

**Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică
Departamentul Mașini Mecanice, Utilaje și
Transporturi**

**Contribuții la optimizarea procesului
de fabricație a peleților/brichetelor și
a arhitecturii centralei termice pentru
arderea acestora**

**Conducător științific:
Prof.univ.dr.ing. SLAVICI TITUS**

**Doctorand:
Ing. NENU PETRE-FLORINEL**

2023

**Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică**

**Contribuții la optimizarea procesului
de fabricație a peleților/brichetelor și
a arhitecturii centralei termice pentru
arderea acestora**

Teză destinată obținerii titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Inginerie Industrială
de către

NENU PETRE-FLORINEL

Cuvânt înainte

Studiile doctorale m-au condus pe un nou drum al cunoașterii, în procesele de optimizare constructivă și funcțională a liniilor tehnologice de fabricație peleți/brichete, dar și a centralelor termice pe peleți ce pot fi utilizate în locuințele din mediul rural și nu numai.

În această perioadă de creștere semnificativă a prețului la energia electrică și de criză în ceea ce privește gazul metan, se impune realizarea unor studii teoretice în faza de concepție și proiectare a unui sistem de încălzire pe baza unor programe de simulare adecvate, rezultatele studiilor urmând a fi validate prin determinări experimentale. Rezultatele studiilor și analizelor teoretice pot conduce la concluzii suficient de edificatoare, permițând aplicarea unor soluții ce pot fi adoptate pentru realizarea unui sistem de încălzire fiabil, cu preț accesibil tuturor, prietenos cu mediu și care poate înlocui cu succes o centrală termică pe gaz.

Finalizarea tezei de doctorat reprezintă rezultatul palpabil al unei activități susținute pe parcursul întregii perioade de doctorat, perioadă în care am avut șansa de a cunoaște și colabora cu oameni deosebiți spre care se îndreaptă acum gândurile mele de recunoștință, respect și prietenie.

Pentru îndrumarea profesională, pentru spiritul de înaltă competență științifică acordat de-a lungul întregii perioade de pregătire pentru doctorat parcurse, pentru încurajările și aprecierile pe care le-am simțit în permanență aduc mulțumirile mele și respectul cuvenit conducătorului științific profesor, doctor inginer Titus Slavici.

Călduroase mulțumiri adresez membrilor comisiei de îndrumare, prof.dr.ing. Dumitru Țucu, prof.dr.ing. Dumitru Mnerie, prof.dr.ing. Mircea Vasilescu pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat lucrării.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc cadrelor didactice din Departamentul de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi, prof.dr.ing. Dorin Lelea, conf.dr.ing. Adrian Cioablă și conf.dr.ing. Francisc Popescu, de la care am primit sugestii deosebit de utile și care s-au implicat în efectuarea determinărilor experimentale. Mulțumiri adresez și colegilor doctoranzi, precum și colegilor din Colterm SA.

Calde mulțumiri adresez părinților mei care, împreună cu colegul Mihai Lucaciu, m-au ajutat la realizarea fizică a prototipului de centrală, precum și domnului Adrian Pop pentru sprijinul în automatizarea centralei.

Mulțumesc cu dragoste și respect familiei și mai ales soției și surorii mele pentru atașament, susținere, înțelegere și ajutor.

În speranța că lucrarea reușește să aducă o contribuție în domeniul Inginerie Industrială, încerc sentimentul că experiența acumulată și rezultatele prezentate sunt pe măsura efortului meu, dar mai ales pe măsura sprijinului de care am beneficiat în tot acest timp.

Timișoara, februarie 2023

ing. NENU Petre-Florinel

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	5
LISTA TABELELOR.....	9
LISTA FIGURILOR	10
1. INTRODUCERE.....	15
1.1. Importanța și necesitatea temei alese	15
1.2. Obiectivele cercetării.....	17
1.3. Structura lucrării	18
2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL TEMEI ALESE	20
2.1. Ancorarea cercetării în stadiul actual	20
2.1.1. România în contextul actual al utilizării surselor de energie regenerabilă	24
2.1.2. Arderea biomasei – considerații generale.....	26
2.1.3. Prelucrarea biomasei pentru obținerea de peleți/ brichete.....	29
2.1.4. Probleme legate de calitatea aerului	30
2.1.5. Exemple de aplicații și tehnologii folosite în instalații de ardere a biomasei	33
2.2. Standarde internaționale aplicabile în producția de peleți și brichete pentru încălzire	37
2.3. Concluzii parțiale	37
3. OPTIMIZAREA LINIEI ȘI A PROCESULUI DE PELETIZARE/BRICHETARE	38
3.1. Preliminarii	38
3.2. Descrierea liniei de peleți și brichete	39
3.3. Contribuții privind optimizarea și conducerea liniei de fabricație.....	41
3.4. Transferul rezultatelor obținute în urma optimizării liniei tehnologice de fabricație peleți/brichete.....	52
3.5. Premise de dezvoltare a firmei	56
3.6. Concluzii parțiale	58

