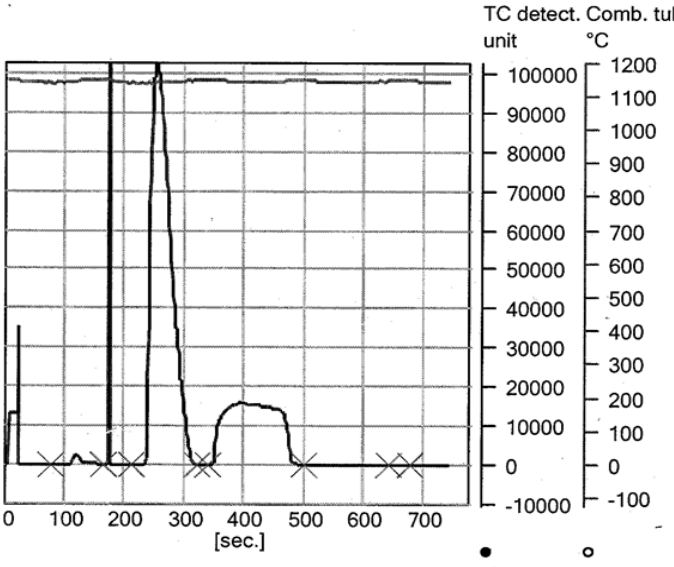
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
21	67.300	1 PA reper	sulf3 Chisinau	4 654	295 198	127 199	131	0.50	45.76	5.930	0.06	92.3343	7.7162	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 16:09



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
22	90.800	1 PA reper	sulf3 Chisinau	4 078	394 916	175 042	189	0.32	45.55	6.464	0.06	141.8044	7.0456	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 16:21



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:49

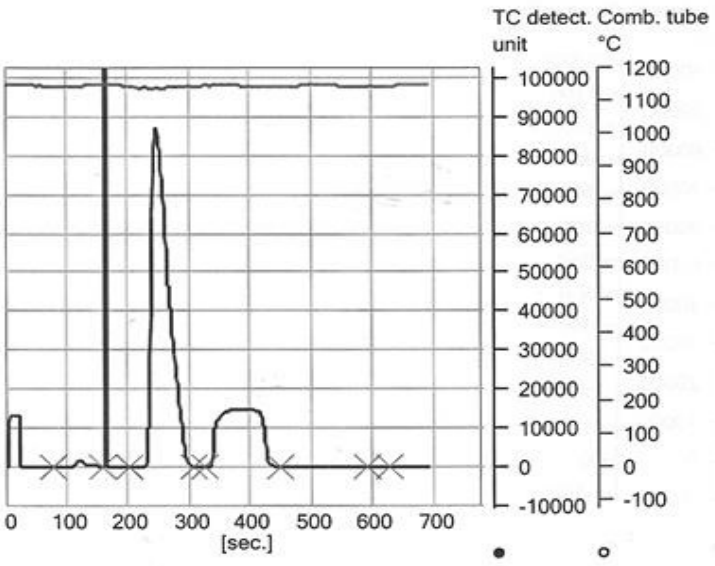
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

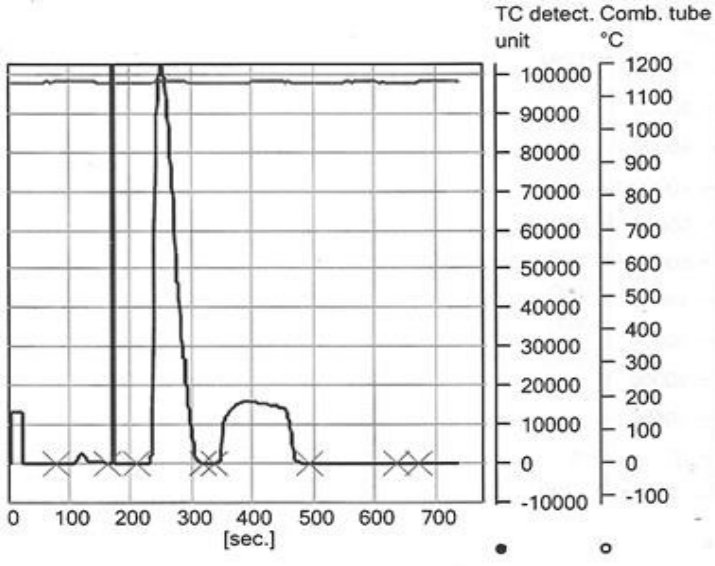
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
23	64.400	2 PA 230	sulf3 Chisinau	3 100	284 326	121 211	168	0.34	46.04	5.856	0.08	134.4119	7.8619	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 16:33



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
24	89.500	2 PA 230	sulf3 Chisinau	4 429	393 050	167 280	229	0.35	45.99	6.201	0.07	129.7632	7.4156	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 16:46



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:49

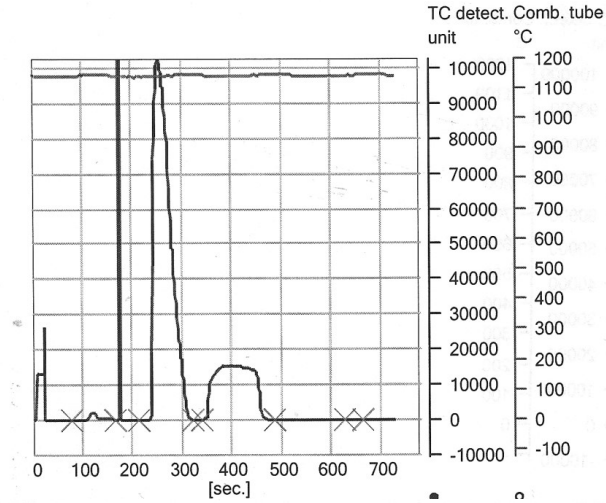
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

