



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: DESIGN DE MOBILIER ŞI INGINERIA LEMNULUI

Drd. Ing. Veronica Tamara DRĂGUŞANU (JAPALELA)

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA, TESTAREA ŞI EVALUAREA CALITATIVĂ
A BRICHETELOR ŞI PELEȚILOR DIN BIOMASĂ LEMNOASĂ ŞI
VEGETALĂ

CONTRIBUTIONS TO THE PRODUCTION, TESTING AND QUALITATIVE
EVALUATION OF BRIQUETTES AND PELLETS FROM WOODY AND
VEGETABLE BIOMASS

REZUMAT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Aurel LUNGULEASA

Domeniul de doctorat: Inginerie forestieră

BRAŞOV, 2023



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă
lemnasă și vegetală

CUPRINS

	Pg. teză	Pg,rezumat
CUPRINS	III	III
LISTA DE NOTAȚII ȘI DE ABREVIERI	1	1
INTRODUCERE	13	2
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU	21	3
1.1. Baza de materie primă	21	3
1.2. Brichete lignocelulozice	24	3
1.3. Peleți lignocelulozici	34	5
1.4. Evaluarea calității brichetelor și peleților	42	6
1.5. Analiza critică a stadiului actual și concluzii	47	6
CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE LUCRĂRII	50	8
CAPITOLUL 3. CERCETĂRI TEORETICE (METODICĂ, INSTALAȚII ȘI MATERIALE)	52	9
3.1. Umiditatea materialului mărunț, a brichetelor și a peleților lignocelulozici	52	9
3.2. Granulometria materialului mărunțit	54	9
3.3. Densitatea materialului mărunț. Densitatea în vrac a peleților	55	9
3.4. Gradul de afânare al materialului mărunț	56	9
3.5. Realizarea de brichete lignocelulozice	57	9
3.6. Realizarea de peleți lignocelulozici	59	10
3.8. Rezistența la despicare a brichetelor lignocelulozice	67	12
3.9. Rezistența la forfecare a peleților lignocelulozici	69	13
3.10. Puterea calorifică a brichetelor și a peleților	72	14
3.11. Alte proprietăți calorifice ale materialelor lignocelulozice	75	14
3.12. Conținutul de cenușă	76	15
3.13. Conținutul de substanțe volatile	80	15
3.14. Abraziunea brichetelor	81	15
3.15. Torefierea peleților și/sau a materialului mărunț	81	16
3.16. Concluzii cu privire la metodică, instalații și materiale	82	16
CAPITOLUL 4. CERCETARE EXPERIMENTALĂ	84	18
4.1. Rezultate referitoare la utilizarea cojilor semințelor de floarea soarelui și a rumegușului de larice în brichete	84	18
4.2. Rezultate referitoare la brichetele și peleții obținuți din două tipuri de rumeguș de paulownia	93	19



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

4.3. Rezultate referitoare la utilizarea paielor de grâu pentru obținerea de brichete	101	20
4.4. Rezultate referitoare la torefierea peleților de fag	117	21
4.5. Rezultate referitoare la obținerea peleților din rumegușul de eucalipt (Eucalyptus cinerea)	128	23
4.6. Rezultate referitoare la obținerea peleților din carton și amestec 1:1 carton cu stejar	130	24
4.7. Rezultate referitoare la obținerea brichetelor și peleților din salcie energetică (Salix viminalis)	131	24
4.8. Concluzii cu privire la rezultatele cercetărilor	147	25
CAPITOLUL 5. CALITATEA BRICHETELOR ȘI A PELEȚILOR LIGNOCELULOZICI	150	27
5.1. Cercetări teoretice	150	27
5.1.1. Aprecierea calității brichetelor și peleților pe baza poziției relative față de valoarea limitativă a caracteristicilor principale	150	27
5.1.2. Aprecierea statistică a calității loturilor de brichete și peleți pe baza caracteristicilor măsurabile	152	27
5.1.3. Metoda S pentru evaluarea statistică a calității loturilor de produse	154	28
5.1.4. Metoda R pentru evaluarea calității loturilor de produse	155	28
5.1.5. Verificarea calității loturilor de brichete și peleți cu calibre în limite strânse prin metoda Pre-control	156	29
5.2. Cercetări experimentale	158	29
5.3. Concluzii privind calitatea brichetelor și a peleților lignocelulozici	177	36
6. CONCLUZII FINALE. ASPECTE ECONOMICE ȘI DE VALORIFICARE. CONTRIBUȚII PROPRII. VALORIFICAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	180	36
6.1. Concluzii finale	180	37
6.2. Aspecte economice și de valorificare	180	37
6.3. Contribuții proprii	182	37
6.4. Valorificarea rezultatelor	186	38
6.5. Direcții viitoare de cercetare	187	39
BIBLIOGRAFIE	189	40
Scurt rezumat	-	42



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

LISTA DE NOTAȚII ȘI DE ABREVIERI

Titlu	Definiție (referință)
Aditiv	Material care îmbunătățește calitatea biocombustibilului, reduce emisiile de elemente nocive sau contribuie la mărirea productivității și eficienței procesului de fabricare.
Biomasa	Fracțiunea biodegradabilă a produselor, deșeurilor și reziduurilor de origine biologică din agricultură (inclusiv substanțe vegetale și animale), silvicultură și industriile conexe, inclusiv pescuitul și acvacultura, precum și fracțiunea biodegradabilă a deșeurilor industriale și municipale. (Direcția 2009/28/CE, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L140/27, 5.6.2009)
Biocombustibil	Combustibil produs direct sau indirect din biomasă. (Marian G. 2016)
Brichete	Produs obținut prin brichetarea materialului mărunț sau pulverulent, în forme geometrice regulate (paralelipipedice, cilindrice, ovoidale etc.), în vederea transportului, a folosirii sau a prelucrării lui ulterioare (DEX 1996).
Cenușă	Reziduu mineral solid obținut prin arderea completă a combustibilului.
Densitate calorifică	Produsul dintre puterea calorifică superioară a brichetelor/ peleților și densitatea brichetelor/peleților.
Peleți	Combustibil densificat, provenit din biomasă din lemn pulverizată, cu sau fără adaos de aditivi și cu formă cilindrică. (Marian G. 2016)
Putere calorifică	Cantitatea de căldură obținută din arderea unității de masă combustibile, fără a ține seama de energia obținută din condensarea vaporilor obținuți.
Torefiere	Metodă pentru îmbunătățirea proprietăților biomasei utilizat ca și combustibil. Tratamentul constă în încălzirea biomasei lent într-o atmosferă inertă până la o temperatură maximă de 300 °C.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

INTRODUCERE

Activitățile agricole generează o cantitate importantă de reziduuri care pot fi valorificate prin producerea biocombustibililor solizi. Peleții sunt una din formele cele mai răspândite de biocombustibili solizi densificați, dar și cu cele mai pretențioase cerințe de calitate. Din acest motiv, multe din reziduurile agricole nu pot fi procesate în peleți calitativi prin metodele tradiționale folosite astăzi în industria biocombustibililor solizi (Gudîma ș.a. 2017).

La acest moment, biomasa înregistrează un grad de 15% din totalul surselor de realizare a energie la nivel mondial. Deși este o resursă abundentă, utilizarea energiei înglobate în ea prezintă un randament relativ scăzut.

Pentru condițiile existente în țara noastră, producerea de brichete și peleți din biomasă lemnoasă și vegetală, precum și utilizarea acestora pentru obținerea energiei, constituie un element important de luat în considerare, atât în privința posibilităților de asigurare neîntreruptă, cât și a costului, mai ales în condițiile prețurilor actuale.

Prin prisma celor expuse anterior, motivația temei tezei de doctorat capătă greutate și relevă importanța aplecării asupra căutării de noi soluții de realizare, testare și evaluare a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală, utilizabile în scopul producerii de energie verde.

Teza de doctorat "*Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală*" este structurată pe 6 capitole.

Capitolul I, intitulat „*Stadiul actual al cercetării în domeniu*” reprezintă o sinteză bibliografică selectivă referitoare la baza de date și informații privind materia primă, utilizată pentru producerea brichetelor și peleților lignocelulozici.

Sinteza bibliografică este utilă pentru înțelegerea și aprofundarea conținutului original al cercetării doctorale și ajută la reliefaarea problematicilor actuale, a căror rezolvare va face obiectul următorului capitol din teză, **capitolul 2** „*Obiectivele lucrării*”.

Capitolul 3 „*Cercetări teoretice*” sunt prezentate instalațiile folosite, materialele care fac obiectul experimentării, precum și programele utilizate pentru experimentare. De asemenea, pentru o bună înțelegere, regăsim aici și metodele și mijloacele de măsurare folosite, adaptate necesităților temei abordate.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Capitolul 4 „*Cercetări experimentale*” cuprinde cercetări experimentale privind realizarea și testarea brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală.

Capitolul 5 „*Calitatea brichetelor și a peleților lignocelulozici* ” cuprinde cercetări teoretice și experimentele cu metode și aplicații diferite de măsurare a calității brichetelor sau peleților.

În **capitolul 6** „*Concluzii finale. Contribuții proprii. Valorificarea rezultatelor. Direcții viitoare de cercetare*” sunt sintetizate elementele definitorii ale cercetării doctorale și sunt scoase în evidență contribuțiile personale în problematica abordată și perspective de continuare a cercetărilor în viitor. Lucrarea reprezintă rezultatul studiilor desfășurate la Școala doctorală din cadrul Universității „*Transilvania*” din Braşov.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU

1.1. Baza de materie primă

Prin biomasă, ca resursă de energie regenerabilă, înțelegem partea biodegradabilă a bioresurselor generate în urma fotosintezei vegetale. Biomasa este principala componentă a biocombustibililor, materie primă pentru generarea de energie.

Reziduurile sunt rămășițele organice care au ca sursă prelucrarea anumitor materiale brute în scopul producerii unui produs finit, în cadrul unor procese tehnologice sau biologice. Valoarea reziduurilor este mică raportat la produsul finit realizat, însă nu este de neglijat.

Grâul de primăvară, floarea soarelui, porumbul, orzul și grâul de toamnă sunt principalele culturi agricole generatoare de deșeuri biodegradabile sub forma biomasei.

Reziduurile vegetale constituie o sursă energetică de potențial, cu cele mai mici costuri de producere, deoarece necesită doar cheltuieli de colectare, transport și depozitare (Șalaru ș.a,2013).

1.2. Brichete lignocelulozice

Deșeurile din lemn sunt o sursă de energie regenerabilă care joacă un rol important pe piața globală a energiei. Este o parte substanțială a biomasei și a fost prima sursă alternativă de energie. Industria prelucrării lemnului este o sursă inepuizabilă de deșeuri din lemn, care trebuie evaluată pentru a găsi cele mai eficiente metode de valorificare a energiei.

Există două metode de torefacție: umed (tratament hidrotermal) și uscat (torefiere). Tratamentul termic uscat are loc între 200°C și 300°C cu o durată de aproximativ 30 min pentru rumeguș (Almeida ș.a,2010) sau de aproximativ 72 h pentru cherestea (Chiaramonti ș.a,2010). Procesul de torefiere al tratamentul termic rapid este cel mai eficient în creșterea conținutului de carbon al lemnului (Almeida ș.a,2010; Chen ș.a, 2011a, b; Sarvaramini ș.a.,2014). Torefierea prezintă mai multe avantaje, cum ar fi stabilizarea dimensională (Pelaez-Samaniego ș.a,2013) a produsului din lemn, reducerea hidrofiliei. În experimente au fost utilizate patru specii de rumeguș de lemn: fag (*Fagus sylvatica*), stejar (*Quercus robur*), molid (*Picea abies*) și larice (*Larix decidua*).

Spîrchez ș.a(2018) au obținut brichete din lemn cu miez gol realizate din deșeuri de lemn de molid și stejar. A fost realizată comparație cu tipurile clasice de brichete pentru a putea identifica avantajele și dezavantajele acestor brichete. Rezultatele obținute arată că există puține diferențe între

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

caracteristicile brichetelor din lemn cu miez gol și cele ale celor clasice. Aceste diferențe depind de metoda și echipamentul de presare, în comparație cu alte brichete fără un miez gol. Având în vedere caracterul lor economic, este complet posibilă adecvarea acestor brichete pentru gătit și încălzire (Spîrchez ș.a.,2018).

Brichetele astfel obținute ar putea înlocui cu succes brichetele de rumeguș din lemn sau chiar lemnul, datorită densității bune și a puterii calorifice foarte bună. Conținutul de cenușă de 2,4% este similar cu cel pentru specii de lemn europene. Arderea brichetelor obținute din cojile de floarea soarelui produc o energie curată, folosită pentru sobe sau cuptoare (Spîrchez ș.a.,2019).

Paulownia este una dintre cele mai repede crescătoare specie lemnoasă din lume. Obținerea de brichete de bună calitate din rumeguș mare de la debitarea cherestelei de paulownia este o mare provocare.

Speciile de bambus sunt plante perene, iar creșterea lor se armonizează cu principiile sustenabilității, datorită creșterii rapide și a producției anuale de tulpini (Pereira și Beraldo,2016). Pentru realizarea brichetelor au fost analizate 4 specii de bambus.

Pentru producerea brichetelor lignocelulozice au fost utilizate și deșeuri lemnoase. Pe baza rezultatelor obținute, s-a constatat că, conținutul de umiditate de deșeuri lemnoase utilizate pentru producerea de brichete a variat de la 10,7- 14,8%, în timp ce puterea lor calorică a fost în limitele de 15,5-16,3 MJ/kg.

Industria agro-forestiere, cum ar fi zahărul-alcool, alimentele și exploatarea forestieră, produc cantități mari de deșeuri, utilizate pentru a genera energie din arderea directă (Internațional Energy Agency France, 2018; Maroušek,2014). Aplicarea altor procese, cum ar fi torefacția și brichetarea, pot crește profiturile din utilizarea deșeurilor agroindustriale pentru energie. Au fost folosite patru tipuri de biomasă, deșeuri din lemn de pin și eucalipt, deșeuri obținute de la tăierea cafelei și a trestiei de zahăr torefiat. Torefiera a crescut conținutul fix de carbon, cenușă și puterea calorică și a redus volatilitatea conținut de material și umiditatea de echilibru higroscopic a biomasei.

Deșeuri de eucalipt și pin din procesul de prelucrare, cafea arabică și trestia de zahăr, fără reziduuri de scoarță, frunze sau rădăcini, au fost uscate la aer până la un conținut de umiditate de aproximativ 20%. Procesul de torefiere a redus umezeala biomasei pentru cele din natură. Comparând materialele fără torefacție, reziduul de cafea arabică avea un carbon fix mai mare conținut, în timp ce reziduul de pin a avut o putere calorică mai mare.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

S-a obținut o reducere de 17 ori peste densitatea materialului. Valorile cenușii și volatile pentru deșeurile de trestie de zahăr au fost de 3,9% și 87,7%, în timp ce pentru amidon au fost de 0,09% și respectiv 94,65%. Puterea calorică brută a fost de 3,593 MJ/kg (bagassa) și 3,637 MJ/ kg (amidon).

Toate amestecurile au fost realizate conform rețetei stabilite, care la atingerea umidității de 12%, au fost prelucrate sub formă de brichete. Conținutul de carbon al brichetelor produse a variat de la 41,85 la 43,84%, iar cel al sulfului a fost sub 0,1%. Puterea calorică a brichetelor produse a variat de la 3359,4 la 4028,3 kcal/kg și cenușa a fost sub 6%. Utilizarea cojii de cafea sau ramuri și frunze izolate, precum și amestecul de coji de cafea cu 50% sau mai multe ramuri de frunze permite producerea de brichete cu o putere calorică mai mare de aproximativ 4000 kcal/ kg, care se încadrează în parametrii de calitate. Brichetarea reziduurilor culturilor de cafea este viabilă și durabilă din punct de vedere energetic (Oberdan ș.a., 2014).

