

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI DE FABRICAȚIE A PELEȚILOR/BRICHETELOR ȘI ARHITECTURII CENTRALEI TERMICE PENTRU ARDEREA ACESTORA

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la
Universitatea Politehnică Timișoara
în domeniul de doctorat Inginerie Industrială

autor NENU Petre-Florinel

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Titus Slavici

luna februarie anul 2023

Teza este structurată în 7 capitole și 10 anexe. Primele 2 capitole fiind capitole introductive și de suport în care se motivează teza, se analizează stadiul actual al cercetărilor în domeniu și se introduc noțiunile necesare pentru abordarea temei tezei. Următoarele capitole descriu activitatea de cercetare realizată pentru optimizarea procesului tehnologic de peletizare și realizarea unei centrale termice pilot cu funcționare pe peleți. Ultimul capitol este rezervat concluziilor și a prezentării contribuțiilor personale.

1. INTRODUCERE

În această lucrare, vor fi prezentate realizările privind optimizarea procesului tehnologic de peletizare, respectiv centrala termică pilot pentru arderea acestora. În continuare vor fi detaliate importanța și necesitatea temei alese, obiectivele cercetării dar și structura lucrării.

Importanța și necesitatea temei alese

În ultima perioadă observăm că se fac eforturi susținute în domeniul energiei pentru a rezolva trecerea către sisteme regenerabile de producere a energiei SRE, în condițiile dezvoltării durabile a energiei. Se dorește să se asigure populației necesarul de energie fără consecințe de modificare majoră a ecosistemului planetei. Prezenta lucrare abordează o temă de actualitate în domeniul producerii energiei din surse regenerabile de energie (SRE) cu evaluarea potențialului energetic al biomasei, prin arderea acesteia în centrale termice performante, cu cost redus. Din vremuri străvechi, biomasa a jucat un rol important în economia energetică a planetei și, deși în anul 1870 locul acesteia a fost luat de combustibilii fosili, în zilele noastre aceasta a ajuns din nou una din principalele surse de energie regenerabilă. Tema de cercetare s-a ales ținând seama de:

- a) necesitățile și problemele actuale la nivel global în domeniul energiei.
- b) potențialul neexploatat de biomasă al României.

În ceea ce privește necesitățile și problemele actuale la nivel global în domeniul energiei această lucrare propune introducerea unui sistem de încălzire cu o centrală termică pe biomasă lemnoasă ce poate să îmbunătățească performanța, consumul, autonomia și să scadă gradul de

poluare, contribuind astfel la atingerea scopului propus prin Pactul verde european cu obiectivul său specific, OP2–(ii) Promovarea energiei din surse regenerabile în conformitate cu Directiva (UE) 2018/2002.

În ceea ce privește potențialul neexploatat de biomasă putem spune că România are un potențial de biomasă evaluat la peste 7500 mii tone echivalent petrol/an, iar exploatarea acestuia ar putea să acopere aproximativ 70% din angajamentele României referitoare la aportul surselor regenerabile în energia total consumată. Lucrarea propune o soluție optimă pentru o linie tehnologică de producere de peleți/brichete din biomasă pentru creșterea productivității, diversificarea materiei prime și asigurarea unui mediu de lucru optim. Totodată se propune și o soluție tehnică pentru alimentarea cu biomasă solidă (în amestec cu cărbune) a unui cazan de abur.

Obiectivele cercetării

Optimizarea procesului de fabricare a peletilor și brichetelor pentru încălzire se poate referi la maximizarea profitului, la creșterea productivității, la reciclarea deșeurilor de origine agricolă sau forestieră, la maximizarea puterii calorifice, la determinarea de rețete de fabricare noi, la soluții inovatoare pentru automatizarea liniei de producție etc. Optimizarea liniei de fabricație peleți și realizarea unei linii de pregătire și alimentare cu biomasă a unui cazan pe abur reprezintă primul obiectiv al cercetării.

Realizarea unei centrale pilot de ardere a biomasei ce poate să îmbunătățească performanța, consumul, autonomia și gradul de poluare, având un cost redus și o posibilitate de utilizare pe scară largă, în special din zonele rurale care să poată fi automatizată și inclusă între dispozitivele smart-home este un alt obiectiv major al cercetării.

Obiectivele primare stabilite în cadrul stagiului de cercetare doctorală sunt:

OP1 obținerea de rezultate științifice privind resursele naturale regenerabile din România în vederea utilizării acestora în procesul de peletizare, respectiv de ardere

OP2 realizarea unei centrale pilot fiabilă și accesibilă pentru locuințe private

Pentru atingerea obiectivelor primare, este necesară atingerea în prealabil a următoarelor **obiective secundare**, corespunzătoare activităților realizate în prezentul stagiu de cercetare:

OS1 proiectarea activităților experimentale și elaborarea metodologiei de realizare a cercetărilor experimentale

OS2 propunerea de optimizare a procesului de fabricație peleți/brichete de pe o linie tehnologică existentă

OS3 proiectarea unei centrale termice pilot

OS4 realizarea documentației pentru cererea de brevet aferentă centralei pilot

Structura lucrării

Lucrarea este structurată pe 7 capitole. Pentru atingerea primului obiectiv se pleacă de la prezentarea procesului tehnologic de pe o linie de fabricație peleți/brichete existentă într-o întreprindere de profil, apoi sunt identificate soluții pentru re tehnologizarea acesteia și pentru inovarea celor două linii de producție, iar după punerea în funcțiune se fac încercări experimentale pentru studierea funcționării optime a acesteia. Pe linia optimizată de fabricație peleți sunt realizați peleți care sunt arși apoi în centrala termică pilot.

Sunt identificate noi direcții de cercetare și de diversificare a producției, dar și premise pentru dezvoltarea firmei.

Din studiul bibliografiei de specialitate s-a realizat o bază de date cu materii prime care pot fi peletizate, baza de date fiind completată cu noi materiale pentru care s-au făcut determinările experimentale.

Pentru atingerea obiectivului doi, se pleacă de la două mari invenții (generatorul cu abur și soba rachetă), este identificată o soluție tehnică pentru proiectarea și realizarea unei centrale pilot pe combustibil solid. S-au realizat 5 prototipuri până s-a ajuns la cel final, iar pe acesta s-au făcut determinări experimentale pentru studiul arderii, al eficienței energetice și al gradului de poluare.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN TEMATICA TEZEI PROPUSE

Nevoia globală de energie și servicii asociate este în creștere pentru a ține pasul cu cerințele progresului uman, social și economic, bunăstării și sănătății [59], [138]. Toate statele depind de serviciile energetice pentru a satisface nevoile umane fundamentale. În contextul internațional actual care este puternic marcat de criza energetică și tensiuni internaționale, studiul diverșilor autori ne-a condus la concluzia că energia verde din surse regenerabile oferă alternative pentru dezvoltarea durabilă globală.