4. CONCEPȚIA, PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNEI CENTRALE TERMICE PILOT INOVATIVE	59
4.1. Preliminarii	59
4.2. Concepția centralei termice	60
4.2.1. Generalități	60
4.2.2. Concepția prototipurilor centralei	61
4.3. Proiectarea centralei și a elementelor componente ale acesteia	65
4.4. Realizarea fizică a centralei prototip	72
4.5. Conducerea cu microcontroler a centralei pilot	76
4.6. Propunere brevet	92
4.7 Concluzii parțiale	98
5. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A EFICIENȚEI ENERGETICE ȘI A INFLUENȚEI ASUPRA MEDIULUI A CENTRALEI PILOT	99
5.1. Preliminarii	99
5.2. Metodologia cercetărilor empirice experimentale privind parametrii de calitate ai biomasei	100
5.2.1. Concepte cheie	100
5.2.2. Metode și echipamente folosite în cercetările empirice experimentale prin descompunerea în elemente chimice primare	102
5.2.3. Determinări experimentale privind parametrii de calitate ai biomasei	106
5.3. Rezultatele experimentale privind parametrii de calitate ale materialelor alese pentru analiză	117
5.4 Metodologia cercetărilor empirice experimentale privind eficiența energetică a centralei pilot	118
5.4.1. Metode și echipamente	118
5.4.2. Determinările experimentale privind eficiența energetică a centralei pilot	126
5.5. Rezultate experimentelor privind eficiența energetică a centralei pilot ..	130
5.6. Rezultate privind influența asupra mediului a gazelor de ardere	136
5.7. Concluzii parțiale	139
6. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE	141
6.1. Preliminarii	141
6.2. Prelucrarea datelor folosind Statgraphics	142

8 Nenu Petre-Florinel

6.2.1. Tehnici de prelucrare folosind Statgraphics	142
6.2.2. Rezultate obținute cu Statgraphics	144
6.2.3. Determinarea ecuației de regresie pentru puterea calorică inferioară	159
6.3. Prelucrarea datelor folosind MATLAB. Utilizarea inteligenței artificiale ...	160
6.3.1. Tehnici de prelucrare folosind MATLAB	160
6.3.2. Prelucrarea rezultatelor determinărilor experimentale pentru arderea în centrala pilot	161
6.4. Prelucrarea rezultatelor privind influența gazelor de ardere asupra mediului	170
6.5. Modelarea numerică a fenomenelor de curgere și transfer de căldură printr-un schimbător de căldură	173
6.5.1. Noțiuni generale	173
6.5.2. Studiul fenomenelor de curgere și transfer de căldură printr-un schimbător de căldură	174
6.6. Concluzii parțiale	179
7. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII	180
7.1. Concluzii generale	180
7.2. Contribuții personale	181
7.2.1. Contribuții teoretice	182
7.2.2. Contribuții experimentale	182
7.2.3. Contribuții aplicabile industrial	182
7.3. Perspective de dezvoltare ulterioară	183
LISTA DE LUCRĂRI PROPRII	184
BIBLIOGRAFIE	186
ANEXE	200