1.3. Peleți lignocelulozici

Peletizarea materialelor forestiere și agricole este o alternativă în obținerea de produse cu valoare adăugată la generarea de energie, deoarece multe reziduuri din ambele industrii pot fi utilizate în acest proces. O metodă de eficientizare a rumegușului este torefacția urmată de peletizare (Lunguleasa ș.a., 2017; Lunguleasa ș.a.,2019). Este utilizată pe scară largă pentru îmbunătățirea calităților mecanice sau caracteristicile fizico-chimice ale biomasei din lemn sub formă de așchii, rumeguș, tocătură, lemn masiv, brichete și pelete.

Lunguleasa ș.a.(2019), au analizat patru specii de lemn, și anume fag, molid, larice și stejar, care au fost tratate termic ca deșeurii de rumeguș la temperaturi de 200°C, 220°C, 240°C, 260°C, 280°C și 300°C pentru diferite perioade de 3, 5 și 10 min. Rezultatele au indicat o creștere a puterii calorice și a densității cu temperatura. Din punct de vedere economic, peleții obținuți din rumeguș torefiat au avut proprietăți mai bune decât cei netrați.

Pentru producerea peleților s-au folosit trei probe compozite: știulete de porumb, tulpini de porumb și un compozit de 50:50 știulete de porumb și tulpini de porumb. Fiecare dintre probele compozite granulate a fost bine amestecată cu un amidon de manioc produs local folosind un proces de frământare. (Sulaiman ș.a.,2019).

Pentru a reduce cantitatea de cenușă de la combustie și pentru a ridica punctul de topire în același timp, deșeurile de hârtie pentru producția de peleți de paie de grâu a fost analizată de la 10% la 30%. Peleții de referință au fost 1:1 paie de grâu și resturi de hârtie au fost produse, pentru comparație. Cu un

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

conținut de 10% deșeuri de hârtie, puterea calorică inferioară a scăzut cu aproximativ 10% comparativ cu puterea calorică din peletele de referință. Efectul pozitiv al deșeurilor de hârtie s-a manifestat prin capacitatea sa de a crește punctul de topire a cenușii din peleții de biomasă vegetală. Deșeurile de hârtie în peleți ar crește temperatura de topire și conținutul de cenușă, dar ar scădea puterea calorică inferioară (Nosek,2020).

Folosind materiale precum știulete de porumb, coji de porumb, paie din lucernă în combinație cu biomasă lemnoasă a asigurat că produsele secundare din agricultură, pe care altfel le-am pierde, sunt valorificate și transformate în energie. Combinația din eșantionul (Paie de grâu+ paie din lucernă + coceni de porumb + coajă de porumb) conduce la cel mai mare timp de peletizare și cel mai mare consum energetic. Combinațiile dintre biomasa lemnoasă și biomasa agricolă a arătat rezultate bune în termeni de putere calorică mai mică, conținut de cenușă, densitate în vrac (Găgeanu ș.a.,2017).

Gudîma(2018) a folosit un eșantion format probe de peleți pentru care a determinat puterea calorică și conținutul de cenușă, cu amestecuri variabile din paie, salcie energetică și salcâm.

Analiza datelor studiului, respectiv a valorilor conținutului de cenușă rezultat în urma arderii probelor de studiu, a evidențiat influența diferită a compozițiilor cu biomasă lemnoasă (salcie energetică și salcâm), respectiv cu paie, asupra valorilor puterilor calorifice la peleții fabricați conform rețetelor. Creșterea puterii calorifice la toate probele realizată a fost de 16,5 MJ/kg, ceea ce permite înscrierea peleții studiate în categoria de conformare la standardul EN plus. (Gudîma,2018).

1.4. Evaluarea calității brichetelor și peleților

Calitatea reprezintă măsura valorii materiale a produselor, indiferent de produs sau scopul pentru care a fost creat. Calitologul Juran a definit calitatea ca fiind acea caracteristică importantă corespunzătoare pentru utilizatori.

Calitatea brichetelor și peleților se poate aprecia prin metoda valorii estimative (Lunguleasa,2015), standardizarea europeană și metoda distanțelor față de valoarea limitativă.(Spîrchez ș.a.2016)

1.5. Analiza critică a stadiului actual și concluzii

Nu s-a realizat ori identificat o metodă consistentă și general valabilă de analiză calitativă a unui lot de brichete sau peleți.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Nu s-a găsit combinații sau rețete de specii forestiere și agricole care să conducă la îmbunătățirea semnificativă a celor realizate numai din resurse vegetale.

Nu s-a făcut o corelație între dimensiunile sortimentelor lignocelulozice introduse la brichetare și caracteristicile brichetelor obținute.

Nevoile energetice din domeniul casnic și industrial sunt acoperite semnificativ și tot mai preponderent, în special în zone rurale, de surse care utilizează brichete și peleți. Studiile referitoare la utilizarea paielor pentru brichete nu sunt consistente și nu pun în evidență avantajele și dezavantajele acestora.

Chiar dacă au rezistențe mecanice mai mici, brichetele obținute din coji de semințe de floarea soarelui pot fi folosite în starea lor naturală, fără prelucrare suplimentară, sunt eficiente din punct de vedere caloric.

Utilizarea speciilor de lemn cu o creștere rapidă, cum ar fi Paulownia, poate duce la obținerea de brichete și peleți compacți și rezistenți în timpul depozitării și manipulării până la arderea lor. Aceste specii ar putea fi utilizate în viitorul apropiat în cadrul brichetelor și peleților, fiind mai ieftine și calitativ superioare.

În situațiile în care combustibilul utilizat are densitate scăzută, pot fi folosiți cu succes lianții și aditivi naturali: amidonul de manioc, guma arabică, balega de vacă și amidonul de porumb.

Pentru producerea brichetelor lignocelulozice folosirea deșeurilor lemnoase de diferite forme și specii rumeguș de plop, coajă de plop, așchii de stejar și coajă de stejar poate duce la obținerea unor biocombustibili favorabili realizării obiectivelor politicii agricole durabile.

Brichetele produse cu reziduuri din cultura cafelei, au caracteristici fizico-chimice care se dovedesc a fi o sursă viabilă pentru generarea de energie și utilizarea reziduurilor.

Brichetele din frunze de bananier au prezentat un comportament termic și caracteristici fizice și chimice similare altora de biomasă utilizată deja ca și combustibil pentru generarea de energie.

Combinarea rumegușului cu hârtie, orez de hambar și balega de vacă, în diferite rapoarte, poate duce la obținerea unor brichete care au prezentat caracteristici îmbunătățite față de cele ale brichetele lor unice.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Combinarea dintre cojile de arahide, cojile de orez și rumegușul de Daniella Oliveri și amidon ca liant au demonstrat că raportul de amidon folosit poate avea o influență asupra proprietăților de ardere.

Prin adăugarea de 1% amidon de porumb la materialele din biomasă, puterea calorică mai mică a peleților produsul a fost crescut; umiditatea peleților a scăzut în comparație cu probele fără amidon, ceea ce duce la o mai bună depozitare și combustie.

În cazul peleților de paie uscate cu adaos de biomasă lemnoasă, 30% salcie energetică și 30% salcâm s-a constatat o creștere de 9,6% a puterii calorifice, până la valoarea de 18,49 MJ/kg.

Combinările dintre biomasa lemnoasă și biomasa agricolă a arătat rezultate bune în termeni de putere calorică mai mică, conținut de cenușă, densitate în vrac.

Modificările rețetei pot duce la creșterea producției, reducerea cerințelor de energie per unitatea de produs și, de asemenea, la o calitate îmbunătățită. Când este utilizat în combinație cu diferite tipuri de materiale de biomasă, fiecare aditiv și liant conduce la caracteristici termice ameliorate.

Nu s-a realizat un studiu exhaustiv care să cuprindă toate verigile lanțului de producere, testare și evaluare a calității loturilor de brichete/peleți.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE LUCRĂRII

Problema propusă în această lucrare este de a investiga posibilitățile de realizare, testare și evaluare calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală, având următoarele 3 obiective generale:

O1. Realizarea de brichete și peleți utilizând biomasă lemnoasă și vegetală, în diferite combinații, pe instalații și prese diferite ca mod de funcționare și capacitare, în vederea observării diferențierii proprietăților în funcție de aceste aspecte. Ca activități principale ale acestui obiectiv au fost:

- utilizarea a cel puțin 2 prese de brichetare și a cel puțin 2 prese de peletizare;
- utilizarea unor specii forestiere și agricole mai puțin cercetate până în prezent;
- utilizarea unor combinații benefice pentru obținerea brichetelor și peleților;
- observarea influenței granulometriei rumegușului de la brichetare și a coeficientului de compactare asupra rezistențelor brichetelor;
- determinarea abraziunii brichetelor lignocelulozice.

O2. Testarea principalelor proprietăți fizice, chimice, calorifice și mecanice ale brichetelor și peleților obținuți în regim de laborator sau industrial. Ca activități care au derivat din acest obiectiv se pot enumera:

- pentru brichete cele precum testarea umidității, densității efective, puterea calorifică, conținutul de cenușă, conținutul de substanțe volatile, rezistența la compresiune sau despicare, și rezistența la abraziune;
- adițional, pentru peleții lignocelulozici se vor avea în vedere densitatea în vrac și rezistența la forfecare a acestora.

O3. Găsirea unei metode cumulative de determinare a calității brichetelor și peleților. Ca activități care derivă din acest obiectiv se poate evidenția:

- definirea calității brichetelor și peleților;
- găsirea elementelor care concură la definirea calității;
- exemple concrete de determinare a calității acestor tipuri de produse.

Pentru atingerea obiectivelor propuse a fost necesară parcurgerea mai multor etape de cercetare specifice unei teze de doctorat:

- Cercetare biografică – documentare în vederea identificării posibilităților de rezolvare a temei de doctorat, avându-se în vedere stadiul actual al cercetărilor;
- Cercetare experimentală – stabilirea unei metodologii de experimentare și aplicarea acesteia;
- Cercetare aplicativă – studierea experimentală a rețetelor propuse în vederea testării și



**Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă
lemnă și vegetală**

evaluării calitative, având în vedere gradul de noutate a temei;

-Abordarea interdisciplinară: structura și compoziția lemnului, grafică, prelucrarea statistică a datelor experimentale, informatică etc.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

CAPITOLUL 3. CERCETĂRI TEORETICE (METODICĂ, INSTALAȚII ȘI MATERIALE)

Scopul acestui capitol este de a stabili metoda de lucru, aparatura, materialele și instalațiile utilizate, precum și planul experimental propus. Pentru fiecare proprietate a brichetelor și peleților s-a găsit metoda adecvată de determinare și testare, de cele mai multe ori s-a utilizat testul standardizat, conform standardelor europene în vigoare. Acolo unde nu a existat un standard european de determinare, s-a căutat să se utilizeze o metodă cunoscută sau utilizată frecvent de către laboratoarele naționale și internaționale.

3.1. Umiditatea materialului mărunț, a brichetelor și a peleților lignocelulozici

Umiditatea materialului mărunț, a brichetelor și a peleților s-a determinat prin metoda gravimetrică. Pentru aceasta s-a folosit o balanță electronică tip Kern. Uscarea epruvetelor până la starea anhidră s-a efectuat cu o etuvă de laborator tip Memmert (Ulm, Germania).

3.2. Granulometria materialului mărunțit

Granulometria materialului mărunțit utilizat la obținerea de brichete și peleți ajută producătorul să previzioneze anumite caracteristici ale viitoarelor produse. De obicei, precizarea unor intervale dimensionale ale materialului mărunțit sau a unei valori medii a acestuia nu este suficientă și nu oferă o imagine precisă a materialului, așa cum o face granulometria. Pentru acest test s-a folosit un dispozitiv vibrator cu diferite site de sortare.

3.3. Densitatea materialului mărunț. Densitatea în vrac a peleților

Pentru materia primă mărunță sub formă de aşchii, rumeguș sau praf, dar și pentru peleți datorită dimensiunilor mici, s-a determinat densitatea în vrac a acestora, după aceeași metodologie. Densitatea în vrac s-a determinat utilizându-se vase tronconice cu volum constant și a unei balanțe analitice tip Kern (Germania) pentru determinarea masei. Pentru obținerea înălțimii precise a materialului din cilindru, adică a volumului cilindrului gradat, vasul de testare a fost ținut timp de 3 minute pe un dispozitiv de vibrație orizontal.

3.4. Gradul de afânare al materialului mărunț

Gradul de afânare al materialului mărunțit este un coeficient adimensional și cuantifică existența a unor goluri în masa materialului mărunț, față de materialul brut sub formă de cherestea. Pentru

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

determinare, s-a folosit metoda densităților, respectiv raportarea densității materialului solid la densitatea materialului mărunțit.

3.5. Realizarea de brichete lignocelulozice

Din fiecare tip de rămășițe s-au realizat brichete lignocelulozice pe o mașină de brichetat hidraulică tip Gold Star (Braşov, România), prevăzută cu două pistoane cu acțiune perpendiculară și un siloz de circa 1,5 m³. Mișcarea circulară a materialului mărunțit în silozul mașinii de brichetat s-a efectuat tot pneumatic, de la aceeași mișcare a pistonului principal, prin intermediul unei pârghii.

Brichete lignocelulozice au fost realizate și cu ajutorul mașinii de brichetat hidraulică, dotată cu întrerupător de siguranță pentru temperatura uleiului.

3.6. Realizarea de peleți lignocelulozici

Realizarea de peleți lignocelulozici s-a efectuat cu ajutorul unei instalații de laborator tip Saras, realizată de firma cu același nume (Saras SRL, Braşov, Romania), cu o capacitate de 50 kg/h. Peleții propriu ziși s-au obținut după circa 2 minute de funcționare, perioadă în care materialul mărunțit s-a încălzit prin frecarea dintre role și matriță până la temperaturi de 80-95°C, în vederea activării ligninei din materialul lignocelulozic utilizat.

Presa industrială de mare capacitate de peleți, este realizată într-o construcție robustă, pe schelet de profile metalice U. Materialul de compactat este presat de cele două role presoare pe matriță. Bucata continuă de material compactat ieșit din fiecare orificiu este retezată de un cuțit, iar peleții sunt evacuați prin jgheab. Mișcarea de rotație este transmisă de la motorul electric la matriță prin intermediul unui reductor conic.

3.7. Rezistența la spargere prin compresiune a brichetelor lignocelulozice

Rezistența la compresiune arată consistența și compactarea brichetelor lignocelulozice (Roser ș.a.,2006). Nu există o rezistență similară în acest domeniu, dar există câteva similitudini cu aceea a lemnului masiv, alte plăci pe bază de lemn și pentru betoane. Acest test ajută să cunoaștem cât rezistă brichetele când sunt dispuse unele peste altele în timpul transportului sau depozitării.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă
lemnasă și vegetală



Figura 3.10. Maşina pentru determinarea rezistenței la compresiune (de producție chinezească)

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală



Figura 3.11. Secvențe din timpul determinării rezistenței la compresiune a brichetelor lignocelulozice
a- pentru brichete lignocelulozice fără goluri; b - pentru brichete lignocelulozice cu goluri.

Rezistența la compresiune a brichetelor lignocelulozice a ținut seama de distribuția tensiunilor în timpul spargerii precum și de forma brichetei după spargere.