În viitor, sustenabilitatea va garanta furnizarea de energie și va reduce impactul sectorului energetic asupra schimbărilor climatice [80], [127]. Energia verde este o problemă importantă în dezbaterile privind dezvoltarea durabilă, problemele de mediu, sociale și economice [43], [103]. În conformitate cu literatura de specialitate [47], [90], sursele de energie verde au potențialul de a reduce semnificativ emisiile de gaze cu efect de seră cauzate de arderea combustibililor fosili în centralele electrice și nu numai, iar acest lucru ar putea duce în cele din urmă la o reducere a schimbărilor climatice. Acum, mai mult ca niciodată, cererea de energie este în creștere, totuși sursele convenționale sunt finite și se reduc rapid [69]. Totodată, unele tipuri de resurse sunt mai dificile și mai riscant de exploatat decât altele [77], [108], iar descoperirea de noi surse și procesul de extragere a resurselor devin semnificativ provocatoare și costisitoare [22], [166], [124]. Pe lângă aceasta, calitatea vieții oamenilor este influențată de probleme precum schimbările climatice, criza energetică cauzată în principal de creșterea prețului petrolului, tensiuni internaționale între diferite state [71] și blocarea globală cauzată de COVID-19.

Totodată, pe lângă cele enumerate mai sus, evenimente precum vremea imprevizibilă și severă vor cauza cereri excesive de încălzire/răcire în clădiri [6], care împreună cu modificări ale modelelor meteorologice medii vor avea un impact atât direct cât și indirect asupra performanței sistemelor energetice [8].

În prezent, una dintre cele mai importante probleme la nivel global o reprezintă utilizarea resurselor de energie regenerabilă pentru a obține combustibili curați. În acest context, unul din mijloacele pentru a obține energie din biomasă îl reprezintă utilizarea materialelor reziduale ce pot fi sau nu pretratate în acest sens [45], [111].

Un aspect important conex cu topicul tratat în această lucrare îl reprezintă faptul că utilizarea biomasei pentru producerea de energie a crescut semnificativ în ultimii ani, ca parte a strategiei globale de reducere a dependenței noastre de combustibili fosili [134]. Biomasa solidă acoperă o multitudine de materiale generate de industrie, procese sau furnizate direct de silvicultură și agricultură cum ar fi: lemn de foc, aşchii de lemn, rumeguș, aşchii, deșeuri animale sau alte reziduuri solide de plante, printre altele, care sunt utilizate în principal pentru a produce căldură și energie electrică [36]. Peleții și brichetele din lemn sunt realizați prin comprimarea rumegușului uscat sau a bucăților de lemn sub presiune ridicată. Procesul de densificare crește densitatea în vrac și facilitează logistica, transportul și manipularea operațiunii [107]. Utilizarea peleților de lemn ca și combustibil solid crește rapid în întreaga lume [73].

În 2019, producția de peleți în lume a reprezentat peste 55,7 milioane de tone [21], fiind depășită predicția realizată de Asociația Europeană pentru Biomasă, care stipula faptul că până în 2020 consumul de peleți din biomasă la nivel european va atinge o valoare de peste 50 de milioane

de tone în toate țările europene [29].

În acest context, biomasa este considerată ca fiind o sursă de energie regenerabilă ce poate fi utilizată în diferite aplicații atât în domeniul casnic cât și în cel industrial, fiind considerată un purtător de energie cu conținut neutru de CO₂ [68]. În prezent, ca o paranteză la aspectul prezentat anterior, se poate observa o creștere a pieței de peleți la nivel global dar și la nivelul țărilor europene iar noile standarde de calitate pentru biocombustibili, împreună cu sistemele moderne îmbunătățite pentru optimizarea cantității de aer și combustibil aferente proceselor de ardere duc la descreșterea emisiilor poluante.

Biomasa poate fi utilizată în instalații de ardere de toate dimensiunile: sobe și boilere mici în case cu o singură familie, încălzire centrală în locuințe mici și centrale termoelectrice de dimensiuni medii și mari [140].

Având în vedere complexitatea temei, stadiul actual al cercetărilor poate fi considerat din mai multe puncte de vedere, astfel:

- din punct de vedere al utilizării surselor de energie regenerabilă,
- din punct de vedere al arderii biomasei,
- din punct de vedere al transformării biomasei în peleți/brichete,
- din punct de vedere al problemelor legate de calitatea aerului,
- din punct de vedere al aplicațiilor și tehnologiilor folosite în instalații de ardere a biomasei.

3.OPTIMIZAREA LINIEI ȘI A PROCESULUI DE PELETIZARE/ BRICHETARE

Obiectivele acestui capitol sunt:

- Prezentarea liniei tehnologice pentru producția de peleți/brichete dintr-o micro-intreprindere de profil
- Modificări/îmbunătățiri aduse unor elemente componente ale liniei tehnologice
- Optimizarea procesului tehnologic pentru producerea de peleți/ brichete din biomasă
- Transferul rezultatelor obținute către o altă întreprindere
- Identificarea de soluții pentru dezvoltarea durabilă a firmei.

Ca **rezultate** ale acestui capitol de cercetare se pot enunța:

- realizarea unui tocător de crengi (prototip posibil a fi brevetat),
- modificări aduse: tocătoarelor de paie, focarului cuptorului de uscare, buncărelor cu separatoare de praf, malaxorului, transportorului/dozatorului măcinătură pentru peleți,
- linie tehnologică optimizată pentru producerea de peleți din mixturi,
- linie tehnologică optimizată pentru producerea de brichete,
- linie tehnologică nouă pentru pregătire și alimentare cu măcinătură a unui cazan de abur,
- premise de dezvoltare ulterioară a firmei.

În acest capitol a fost prezentată propunerea de optimizare a liniei tehnologice pentru producerea de peleți existente la fabrica din Cenei. Optimizarea liniei s-a făcut după ce s-a studiat teoretic întregul proces de obținere a peleiților/brichetelor, după efectuarea de vizite tehnologice în fabrici de producere peleți/brichete și după ce s-au purtat discuții atât cu managerii firmelor cât și cu personalul de operare a liniilor tehnologice.

Inițial această linie tehnologică a fost alcătuită doar din componentele esențiale pentru funcționarea fabricii și anume: tocător, moară cu ciocane, instalație de uscare, buncărul preseii, presă de brichete, presă de peleți, sită cernere și răcire peleți, instalație de cântărire și ambalare [97].