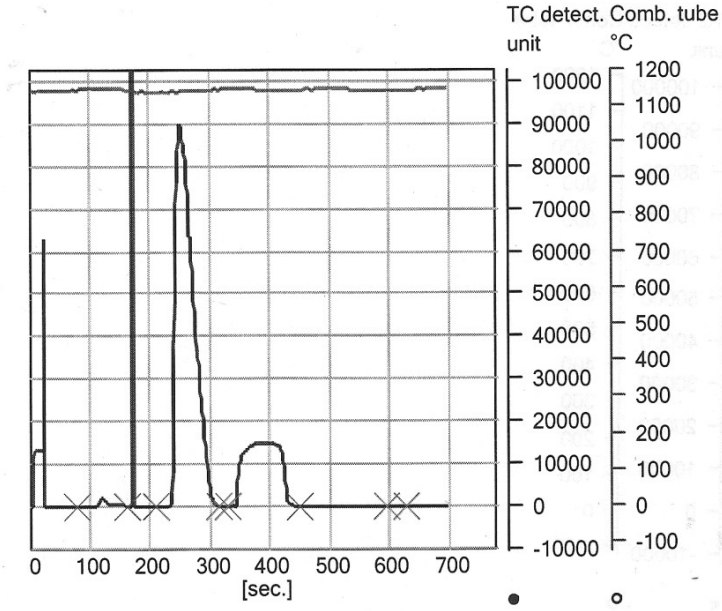
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
25	85.300	3 PA 255	sulf3 Chisinau	4 293	399 228	147 616	230	0.36	49.02	5.587	0.07	136.0744	8.7732	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 16:59



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
26	65.300	3 PA 255	sulf3 Chisinau	3 461	308 275	111 426	197	0.38	49.27	5.236	0.09	130.3898	9.4101	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0			13.03.2017 17:11



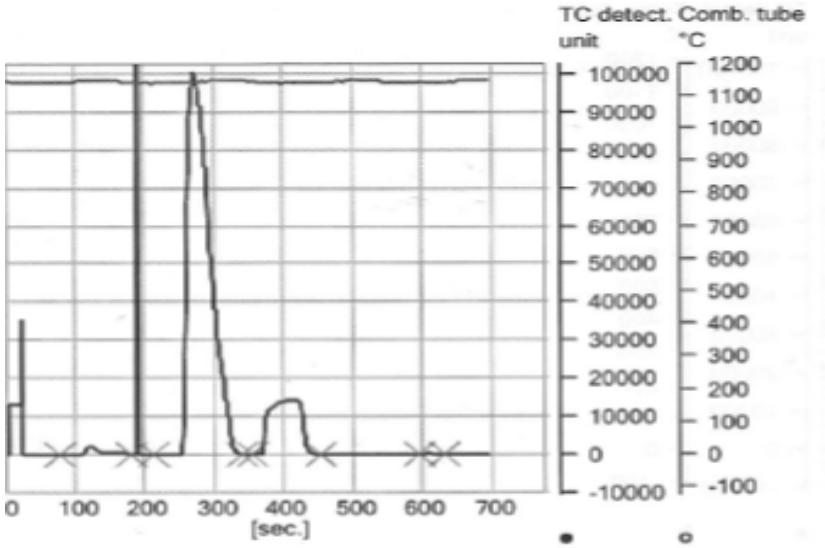
Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:49

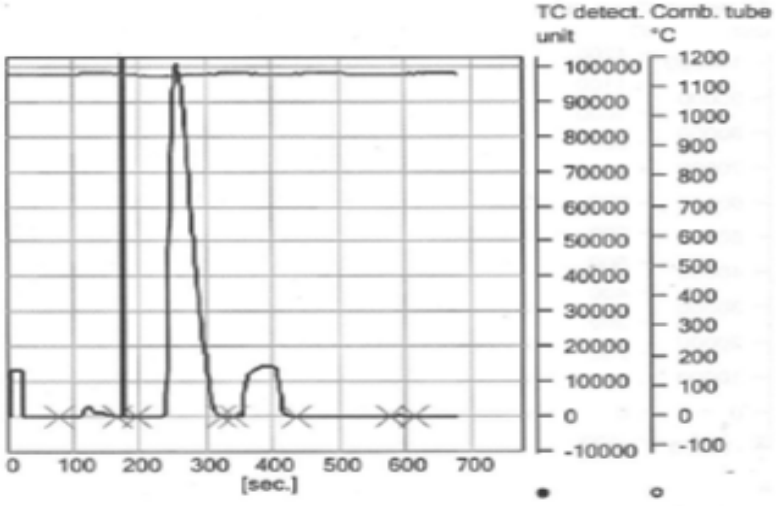
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report





Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:50

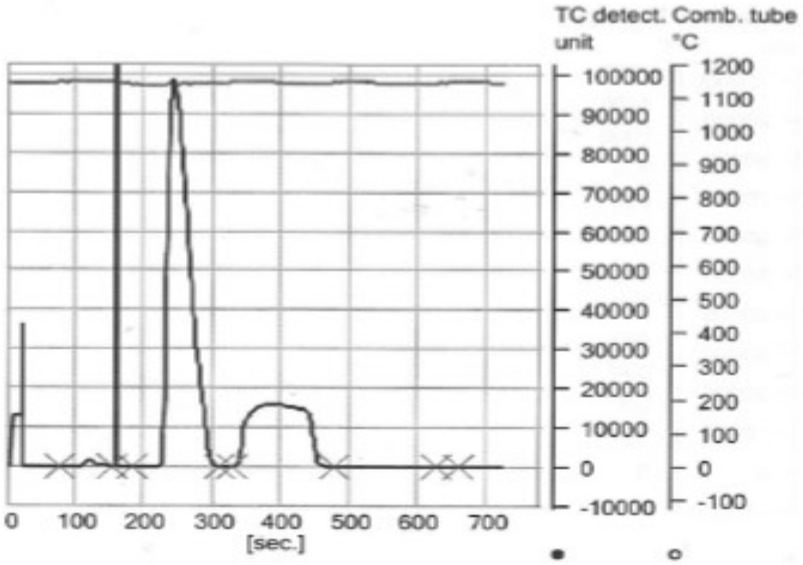
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