Figura 3.13. Brichete lignocelulozice obținute în urma determinării rezistenței la compresiune

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

3.8. Rezistența la despicare a brichetelor lignocelulozice

Datorită faptului că brichetele lignocelulozice sunt produse reconstituite realizate din material mărunț aproape granular, s-a impus introducerea unei noi proprietăți a brichetelor respectiv rezistența la despicare. Această proprietate are drept scop conservarea rezistenței brichetelor când se dorește înjumătățirea celor care sunt mai lungi decât dimensiunea gurii de alimentare a unei centrale termice. De asemenea în timpul transportului pot apărea astfel de tensiuni, alături desigur de cele de forfecare sau compresione. De aceea în vederea realizării acestui test s-a conceput un cuțit bont.



Figura 3.14. Mașina pentru determinarea rezistenței la despicare (de producție germană)

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

3.9. Rezistența la forfecare a peleților lignocelulozici

Rezistența la forfecare a peleților este principala proprietate mecanică. Forfecarea peleților poate apărea în procesul de depozitare pe un palet cu mai mulți saci de peleți dispuși pe o anumită înălțime și are drept consecință spargerea sau divizarea acestora.

Valorile rezistenței la forfecare și la strivire ale peleților au o importanță practică pentru utilizatorii de peleți. Dacă peleții nu au rezistențe bune la forfecare, se vor rupe ușor în timpul transportului și manipulării.

Forța la forfecare a fost determinată folosind o mașină de testare universală (Ulm, Germania), cu dispozitive specifice și o viteză redusă a forței de acțiune de aproximativ 10 mm/min.

În vederea determinării rezistenței la forfecare a peleților s-au folosit două plăci paralele de contact (cu 0,4 mm distanța dintre ele), cea inferioară fixă, iar cea superioară deplasabilă, ce reprezintă cuțitul cu un unghi de ascuțire de circa 65° , care au creat planul de forfecare. Deoarece forța de forfecare a unui pelet este foarte mică, pe placa fixă sau creat 5 orificii de 6 mm, în vederea forfecării simultane a 5 peleți, respectiv a obținerii unei forțe de 5 ori mai mare, care să poată fi evidențiată cu o mai mare precizie pe cadranul mașinii de testat.



Figura 3.16. Forma plăcii superioare cu un unghi de 65°

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală



Figura 3.17. Secvențe din timpul determinării rezistenței la forfecare a peleților lignocelulozici

3.10. Puterea calorică a brichetelor și a peleților

Puterea calorică este principala proprietate termică a brichetelor și a peleților, care oferă informații despre cantitatea de căldură obținută la arderea biomasei lemnoasă și vegetală.

Puterea calorică a brichetelor și a peleților s-a determinat experimental cu o instalație prevăzută cu bombă calorimetrică, tip XRY-1C, produsă de către firma Shanghai Changji Geological Instrument Co. De asemenea peleții cu aceeași masă s-au folosit pentru determinarea puterii calorifice, cunoscut fiind faptul că puterea calorică nu depinde de forma sub care se găsește materialul lignocelulozic, ci valoarea depinde numai de tipul materialului respectiv de specia lignocelulozică utilizată.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

3.11. Alte proprietăți calorifice ale materialelor lignocelulozice

Pe baza puterii calorifice a materialului lignocelulozic și a altor proprietăți, au fost determinate și alte caracteristici calorifice, precum densitatea calorifică, viteza de ardere și randamentul calorific.

Rata de eliberare a energiei s-a determinat prin raportarea puterii calorifice la timpul de ardere per kg, egal cu timpul perioadei principale din testul de determinare a puterii calorifice per kg.

Randamentul energetic al arderii brichetelor și peleților s-a determinat, luând ca bază de calcul puterea calorifică maximă a brichetelor la o umiditate de 0%. Puterea calorifică reală la o umiditate de 8-12 % a brichetelor și peleților a reprezentat un oarecare procent din puterea calorifică maximă posibilă.

De asemenea, în urma obținerii unor rezultate s-a putut determina influența umidității asupra puterii calorifice, valoarea limitativă a umidității, puterea calorifică pe hectar în cazul resurselor vegetale, etc.

3.12. Conținutul de cenușă

Elementele anorganice din compoziția biocombustibililor, în urma arderii, sunt transformate într-un conținut rezidual solid sub forma cenușii.

Caracteristica de calitate care poartă numele de conținut de cenușă, este deosebit de importantă în cazul biocombustibililor. Existența cenușii duce la micșorarea calității biocombustibililor, în mod deosebit a puterii calorifice, afectează negativ procesul de ardere, mărește coroziunea asupra cazanelor, și crește costurile de transport, depozitare și eliminare.

Conținutul de cenușă al brichetelor ajută la cunoașterea cantității masice de cenușă care rezultă la ardere, necesară pentru eliminarea periodică a acesteia din centrala termică și depozitarea/procesarea acesteia.

Pentru uscarea s-a folosit o etuvă Memmert (Ulm, Germania), la temperatura de 105°C, timp de cel puțin 1 h, până când nu au mai existat diferențe între 2 cântăriri succesive. Testul efectiv de determinare a folosit un cuptor de calcinare tip STS, încălzit la temperatura de 750°C până la calcinare completă prin intermediul unor creuzete metalice rezistente la temperaturi înalte. Operația de calcinare a fost considerată terminată când materialul avea o culoare gri deschis și nu s-au mai observat scântei deasupra creuzetului. După calcinarea materialului mărunțit timp de 2 ore, creuzeții cu cenușă s-au răcit într-un exicator și au fost cântăriți din nou cu balanța de precizie.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Pentru protecția cuptorului de calcinare, materialul fin a fost ars mai întâi pe o flacără de gaz butan, până în momentul în care nu mai fumegă. Deoarece această formă a materialului carbonizat superficial a avut o culoare neagră închis, aceasta s-a numit cenușă neagră, motiv pentru care s-a determinat și conținutul de cenușă neagră.

3.13. Conținutul de substanțe volatile

Instabilitatea termică este specifică tuturor substanțele organice, în diferite proporții. Încălzind biocombustibilii solizi prin ardere fără întreținere cu aer, prima oară conținutul de umiditate se evaporă, ulterior putându-se constata o acțiune de destrucție a moleculelor însoțită de volatilizarea unor substanțe gazoase. Aceste substanțe gazoase emise și vaporii constituie materiile volatile.

3.14. Abraziunea brichetelor

Abraziunea materialelor solide de tip brichete a avut drept scop determinarea cantității de praf și aşchii mărunte care rezultă la mișcarea acestora pe o sită. Pentru acest test s-au folosit brichete scurte. Pentru abraziune s-a folosit un dispozitiv electric cu vibrație. După vibrarea timp de 5 minute, s-a determinat masa prafului și a materialului mărunț care a trecut prin sita de 4x4 mm.

3.15. Torefierea peleților și/sau a materialului mărunț

Tratamentul termic de torefiere a materialului mărunț, a brichetelor sau a peleților a avut scop dublu, respectiv de a crește ușor puterea calorică a acestora și de a reduce higroscopicitatea acestora. Torefierea este o piroliză lentă incompletă, prin care la temperaturi înalte se îmbogățesc peleții/brichetele în carbon. Acest tratament de torefiere s-a efectuat într-o etuvă de laborator, la temperaturi de 200 și 220°C, pe o perioadă de 1, 2 și 3 ore. Procedura a urmărit scăderea masei materialului uscat și tratat termic, prin cântărirea înainte și după tratament.

3.16. Concluzii cu privire la metodică, instalații și materiale

Speciile lemnoase și vegetale au fost selectate luându-se în considerare caracteristicile de calitate ale acestora în vederea folosirii ca materie primă pentru obținerea de biocombustibili solizi.

Cercetarea s-a realizat utilizând o metodologie adaptată domeniului, în cuprinsul căreia a fost construit un plan experimental adecvat nevoilor practice de analiză a brichetelor și peleților obținuți din biomasă lemnoasă și vegetală. Probele de brichete și peleți realizate fizic au fost analizate în cadrul laboratorului din cadrul Universității „Transilvania” din Braşov.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experimentelor, au fost obținute serii de date, care au permis analiza caracteristicilor fizice și de compoziție a brichetelor și peleților necesare în funcție de scopul urmărit.

Materiile prime utilizate pentru realizarea studiilor de cercetare au fost selectate ținându-se cont de următoarele:

- fagul este specie autohtonă, cea mai mult utilizată – cu pondere de 31% din totalul lemnului rotund recoltat în 2022. Deșeurile rezultate din prelucrare sunt însemnate;
- floarea soarelui este cultura agricolă cultivată pe o suprafață de 1082 mii ha. al suprafeței agricole cultivate în România;
- laricele este una din speciile rășinoase numită cu importanță mare pentru economia națională, datorită calităților superioare, rapidității de creștere și marii productivități;
- combinarea dintre larice și coji de floarea soarelui a avut ca scop analiza faptului că laricele conține 20-22% rășină și am dorit să studiez dacă aceasta poate ajuta la o compactare mai bună;
- stejarul este o specie autohtonă cu valoare economică și financiară mare, fiind considerat important a se utiliza toate resturile rezultate în urma prelucrării;
- Paulownia este unul dintre arborii energetici cu cea mai rapidă creștere, a cărei cultură a luat un avânt deosebit în ultimii ani inclusiv în România, datorită caracteristicilor, proprietăților sale și interesului pentru includerea în circuitul economic, am considerat că este importantă includerea acesteia în cadrul cercetării;
- Deoarece cartonul este fabricat din celuloză, care este o fibră lemnoasă, iar în afara ratei de reciclare rămân circa 30% anual la nivelul Uniunii Europene, am considerat benefică utilizarea acestuia în compoziția peleților.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

CAPITOLUL 4. CERCETARE EXPERIMENTALĂ

4.1. Rezultate referitoare la utilizarea cojilor semințelor de floarea soarelui și a rumegușului de larice în brichete

Realizarea comparației dintre larice și cojile semințelor de floarea soarelui a avut scopul de a identifica diferențelor de densitate, pentru ca ulterior, să poată fi realizată o comparație a influenței acestora asupra proprietăților brichetelor. De asemenea, utilizarea rămășițelor de larice a avut scop analiza influenței conținutului de rășină asupra proprietăților brichetelor.

Cercetarea a avut drept scop să se realizeze brichete de bună calitate din cojile semințelor de floarea soarelui (*Helianthus annuus*). Pentru compararea calității acestora, în realizarea de brichete s-a utilizat și rumegușul de larice. În ceea ce privește caracteristicile rumegușului de larice, densitatea în vrac a acestuia a fost de $118,5 \text{ kg/m}^3$.

Dimensiunile medii ale celor 30 epruvete de brichete realizate din rumeguș de larice au fost: diametrul de $40,8 \pm 0,1 \text{ mm}$ și lungimea de $30,3 \pm 5,3 \text{ mm}$. Gradul de expandare a diametrului brichetei după presare de numai 2%, arată compactarea foarte bună a rumegușului de larice. Densitatea medie a acestor brichete a fost de $102,4 \pm 147,3 \text{ kg/m}^3$.

Rezistența la spargere a brichetelor de larice a fost de $2,04 \pm 0,2 \text{ N/mm}^2$, comparabilă cu cea găsită și de alte cercetări în domeniu (Spîrchez ș.a2019). Puterea calorifică a brichetelor din rumeguș de larice a fost de 19375 kJ/kg și 18906 kJ/kg . Conținutul de cenușă a brichetelor din rumeguș de larice fost de 0,4%.

În ceea ce privește cojile semințelor de floarea soarelui, acestea au avut o densitate în vrac, de $207 \pm 19 \text{ kg/m}^3$ în stare brută și de $301 \pm 26 \text{ kg/m}^3$ în stare măcinată. Dimensiunile brichetelor: diametrul mediu $40,8 \pm 0,5 \text{ mm}$ și lungimea de $44 \pm 5 \text{ mm}$. Gradul de revenire al brichetelor după ieșirea din presa de brichetat a fost de 2%.

Densitatea efectivă a brichetelor obținute direct din cojile nemăcinate a fost de $680 \pm 7,3 \text{ kg/m}^3$, iar cea a brichetelor obținute din coji măcinate a fost de $854 \pm 73,7 \text{ kg/m}^3$. Rezistența la spargere a brichetelor a fost de $0,51 \text{ N/mm}^2$ la cele obținute din coji mari de semințe și de $0,09 \text{ N/mm}^2$ la cele obținute din coji măcinate.

Deoarece s-a observat o diferență mare între rezistențele celor două tipuri de brichete, s-a realizat experimental și amestec de rumeguș și coji de semințe de floarea soarelui, în diferite procente,

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

respectiv 25, 50, și 75%. Rezultatele au fost neconcludente. De aici se poate trage concluzia că amestecul cojilor de semințe de floarea soarelui și rumegușul de larice este incompatibil și că trebuie găsite alte soluții de îmbunătățire a rezistențelor brichetelor acestora.

Pentru a observa influența preseii de brichetat asupra proprietăților fizico - mecanice ale brichetelor obținute din cojile semințelor de floarea soarelui au fost verificate brichete realizate pe o presă industrială cu șurub, pentru care s-a înregistrat o densitate medie de $921,8 \pm 27,6 \text{ kg/m}^3$ și o rezistență medie de $0,46 \pm 0,07 \text{ N/mm}^2$.

Se observă că, deși densitatea brichetelor a crescut foarte mult, de la 680 kg/m^3 pe presa hidraulică la $921,8 \text{ kg/m}^3$ pe presa cu șurub elicoidal, rezistența la spargere prin compresiune a scăzut de la $0,51 \text{ N/mm}^2$ la $0,46 \text{ N/mm}^2$.

Puterea calorifică a brichetelor realizate din coji de semințe de floarea soarelui a înregistrat valoarea de 19265 kJ/kg , în timp ce pentru puterea calorifică inferioară valoarea medie obținută a fost de 18655 kJ/kg .

Conținutul de cenușă al cojilor semințelor de floarea soarelui a fost de 30,72% pentru cenușa neagră și de 2,34% pentru cenușa calcinată, conținutul de substanțe volatile a fost de 73,2%, iar carbonul activ de 24,4%.

Ca o concluzie generală a cercetării se poate afirma că rumegușul de larice este bine compresibil și din acesta se obțin brichete cu bune proprietăți mecanice, iar cojile semințelor de floarea soarelui au rezistențe mai slabe, chiar dacă densitățile sunt acceptabile.

4.2. Rezultate referitoare la brichetele și peleții obținuți din două tipuri de rumeguș de paulownia

Cercetarea și-a propus ca scop principal găsirea condițiilor optime pentru obținerea de brichete și peleți de bună calitate din rumeguș mare, de la debitarea cherestei de paulownia. Deși nu are o extindere mare la nivel mondial, culturile de paulownia devin din ce în ce mai atractive datorită atingerii maturității lemnului până la 10 ani, adică de circa 10 ori mai rapide decât speciile uzuale de rășinoase. Două tipuri de rumeguș de gater au fost folosite, respectiv rumeguș de *Paulownia tomentosa* și *Paulownia elongata*.

Valorile medii ale densității în vrac a celor două tipuri de rumeguș, respectiv $146,5 \text{ kg/m}^3$ în cazul *Paulownia Tomentosa* și $126,2 \text{ kg/m}^3$ în cazul *Paulownia elongata*.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Densitatea peleților de 1268 kg/m^3 a fost mai mare decât cea a brichetelor de 790 kg/m^3 în cazul *Paulownia elongata* și de 1266 kg/m^3 pentru peleți și respectiv 934 kg/m^3 pentru brichete în cazul *Paulownia tomentosa*, acest lucru fiind determinat de principiul de obținere a acestora, respectiv hidraulic în cazul brichetelor și extrudare mecanică prin roluire la peleți.