Îmbunătățirile aduse liniei de peleți și brichete s-au realizat astfel: unele pentru reducerea costurilor de fabricație, altele pentru diversificarea producției și, cele mai importante, au fost

pentru eliminarea riscurilor, îmbunătățirea calității mediului de lucru și reducerii timpilor fără producție.

Îmbunătățirile pentru *reducerea costului de fabricație* au fost: depozitarea materiei prime în spații protejate, conducerea diferitelor motoare electrice cu convertizor, care pe lângă rolul de reglare are și rolul de soft start, respectiv schimbarea sitelor pentru tocător și pentru presa de peleți.

Îmbunătățirile pentru *diversificarea producției* au fost: s-au integrat două tocătoare, două buncăre, un malaxor și o presa mică de peleți suplimentar în linia tehnologică.

Îmbunătățirile pentru *eliminarea riscurilor* au fost: modificări aduse focarului instalației de uscare și a separatorului montat la finalul liniei de uscare, elemente de siguranță a operatorilor (butoane de panică, pedală de pornire/oprire, bariere pentru limitarea accesului).

Modificările aduse pentru *îmbunătățirea calității mediului de lucru* au fost: separatoarele de praf și filtre de praf, exhaustoare în zonele în care apare praf sau fum.

În urma procesului de modernizare [96] (pentru diversificarea materiei prime, creșterea producției și îmbunătățirea mediului de lucru) linia a fost dotată cu:

- un tocător pentru crengi (**prototip realizat, ce urmează a fi brevetat**). Astfel crengile sunt mărunțite înainte de a intra în moara cu ciocane,
- încă un tocător. Astfel linia va avea două tocătoare de reziduuri agricole pentru cele două tipuri de baloți rotunzi,
- noi site de dimensiuni diferite pentru moara cu ciocane,
- buncăre dotate cu ciclon separator de praf. Linia va avea două buncăre unde se va stoca simultan două tipuri diferite de biomasă,
- un malaxor. Deoarece s-a dorit realizarea de peleți și brichete din cel puțin două tipuri diferite de biomasă,
- presă de peleți de capacitate mică. Pentru a putea face încercări la scară mică, s-a achiziționat o presă de peleți de capacitate mică pe care s-au produs rețete de peleți,
- bandă transportoare cu racleți. Această bandă înlocuiește transportorul cu șnec care prelua peleții după instalația de cernere și răcire pentru transferul acestora la echipamentul de dozare și ambalare. Prin această înlocuire s-a redus cantitatea de praf/peleți spărți din sacii cu produsul finit.

Prin procesul de modernizare [96], au fost aduse și îmbunătățiri, atât la linia de peletizare cât și la utilajele acesteia, astfel:

- convertizoare de frecvență pentru cele două tocătoare de deșeuri agricole. Cu ajutorul acestora putem controla cantitatea de tocătură care intră în moara cu ciocane,
- dozatoare mecanice la partea inferioară a celor două buncăre, avantajul acestora constă în faptul că la începerea procesului de măcinare și transfer de la moară către buncăr nu iese praf în hală pe la partea inferioară a buncărelor,
- modificări constructive aduse focarului liniei de uscare pentru materia primă mărunțită. Prin înălțarea peretelui focarului și adăugarea a 2 (două) site dispuse defazat, se reduce riscul aprinderii/exploziei prafului de biomasă în flux,
- adăugarea la malaxor a unei instalații de dozare apă. În cazul în care biomasa are umiditatea prea mică se poate crește procentual umiditatea acesteia în timpul malaxării,
- adăugarea a două convertizoare la presa de peleți. Un convertizor este la motorul care acționează șnecul de alimentare iar cel de-al doilea este la motorul ce acționează șnecul de dozare. Prin montarea acestor convertizoare se reduce riscul de blocare a sitei de extrudare peleți.

Pe linia de peleți optimizată au fost realizați peleții care au fost consumați în centrala termică pilot (în toate prototipurile acesteia), în centrala achiziționată pentru studiul eficienței termice, dar și într-o unitate CHP.

Plecând de la ideea descrisă în [113] și de la rezultatele obținute pentru optimizarea liniei tehnologice de fabricație peleți s-a realizat, la COLTERM SA, o linie tehnologică pentru alimentarea cu biomasă a cazanelor de abur (100 t/h), deoarece s-a dorit alimentarea cazanului cu un amestec de biomasă și cărbune, așa cum se arată în figura următoare [113].

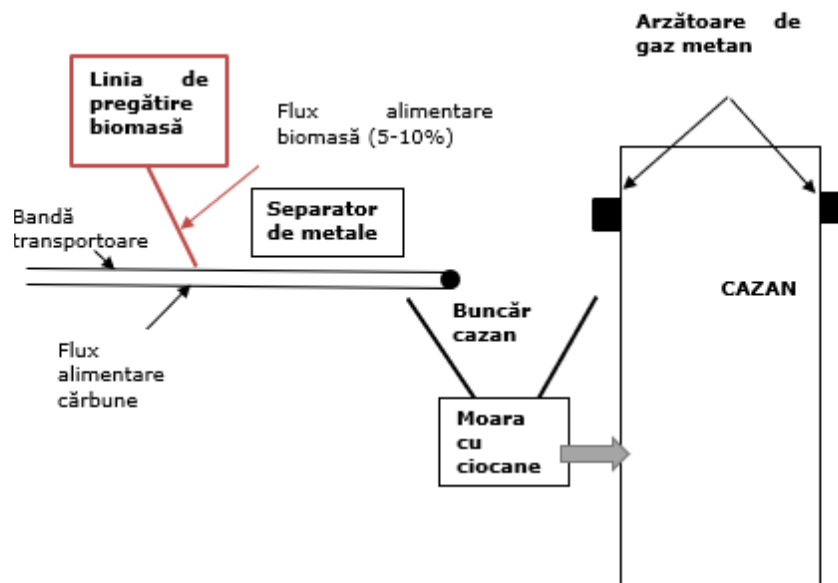


Figura 3.1. Schema unui cazan alimentat cu un amestec de biomasă și cărbune, folosind arzătoare cu metan, după [113]

Procesul de pregătire a biomasei pentru arderea împreună cu cărbune constă din:

- tocarea primară cu tocătorul industrial de crengi și bușteni Grandini care este alimentat de un graifer,
- mărunțirea cu mora cu ciocane,
- transferul pe banda transportoare de cărbune printr-un tub cu ajutorul ventilatorului morii,
- împreună cu cărbunele ajunge la buncărele cazanelor.

După finalizarea tuturor operațiilor și verificarea funcționării acestei linii, s-a depus documentația necesară primirii avizului pentru utilizarea de biomasă (în amestec cu cărbune) în producerea de energie termică. În luna septembrie 2022 s-a obținut autorizația de mediu care permite utilizarea de biomasă împreună cu cărbunele (Anexa 2), apoi s-a actualizat și autorizația GES. În urma actualizării GES, COLTERM nu plătește certificate de poluare pentru biomasa arsă.