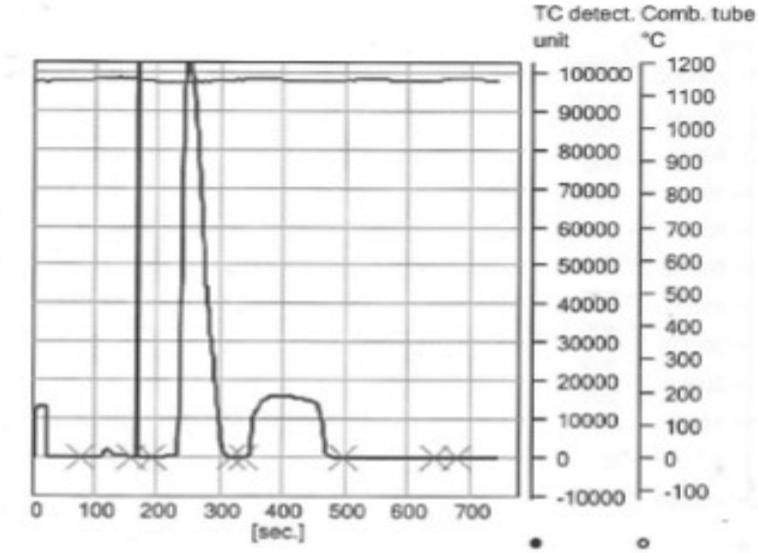
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
28	59.300	3 LN oxyen	auf3 Chromas	2 873	385 383	155 325	49	6.26	46.61	6.474	0.00	387.4830	7.3401	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		Su	12.05.2017 17:47



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
30	86.800	5 LN oxyen	auf3 Chromas	9 503	404 072	171 247	42	0.00	46.77	6.577	0.00	300/5258	7.4150	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		Su	20.04.2017 10:00



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:50

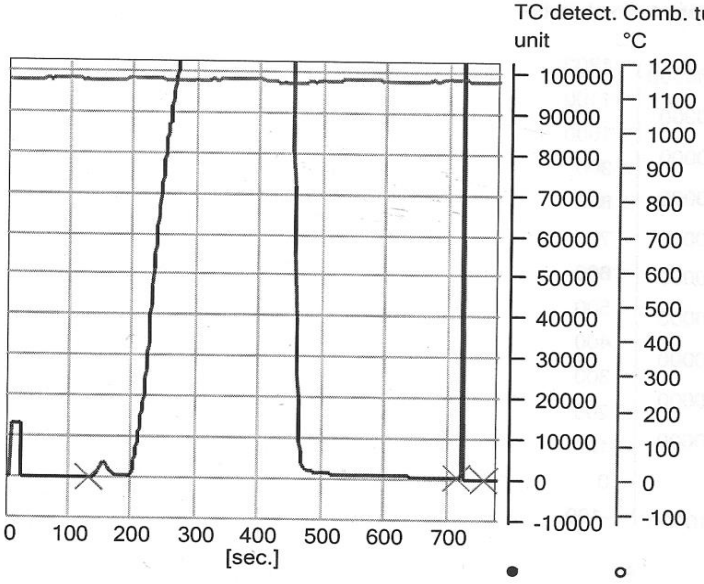
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

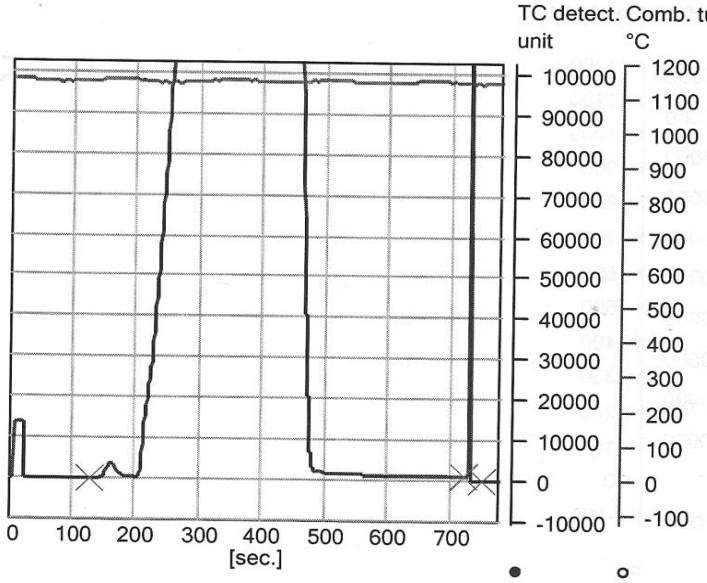
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
41	67.200	11 LA 255	sulf3 Chisinau	3 101 7...	313 365	122 543	2	333.98	48.68	5.684	0.00	0.1458	8.5642	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		Npe,No,Su,...	13.03.2017 20:31



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
42	67.900	11 LA 255	sulf3 Chisinau	3 696 7...	315 397	119 884	0	393.62	48.49	5.483	0.00	0.1232	8.8447	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		Npe,Snp,N...	13.03.2017 20:53



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:51

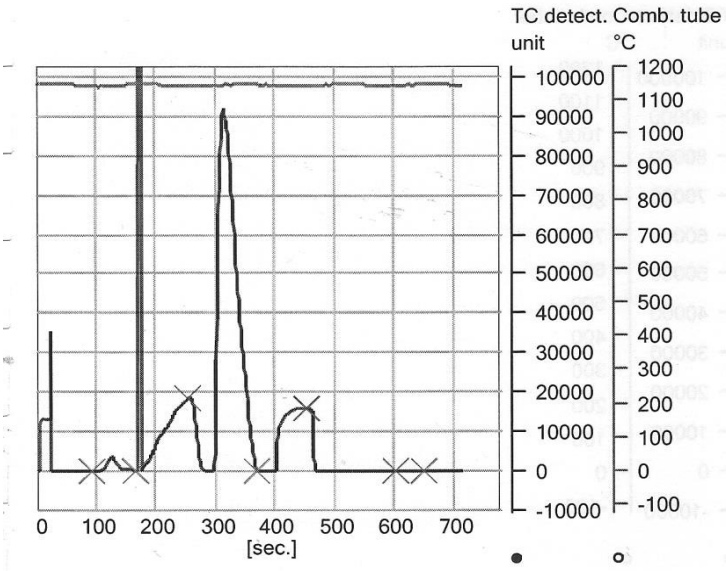
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