Puterea calorică rezultată nu a depins de tipul produsului comprimat sau de tipul speciei analizate, valorile obținute fiind în limita intervalului de încredere. În acest sens Icka ș.a.(2016) a găsit o putere calorică de 15-18 MJ/kg.

Conținutul de cenușă neagră și calcinată a fost semnificativ diferit pentru cele două specii de paulownia luate în considerație, fiind mai mare pentru *Paulownia elongata* față de *Paulownia tomentosa*. S-a identificat o creștere cu 14,5 % a cantității de cenușă neagră și o creștere cu 72,6 % pentru cantitatea de cenușă calcinată.

Rezistența de spargere prin compresiune a brichetelor de *Paulownia elongata* a fost în medie de $0,5 \text{ N/mm}^2$, iar a celor de *Paulownia tomentosa* a fost în medie de $1,7 \text{ N/mm}^2$. Diferențierile în rezistența la spargere sunt legate în special de densitatea acestor brichete, respectiv brichetele de *Paulownia tomentosa* au avut o densitate (934 kg/m^3), mai mare cu 18,2 % decât a brichetelor de *Paulownia elongata*, dar și a diferențelor de densitate în vrac a rumegușului.

Rezistența la forfecare a peleților, deși nu este standardizată, este prezentă în literatura de specialitate ca metodologie și rezultate (Pliștil ș.a 2005, Spîrchez și Lunguleasa2016). Valorile obținute în lucrare sunt mai mari pentru *Paulownia tomentosa* ($2,14 \text{ N/mm}^2$) față de *Paulownia elongata*, creșterea fiind de 43 %.

O primă concluzie a acestei cercetări arată că, cele două tipuri de specii lemnoase (*Paulownia tomentosa* și *Paulownia Elongata*) din studiu sunt specii moi, cu o creștere foarte rapidă, ale căror biomasă lemnoasă este de luat în considerație pentru producerea de brichete sau peleți.

4.3. Rezultate referitoare la utilizarea paielor de grâu pentru obținerea de brichete

Comparația între brichetele de paie de grâu T1 (fără goluri cu diametrul de 59 mm) și cele de fag a fost considerată necesară, deoarece deși diferite ca specie, având aceeași umiditate și densitatea efectivă apropiată, au rezultat diferențe între proprietățile mecanice, calorifice și conținutul de cenușă.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Cantitatea uriașă de biomasă vegetală rămasă în urma recoltării grâului a făcut posibilă apariția de tehnologii noi care să valorifice superior această resursă lignocelulozică. Cercetarea prezentă și-a propus evaluarea proprietăților fizico - mecanice și calorifice a două tipuri de brichete realizate din paie de grâu.

Trei tipuri de brichete din paie de grâu, respectiv un tip cu goluri și două fără goluri, au fost preluate de la o firmă de producție cu utilizarea unor instalații de brichetare cu mecanism bielă-manivelă.

Toate cele trei tipuri de brichete au fost înfoliate, cu lungimea de 350 mm, cele fără goluri având două diametre medii diferite, de 59 și 73 mm, iar cele cu goluri cu diametrul exterior de 71 mm și cel interior de 26 mm.

Modelarea făcută în această zonă a dorit să găsească înălțimea maximă a stivei de pe un palet, de așa natură încât să se nu se spargă brichetele de la baza stivei, bazându-se pe rezistența efectivă medie obținută în cadrul cercetării.

Numărul maxim de rânduri dintr-o stivă a depins în cea mai mare măsură de rezistența medie la compresiune, din acest punct de vedere epruvetele fără goluri T1 având numărul maxim de rânduri de 23 bucăți iar grupul de epruvete T3 au prezentat cel mai mic număr de rânduri de 17 bucăți.

Umiditatea brichetelor în momentul testelor de densitate a fost de 10%. Densitățile brichetelor fără gol au fost diferențiate, respectiv de 1237 kg/m³ pentru brichetele cu diametrul de 59 mm și de 1169 kg/m³ pentru cele cu diametrul de 73 mm.

Rezistența la despicare a avut valori mici, de 0,17-0,39 N/mm², cu 81-85% mai mici decât rezistența la compresiune, pentru toate cele trei tipuri de brichete analizate.

Pe baza datelor obținute cu ajutorul calorimetrului, s-au obținut valorile medii ale puterii calorifice superioare de 17260 kJ/kg și inferioare de 17010 kJ/kg, pentru o umiditate medie a brichetelor de 4%. Utilizând câteva elemente ale geometriei liniare, s-au găsit cele două relații ale puterii calorifice superioare și inferioare ($PCI=17690-170 \cdot Mc$; $PCS=17690-107,5 \cdot Mc$).

Se observă că, odată cu creșterea umidității brichetelor puterile calorifice vor scădea.

Așa cum au arătat alți autori, Petrovici și Popa(1997), paiele de grâu au un conținut de carbon mai mic decât al lemnului, respectiv de 47,9%. Acest lucru se răsfrânge într-o putere calorifică mai mică.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Brichetele fără goluri T1 au avut o densitate calorifică de 21,882 MJ/m³, brichetele fără goluri T2 au avut o densitate calorifică de 20,679 MJ/m³, iar brichetele cu goluri T3 au avut o densitate calorifică de 20,856 MJ/m³.

Conținutul de cenușă calcinată a brichetelor din paie a fost în medie de 9,1%.

Intervalul de variație a valorilor conținutului de cenușă calcinată a paielor de grâu de (8,89-9,33)%.

S-a găsit în acest fel ecuația liniară de variație acelor doi parametri ($PC=19,164 - 0,49 \cdot Ac$), pe baza căreia se poate aproxima puterea calorifică a diverselor specii vegetale, în funcție de conținutul de cenușă.

O primă concluzie, privind rezultatele obținute se referă la valorile generale ale proprietăților brichetelor din paie de grâu. Brichetele experimentale obținute din paie de grâu sunt realizate cu instalații puternice, cu obținerea unei densități mari.

O a doua concluzie referitoare la cele 3 tipuri de brichetele din paie de grâu este aceea că au caracteristici aproape similare, cum ar fi conținutul de cenușă mare (8,8-9,3%) și puterea calorifică bună (17,4-17,8 MJ/kg). Conținutul de cenușă mare este datorat cantităților mari de compuși secundari de tip oxalați și carbonați, respectiv de 6-8% față de 1-3 % la lemnul masiv sau 2,4% similar cu specii de lemn european (Spîrchez ș.a.,2019).

4.4. Rezultate referitoare la torefierea peleților de fag

Alegerea fagului pentru comparația peleților torefiați/ netorefiați a fost strâns legată de faptul că rămășițele lemnul de fag sunt abundente, fiind cea mai răspândită specie lemnoasă din România.

Scopul acestei cercetări a fost de a face o comparație între peleții torefiați și cei clasici, în vederea găsirii soluției optime de tratare, dar și de utilizare judicioasă și eficientă a acestora. Au fost torefiați peleții de fag preluați de pe piață, la temperaturi de 160, 180, 200 și 220°C, cu perioade de 1, 2 și 3 ore. După tratamentul termic, peleții au fost investigați din punctul de vedere al pierderii de masă, al puterii calorifice, al conținutului de cenușă și al rezistenței la forfecare, comparativ cu peleții netorefiați.

Se observă din Figura 4.28 că, indiferent de tipul peleților și temperatura de tratare termică, odată cu creșterea duratei de tratare va crește pierderea de masă, uzual după o variație liniară.

Contribuţii la realizarea, testarea şi evaluarea calitativă a brichetelor şi peleţilor din biomasă lemnoasă şi vegetală

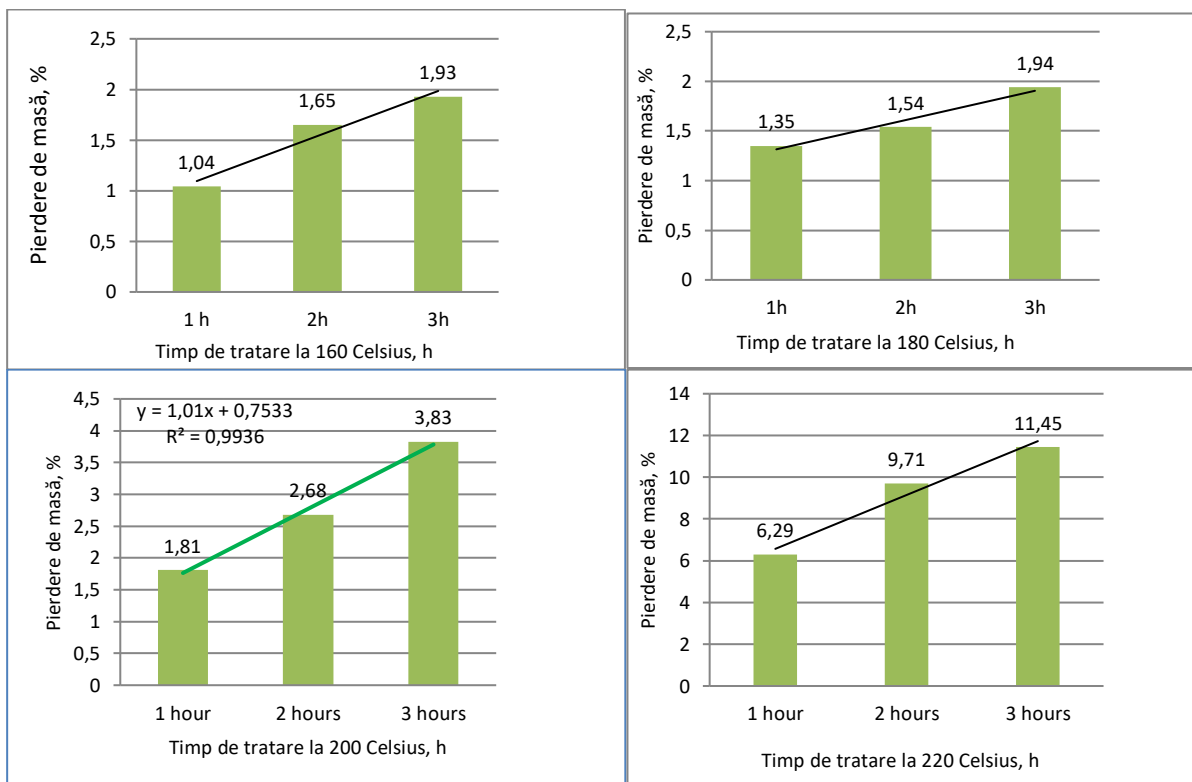
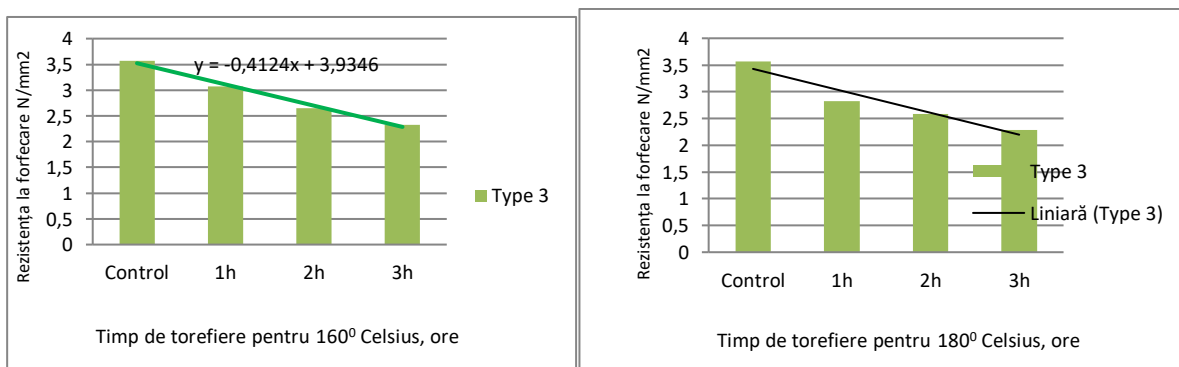


Figura 4.28. Influenţa timpului de tratare asupra pierderii masei în perioada tratării termice

Rezistenţa la forfecare a peleţilor torefiaţi a scăzut odată cu creşterea gradului de torefiere (creşterea temperaturii şi/sau a timpului de torefiere), aşa cum ce observă în Figura 4.29.



Contribuţii la realizarea, testarea şi evaluarea calitativă a brichetelor şi peleţilor din biomasă lemnoasă şi vegetală

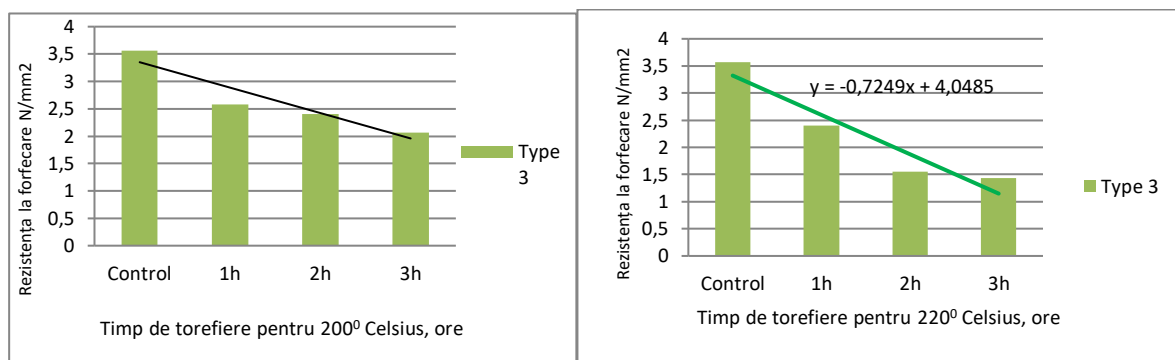


Figura 4.29. Rezistenţa de forfecare a peleţilor torefiaţi

Puterea calorică inferioară a peleţilor a crescut ușor de la probele control la cele tratate termic cu regim maxim.