4. CONCEPȚIA, PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNEI CENTRALE TERMICE PILOT INOVATIVE

Obiectivele acestui capitol sunt:

- Definirea și stabilirea interoperabilității componentelor necesare pentru a crea o centrală termică pe peleți cu control digital,
- Identificarea de soluții pentru optimizarea centralei,
- Identificarea de soluții pentru automatizarea centralei, pentru integrarea cu ușurință a acesteia în dispozitivele smart-home care permit utilizatorilor să automatizeze mai multe dispozitive printre care și o centrală termică.

Ca rezultate ale acestui capitol de cercetare se pot enunța:

- un prototip final de centrală termică,
- un sistem de automatizare a centralei termice pentru integrarea cu ușurință a centralei în dispozitivele smart-home,
- cerere de brevet.

Pornind de la necesitatea realizării unui bilanț energetic al peleților și brichetelor precum și a altor tipuri de biomasă, în această lucrare a fost realizat un prototip care reușea să gazeifice aceste materiale, fiind primul prototip de arzător. Prin încercări succesive s-a ajuns la prototipul cu numărul 5 care este o centrală termică automatizată în care se poate arde orice tip de combustibil solid, putând fi integrată cu ușurință într-un sistem inteligent de încălzire a unei locuințe.

În acest capitol sunt prezentate cele 3 prototipuri de arzătoare și cele 2 prototipuri fizice ale centralei termice concepute și realizate fizic în perioada pregătirii doctorale, pe aceste prototipuri s-au făcut teste de gazeificare și de ardere a combustibililor solizi.

Soluțiile noi propuse și realizate în această perioadă sunt:

- focar proiectat pentru arderea completă a combustibilului solid și reducerea cantității de cenușă rezultată, precum și a depunerilor, putând arde chiar și salcie energetică cu scoarță,
- 3 schimbătoare de căldură hidraulice tip serpentină, schimbătorul 3 fiind un supraîncălzitor pentru scăderea temperaturii gazelor de ardere,
- separarea cenușei zburătoare din gazele de ardere și colectarea acesteia,
- automatizarea completă a centralei pentru integrarea acesteia în dispozitivele smart-home.

Pentru proiectarea centralei pilot s-a plecat de la o schemă de principiu redată în figura 4.1 și s-a ajuns la un proiect de centrală (figura 4.2) pentru care s-a depus în anul 2022 o cerere de brevet.

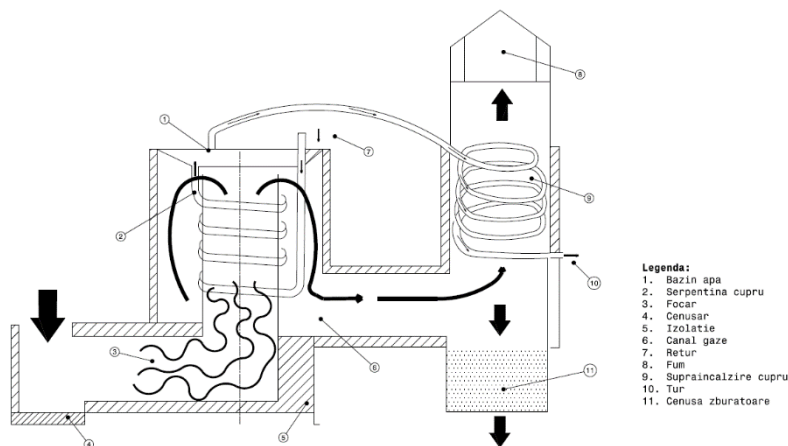


Figura 4.1. Schiță centrală termică pilot

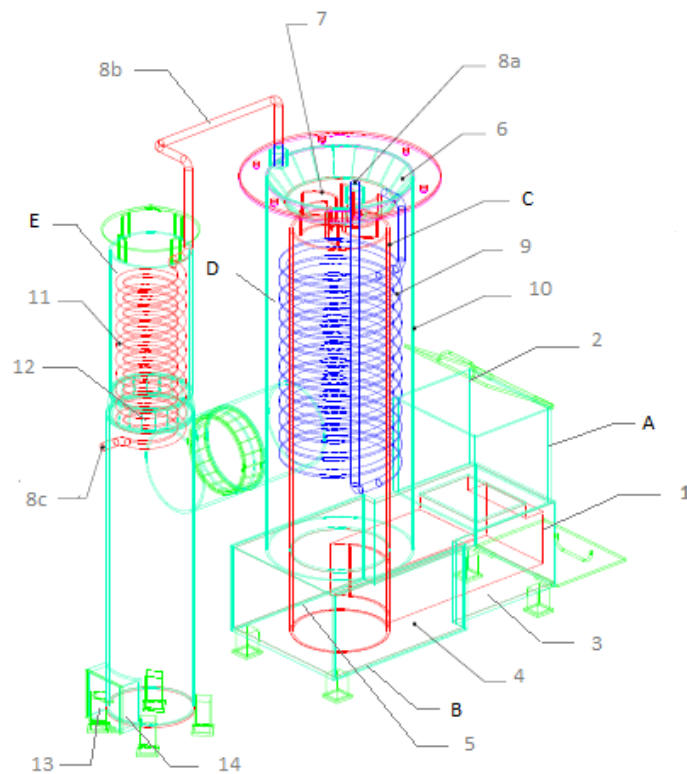


Figura 4.2. Ansamblu centrală termică 3D: A – zona de alimentare, B – focar, C – Primul drum al gazelor de ardere, D – Al doilea drum al gazelor de ardere, E – Al treilea drum al gazelor de ardere, 1 – ușa de curățare focar, 2 – ușa de alimentare centrală, 3 – cenușar 4 – deflector, 5 – izolare inferioară, 6 – schimbator de căldură 1, 7 – aripioare, 8a- racord alimentare (RETUR)

Prototipul final de centrală este prezentat în figura 4.3, iar în figura 4.4 este prezentată centrala în funcțiune cu partea de automatizare.



Figura 4.3. Centrala termică pilot: 1-tub de alimentare, 2-focar, 3-corpul centralei



Figură 4.4. Experimente în lucru pentru automatizarea conectată a centralei

5. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A EFICIENȚEI ENERGETICE ȘI A INFLUENȚEI ASUPRA MEDIULUI A CENTRALEI PILOT

Obiectivele acestui capitol sunt:

- stabilirea unei metodologii pentru cercetarea experimentală referitoare la materii prime
- realizarea de experimente în scopul determinării proprietăților materiilor prime pentru încălzire și analiza acestora
- stabilirea unei metodologii pentru cercetarea experimentală referitoare la procesul de ardere a materiilor prime în centrala termică pilot
- realizarea de experimente în scopul determinării de rezultate necesare studiului eficienței energetice și a influenței asupra mediului a centralei pilot

Rezultatele obținute sunt:

- o metodologie a cercetărilor,
- o bază de date cu materii prime care pot fi folosite ca și combustibil solid în care s-au folosit rezultatele obținute prin prelucrarea datelor experimentale dar și date din literatura de specialitate
- o bază de date cu rezultatele colectate.