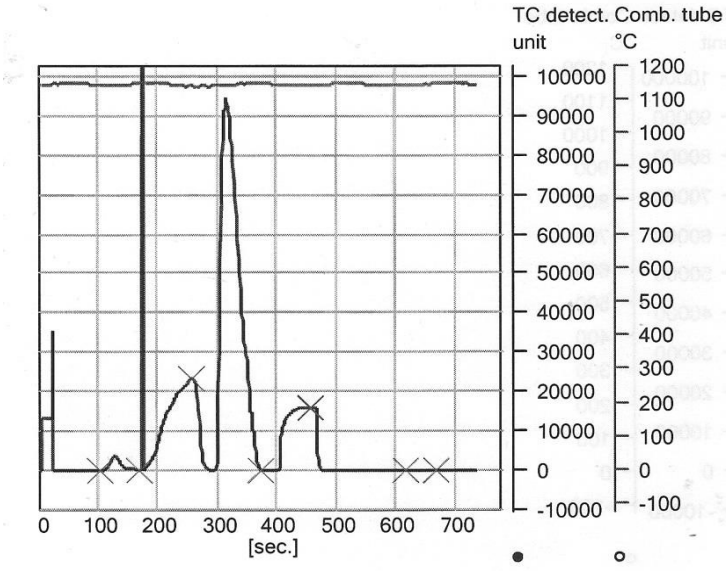
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date	Time
39	71.300	10 LA 230	sulf3 Chisinau	7 190	225 509	0	15	0.73	32.90	0.000	0.01	45.3074	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		bl,Hnp,Su	13.03.2017	19:57



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date	Time
40	73.200	10 LA 230	sulf3 Chisinau	7 808	212 628	0	35	0.77	30.20	0.000	0.02	39.2921	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		bl,Hnp,Su	13.03.2017	20:10



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:51

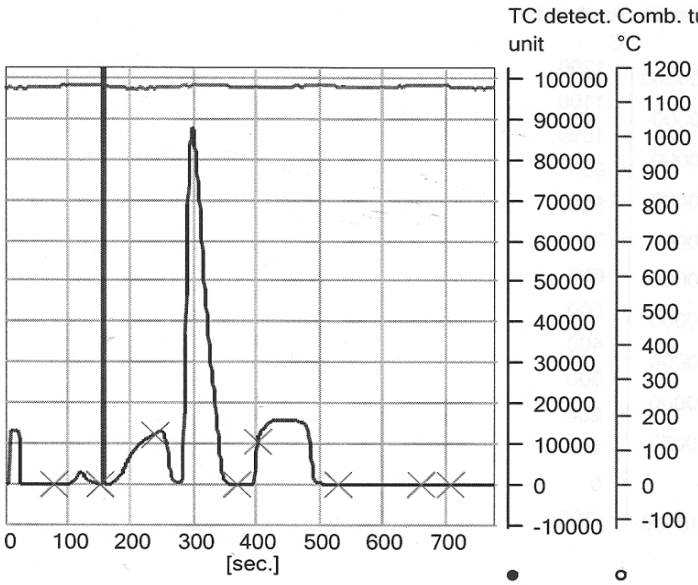
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

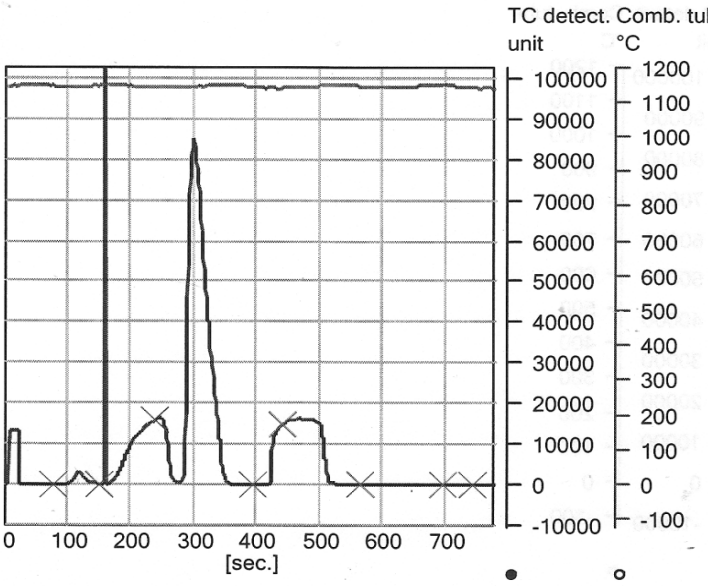
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
37	65.200	9 LA reper	sulf3 Chisinau	5 242	227 583	31 286	28	0.58	36.32	1.350	0.01	62.9369	26.8970	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		bl,Su	13.03.2017 19:31



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
38	63.200	9 LA reper	sulf3 Chisinau	5 732	199 725	7 834	17	0.65	32.84	0.400	0.01	50.4009	82.0832	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		bl,Su	13.03.2017 19:45