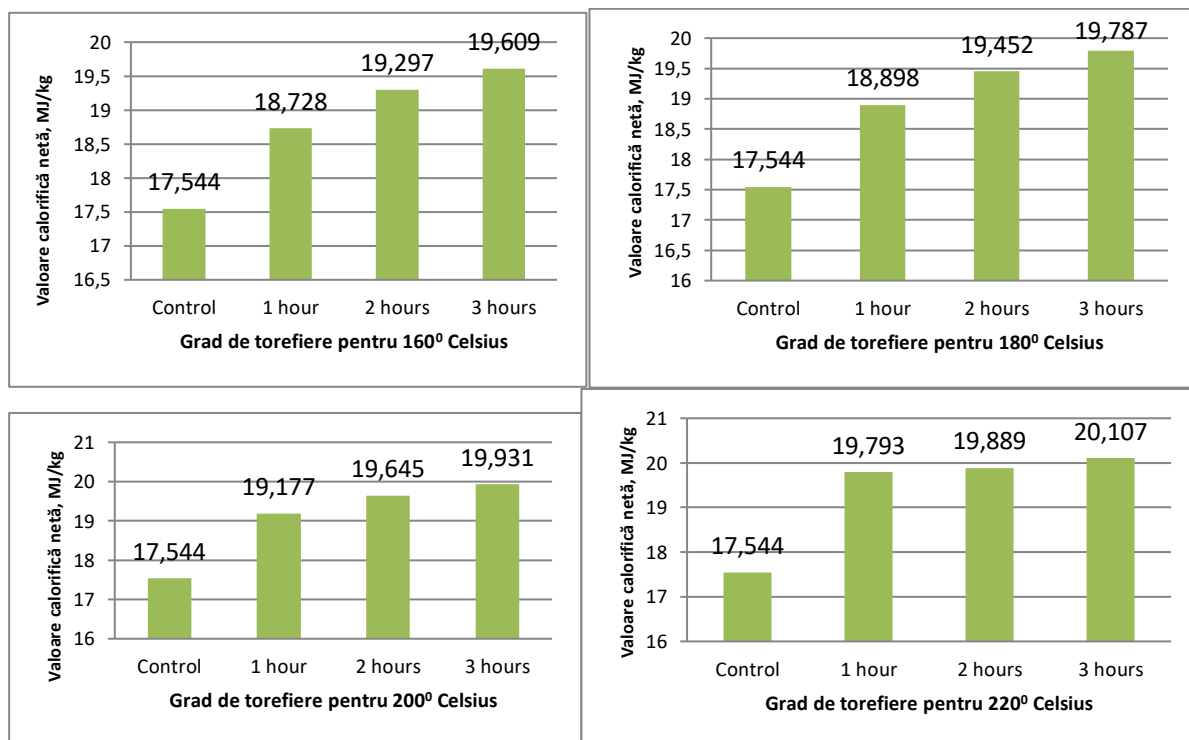


Figura 4.30. Influenţa gradului de torefiere asupra puterii calorifice inferioare a peleţilor

Densitatea calorică va creşte în prima parte până la punctul de torefiere 180/3, după care scade spre final după curba lui Gauss.

Prezenta cercetare vine să clarifice câteva aspecte privind unele caracteristici superioare ale peleţilor torefiaţi faţă de peleţii netorefiaţi, în special puterea calorică, pentru care se realizează o creştere de până la 22% în cazul tipului de peleţi analizaţi. Se scoate în evidenţă şi una dintre influenţele negative

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

ale procesului de torefiere, respectiv reducerea rezistenței la forfecare a peleților torefiați, obținându-se valori de până la 48%.

4.5. Rezultate referitoare la obținerea peleților din rumegușul de eucalipt (Eucalyptus cinerea)

Eucaliptul (*Eucalyptus cinerea*) este un gen de plantă din familia Myrtaceae, care se prezintă sub formă de arbori sau arbuști cu frunza verde tot timpul anului. Acesta crește în zona Africii, fiind considerat o specie exotică pentru România, având o culoare roșiatică și un lemn foarte rezistent.

Realizarea comparației dintre peleții de eucalipt și peleții din specii autohtone, a avut scopul de a observa care sunt modificările proprietăților peleților obținuți dintre o specie exotică și cei din specii autohtone, unele firme utilizând rămășițele acestei specii. De asemenea lipsa unor cercetări consistente privind realizarea de produse compacte de combustie din aceasta specie, a fost un motiv important de studiu.

Toate caracteristicile fizico-calorifice testate ale peleților realizați din rumeguș de circular din eucalipt au întrunit condițiile limitative ale standardului, atât în ceea ce privește densitatea, puterea calorifică inferioară și conținutul de cenușă.

Dacă se face comparația peleților de eucalipt cu alte materiale combustibile se observă că peleții din eucalipt au o putere calorifică foarte bună, valoarea acesteia de 20 863 kJ/kg fiind printre cele mai mari cunoscute alături de cea a salciei (Grîu, T., Lunguleasa A., 2013).

4.6. Rezultate referitoare la obținerea peleților din carton și amestec 1:1 carton cu stejar

Peleții din carton și amestec de carton-stejar cu diametrul de 6 mm, au fost obținuți pe o mașină de peletizat. Scopul cercetării a fost de a observa care sunt caracteristicile peleților realizați din cartoane și dacă se îmbunătățesc semnificativ după ce se adaugă în compoziție rumeguș și talaș de stejar.

Toate caracteristicile fizico-calorifice ale peleților sunt superioare limitelor impuse de standardul austriac, indiferent dacă resturile de carton au fost utilizate separat în obținerea peleților sau în combinație cu rumegușul de stejar.

De asemenea, introducerea rumegușului de stejar în compoziția peleților a fost benefică datorită depășirii cu mai mult de 55% a densității prevăzute de standardul luat în considerație. Principala

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

concluzie a acestei cercetări este aceea că rămășițele de carton se pot utiliza separat sau în combinație cu biomasa altor specii lemnoase pentru realizarea de peleți cu proprietăți fizico-calorifice superioare. S-a observat, de asemenea, o compatibilitate bună între deșeurile de cartoane și rumegușul de stejar.

4.7. Rezultate referitoare la obținerea brichetelor și peleților din salcie energetică (*Salix viminalis*)

Salcia energetică (*Salix viminalis*) este un gen de plantă din familia Salicaceae, cu creștere rapidă (cca 3 - 3,5 cm/zi).

Biomasa obținută la recoltarea salciei energetice se poate stoca sub forma brichetelor și a peleților (Grîu T., ș.a.2014). Mergând mai departe alți autori precum Chen ș.a.2012, au îmbunătățit performanțele energetice ale biomasei prin torefiere.

S-au obținut densitățile în vrac de 480,2 kg/m³ pentru stejar și de 209,9 kg/m³ și coeficient de afânare a materialului de 1,41 la stejar și de 1,97 la salcia energetică.

Densitatea brichetelor a diferit între cele obținute din salcie energetică (766,7 kg/m³) și stejar (877,8 kg/m³). Aceste diferențe s-au datorat diferențelor de densitate a celor două specii lemnoase.

În ceea ce privește densitatea în vrac a rumegușului, s-au obținut valori de 480,2 kg/m³ la materialul mărunț de stejar și de 289,9 kg/m³ la salcia energetică.

Principalul parametru al torefierii peleților a fost pierderea de masă, care a crescut semnificativ cu creșterea temperaturii. Așadar s-au obținut valori maxime ale pierderilor de masă pentru temperaturi de 220 °C, între 16,78-23,47% pentru salcia energetică și între 20,77-27,47% pentru stejar.

Se observă că stejarul se torefiază mult mai bine decât salcia energetică, pierderile fiind ceva mai mari, acest lucru depinzând de compoziția chimică a celor două specii analizate.

Se observă că salcia energetică are o putere calorifică mai mare ca stejarul, indiferent de tratamentul aplicat, creșterea salciei energetice față de puterea stejarului pentru tratamentul maxim aplicat fiind de 141 kJ/kg sau de numai 0,6%. În urma procesului de torefiere puterea calorifică a salciei energetice a crescut cu 3,5%, iar a stejarului a crescut cu 3,4%.

Rezistența la compresiune a celor două tipuri de brichete a fost mult diferită una de alta, brichetele de salcie având o rezistență la compresiune de 1,02 N/mm², iar cele de stejar o rezistență la compresiune

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

de numai 0,33 N/mm². Această diferență reliefează faptul că brichetele de stejar se vor sparge mult mai repede în timpul depozitării în saci supraetajați.

Despicarea perpendiculară pe lungimea brichetei a avut valori mici, de circa 0,08 N/mm² în cazul stejarului și de 0,05 N/mm² în cazul salciei energetice.

În ceea ce privește despicarea brichetelor pe direcția paralelă cu lungimea epruvetei, au fost obținute valori medii mici, respectiv de 1 N/mm² în cazul brichetelor de stejar și circa 0,85 N/mm² în cazul salciei energetice.

În ceea ce privește forfecarea peleților, valorile medii ale forfecării peleților au fost de 0,74 N/mm² pentru peleții de salcie și de 0,86 N/mm² pentru peleții de stejar.

În ceea ce privește rezultatele referitoare la abraziunea brichetelor, brichetele de salcie au avut o abraziune de 1,92%, iar brichetele de stejar au avut o abraziune de 4,22%.

Cenușa calcinată a păstrat valorile speciilor lemnoase, respectiv s-au încadrat sub 1%. Efectiv, conținutul de cenușă calcinată a salciei energetice a fost cu 12 % mai mică decât cea a stejarului.

Ca o primă concluzie, salcia energetică are un comportament calorific bun, proprietățile calorifice ale acesteia fiind identice cu cele ale salciei albe (*Salix alba*), adică o putere calorifică dintre cele mai mari ale speciilor lemnoase. De asemenea, comparativ cu stejarul, salcia energetică are proprietăți de combustie superioare.

4.8. Concluzii cu privire la rezultatele cercetărilor

Brichetele obținute din cojile semințelor de floarea soarelui sunt eficiente din punct de vedere energetic, având puteri calorifice apropiate brichetelor din rumeguș de larice, devenind o alternativă viabilă brichetelor lemnoase.

Datorită proprietăților pe care le au, *Paulownia tomentosa* și *Paulownia elongata* pot fi luate în considerare pentru obținerea brichetelor și peleților, mulțumită caracteristicilor care le permit producerea produselor finite care se încadrează în limitele standardelor de specialitate în privința compresibilității și compactibilității.

Valorile proprietăților brichetelor din paie de grâu sunt aproape similare cu ale brichetelor lemnoase.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Torefierea peleților de fag a dus la clarificarea aspectelor pozitive legate de caracteristicile superioare ale acestor produse, mai precis dovedirea creșterii puterii calorifice de la 17,544 la 20,107 MJ/kg.

Influența negativă a procesului de torefiere se concretizează în reducerea rezistenței la forfecare cu până la 48%, la temperatura de 220°C timp de 3 ore.

Prin compararea peleților obținuți din eucalipt cu cei obținuți din alte materiale combustibile s-a observat că și peleții de eucalipt au o putere calorifică foarte bună, de 20863 kJ/kg.

Pentru obținerea peleților cu proprietăți fizico-calorifice superioare, resturile de carton pot fi utilizate în rețete cu o compoziție unică, doar carton.

Salcia energetică are o putere calorifică mai mare decât a stejarului de circa 6%, indiferent de tratamentul aplicat. În urma procesului de torefiere, puterea calorifică a salciei energetice a crescut cu 3,5%, iar în cazul stejarului creșterea a fost de 3,4%. Se evidențiază faptul că prin torefiere are loc o anumită pierdere de masă. Brichetele de stejar se vor sparge mai repede în timpul depozitării în saci suprapuși. Rezistența la compresiune a celor două tipuri de brichete este consistent diferită una de cealaltă, în cazul brichetelor de salcie înregistrându-se o rezistență la compresiune de 1,02N/mm², iar în cazul brichetelor de stejar rezistența la compresiune de 0,33N/mm². În ceea ce privește rezistența la despicare perpendiculară pe lungimea brichetei, valorile obținute în cazul brichetelor de salcie au fost puțin mai mici decât în cazul brichetelor de stejar (0,05 N/mm² față de 0,08 N/mm²), iar în cazul despicerii paralel cu lungimea valorile înregistrate sunt de 0,85 N/mm² la salcie față de 1 N/mm² la stejar. Diferența dintre densitățile celor 2 specii își pune amprenta și la abraziunea brichetelor obținute 1,92% la salcie și 4,22% la stejar.

Salcia energetică are un comportament calorific bun, proprietățile calorifice fiind identice cu ale salciei albe (*Salix alba*).

Contribuțiile originale ale lucrării rezultate în urma studiului experimental se referă la testele privind abraziunea brichetelor, rezistența la compresiune și despicare, precum și forfecarea peleților.

Alte contribuții originale se referă la modelarea privind influența conținutului de carbon, a conținutului de cenușă și a conținutului de lignină asupra puterii calorifice a brichetelor și peleților, dar și a utilizării unor biomase atipice, precum cea a speciei de eucalipt sau paulownia.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

CAPITOLUL 5. CALITATEA BRICHETELOR ȘI A PELEȚILOR LIGNOCELULOZICI

Calitatea brichetelor și a peleților este foarte greu de definit, iar calitologii din întreaga lume au avut păreri diferite, de cele mai multe ori contradictorii. Cea mai veche definiție este aceea a calitologului de origine română Juran, care spune că "un produs este de calitate dacă este corespunzător pentru utilizare".

5.1. Cercetări teoretice

Caracteristicile calitative principale, puse în evidență de standardele europene în domeniu sunt: dimensiunile, densitatea în vrac, densitatea efectivă, puterea calorică, proprietățile mecanice, durabilitatea mecanică sau abraziunea și conținutul de cenușă.

5.1.1. Aprecierea calității brichetelor și peleților pe baza poziției relative față de valoarea limitativă a caracteristicilor principale

Această metodă măsoară calitatea brichetelor și peleților raportând valoarea reală a unei caracteristici la valoarea limitativă exprimată de standardul în domeniu. Fundamentarea acestei metode se bazează pe extragerea caracteristicilor principale ale brichetelor și a peleților, găsirea valorilor limitative ale fiecăruia dintre acestea și efectuarea unei comparații procentuale între cele două elemente.

5.1.2. Aprecierea statistică a calității loturilor de brichete și peleți pe baza caracteristicilor măsurabile¹

Verificarea statistică a loturilor de brichete și peleți este o verificare prin eșantionare, respectiv se verifică o cantitate redusă extrasă aleator din lot, iar rezultatul obținut pe eșantion se extrapolează la nivelul întregului lot. Avantajele principale ale controlului statistic sunt date de verificarea redusă a produselor, dar mai ales prin caracterul drastic al respingerii unui lot de produse, când managementul la vârf va trebui să ia măsuri urgente de remediere a producției care a generat aceste produse cu defecte.

¹ A. Lunguleasa (2013) Tehnologii secvențiale de realizare și testare a compozitelor lemnoase, Note de curs

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

O caracteristică măsurabilă este o caracteristică ce prezintă unitate de măsură. Verificarea calității lotului de brichete și peleți se face din punctul de vedere al fiecărei caracteristici măsurabile analizate, motiv pentru care trebuie efectuată o analiză de identificare a celei sau a celor mai importante caracteristici de calitate ale lotului de analiză.

Planul de verificare a calității produselor pentru caracteristici măsurabile (n și k) se determină după o metodologie care cuprinde, după cum urmează:

- alegerea elementelor pe baza cărora se face intrarea în standardul de calitate: lotul, nivelul de verificare, nivelul de calitate acceptabilă, eșantionarea ca tipologie și tipul metodei de verificare;
- extracția din standardul de calitate ale planului de verificare a calității, respectiv alegerea eșantionului n și k , care reprezintă constanta de acceptare.

Stabilirea unei anumite metode de verificare a calității (metoda s , metoda R , și metoda σ) se realizează pe baza mai multor considerente, cum ar fi cele economice, și a consistenței informației obținute.

Stabilirea nivelului de verificare se realizează funcție de valoarea nivelului de consistență a informației, în acest sens pentru caracteristicile de calitate măsurabile fiind trei valori uzuale notate precum I, II, III și alte două valori ale nivelurilor, respectiv specialele notate precum S_3 și S_4 .

5.1.3. Metoda s pentru evaluarea statistică a calității loturilor de produse

Găsirea și funcționarea unui plan al verificării calității produselor cu ajutorul metodei s , presupune câteva operații esențiale, dintre care amintim:

- cu ajutorul lui N_v și N se poate determina o anume literă de cod, notată cu LC;
- prin intermediul literei de cod și a valorii nivelului de calitate acceptabil se poate alege n și k , adică nivelul eșantionului și cel al constantei de acceptare;
- se alege aleator numărul de produse ale eșantionului din întregul lot de produse;
- se determină valoarea lui k din standard, respectiv se alege caracteristica de calitate;
- se calculează cei doi parametri statistici ai eșantionului, anume media aritmetică și abaterea standard a valorilor măsurate ale eșantionului;
- pe baza valorilor determinate mai sus, respectiv a mediei, a abaterii standard și a parametrului calității notat cu litera q se determina calitatea loturilor de produse, respectiv dacă loturile verificate sunt acceptate sau respinse.