Pe lângă optimizarea liniei de fabricație peleți descrisă în capitolul 2 și realizarea centralei pilot descrisă în capitolul 3, pentru studiul eficienței energetice a centralei pilot a fost nevoie să se cunoască și proprietățile fizico-chimice ale materiilor prime care au fost arse în centrală, inclusiv ale celor două tipuri de peleți realizați pe linia tehnologică (cu presa mică de peleți).

S-a realizat o metodologie a cercetării și s-au pregătit probele pentru analizele de laborator (materii prime și peleți). Acestea au fost analizate atât în laboratoarele particulare de la Viena, în laboratoarele de la UPT, cât și în laboratorul de la COLTERM SA. În urma cercetărilor s-a realizat o bază de date care va fi utilizată în capitolul următor.

Centrala prototip 5 a fost conectată la sistemul de încălzire al unei locuințe private și a înlocuit 2 centrale termice cu combustibil gazos (sistem cu 10 calorifere), s-au determinat punctele de măsurare (Figura 5.1) și s-au montat/pregătit echipamentele, instrumentele și aparatele de măsură.

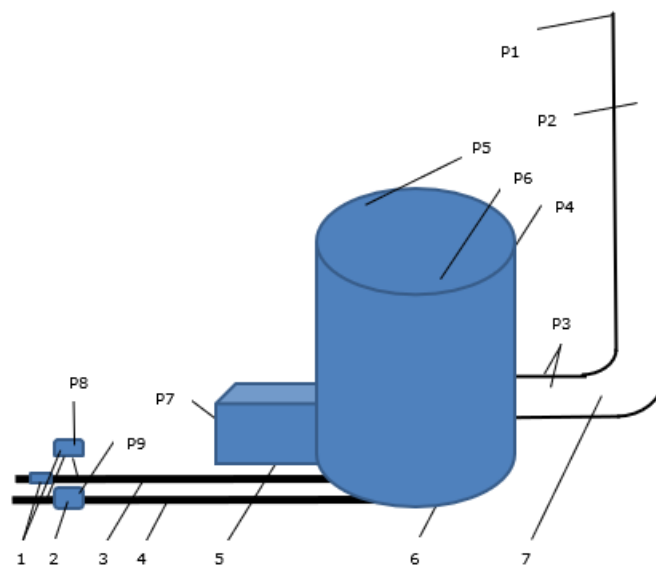


Figura 5.1. Schița instalației de încălzire (centrala termică pilot) cu punctele de măsurare: 1-contor multical, 2-pompa de recirculare a agentului termic, 3-retur apă, 4-tur apă, 5-focar, 6-manta centrală, 7-coș evacuare gaze

S-au făcut 7 serii de măsurători (5 tipuri de materii prime, Figura 5.2) și rezultatele au fost colectate într-o bază de date ce va fi utilizată în capitolul următor.



Figura 5.2. Materiale alese pentru procesul de ardere: a)peleți rășinoase, b)peleți fag cu brad, c)carpen, d)rășinoase, e)câneță

Rămâne deschisă cercetarea privind:

- modificări aduse automatizării pentru arderea peletilor astfel încât să poată conduce și arderea măcinăturii de biomasă, ținând cont de faptul că peletizarea este o operație energofagă,
- transformarea centralei pitot într-un generator de abur pentru o cogenerare (energie termică și electrică),
- creșterea cantității de biomasă arsă în cazanele de abur de la CET SUD prin montarea pe acestea de arzătoare pe peletii (soluția 2 din lucrarea [113]).

6. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Obiectivele acestui capitol sunt:

- Stabilirea intrărilor și ieșirilor care vor fi analizate în urma experimentelor pe teren,
- Conceperea unor baze de date care vor fi folosite în calcule,
- Determinarea unor relații funcționale între intrările și ieșirile stabilite anterior, în scopul extragerii de informații pertinente referitoare la dependența parametrilor de ieșire de factori controlabili (intrări),
 - Determinarea unei relații pentru puterea calorifică a unui combustibil solid în funcție de compoziția sa elementală și de umiditatea sa,
 - Antrenarea unei rețele neuronale care să returneze compoziția elementală a unui combustibil solid în funcție de umiditatea sa, procentul masic de cenușă reziduală rezultat în urma arderii combustibilului și puterea calorifică a acestuia. Compoziția elementală a combustibilului returnată de rețeaua neuronală artificială va fi folosită împreună cu umiditatea acestuia în formula determinată pentru puterea calorifică, iar rezultatele vor fi comparate cu valorile obținute experimental pentru 5 materii prime.
 - Studiul curgerii agentului termic pentru încălzire în schimbătoarele de căldură.

Rezultatele obținute sunt:

- o bază de date cu proprietățile diverselor materii prime care pot fi utilizate ca și combustibili solizi sau pot fi supuse procesului tehnologic de peletizare
- o rețea neuronală pentru determinarea compoziției elementale a unui combustibil solid dacă se cunoaște umiditatea acestuia, cenușa reziduală rezultată în urma arderii și puterea calorifică.

În acest capitol au fost prelucrate datele obținute experimental, folosind metode statistice și de inteligență artificială.

O etapă importantă în acest sens a fost preprocesarea datelor. Aceasta a constat în elaborarea bazelor de date folosite și în stabilirea variabilelor de intrare și de ieșire asociate experimentelor. Cu mijloace statistice a fost determinată o formulă pentru calculul puterii calorifice pe baza umidității și a compoziției elementale a materialului combustibil, care are o precizie de 99,4727%.

$$\begin{aligned} \text{Puterea calorifică} = & -39,5703 \cdot \text{Umiditate} + 100,365 \cdot N + 329,299 \cdot C - \\ & - 683,714 \cdot S - 74,1666 \cdot H + 78,4107 \cdot O \end{aligned} \quad (6-1)$$

Tot cu mijloace statistice au fost determinate relații funcționale între variabilele de intrare și de ieșire înregistrate în cadrul experimentelor, relații care permit stabilirea de noi proprietăți ale centralei termice.