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:51

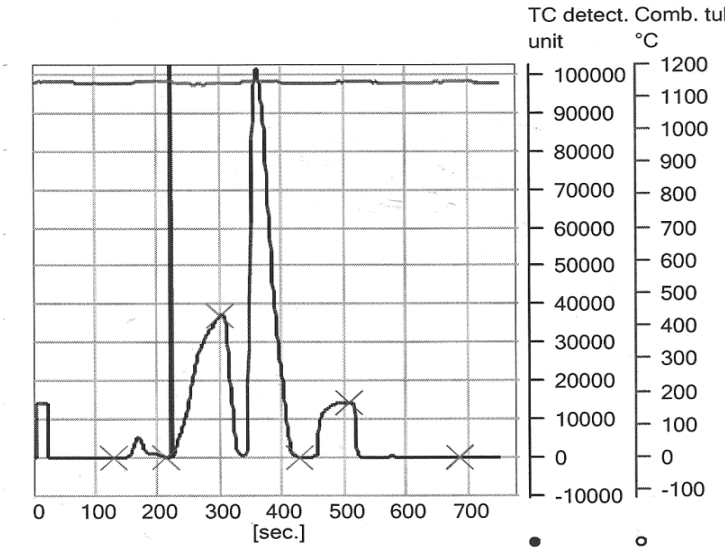
varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

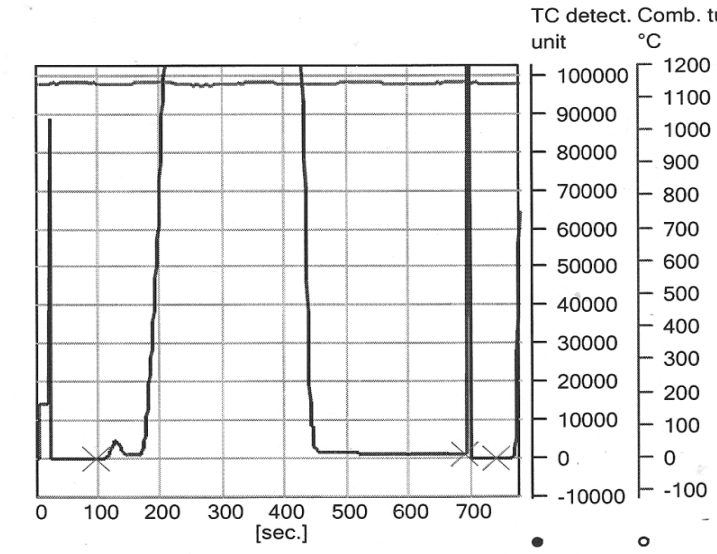
analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Graphic report

No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
43	70.600	12 LA 280	sulf3 Chisinau	11 165	179 521	0	0	1.14	26.40	0.000	0.00	23.1095	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		bl,Hnp,Snp	13.03.2017 21:06



No.	Weigh...	Name	Method	N Area	C Area	H Area	S Area	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H Blank	S Blank	Memo	Info	Date Time
44	63.600	12 LA 280	sulf3 Chisinau	4 101 6::	342 105	96 308	117	466.01	56.22	4.550	0.06	0.1206	12.3559	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0		Npe,No,O2	13.03.2017 21:26



Name: eassuperuser, Access: varioMACROcube superuser 20.04.2017 10:31:51

varioMACRO cube V4.0.3 (5858803)2015-10-15, CHNS Mode, Ser. No.: 20157085
Elementar Analysensysteme GmbH

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Statistic report

No. Name	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
29 5 LN reper	48.81	6.474	0.26	0.02
30 5 LN reper	48.77	6.577	0.29	0.02
Mean value	48.79	6.525	0.27	0.02
Deviation (abs.)	0.03	0.073	0.02	0.00
Deviation (rel.) [%]	0.07	1.116	7.02	15.65
31 6 LN 230	48.35	5.717	0.31	0.01
32 6 LN 230	47.12	5.066	0.33	0.01
Mean value	47.73	5.391	0.32	0.01
Deviation (abs.)	0.87	0.460	0.01	0.00
Deviation (rel.) [%]	1.82	8.539	3.36	37.29
33 7 LN 255	47.43	4.636	0.29	0.01
34 7 LN 255	45.02	3.623	0.30	0.01
Mean value	46.23	4.130	0.29	0.01
Deviation (abs.)	1.70	0.716	0.01	0.00
Deviation (rel.) [%]	3.69	17.345	2.32	14.27
35 8 LN 280	49.60	2.324	0.50	0.00
36 8 LN 280	46.30	1.541	0.52	0.00
Mean value	47.95	1.932	0.51	0.00
Deviation (abs.)	2.33	0.553	0.02	0.00
Deviation (rel.) [%]	4.87	28.617	2.97	141.42
37 9 LA reper	36.32	1.350	0.58	0.01
38 9 LA reper	32.84	0.400	0.65	0.01
Mean value	34.58	0.875	0.61	0.01
Deviation (abs.)	2.46	0.672	0.05	0.00
Deviation (rel.) [%]	7.10	76.765	8.59	32.52
39 10 LA 230	32.90	0.000	0.73	0.01
40 10 LA 230	30.20	0.000	0.77	0.02
Mean value	31.55	0.000	0.75	0.01
Deviation (abs.)	1.91	0.000	0.03	0.01
Deviation (rel.) [%]	6.05	0.000	4.02	56.12
21 1 PA reper	45.76	5.930	0.50	0.06
22 1 PA reper	45.55	6.464	0.32	0.06
Mean value	45.65	6.197	0.41	0.06

Document: Torefiere AG probe TD (varioMACROcube) from: --.--.-- (modified)

analytic functional testing
varioMACROcube
serial number: 20157085

Statistic report

No. Name	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
Deviation (abs.)	0.15	0.378	0.12	0.00
Deviation (rel.) [%]	0.33	6.096	30.19	2.19
23 2 PA 230	46.04	5.856	0.34	0.08
24 2 PA 230	45.99	6.201	0.35	0.07
Mean value	46.01	6.028	0.35	0.07
Deviation (abs.)	0.04	0.244	0.01	0.00
Deviation (rel.) [%]	0.08	4.052	2.41	6.37
25 3 PA 255	49.02	5.587	0.36	0.07
26 3 PA 255	49.27	5.236	0.38	0.09
Mean value	49.15	5.412	0.37	0.08
Deviation (abs.)	0.18	0.248	0.01	0.01
Deviation (rel.) [%]	0.37	4.588	3.38	10.38
27 4 PA 280	59.47	3.287	0.57	0.13
28 4 PA 280	59.40	3.179	0.61	0.13
Mean value	59.44	3.233	0.59	0.13
Deviation (abs.)	0.05	0.077	0.03	0.00
Deviation (rel.) [%]	0.08	2.383	4.72	1.56