Decizia de acceptare sau de respingere a loturilor de produse verificate reprezintă comparația dintre parametrul q al calității produselor și k -constanta de acceptare. Așa numitele limite duble separate

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

de toleranță sunt definite de existența simultană a două limite, respectiv cea superioară și cea inferioară, ambele având un nivel de calitate acceptabil separat pentru fiecare limită. Limitele separate de toleranță se referă la limitele individualizate de toleranță, ori cea superioară ori cea inferioară.

5.1.4. Metoda R pentru evaluarea calității loturilor de produse

Această metodă a calității loturilor de produse, permite să se ia o decizie de acceptare/respingere a unui lot de produse verificate pe baza estimatorului R_m , care este numit amplitudinea medie a valorilor. Pentru aceasta, eșantionul extras din cadrul lotului se împarte în sub-eșantioane de câte 5 elemente, la fiecare din aceste sub-eșantioane se determină amplitudinea proprie, ca diferență între valoarea maximă și cea minimă.

Amplitudinea valorilor unui subeșantion notat cu R este o diferență între cea mai mare valoare și cea mai mică valoare a subeșantionului. Amplitudinea medie se determină ca medie aritmetică a amplitudinilor calculate pentru fiecare sub-eșantion, și reprezintă parametrul principal care se ia în considerație în aprecierea acceptării sau respingerii loturilor în cadrul tuturor subgrupelor din șirul de valori analizat.

5.1.5. Verificarea calității loturilor de brichete și peleți cu calibre în limite strânse prin metoda Pre-control

Această metodă conduce un proces operațional situat în limitele specificației și identifică modificările care ar putea deregla procesul operațional și face posibilă apariția unor piese în afara specificațiilor.

Metoda Pre-Control are la bază ipoteza unei mai rele condiții, pe baza căreia se poate accepta sau respinge un lot de produse ale unui flux de fabricație, care ar produce produse de calitate. În acest fel, se pot identifica condițiile schimbării fluxului de fabricație respectiv al schimbării calității produselor.

Pe baza considerațiilor teoretice expuse mai sus, s-a stabilit un ansamblu coerent de reguli, care rezumă tehnica de aplicare a metodei Pre-Control:

- se realizează diagrama statistică de distribuție, cu evidențierea limitelor extreme de toleranță;
- se împarte banda de toleranță, prin trasarea celor două linii PC la $\frac{1}{4}$ și $\frac{3}{4}$ din intervalul de toleranță (PC1 și PC2);
- se începe activitatea de producție în cadrul procesului operațional;

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

- se verifică prima piesă, iar dacă valoarea caracteristicii se află în afara limitelor specificației, se reglează procesul operațional;
- dacă o piesă din trei se află în limita specificației, dar în afara unei linii PC, se verifică piesa următoare;
- dacă și a doua piesă se află în afara aceleiași linii PC, se corectează procesul tehnologic prin centrarea toleranțelor, reglarea utilajelor etc;
- dacă a doua piesă se află în interiorul limitelor PC, procesul se desfășoară în continuare, intervenindu-se pentru corecții numai în cazul în care două piese din trei se află în afara unei linii PC determinate;
- dacă din două piese succesive, una se află în afara unei linii PC, iar următoarea piesă în afara celeilalte linii PC, atunci trebuie să se procedeze imediat la reducerea intervalului de toleranță prin metode tehnologice.

Metoda Pre-Control evidențiază schimbările care au loc în tendința și variația unui proces operațional pe baza verificării a numai trei piese. Acest procedeu este în măsură să garanteze un procent mai mic de defecte, dacă corecțiile se efectuează ori de câte ori este nevoie.

5.2. Cercetări experimentale

5.2.1. Aprecierea calității peleților din rumeguș de *Paulownia elongata* și *Paulownia tomentosa*, pe baza poziției relative față de valoarea limitativă a caracteristicilor principale

Se aleg două loturi de peleți, din rumeguș de *Paulownia tomentosa* și *Paulownia elongata*, care se vor analiza din punctul de vedere al calității loturilor de produse. S-a extras aleator din fiecare lot un eșantion de 30 bucăți de peleți notați cu T1 și T2.

Tabelul 5.2. Aprecierea calității peleților față de valorile limitative ale caracteristicilor analizate

Nr.	Caracteristica de calitate	Valoare limită ÖNORM M 7135 și EN 14961-2	Valoarea reală		Poziția relativă, %		Puncte valorice din 100	
			T1*	T2**	Tip 1	Tip 2	Tip 1	Tip 2
1.	Lungime medie pelet, mm	Max 5*D = 30	22	28	-26,6	-6,6	-26,6	-6,6
2.	Densitate în vrac, kg/m ³	Minim 300	326	325	+8,6	+8,3	+8,6	+8,3
3.	Densitate, kg/m ³	Minim 1120	1130	1330	+0,008	+18,5	+0,008	+18,5
4.	Putere calorică,	Minim 18	18,26	18,53	+1,44	+2,94	+1,44	+2,94

Contribuţii la realizarea, testarea şi evaluarea calitativă a brichetelor şi peleţilor din biomasă lemnoasă şi vegetală

	MJ/kg							
5.	Rezistenţa la forfecare, N/mm ²	Minim 1,2	1,30	2,23	+8,3	+85,8	+8,3	+85,8
6.	Conţinut de cenuşă, %	Maxim 0,8	0,82	0,81	+2,5	+1,25	+2,5	+1,25
Total	-	-	-	-	-	-	-5,75	+110,19

*T1: Peleţi paulownia elongata; **T2: Peleţi paulownia tomentosa

Analiza calităţii peleţilor se poate face în prima instanţă în funcţie de fiecare caracteristică în parte. Ținând cont de toate acestea putem spune că peleţii de tip 2 au o calitate tot așa de bună ca peleții de tip 1, neputându-se lua o decizie de comparație.

O altă metodă de apreciere este metoda de cumulare a punctajelor obținute pentru fiecare caracteristică de către fiecare tip de peleți. Prin crearea punctajului pentru fiecare caracteristică în parte și însumarea acestor puncte se va găsi o valoare superioară de 110,19 puncte pentru peleții de tip 2.

5.2.2. Aprecierea calităţii brichetelor lignocelulozice, din paie de grâu pe baza poziţiei relative față de valoarea limitativă a caracteristicilor principale

Se preiau două loturi de brichete din paie de grâu, sub forma a unor saci de polietilenă plini cu brichete, unele dintre ele fiind fără goluri (T1) și celelalte având goluri interioare (T2).

Tabelul 5.3. Aprecierea calităţii brichetelor din paie de grâu cu și fără goluri față de valorile caracteristicilor limitative ale standardului

Nr.	Caracteristica de calitate	Valoarea limită DIN 51731 (Germania)	Valoarea reală		Poziția relativă, %		Puncte valorice din 100	
			Tip T1*	Tip T2**	Tip 1	Tip 2	Tip 1	Tip 2
1.	Umiditatea, %	Maxim 12	10,4	10,1	-13,3	-15,8	-13,3	-15,8
2.	Densitatea unitară, g/cm ³	1-1,4	1,23	1,17	23	17	+23	+17
3.	Rezistența la compresiune, N/mm ²	Minim 1,4	2,1	1,1	50	-21,4	+50	-21,4
4.	Rezistența la despicarea, N/mm ²	Minim 0,25	0,22	0,39	-12	56	-12	+56
Total							+47,7	+35,8

T1*-brichete din paie de grâu, fără goluri; T2**=brichete din paie de grâu, cu goluri.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

O primă comparație care se efectuează este aceea referitoare la numărul caracteristicilor pozitive și negative atribuite fiecărui tip de brichete, respectiv câte caracteristici din total corespund condițiilor limitative ale standardului.

O a doua comparație se face privind analiza fiecărei caracteristici în parte pentru fiecare tip de brichete. Pe total caracteristici și la această analiză nu se poate distinge un tip de brichete mai bune calitativ.

O a treia comparație dată de această metodă este comparația dintre suma algebrică a punctajelor pentru fiecare tip de brichete. Din acest punct de vedere, punctajul mai mare al brichetelor de tip T1 face posibilă alegerea acestuia ca fiind lotul cu cea mai bună calitate.

5.2.3. Metoda s , cazul limitei inferioare de toleranță pentru peleții de salcie energetică

Această metodă se referă la folosirea abaterii standard s , aplicată pentru analiza densității peleților de salcie energetică (*Salix viminalis*), prin utilizarea celor două variante, respectiv metoda numerică și grafică. Pentru aceasta avem un lot de 1200 bucăți de peleți din salcie energetică, care se supune verificării statistice, în vederea acceptării sau respingerii acestuia. Conform standardelor de control statistic pentru caracteristici măsurabile în funcție de nivelul lotului 501-1200 și a nivelului de verificare uzual II se găsește litera J de indexare a planului de verificare. Prin adoptarea unui nivel de calitate acceptabil $AQL=4$ și verificare normală se găsesc cele două elemente ale planului de verificare: nivelul lotului $n=35$ buc și constanta de acceptare $k=1,39$. Așadar se extrage eșantionul de 35 peleți din lot și se verifică densitatea.

Tabelul 5.5. Procedeu numeric de decizie pentru aplicația corespunzătoare metodei s

Nr.	Date	Valori
1	Efectivul eșantionului (din standardele statistice)	35
2.	Media eșantionului (din calcul)	1148,1 kg/m ³
3.	Abaterea medie pătratică a eșantionului (din calcul), s	18,2 kg/m ³
4.	Limita de toleranță inferioară (din standarde de peleți)	1120 kg/m ³
5.	Constanta de acceptare (din standardul statistic), k	1,39
6.	Parametrul calității (din calcul, relația 5.4), q	1,54
7.	Decizia: $q=1,54 > k=1,39$. Lotul se acceptă.	

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

5.2.4. Metoda R, cazul limitei inferioare de toleranță, densitatea peleților de salcie energetică

Pentru utilizarea metodei R (amplitudinea valorilor), ca și în cazul anterior, este considerată cazul limitei inferioare de toleranță, la o valoare a densității de 1120 kg/m³. Se consideră un lot de 1200 bucăți peleți din salcie energetică (*Salix viminalis*) din cazul aplicației anterioare, care se va analiza cu metoda amplitudinii medii R.

La litera de cod I se găsește un eșantion de 30 peleți, iar la un nivel de calitate acceptabil AQL=2,5 se găsește constanta de acceptare k=0,654 .

Se împart cele 30 valori ale eșantionului în 6 subgrupe de 5 peleți. Se determină apoi amplitudinea fiecărei subgrupe, ca diferență între valoarea maximă și minimă, după care se face media acestor amplitudini.

Tabelul 5.7. Datele procedurii numerice ale metodei R

Nr.	Specificații	Valori
1.	Efectivul eșantionului	30
2.	Numărul subgrupelor	7
3.	Media eșantionului	1148
4.	Amplitudinea medie a eșantionului	37,1
5.	Limita de toleranță inferioară	1120
6.	Parametrul calității, q	$q = \frac{(\bar{x}-L_i)}{\bar{R}} = 28/37,1=0,75$
7.	Constanta de acceptare, k	0,654
Decizie	q= 0,75 > k=0,654. Lotul se acceptă	

5.2.5. Cazul limitei superioare de toleranță, metoda s, conținutul de cenușă al brichetelor obținute din rumeguș de larice

Pentru aceasta se consideră că avem un lot de 600 brichete de larice, care se vor analiza din punctul de vedere al caracteristicii măsurabile, anume conținutul de cenușă.

Tabelul 5.9. Procedura numerică de decizie pentru metoda s și conținutul de cenușă calcinată ale brichetelor de larice

Nr.	Date generale	Valori
1	Efectivul eșantionului (din standardele statistice)	35
2	Media aritmetică a eșantionului (din calcul)	0,63
3	Abaterea medie pătratică a eșantionului (din calcule)	0,04

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

4	Limita de toleranță superioară (din standarde de peleți), Ls	0,70
5	Constanta de acceptare (din standardul statistic), k	1,39
6	Parametrul calității (din calcul, relația 5.1), $q = \frac{(Ls-m)}{s}$	1,75
7	Decizia: $q=1,75 > k=1,39$. Lotul se acceptă.	

5.2.6. Cazul limitelor duble separate de toleranță, metoda R, puterea calorifică a peleților de eucalipt

Considerăm că avem un lot de 250 bucăți de peleți de eucalipt. Prin alegerea unui nivel de verificare uzual II, la nivelul lotului de 151-280 se găsește litera de cod G. Mergând mai departe în standardul de calitate statistică metoda R, verificare normală, se alege nivelul de calitate acceptabilă AQL=1 pentru limita inferioară, la care se găsește dubletul planului de verificare (eșantionul n=15; constanta de acceptare inferioară $K_i=0,738$), iar pentru limita superioară se alege AQL=4, cu o constantă de acceptare de $K_s=0,536$. În acest moment se poate trece la verificarea efectivă a eșantionului de 15 peleți extras din lot, prin eșantionare simplă.

Amplitudinea medie, $R_m=0,51$
Media aritmetică a valorilor, $m=19,48$
Limita inferioară $L_i=17,5$; Limita superioară $L_s=19,9$
Constantele de acceptare din standard: $k_i=0,738$; $k_s=0,536$
Parametrul calității pentru limita inferioară, $Q_i = \frac{m-L_i}{R_m}$; $Q_i=3,88$
Parametrul calității pentru limita superioară, $Q_s = \frac{L_s-m}{R_m}$; $Q_s=0,82$
Decizie: $Q_i > k_i$, $Q_s > k_s$. Lotul se acceptă.

5.2.7. Cazul limitelor duble separate de toleranță, metoda s, umiditatea brichetelor de stejar

La litera de cod J se găsește efectivul eșantionului de 35 brichete care se pot verifica din punctul de vedere al caracteristicii măsurabile – umiditatea brichetelor. Se adoptă nivelul AQL de 0,1% pentru valoarea limitei inferioară și de asemenea valoarea 1,5% pentru limita superioară, în vederea utilizării metodei limitelor duble și separate de toleranță. Din standard SR ISO 3951-5:2009, se găsesc cele două constante de acceptare $k_s=1,57$ și $k_i=2,54$. În acest moment există toate datele pentru a se trece la procedura de verificare a calității lotului de brichete, extrăgându-se eșantionul de 35 bucăți și verificarea umidității cu un aparat electric.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peletilor din biomasă lemnoasă și vegetală

Tabelul 5.12. Datele procedurii numerice pentru umiditatea brichetelor și a metodei s

Nr.	Parametrii statistici	Valori
1.	Eșantionul prelevat din lot	35
2.	Media valorilor eșantionului extras din lot	10,2
3.	Abaterea standard a eșantionului extras din lot	0,8
4.	Valoarea limitei de toleranță superioară	12
5.	Valoarea limitei de toleranță inferioară	8
6.	Valoarea constantei de acceptare superioară, K_s	1,57
7.	Constanta de acceptare inferioară, K_i	2,54
8.	Parametrul calității pentru limita superioară, q_s	2,0
9.	Parametrul calității pentru limita inferioară, q_i	2,75
Analiza: $q_i = 2,75 > k_i = 2,54$. $q_s = 2,0 > k_s = 1,57$		
Decizia: Lotul se acceptă.		