În figura următoare se prezintă o astfel de dependență pentru variația temperaturii gazelor de ardere la ieșirea din centrală (Y5) față de energia combustibilului introdus (X1), umiditatea combustibilului (X2) și timpul desfășurat de la începutul experimentului (X6), conform relației de mai jos.

$$\begin{aligned} Y5 = & -7.02429 \cdot X1 + 2.2046 \cdot X2 + 2.91893 \cdot X6 + 0.356027 \cdot X1 \cdot X2 - \\ & 0.0278506 \cdot X1 \cdot X6 - 0.125091 \cdot X2 \cdot X6 + 0.0652596 \cdot X1^2 \end{aligned} \quad (6-2)$$

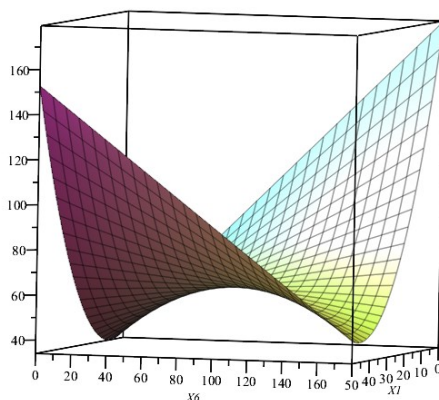


Figura 6.1. Variația lui Y5 în funcție de X1 și X6, atunci când X2 = 17,03558343

A fost antrenată o rețea neuronală artificială pentru a determina compoziția elementală a unui material, pe baza puterii sale calorifice, a umidității și a cantității de cenușă reziduală care rezultă în urma arderii acestui material. Calculul s-a realizat folosind Neural Network Toolbox din Matlab [99].

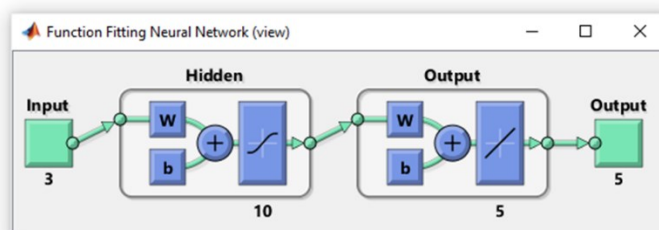


Figura 6.2. Structura rețelei neuronale

Cele 3 intrări ale rețelei neuronale pot fi stabilite relativ ușor, folosind un umidometru și o bombă calorimetrică. Pentru stabilirea compoziției elementale sunt necesare analize mai complexe care nu sunt neapărat la îndemână.

Rețeaua neuronală, cu o precizie de 99,96%, a fost validată suplimentar prin calculul puterii calorifice aferente unor materii prime inovative folosite în testele de ardere în centrală, folosind compoziția elementală furnizată de rețeaua neuronală și ecuația de regresie determinată statistic (figura 6.3).

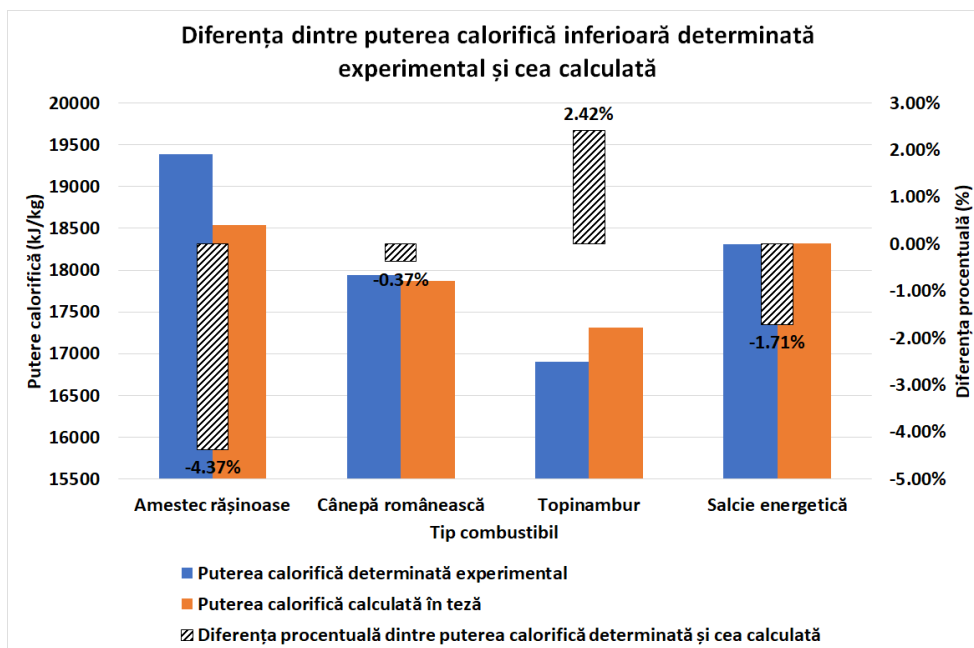


Figura 6.3. Diferența dintre puterea calorifică inferioară determinată experimental și cea calculată

Prin îmbunătățirea adusă prototipului final de centrală termică s-a redus cantitatea de CO (combustibil) eliminat în atmosferă aproape la jumătate, așa cum reiese din figura de mai jos.

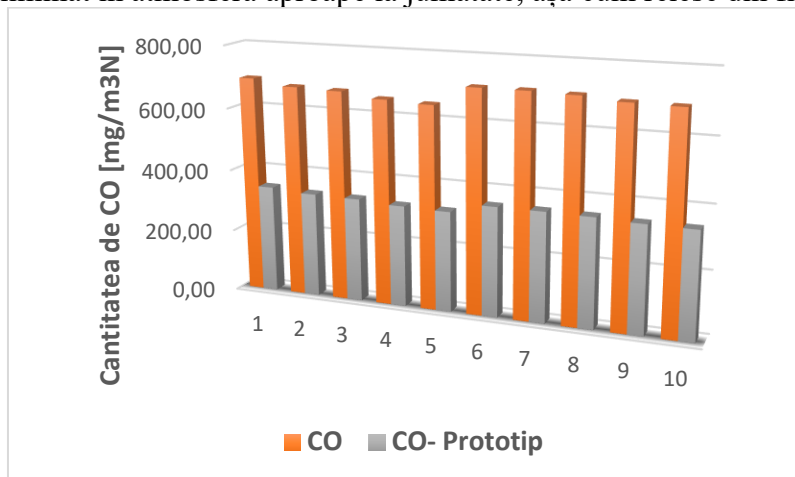


Figura 6.4. Cantitatea de CO în mg/m³N pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări

Din procesul de simulare realizat cu programul comercial Ansys – Fluent varianta 2019R1 [7] rezultă faptul că valoarea diferenței de temperatură obținută prin simulare numerică este apropiată de rezultatul obținut prin măsurători experimentale. Ca urmare a acestor simulări schimbătorul de căldură de tip serpentină este preferabil altor tipuri de schimbătoare.