CC „Inginerie Agrară" UASM
Aprobat:
Directtor conf. univ. dr. V. Gorobeț
14.04 2017

SRL „ECOBRIPIL"
Aprobat:
Director Dragan Nicolae
14 04 2017

A C T

DE IMPLEMENTARE ÎN PRODUCȚII A PELEȚILOR DE FOC DIN BIOMASĂ TOREFIATĂ

Autori – prof. univ., dr. h în șt. tehn. Grigore Marian, cer. șt. Gudîma Andrei,

Comisia în componența: director SRL „ECOBRIPIL-PLUS" Dragan Nicolae, Șeful Laboratorului de biocombustibili solizi UASM prof. univ., dr. h. Marian Grigore, șeful catedrei MMIM UASM conf. univ., dr. Țapu Veaceslav, cercetător științific superior conf. univ. dr. Malai Leonid au alcătuit prezentul act despre implementarea în producție la SRL „ECOBRIPIL-PLUS" a rezultatelor cercetărilor științifice, efectuate de către prof. univ., dr. hab. în tehn. Grigore Marian și cercetătorul științific Gudîma Andrei, în formă de tehnologie de producere a peleților din biomasă vegetală prelucrată preventiv prin torefiere.

Comisia, cu vot unanim, a hotărât: În baza rezultatelor pozitive ale testării biocombustibililor solizi în formă de peleți, se propune de a implementa în producție tehnologia de producere a peleților din biomasă vegetală cu tratarea preventivă a acesteia prin torefiere.

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

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

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

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

Operația a doua ***Torefierea*** are scopul de a îmbogăți biomasa cu conținut de carbon și se realizează în două etape. În cadrul primei etape biomasa se usucă prin încălzirea aceteia la temperaturi mai joase de temperatura de descompunerea a hemicelulozei, însă suficientă pentru uscarea rapidă a biomasei până la conținutul de umiditate 4 – 8 %.

În faza a doua a torefierii se efectuează carbonizarea propriu zisă a biomasei la temperaturi stabilite în p. 4.2 al prezentei lucrări.

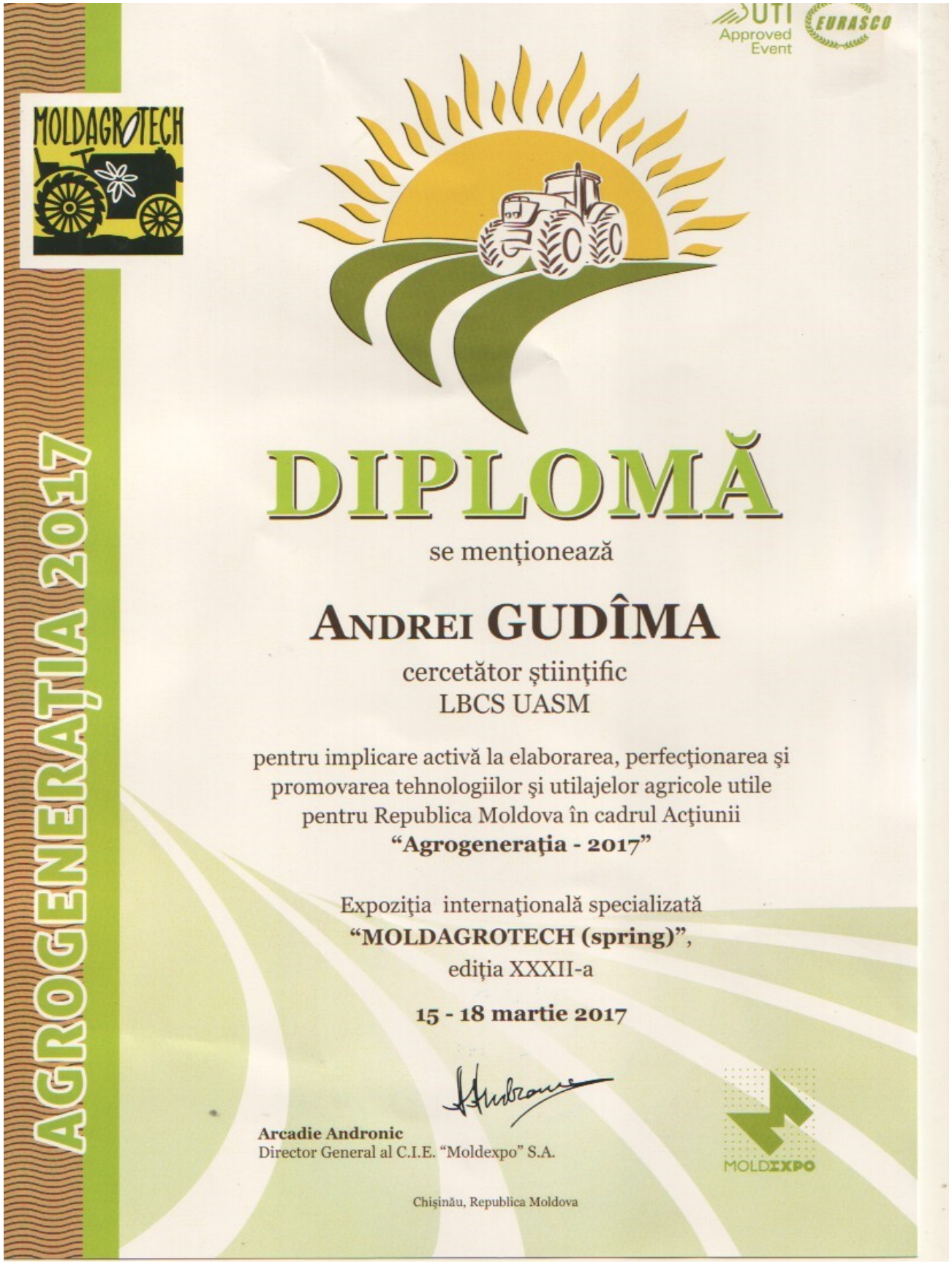
În cadrul operației de ***condiționare finală,*** biomasa se răcește până la temperatura mediului înconjurător și se macină cu trecerea biomasei tăiate printr-o sită cu ecranul ochiurilor de 4 mm.