5.2.8. Cazul limitelor duble combinate de toleranță, metoda R, densitatea în vrac a brichetelor lignocelulozice obținute din paie de grâu

Trebuie să analizăm un lot de brichete realizate din paie de grâu de 350 bucăți, din punctul de vedere al densității în vrac. Elementele tehnice ale livrării lotului de produse sunt: AQL= 4 %, atât pentru limita de toleranță superioară cât și cea inferioară și nivelul de verificare uzual $N_v=II$. Verificându-se în standardul STAS 3160/3-84 se determină că efectivul eșantionului este de 25 bucăți și numărul de grupe ale acestui eșantion de 5 bucăți brichete, ceea ce înseamnă că o grupă este alcătuită din 5 brichete. Se trece la verificarea efectivă a eșantionului împărțit pe 5 grupe. Amplitudinea fiecărei grupe s-a determinat ca diferență între valoarea maximă și cea minimă a grupei.

- valoarea lotului 350 bucăți;
- valoarea efectivul eșantionului 25 buc;
- media eșantionului extras din lot 674 kg/m^3 ;
- amplitudinea standard medie a eșantionului 83;
- limita superioară de toleranță 720 kg/m^3 ;
- limita inferioară de toleranță 620 kg/m^3 ;
- media normalizată: $(m-L_i)/(L_s-L_i) = 0,54$;
- amplitudinea medie normalizată: $R/(L_s-L_i) = 0,83$;
- valoarea coeficientului $F=0,707$, extras din standardul de calitate;
- valoarea parametrului $MAR=F(L_s-L_i)=70,7$, extrasa din standardul de calitate.

Contribuţii la realizarea, testarea şi evaluarea calitativă a brichetelor şi peleţilor din biomasă lemnoasă şi vegetală

Se alege din standarde curba corespunzătoare datelor iniţiale, dar şi curba inferioară imediat următoare, deoarece dacă punctul curent, $P(R_m, X_m)$, se află între cele două curbe acceptabilitatea lotului este îndoielnică şi se repetă procedura pentru un alt eşantion din lotul de brichete. Pe această curbă se dispune punctul curent K ($R_m/(L_s-L_i)$; $(m-L_i)/(L_s-L_i)$), adică punctul real $K(0,83;0,54)$. Valoarea mediei normalizate şi valoarea amplitudinii medii normalizate generează punctul curent care se amplasează pe curba caracteristică aleasă corespunzător din standard, prin intersecţia valorii abscisei şi a ordonatei corespunzătoare.

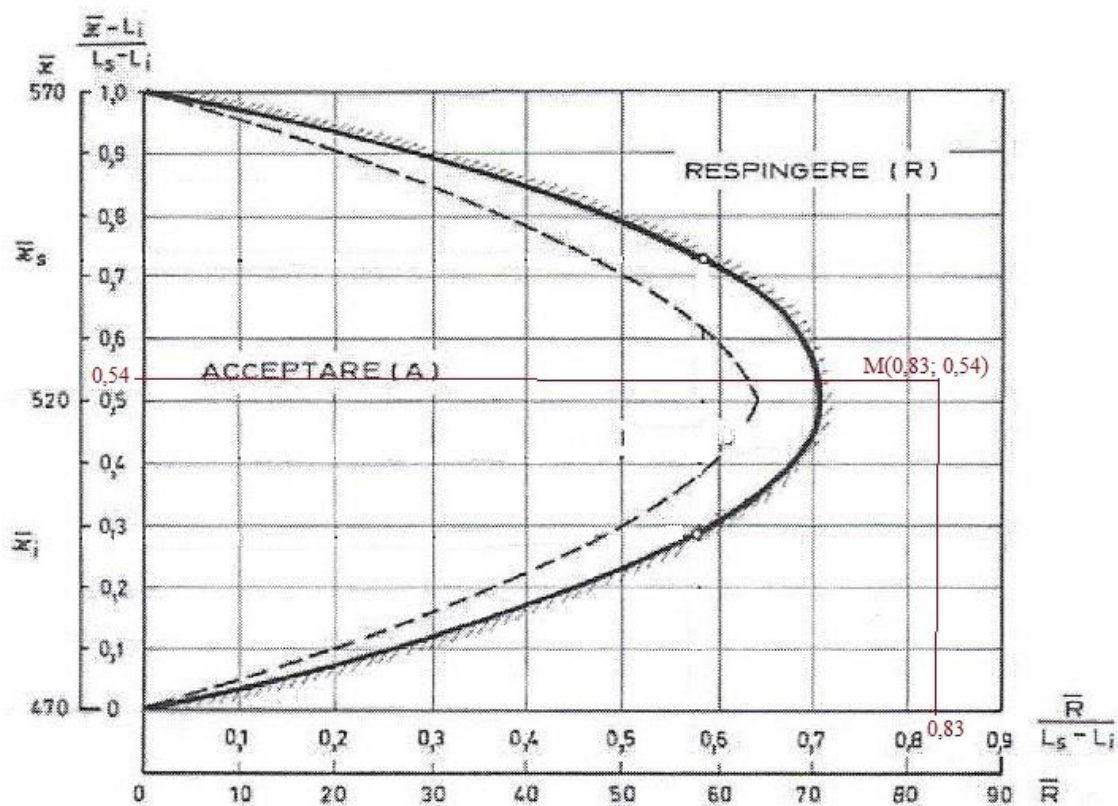


Figura 5.7. Procedeu grafic al exemplului 5.2.8

Punctul curent determinat anterior $K(0,83;0,54)$ este amplasat în exteriorul curbei caracteristice respectiv în zona de respingere, aşadar lotul se respinge. Chiar dacă iniţial părea că lotul se va accepta datorită încadrării valorilor între limitele de toleranţă se observă că analiza statistică infirmă această impresie. Acest fapt s-ar fi putut observa dacă s-ar fi făcut iniţial comparaţia dintre amplitudinea medie a valorilor de 83 şi valoarea parametrului $MAR=70,7$, respingerea lotului fiind încă o dată confirmată.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

5.2.9. Metoda Pre-Control de verificare a calității la producător, pentru peleții de stejar

Metoda cu calibre strânse se aplică producției de brichete și peleți, pentru verificarea calității acestora, respectiv dacă brichetele sau peleții se găsesc în limitele standardizate. Pentru exemplificare am ales firma SC Saras SRL din Prejmer, Braşov, România, care a produs peleți de stejar pe o presa de 400 kg/h. Prima etapă este aceea de realizare a diagramei statistice pe baza unui set de 100 valori ale densităților peleților obținuți pe instalația respectivă care au fost împărțite în 14 clase.

Pe baza claselor și a frecvențelor absolute (relative) s-a realizat graficul frecvențelor.

Cele 100 valori ale densităților măsurate au fost prelucrate statistic obținându-se o medie de $m=1,251 \text{ g/cm}^3$ și o abatere standard $sd=0,047 \text{ g/cm}^3$. Pentru un interval de confidență de 99,73%, adică pentru un interval de $m\pm 3s=1,251\pm 3\cdot 0,047$ se obțin limitele de toleranță ale intervalului $Li=1,11 \text{ g/cm}^3$ și $Ls=1,392 \text{ g/cm}^3$. Se găsește în acest fel toleranța intervalului ca diferență între valorile celor două limite $T=1,392-1,11=0,282 \text{ g/cm}^3$. Se împarte această toleranță la 4 și această valoare se adună la limita inferioară de unde rezultă valoarea primei linii Pre-control $PC1=Li+1/4T=1,1805 \text{ g/cm}^3$, iar prin scăderea acestei valori din limita superioară se obține a doua linie Pre-control $PC2=Ls-1/4T=1,2687 \text{ g/cm}^3$. În acest moment avem toate datele să desenăm diagrama Pre-control.

Contribuţii la realizarea, testarea şi evaluarea calitativă a brichetelor şi peleţilor din biomasă lemnoasă şi vegetală

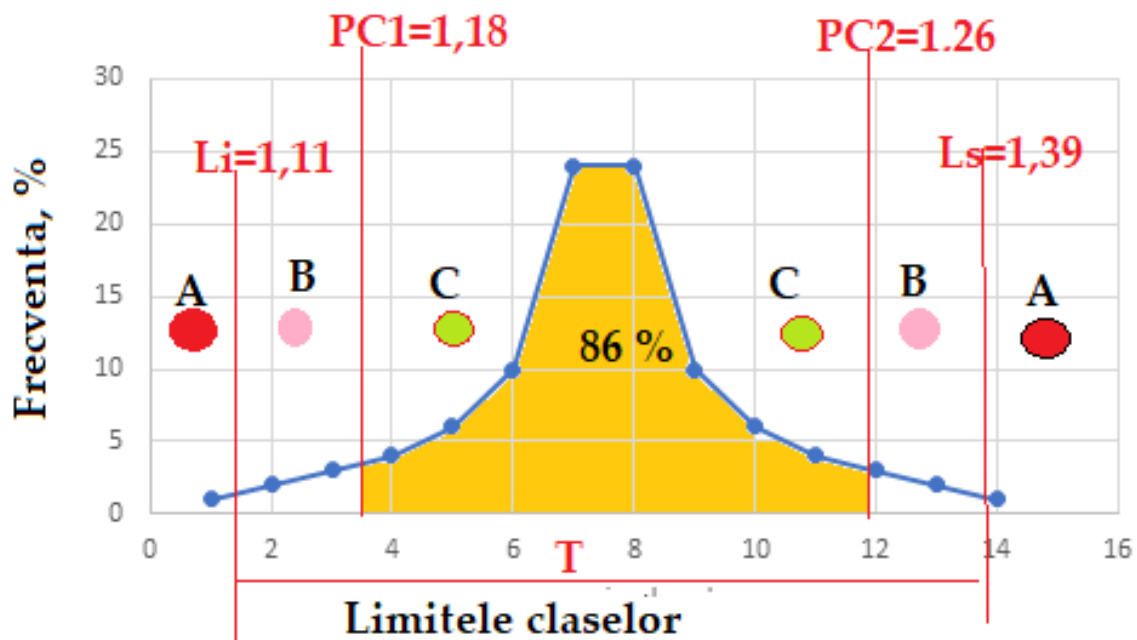


Figura 5.9. Diagrama Pre-control a verificării calității peleților cu calibre strânse

Se pornește funcționarea preseii de peletizare și se va face analiza calității peleților din punct de vedere al densității unitare a peleților. Principalul principiu al utilizării diagramei Pre-control este de a găsi cel puțin 2 valori succesive din cele 3 valori măsurate în interiorul limitelor Pre-control.

În cazul real de la firma SC SARAS SRL s-au obținut următoarele 3 valori: $1,31 \text{ g/cm}^3$, $1,23 \text{ g/cm}^3$ și $1,24 \text{ g/cm}^3$. Procesul tehnologic s-a putut continua, deoarece ultimele două valori s-au găsit în interiorul celor două limite Pre-control.

5.3. Concluzii privind calitatea brichetelor și a peleților lignocelulozici

Calitatea produselor obținute din biomasă vegetală și lemnoasă este greu de definit, dar este foarte importantă atât din punct de vedere al producătorului, cât și al consumatorului de produse finite de această proveniență.

Prin intermediul controlului de calitate bazat pe metode statistico-matematice se pot obține produse de calitate care să corespundă nevoilor de utilizare.

În cadrul metodei de apreciere a calității brichetelor și peleților pe baza poziției relative față de valoarea limitativă a caracteristicilor principale, s-a realizat comparația peleților din rumeguș de



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Paulownia elongata și *tomentosa*, precum și compararea brichetelor din paie de grâu cu și fără goluri.

Pentru analiza calității peleților din salcie energetică (*Salix vimimalis*) s-a aplicat metoda S și metoda R pentru analiza densității, impunându-se pentru verificare cazul limitei inferioare de toleranță, de unde s-a concluzionat că întreg lotul se acceptă din cauza faptului că se întrunesc condițiile de acceptare (parametrul calității să fie mai mare sau egal cu constanta de acceptare).

Pentru analiza brichetelor de larice (*Larix decidua*), s-a analizat conținutul de cenușă, cazul limitei superioare de toleranță, prin aplicarea metodei S, de unde a rezultat că lotul se acceptă.

Pentru analiza peleților de eucalipt (*Eucalyptus cinerea*), analiza puterii calorifice, cazul limitelor duble separate de toleranță, s-a aplicat metoda R, de unde a rezultat că lotul se acceptă.

Pentru analiza brichetelor de stejar (*Quercus robur L*) s-a aplicat metoda S, cazul limitelor duble separate de toleranță, de unde a rezultat că lotul se acceptă deoarece parametrii calității calculați pentru cele 2 limite de toleranță sunt mai mari decât cele 2 constante corespunzătoare.

Pentru analiza densității în vrac a brichetelor din paie de grâu s-a aplicat metoda K, cazul limitelor duble combinate de toleranță, iar în urma măsurătorilor și aplicării formulelor s-a constatat că rezultatul nu se încadrează în limitele acceptate și lotul se respinge.

Pentru analiza calității peleților de stejar s-a utilizat metoda Pre-control, de verificare a calității la producător.

6. CONCLUZII FINALE. ASPECTE ECONOMICE ȘI DE VALORIFICARE. CONTRIBUȚII PROPRII. VALORIFICAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Progresul tehnologic în domeniu este avansat, dar cu un impediment: tehnologiile de înaltă eficiență și productivitate sunt limitate din cauza costurilor de producție pe care le implică și a investițiilor necesare.

Combinarea mai multor materii prime din diferite specii lemnoase și vegetale, în măsura întrebunțării unor rețete verificate, este greoaie și cauzată de incompatibilității unora dintre acestea.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

Coroborate concluziile fiecărui capitol, precum și prin intercorelarea diferitelor probleme rezolvate, se vor prezenta concluziile principale ale lucrării.

6.1. Concluzii finale

Prin metoda de realizare a epruvetelor din biomasă lemnoasă și vegetală s-a urmărit obținerea unor epruvete prin metode de tăiere simple, care să presupună un consum minim de energie și resurse.

Pentru fiecare material folosit a fost determinată granulometria, prin utilizarea dispozitivului vibrator cu mai multe site de sortare.

În cazul brichetelor lignocelulozice s-a determinat rezistența la spargere prin compresiune, respectiv rezistența la despicare.

Pentru peleții lignocelulozici s-a determinat rezistența la forfecare, deoarece este considerată drept principala proprietate mecanică.

S-au folosit diverse metode de validare a rezultatelor pentru cuantificarea calității.

6.2. Aspecte economice și de valorificare

Exemplul de valorificare a cercetărilor experimentale, se face pentru o casă cu o suprafață utilă de 200 m². Considerând puterea calorică a peleților nativi de 19,1 MJ/kg și de 19,9 MJ/kg pentru peleții torefiați, va rezulta o cerere anuală de 34,2 kg/m² în cazul peleților nativi și de 32,8 kg/m² în cazul peleților torefiați. Dacă se ține seama de prețurile inițiale ale peleților, de investiția inițială, de mentenanța aparaturii, se vor obține următoarele costuri cu încălzirea casei: 19.700 Euro/an în cazul peleților nativi și 19 650 Euro/an în cazul peleților torefiați. Se observă un avantaj net în cazul peleților torefiați datorită creșterii puterii calorifice, prin surclasarea cheltuielilor suplimentare cu torefierea.

Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

6.3. Contribuții proprii

Referitor la scopul și obiectivele tezei, de a cerceta și propune soluții în vederea realizării, testării și evaluării calitative a brichetelor și peleților, s-a urmărit îndeplinirea fiecărui obiectiv propus, după cum urmează.