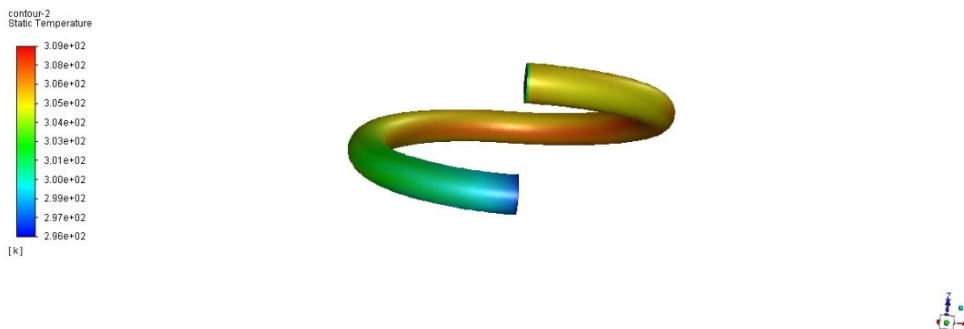


Figura 6.5. Câmpul de temperatură

7. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII

Concluzii generale

Pornind de la nevoia exprimată de o firmă care activează în domeniul producerii de peleți și brichete, cercetarea de față a adus o soluție inovativă în ceea ce privește atât optimizarea liniei tehnologice de producție peleți/brichete, cât și pentru arderea produselor obținute de firmă.

Contribuții personale

Această lucrare aduce o serie de contribuții personale de natură teoretică, experimentală respectiv aplicabilă industrial, bazate pe studii documentare, modelare teoretică și cercetări experimentale realizate pe durata stagiului de pregătire doctorală.

Rezultatele originale obținute în urma **procesului de optimizare** a liniei tehnologice sunt constituite din:

- un tocător inovativ pentru mărunțirea crengilor,
- un malaxor pentru omogenizarea mixturilor de biomasă,
- buncare intermediare pentru diverse materii prime,
- creșterea gradului de siguranță (modificarea focarului uscătorului) și îmbunătățirea mediului de lucru (filtre pentru praf),
- obținerea unei producții în flux continuu,
- transferul rezultatelor prin realizarea unei linii de pregătire a biomasei pentru arderea împreună cu cărbunele la CET SUD.

Ca rezultate originale obținute în urma **proiectării și realizării** fizice a centralei termice sunt:

- o linie tehnologică de fabricație peleți/brichete optimizată,
- o centrală termică pilot inovativă pentru care s-a depus o cerere de brevet,
- un sistem de automatizare a centralei termice pilot pentru integrarea cu ușurință a acestuia în dispozitivele smart-home.

Ca rezultate originale obținute în urma **cercetărilor experimentale** sunt de menționat:

- verificarea în fabrică a realizării de peleți din diverse rețete după optimizarea procesului de fabricație. Pe linia tehnologică s-au făcut încercări pentru optimizarea procesului de producție, apoi au fost produși peleții care au fost arși în cele 5 prototipuri ale centralei pilot.
- verificarea eficienței energetice a centralei pilot. S-au făcut determinări experimentale pe prototipul final de centrală după ce aceasta a fost integrată într-un sistem de încălzire cu 10 calorifere.

Contribuții teoretice

Principalele contribuții de natură teoretică sunt:

- **parcursul critică a literaturii de specialitate** atât din domeniul biomasei, cât și din domeniul centralelor termice. Din studierea a 140 de surse bibliografice s-a prezentat stadiul actual al cercetărilor din domeniul studiat,
- **construirea unei baze de date cu biomasa care poate fi utilizată ca material combustibil.** Baza de date a fost realizată în urma cercetărilor din literatura de specialitate, a determinărilor proprii și a cercetărilor din teren. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și la obiectivul secundar OS1.
- **construirea unei rețele neuronale** care să previzioneze puterea calorică și cantitatea de cenușă reziduală plecând de la compoziția elementară a unui material. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și la obiectivul secundar OS1.
- realizare proiectului tehnic de centrală

Contribuții experimentale

Principalele contribuții de natură experimentală sunt:

- **verificarea funcționării liniei tehnologice de peleți/brichete** în urma optimizării. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și a obiectivului secundar OS2.
- **realizarea tehnică a centralei termice** pentru locuințe individuale pe baza proiectului de prototip. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP2 și a obiectivelor secundare OS3 și OS4.
- **verificarea funcționării centralei termice prototip** pentru locuințe individuale. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivului secundar OS1 și OS3.

Contribuții aplicabile industrial

Principalele contribuții aplicabile industrial sunt:

- premize pentru optimizarea liniei tehnologice de peleți/brichete. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și a obiectivului secundar OS2.
- posibilitatea realizării centralei termice pilot la scară industrială. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivelor primare OP1 și OP2 și a obiectivelor secundare OS1, OS3 și OS4.
- posibilitatea automatizării centralei termice prototip și integrarea acesteia în smart home. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și OP2 și a obiectivului secundar OS3.

Rezultatele cercetărilor s-au diseminat prin:

- Creșterea contribuției în domeniul cunoașterii prin publicarea de articole: 2 în jurnale ISI, 4 în cadrul unor Proceedings la conferințe cotate ISI, 2 în jurnale cotate BDI și 1 în cadrul unor Proceedings la conferințe cotate BDI,
- Colaborarea cu SC TITUS INDUSTRIES SRL, aceasta fiind în mod direct interesată de rezultatele cercetării. În cadrul acestei societăți s-a optimizat linia tehnologică pentru producerea de peleți/brichete,
- Colaborarea cu SC COLTERM SA, unde s-a realizat o linie tehnologică și se caută soluții pentru creșterea aportului de biomasă în mixtul energetic (cărbune-biomasă).

Perspectivă de dezvoltare ulterioară

În urma experienței acumulate am identificat trei mari direcții de cercetare:

A. Îmbunătățirea soluției tehnice pentru centrală și studiul complet al arderii astfel:

- introducerea a încă unui schimbător de căldură,
- construirea focarului dintr-un material mai rezistent,

- studiul complet al arderii în astfel de centrale individuale (concentrațiile majore, elemente potențial toxice și compoziția de fază a cenușii).

B. Transformarea sau cuplarea centralei astfel:

- cuplarea centralei cu dispozitive de stocare termică;
- transformarea centralei într-un sistem de micro-cogenerare utilizând spre exemplu un motor Stirling. Această centrală poate fi modificată cu ușurință într-un generator de abur tehnologic care poate acționa un motor/miniturbină pentru cogenerare;
- realizarea unui sistem hibrid 100% regenerabil: panouri fotovoltaice în contract de prosumator și cogenerarea care poate funcționa pe perioada toamnă-iarnă când producția de energie electrică a panourilor fotovoltaice este redusă.