Celelalte operații se realizează conform procesului clasic de peletizare folosind linii de producere a peleților. La această fază este important să se regleze interstițiul dintre tăvălugi și matriță astfel că să se asigure o temperatură a matriței de $T = 80 \pm_5^{10}$ °C și o presiune în zona de densificare de 120–150 MPa.

Itinerarul tehnologic de producere a peleților cu torefierea biomasei

Nr. crt.	Denumire etapă/operație	Regimuri	Notă
1	**Condiționare primară**		
1.1.	Mărunțire primară	L = 10 -35 mm	De regulă se realizează în câmp
1.2	Uscare preventivă		$M_{ar} < 40\%$
2	**Torefiere**		
2.1.	Transportat biomasa în reactor		
2.2	Uscarea biomasei	T = 110-180°C;	Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
2.3	Carbonizarea biomasei	T = 255 ±15°C τ = 25 ±10 min	Procesul trebuie realizat în mediu inert sau cu conținut redus de oxigen. Regimurile se ajustează în funcție de umiditatea biomasei
3	**Condiționare finală**		
3.1	Răcire	Temperatura mediului	
3.2	Mărunțire fină	-	Tăiere cu trecere prin sită cu ecranul ochiurilor 4 mm
4	**Peletizarea**		
4.1	Densificare	$T = 80 \pm_5^{10}$ °C P =120–150 MPa	Temperatura și presiunea se reglează prin valoarea interstițiului dintre tăvălugi și matriță
4.2	Răcirea produsului finit	La temperatura camerei	Este prevăzută în instalația de peletizare realizându-se în strat fluidizat
5	**Controlul și ambalarea peleților**		

Dragan Nicolae
Marian Grigore
Țapu Veaceslav
Malai Leonid


UTI
Approved
Event
EURASCO
MOLDAGROTECH
AGROGENERAȚIA 2017
DIPLOMĂ
se menționează
ANDREI GUDÎMA
cercetător științific
LBCS UASM
pentru implicare activă la elaborarea, perfecționarea și promovarea tehnologiilor și utilajelor agricole utile pentru Republica Moldova în cadrul Acțiunii
"Agrogenerația - 2017"
Expoziția internațională specializată
"MOLDAGROTECH (spring)",
ediția XXXII-a
15 - 18 martie 2017
Arcadie Andronic
Director General al C.I.E. "Moldexpo" S.A.
MOLDEXPO
Chișinău, Republica Moldova

MINISTRY OF AGRICULTURE AND FOOD INDUSTRY
OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

STATE AGRARIAN UNIVERSITY OF MOLDOVA

CERTIFICATE

participated in the

INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM
„Modern Agriculture – Achievements and Prospects"

dedicated to the 80th ANNIVERSARY OF
STATE AGRARIAN UNIVERSITY OF MOLDOVA

October 09-11, 2013

Vice Rector of SAUM,
Professor, Dr. Hab. *Gr. Marian*

Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering
Latvian Academy of Agricultural and Forest Sciences,
Section of Engineering

CERTIFICATE

This is to certify that

Andrei Gudima

has participated at the

12th International Scientific Conference

ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT

held on 23-24 May, 2013,
in Jelgava, Latvia

Kaspars Vārtukapteinis
Dean,
Faculty of Engineering

Imants Nulle
Chairman,
Programme Committee

CZECH UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES PRAGUE

SAUM CULS

CERTIFICATE OF EXCELLENCE

awarded to

ANDREI GUDIMA

in recognition of participation in the **International Summer School** at State Agrarian University of Moldova

Prof. Bohumil Havrland
Director Emeritus, Faculty of Tropical AgriScience, CULS Prague
Czech Republic

Prof. George Cimpoies
Rektor, State Agrarian University of Moldova, SAUM Chisinau
Republic of Moldova

Chisinau, Republic of Moldova, 26th August – 5th September 2013

TÜV NORD
Czech

CERTIFICATE

Registration No.: OSV/107/2014/LZ

This is to certify that

Andrei GUDÎMA

State Agrarian University of Moldova
Mirceşti 42, Chișinău 2049, Moldova

has attended the following theoretical workshop:

"Standardization, Accreditation, Certification and Testing of Biofuels"
on October 31st, 2014.

The scope of the workshop was as follows:

1. Standardization – (RNDr. Alice Kotlánová)
2. Accreditation – (RNDr. Alice Kotlánová)
3. Certification – (RNDr. Alice Kotlánová)
4. Testing – (RNDr. Alice Kotlánová)

Chișinău 31.10.2014

LABORATOŘE A ZKUŠEBNY TÜV NORD Czech TÜV NORD Czech, s.r.o.

RNDr. Alice Kotlánová
Head of Testing Laboratories

TÜV®

TÜV NORD GROUP

Declarație

Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări şi realizări ştiinţifice. Conştientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecinţele în conformitate cu legislaţia în vigoare.