În cazul primului obiectiv, s-a realizat și analizat brichete și peleți utilizând specii forestiere și agricole importante din prezent, precum larice, paulownia, eucalipt, salcie energetică, coji de floarea satului, paie de grâu, resturi de carton, stejar.

Referitor la al doilea obiectiv, privind testarea principalelor proprietăți fizice, chimice, calorifice și mecanice ale brichetelor și peleților, s-a desfășurat o serie de activități experimentale, de testarea conținutului de umiditate, de determinarea densității efective a brichetelor și peleților; de determinarea puterii calorifice. S-a realizat determinarea conținutului de cenușă, care reprezintă o caracteristică de calitate importantă înregistrându-se valori diferite în funcție de materia primă folosită.

În privința rezistențelor brichetelor și peleților lignocelulozici, valorile înregistrate pentru brichetele lignocelulozice denotă consistența și compactarea, care au avut valori diferite în funcție de materia primă și specia lemnoasă.

În privința abraziunii brichetelor, la salcia energetică s-a înregistrat valoarea de 1,92%, iar în cazul brichetelor de stejar s-a înregistrat o rezistență la abraziune de 4,22%. Valoarea mai mică de la salcia energetică s-a datorat densității mai mici, dar și compoziției și structurii materialului lemnos.

Referitor la obiectivul 3, de găsim a unor metode cumulative de verificare a calității brichetelor și peleților, au fost identificate elementele care concură la definirea calității și au fost realizate o serie de exemple concrete de determinare a calității loturilor de brichete și peleți.

Cercetarea efectuată în cadrul programului de doctorat conține contribuții cu caracter de originalitate.

Contribuțiile originale ale lucrării rezultate în urma studiului experimental se referă la testele privind abraziunea brichetelor, rezistența la compresiune și despicare, precum și forfecarea peleților. Alte contribuții originale se referă la modelarea privind influența conținutului de carbon, a conținutului de cenușă și a conținutului de lignină asupra puterii calorifice a brichetelor și peleților, dar și a utilizării unor biomase atipice, precum cea a speciei de eucalipt sau paulownia.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peletilor din biomasă lemnoasă și vegetală

Cercetarea documentară realizată scoate în evidență proprietăți fizice, chimice și mecanice ale biomasei aparținând speciilor indigene și exotice.

Materialele utilizate sunt preponderent produse secundare și reziduuri cărora li se adaugă plus-valoare și sunt introduse în circuitul economic, în special în domeniul energetic.

S-a realizat aprecierea calității brichetelor și peletilor utilizând metode cumulative de verificare.

Prelucrarea datelor, evaluarea rezultatelor și concluziile sunt realizate și prezentate într-o manieră originală.

6.4. Valorificarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor realizate de către autor în perioada pregătirii tezei de doctorat s-au concretizat în elaborarea a 5 lucrări publicate în reviste de profil

1. **"THE BRIQUETTES PROPERTIES FROM SEED SUNFLOWER HUSK AND WOOD LARCH SHAVINGS"**

VERONICA DRĂGUŞANU (JAPALELA), AUREL LUNGULEASA, COSMIN SPÎRCHEZ (RECEIVED AUGUST 2020)

("PROPRIETĂȚILE BRICHETELOR DIN COJI DE FLOAREA-SOARELUI ȘI AȘCHII DE ZADA DE LEMN")
WOOD RESEARCH, vol. 66, nr. 4, 2021, <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/66.4.689699>
e-ISSN 2729-8906 66(4): 2021 689-699 pp.

2. **"Analys of Briquettes and Pellets Obtained from two Types of Paulownia (*Paulownia tomentosa* and *Paulownia Elongata*) Sawdust"**

"Analiza brichetelor și peletelor obținute din două tipuri de paulownie (*Paulownia tomentosa* și *Paulownia elongata*) rumeguș"

Spirchez, C., Japalela, V., Lunguleasa, A., și Buduroi, D. (2021), *BioResources* vol. 16, nr. 3, 5083-5096, <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/issues/vol16-issue3/page/4/>

3. **"Evaluation of the Physical, Mechanical, and Calorific Properties of Briquettes with or without a Hollow Made of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Straw Waste",**

("Evaluarea proprietăților fizice, mecanice și calorice ale brichetelor cu sau fără un gol din grâu (*Triticum aestivum* L.) Deșeuri de paie") Veronica Dragusanu, Aurel Lunguleasa and Cosmin Spirchez, 2022 <https://doi.org/10.3390/app122311936>



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peletilor din biomasă lemnoasă și vegetală

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/11936>

4. **"Statistical Appreciation of Pellets Quality for Measured Characteristics"**

("Aprecierea statistică a calității peletilor pentru caracteristicile măsurate")

Veronica DRAGUSANU (JAPALELA), Aurel LUNGULEASA, Cosmin SPIRCHEZ

RECENT J. (2023), 69:051-059 <https://doi.org/10.31926/RECENT.2023.69.051> Pag 51-59

<https://www.recentonline.ro/2023/069/Dragusanu-R69.pdf>

5. **"Some Properties of Briquettes and Pellets Obtained from the Biomass of Energetic Willow (*Salix viminalis* L.) in Comparison with Those from Oak (*Quercus robur*) "**

Veronica Dragusanu (Japalela), Aurel Lunguleasa, Cosmin Spirchez and Cezar Scriba, Wood Processing and Design Wooden Product Department, Transilvania University Braşov

Journal *Forests* 2023, 14 nr. 6, art nr. 1134; <https://doi.org/10.3390/f14061134>, Mai 2023

<https://www.mdpi.com/1999-4907/14/6/1134>

6.5. Direcții viitoare de cercetare

Având în vedere faptul că tematica analizată nu a fost epuizată complet, dar și pentru că dinamica lucrărilor în domeniu înregistrează un trend ascendent, se propune continuarea studiilor teoretice și experimentale.

Cercetările ulterioare se pot orienta către folosirea aditivilor naturali de la fabricarea zahărului, în diferite proporții, pentru creșterea gradului de compactare și o mai mare rezistență la forfecare și compresiune.

Având în vedere rezultatele obținute în urma cercetărilor pe brichete cu goluri, consider că se impune urmărirea acestei direcții și pe viitor, prin extinderea la mai multe specii.

În ceea ce privește speciile lemnoase, cercetările pot continua urmărindu-se combinarea în proporții diferite între ele, sau cu alte materii prime din biomasă vegetală.

O altă direcție de interes o poate constitui utilizarea rămășițelor de la prelucrările agricole, care de cele mai multe ori sunt arse necontrolat pe câmpii sau la marginea apelor, dar și a resturilor rezultate în urma toaletării arborilor.



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

BIBLIOGRAFIE (SELECTIVĂ)

- Almeida, G., Brito, J.O., and Perré, P. (2010), *Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator*, BioresourceTechnol. 101(24), 9778-9784. [DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.026]
- Bajo P.O.jr, Acda M.N., (2017), *Fuel Pellets from a Mixture of Rice Husk and Wood Particles*, 2017 BioResources 12(3), 6618-6628.
- Chiaromonti, D., Rizzo, A.M., Prussi, M., Tedeschi, S., Zimbardi, F., Braccio, G., Viola, E., and Pardelli, P.T. (2010). *2nd generation lignocellulosic bioethanol: Is torrefaction a possible approach to biomass pretreatment?* Biomass Conversion and Biorefinery 1(1), 9-15. [DOI: 10.1007/s13399-010-0001-z].
- Gageanu I., Voicu G., Vlăduț V., Voicea I., (2017), *Experimental research on influence of recipes used on quality of biomass pellets*, Engineering for rural development, Jelgava, 24-26.05.2017, 785.
- Grîu (Dobrev) T., Lunguleasa A. (2014), *Torrefaction of Beech and Spruce Sawdust*, Pro Ligno Brasov, 2014, vol. 10, Issue 2, p. 40-45.
- Gudîma A., Marian G., Pavlenco A., (2017), *Stadiul actual al cercetărilor cu privire la influența variabilelor de producție asupra calității biocombustibililor densificați în formă de peleți*, Meridianul Ingineresc, nr. 1, 2017, ISSN 1683-853X.
- Gudîma A., (2018), *Tehnologia de obținere a peleților ENPlus din reziduuri agricole în condițiile Republicii Moldova*, teză de doctor în tehnică, 2018.
- Icka P., Damo R., Icka E., (2016), *Paulownia tomentosa, a fast growing timber*, The annals of Valahia University of Targoviste, 2016. [DOI: 10.1515/agr-2016-0003, De Gruyter].
- Jittabut P., (2015), *Physical and thermal properties of briquette fuels from rice straw and sugar cane leaves by mixing molasses*, Energy Procedia, 2015, vol.79, p.2-9.
- Lunguleasa A. (2013) *Tehnologii secvențiale de realizare și testare a compozitelor lemnoase*, Note de curs.
- Lunguleasa A., *Calitatea produselor lemnoase*, 2015, Editura Lux Libris, Brasov, ISBN 978-973-131-315-3, 165 pag.
- Lunguleasa A., Spîrchez C., and Fotin A. (2017), *Research on briquettes obtained from shredded tobacco cigarettes, as a ligno-cellulose fuel*, Pro Ligno, 2017, 13(4), 579-585.
- Lunguleasa A., Ayrilmis N., Spirchez C., Croitoru C., (2019), *Properties of Sawdust Waste from Pellets by Torrefaction*, BioResources, 2019, 14(4), 2019, 7821-7839.
- Pelaez-Samaniego M.R., Yadama V., Lowell E., Espinoza-Herrera R., (2013), *A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties*, Journal Wood Science and Technology, 2013, 47(6), 1285-1319. [DOI: 10.1007/s00226-013-0574-3]



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peletilor din biomasă lemnoasă și vegetală

- Pereira M. A., Beraldo A. L., (2016), *Bambu de corpo e alma*, Canal 6, 2016, Brasil, ISBN 978-85-7917-393-6.
- Plištil D., Brožek M., Malaták J., Roy A., Hutla P., (2005), *Mechanical Characteristics of Standard Fuel Briquettes on Biomass Basis*, Research in Agricultural Engineering, 2005, 51, 66–72. [<https://doi.org/10.17221/4905-RAE>] [<http://agriculturejournals.cz/publicFiles/57241.pdf>]
- Sagdinakiadtikuland T., Supakata N., (2015), *The application of using rice straw, coconut shell and rice husk for briquette and charcoal production*, International Journal of Energy, Environment, and Economics, 2015, vol.24, p.283–292.
- Şalaru Gh., Bahnaru A., Jolondcovschi A., Osipov R., Golic A., *Managementul deşeurilor biodegradabile (Valorificare materială și energetică)*, Chişinău, 2013.
- Spîrchez C., Lunguleasa A., (2016), *Shear and Crushing Strengths of Wood Pellets*, Drewno, 2016, 59(198), ISSN 1644-3985. [DOI: 10.12841/wood.1644-3985.170.04]
- Spîrchez C., Lunguleasa A., Croitoru C., (2019), *Ecological briquettes from sunflower seed husk*, International Conference Renewable Energy and Environment Engineering REEE, 2018, Paris, 2018. [<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001001>]
- Spîrchez C., Lunguleasa A., Matei M., (2018), *Particularities of hollow-core briquettes obtained out of spruce and oak wooden waste*, Maderas. Ciencia y tecnología 20(1): 139 - 152, 2018, ISSN impresa 0717-3644 ISSN online 0718-221X. [DOI:10.4067/s0718-221x2018005001201]
- Spîrchez C., Lunguleasa A., Ionescu, C., Croitoru C., (2019), *Physical and calorific properties of wheat straw briquettes and pellets*, MATEC Web Conf. 2019, 290, 90110. [<https://doi.org/10.1051/mateconf/201929011011>]
- Spîrchez, C., Japalela, V., Lunguleasa, A., și Buduroi, D., "Analiza brichetelor și peletelor obținute din două tipuri de paulownie (*Paulownia tomentosa* și *Paulownia elongata*) rumeguș"(2021), BioResources 16(3), 5083-5096.
- Sulaiman M.A., Adetifa B.O., Adekomaya S.O., Lawal N.S., Adama O.O., (2019), *Experimental Characterization of Maize Cob and Stalk Based Pellets for Energy Use*, Engineering Journal, 2019, 23 Issue 6, ISSN 0125-8281 (<http://www.engj.org/>)
- Tembe E.T., Otache P.O. Ekhuemelo D.O., (2014), *Density, shatter index and combustion properties of briquettes produced from groundnut shells, rice husks and saw dust of Daniellia oliveri*, Journal of Applied Biosciences, 2014, 82:7372 – 7378, ISSN 1997–5902. [DOI: 10.4314/jab.v82i1.7]
- Tumuluru J.S., Wright C.T., Hess J.R., Kenney K.L., (2011), *A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application*, Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2011, 5(6), 683-707. [DOI: 10.1002/bbb.324]



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală

SCURT REZUMAT

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA, TESTAREA ȘI EVALUAREA CALITATIVĂ A BRICHETELOR ȘI PELEȚILOR DIN BIOMASĂ LEMNOASĂ ȘI VEGETALĂ

Lucrarea "Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor, și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală" are ca obiectiv principal investigarea posibilitățile de realizare, testare și evaluare calitativă a brichetelor și peleților din biomasă lemnoasă și vegetală.

Problema propusă în această lucrare a avut 3 obiective generale: realizarea de brichete și peleți utilizând biomasă lemnoasă și vegetală, în diferite combinații, pe instalații și prese diferite ca mod de funcționare și capacități, în vederea observării diferențierii proprietăților în funcție de aceste aspecte; testarea principalelor proprietăți fizice, chimice, calorifice și mecanice ale brichetelor și peleților obținuți în regim de laborator sau industrial; găsirea unei metode cumulative de determinare a calității brichetelor și peleților, fiind identificate elementele care concură la definirea calității și au fost realizate o serie de exemple concrete de determinare a calității loturilor de brichete și peleți.

Studiul experimental se referă la testele privind abraziunea brichetelor, rezistența la compresiune și despicare, precum și rezistența la forfecare. În cadrul lucrării a fost realizată modelarea privind influența conținutului de carbon, a conținutului de cenușă și a conținutului de lignină asupra puterii calorice a brichetelor și peleților, dar și a utilizării unor biomase atipice, precum cea a speciei de eucalipt sau paulownia.

SHORT SUMMARY

CONTRIBUTIONS TO THE REALISATION, TESTING AND QUALITATIVE EVALUATION OF BRIQUETTES AND PELLETS FROM WOODY AND VEGETABLE BIOMASS

The thesis "*Contributions to the realization, testing and qualitative evaluation of briquettes and pellets from wood and plant biomass*" has as its main objective the investigation of the possibilities of realization, testing and qualitative evaluation of briquettes and pellets from wood and plant biomass.

The problem proposed in this work had 3 general objectives: making briquettes and pellets using woody and vegetable biomass, in different combinations, on different installations and presses in terms of operation mode and capacity, in order to observe the differentiation of



Contribuții la realizarea, testarea și evaluarea calitativă a brichetelor și peletilor din biomasă lemnoasă și vegetală

properties according to these aspects; testing the main physical, chemical, calorific and mechanical properties of briquettes and pellets obtained in a laboratory or industrial setting; finding a cumulative method for determining the quality of briquettes and pellets, the elements that compete in defining quality have been identified, and a series of concrete examples of determining the quality of batches of briquettes and pellets have been made.

The experimental study refers to briquette abrasion, compressive and splitting strength, as well as pellet shear resistance. In the framework of the study, modeling was performed following the influence of carbon content, ash content and lignin content on the calorific power of briquettes and pellets, as well as the use of atypical biomasses, such as eucalyptus or paulownia species.