C. Montarea de arzătoare de pești pe cazanul de abur CET SUD pentru creșterea raportului de biomasă în mixtul cărbune biomasă (acum maximul este 10%).

BIBLIOGRAFIE

- [1] Al-Waeli, A.H.; Sopian, K.; Kazem, H.A.; Chaichan, M.T. *Photovoltaic/ Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects*, Renew. Sustain. Energy Rev. 2017, 77, 109–130, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.02.066>
- [2] Ansys 2019R1, Ansys Inc., 2019
- [3] Bioenergy Europe. *Statistical Report Pellets*; Bioenergy Europe: Brussels, Belgium, 2020
- [4] Bollmann, M.; Bosch, T.; Colijn, F.; Ebinghaus, R.; Froese, R.; Guessow, K.; Khalilian, S.; Krastel, S.; Koertinger, A.; Lagenbuch, M.; et al. *World Ocean Review 2010: Living with the Oceans*; Gelpke, N., Visbeck, M., Eds.; Mare: Hamburg, Germany, 2010; 234p. ISBN 978-3-86648-000-1.
- [5] Bridgeman T.G. , Jones J.M., Shield I., Williams P.T., *Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties*, Fuel 87 pp 844–856, 2008
- [6] Cheng, J. *Biomass to Renewable Energy Processes*, Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA, 2017, Agronomy 2022, 12, 424 12 of 13
- [7] Dincer, I., *Environmental impacts of energy*. Energy Policy 1999, 27, 845–854. Energies 2022, 15, 8573 27 of 35, [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(99\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(99)00068-3)
- [8] Duran, J. Sands, Powders, and Grains, *An Introduction to the Physics of Granular Materials*, Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2012
- [9] Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Seyboth, K.; Kadner, S.; Zwickel, T.; Eickemeier, P.; Hansen, G.; Schlomer, S.; von Stechow, C.; et al. (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2011, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation — IPCC
- [10] Gielen, D.; Boshell, F.; Saygin, D.; Bazilian, M.D.; Wagner, N.; Gorini, R., *The role of renewable energy in the global energy transformation*. Energy Strategy Rev. 2019, 24, 38–50. [<https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>]
- [11] Huelsmann T., Mack R., Kaltschmitt M., Hartmann H., *Influence of kaolinite on the PM emissions from small-scale combustion*, Biomass Conversion and Biorefinery, pp 1- 16;
- [12] Huesemann, M.H. The limits of technological solutions to sustainable development . Clean. Technol. Environ. Policy 2003, 5, 21–34

- [13] IIGCC—The Institutional Investors Group on Climate Change, *The Impact of Russia's Invasion of Ukraine for the Energy Transition*, 2022, Available online: <https://www.iigcc.org/news/the-impact-of-russias-invasion-of-ukraine-for-the-energytransition/> (accessed on 4 August 2022).
- [14] Ilari, A.; Foppa-Pedretti, E.; De Francesco, C.; Duca, D., *Pellet Production from Residual Biomass of Greenery Maintenance in a Small-Scale Company to Improve Sustainability*, *Resources* 2021, 10, 122, <https://doi.org/10.3390/resources10120122>
- [15] Ji, Q., Zhang, D., *How much does financial development contribute to renewable energy growth and upgrading of energy structure in China?*, *Energy Policy* 2019, 128, 114–124, DOI:10.1016/J.ENPOL.2018.12.047
- [16] Kaygusuz, K., *Energy for sustainable development: A case of developing countries*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 1116–1126 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.013>
- [17] Lima, M.A.; Mendes, L.F.R.; Mothé, G.A.; Linhares, F.G.; de Castro, M.P.P.; Da Silva, M.G.; Sthel, M.S., *Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil*, *Environ. Dev.* 2020, 33, 100504, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>
- [18] Maris, S., **Nenu, P.**, Maris, S., & Cernescu, L. (2016). *Financing Methods For Innovative Start-Ups In The Domain Of Nonconventional Energies*, *Nonconventional Technologies Review*, XX(3), 65-70
- [19] Maris, S., Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peletilor și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale, Teză doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2022
- [20] Midilli, A.; Dincer, I.; Ay, M., *Green energy strategies for sustainable development*, *Energy Policy* 2006, 34, 3623–3633, DOI:10.1016/J.ENPOL.2005.08.003
- [21] Muazu, R.I.; Stegemann, J.A., *Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs*. *Fuel Process, Technol.* 2015, 133, 137–145, DOI:10.1016/J.FUPROC.2015.01.022
- [22] Munro, F.R. *Renewable energy and transition-periphery dynamics in Scotland*, *Environ. Innov. Soc. Transit.* 2019, 31, 273–281, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.09.001>
- [23] Nedderman, R. *Statics and Kinematics of Granular Materials*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1992.
- [24] **Nenu P. F.**, Maris S. A., Forgacs L., Maris S., *Use of biomass in coal steam boilers*, Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 21-24 February 2017), pp. 473-480, WOS:000432420200050
- [25] **NENU Petre Florinel**, DUNGAN Luisa Izabel, CIOABLA Adrian Eugen, *Experimental data in firing process for different types of biomass*, IX International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2019 (IIZS 2019) October 3rd-4th, 2019, Zrenjanin, Serbia
- [26] Pacesila, M.; Burcea, S.G.; Colesca, S.E., *Analysis of renewable energies in European Union*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 56, 156–170, DOI:10.1016/J.RSER.2015.10.152
- Papadis, E.; Tsatsaronis, G., *Challenges in the decarbonization of the energy sector*, *Energy* 2020, 205, 118025 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025>
- [27] Pradhan, P.; Mahajani, S.M.; Arora, A., *Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review*, *Fuel Process. Technol.* 2018, 181, 215–232,
- [28]

DOI:10.1016/J.FUPROC.2018.09.021

- [29] Salvarli, M.S.; Salvarli, H., *For sustainable development: Future trends in renewable energy and enabling technologies*, In Renewable Energy-Resources, Challenges and Application; Al Qubeissi, M., El-kharouf, A., Soyhan, H.S., Eds.; IntechOpen: London, UK, 2020; Available online: DOI:10.5772/intechopen.91842 (accessed on 30 August 2022)
- [30] Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Skjelhaugen, O.J., Asplund, D., Nesheim, L.,. *An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use*, Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 3388e3398,2011, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.028>.
- [31] Zhang, K.; Nieto, A.; Kleit, A.N., *The real option value of mining operations using mean-reverting commodity prices*, Miner. Econ. 2015, 28, 11–22, <https://doi.org/10.1007/s13563-014-0048-6>