Gudîma Andrei

11.04.2017

INFORMAŢII PERSONALE

Gudîma Andrei Nicolae

str. Mircești 22/2B, ap. 241, mun. Chișinău, MD-2049, Republica Moldova

(373 022) 312002 079603494, 067436600

a.gudima@uasm.md

Sexul masculin | Data naşterii 03/06/1981 | Naţionalitatea Moldovean

POZIŢIA

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, catedra „Mentenanța mașinilor și ingineria materialelor”, lector universitar

EXPERIENŢA PROFESIONALĂ

2011 – Prezent

Lector universitar, Catedra Mentenanța Mașinilor și Ingineria Materialelor, UASM.

lucrări de laborator la cursurile Atelierul mecanic, Studiul materialelor, Tehnologia materialelor, Maşini unelte şi control dimensional, Maşini unelte şi prelucrări mecanice, Reparaţii de maşini şi Tribologia şi Fiabilitate.

Conduc: - Practica de iniţiere în ÎS SDE „Chetrosu” şi ÎS SDE „Petricani”;

- Practica didactică în Atelierul mecanic, FIATA, UASM;
- Practica tehnologică în ÎS al ICŞ „MecAgro”.

2007–2011

Inginer şef la ÎS SDE „Petricani”, şos. Balcani 7, MAIA.

Activitati Licentiate: Importul şi (sau) comercializarea preparatelor chimice şi biologice pentru protecţia plantelor şi a stimulatoarelor de creştere a plantelor. Activitati Nelicentiate: Servicii pentru agricultură, Cultura strugurilor, Cultura plantelor oleaginoase şi a seminţelor, Cultura plantelor furajere şi a seminţelor, Cultura cerealelor şi leguminoaselor boabe, inclusiv producerea seminţelor, Cercetare şi dezvoltare în ştiinţe fizice şi naturale, Alte specializări în cultura plantelor, Alte servicii în creşterea producţiei agricole.

2005–2011

Asistent universitar, Catedra Mentenanța Mașinilor și Ingineria Materialelor, UASM.

lucrări de laborator la cursurile Atelierul mecanic, Studiul materialelor, Tehnologia materialelor, Maşini unelte şi control dimensional, Maşini unelte şi prelucrări mecanice, Reparaţii de maşini şi Tribologia şi Fiabilitate.

Conduc: - Practica de iniţiere în ÎS SDE „Chetrosu” şi ÎS SDE „Petricani”;

- Practica didactică în Atelierul mecanic, FIATA, UASM;
- Practica tehnologică în ÎS al ICŞ „MecAgro”.

EDUCAŢIE ŞI FORMARE

2016	Stagiul de perfecţionare la Universitatea Tehnică „Gh. Asachi”, Iaşi, Romania în perioada 18 – 23.04.2016
2014	Stagiul de perfecţionare Centrul de perfecţionare în domeniul mecanizării agriculturii, Chișinău, Republica Moldova în perioada 10.02 – 10.03.2014
2009 - 2013	Studii în doctorantură la specialitatea 05.20.03 „Exploatarea și mijloace de deservire tehnică a tehnicii agricole și celei din industria prelucrătoare”, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
2008	Stagiuli de perfecţionare la Česká Zemědělská Univerzita v Praze din Republica Cehă în perioada 20 aprilie – 25 mai 2008
2001 - 2005	Student la Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Facultatea „*Mecanizarea și Automatizarea Agriculturii*”, specialitatea „*Mecanizarea Agriculturii”*
1996 - 2001	Student la Colegiul Tehnic Agricol, specialitatea „*Mecanizarea Agriculturii*”, Soroca
1987 - 1996	școala primară s. Egoreni, r-nul Soroca

COMPETENTE PERSONALE

Limba(i) maternă(e): română

Alte limbi străine cunoscute

	INTELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
	Ascultare	Citire	Participare la conversaţie	Discurs oral	
Rusă	C1	C1	C1	C1	C1
Franceză	A2	B1	A2	A2	A2
Engleza	A1	A1	A1	A1	A1

Niveluri: A1/A2: Utilizator elementar - B1/B2: Utilizator independent - C1/C2: Utilizator experimentat

Cadrul european comun de referinţă pentru limbi străine

Competenţe de comunicare

- bune abilităţi de comunicare dobândite în urma experienţei mele ca lector universitar
- excelente abilităţi de interacţiune cu studenţii, dobândite prin activitatea de curator de grupă

Competenţe organizaţionale/manageriale

- abilităţi de organizare a excursiilor cu studenţii, la diferite întreprinderi de specialitate, expoziţii agricole, evenimente culturale

Competenţe dobândite la locul de muncă

- Abilități de lucru în echipă

Competenţă digitală

AUTOEVALUARE				
Procesarea informației	Comunicare	Creare de conţinut	Securitate	Rezolvarea de probleme
Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat

Niveluri: Utilizator elementar - Utilizator independent - Utilizator experimentat
Competențele digitale - Grilă de auto-evaluare

Scrieţi denumirea certificatului

- O bună stăpânire a pachetului MS Office (Excel, Word, PowerPoint, Publisher)
- - O bună stăpânire a pachetului Компас (КОМПАС-3D, КОМПАС-Строитель, ВЕРТИКАЛЬ)

Alte competenţe

- Bune cunoștințe de exploatare și mentenanţă a combinelor pentru recoltarea culturilor cerealiere

Permis de conducere

A, B,C, H

INFORMATII SUPLIMENTARE

Publicaţii

- 19 publicații, inclusiv 2 lucrări metodico-didactice
- Asistent universitar al UASM, 2011

Distincţii

- Diplomă pentru participare activă la elaborarea și promovarea tehnologiilor și utilajelor agricole utile pentru Republica Moldova în cadrul Acțiunii ”Agrogenerația – 2017” Expoziție internațională specializată ”MOLDAGROTECH (spring)”, ediția XXXII-a, 15 – 18 martie 2017

Certificări

- Certificat Nr: OSV/107/2014/LZ de participare la workshopul teoretic ”Standardizare, Acreditare, Certificare și testare a biocombustibililor” din 31 octombrie 2014, TUV NORD GROUP, Cehia.