LISTA TABELELOR

Tab. 2.1. Procentul de masă lemnoasă de diferite tipuri utilizată în țările europene, după [100]	21
Tab. 2.2. Cantitatea de peleți exportată în mii tone din țările selectate [192]	30
Tab. 2.3. Emisiile totale, după sursă (2019-2021), după [155]	32
Tab. 5.1. Materialele alese pentru teste – prezentare generală	117
Tab. 5.2.a. Rezultate experimentale (partea 1).....	117
Tab. 5.3. Materialele alese pentru a fi arse în timpul experimentelor	119
Tab. 5.4. Punctele de măsurare	127
Tab. 5.5.a. Temperatura agentului termic din instalație	130
Tab. 5.6. Cenușa rezultată	132
Tab. 5.7.a. Temperatura și viteza gazelor de ardere	134
Tab. 5.8. Temperatura agentului termic în schimbătorul de căldură 3	135
Tab. 5.9.a. Rezultatele arderii pentru prototipul 4	136
Tab. 5.10.a. Rezultatele arderii (prelevări directe) pentru prototipul 4	137
Tab. 5.11. Rezultatele arderii (prelevări raportate la oxigenul de referință de 6% exprimate în mg/m ³ N) pentru prototipul 5	138
Tab. 6.1. Statisticile pentru variabile intrări(X_i)	152
Tab. 6.2. Statisticile pentru variabilele ieșiri (Y_i)	152
Tab. 6.3. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-1..	154
Tab. 6.4. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-2..	155
Tab. 6.5. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-5..	156
Tab. 6.6. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-7..	158
Tab. 6.7. Eroarea standard și P-valoarea pentru ecuația 6-9	159
Tab. 6.8. Diferențe între valorile calculate și cele determinate pentru puterea calorică inferioară	169
Tab. 6.9. Temperaturile de intrare și ieșire a agentului termic din schimbătorul 3	176

LISTA FIGURILOR

Fig. 2.1. Consumul brut de energie în UE, după [70]	24
Fig. 2.2. Previțiunile asupra consumului mondial de energie, după [44]	26
Fig. 2.3. Situația pieței de combustibili (peleți) la nivelul anului 2017, după [19] ..	29
Fig. 2.4. Emisiile totale GHG în perioada 1990-2021 (GtCO ₂ e/an), după [155]	32
Fig. 2.5. Modelul cutiei negre tip Box Wilson pentru procesul de fabricare al peletilor și brichetelor	37
Fig. 3.1. Tehnologia de valorificare a deșeurilor lemnoase: A – reglementată, B-cu mărirea puterii calorice a materialului, după [113]	40
Fig. 3.2. Schema logică de funcționare, adaptare după [97]	41
Fig. 3.3. Schema instalației de peletizare/brichetare	44
Fig. 3.4. Tocătorul liniei tehnologice, [arhiva proprie]	45
Fig. 3.5. Tocător pentru crengi, [arhiva proprie]	46
Fig. 3.6. Sistemul de mărunțire: a)cuțitele tocătorului prototip (6 bucăți) montate pe arbore, b) cuțitele cu masa de tăiere, [arhiva proprie]	46
Fig. 3.7. Volantele montate pe arbore, [arhiva proprie]	46
Fig. 3.8. Moara cu ciocane, [arhiva proprie]	47
Fig. 3.9. Instalația de uscare (cuptorul de ardere împreună cu tubulatura în care are loc uscarea uscare), [arhiva proprie]	48
Fig. 3.10. Buncăr cu separator de praf, [arhiva proprie]	48
Fig. 3.11. Malaxor orizontal, [arhiva proprie]	49
Fig. 3.12. Buncărul liniei tehnologice pentru brichetare, [arhiva proprie]	49
Fig. 3.13. a)Presa de brichete, b) Ghidaj, [arhiva proprie]	50
Fig. 3.14. Presa de peleți: 1- transportor elicoidal, 2-transportor elicoidal (alimentator), 3-dozator, 4-motor acționare presă, 5- corpul presei de peleți, 6-transportor elicoidal de peleți spre cernere uscare, [arhiva proprie]	51
Fig. 3.15. Instalație de răcire și cernere: 1-exterior, 2-sită de cernere, 3-filtru pentru reținerea prafului, [arhiva proprie]	51
Fig. 3.16. Transportor elicoidal și instalație de ambalare, [arhiva proprie]	52
Fig. 3.17. Presă peleți de capacitate mică, [arhiva proprie]	52
Fig. 3.18. Schema unui cazan alimentat cu un amestec de biomasă și cărbune, folosind arzătoare cu metan, după [113]	53
Fig. 3.19. Schema liniei de pregătire a măcinăturii de biomasă pentru arderea împreună cu cărbune	54
Fig. 3.20. Graifer, [arhiva proprie]	54
Fig. 3.21. Tocător industrial de crengi, [arhiva proprie]	54

Fig. 3.22. Hala cu echipamentele sale: 1-hala, 2-moara, 3-tub alimentare linie, [arhiva proprie]	55
Fig. 3.23. Hala și platforma betonată, [arhiva proprie].....	55
Fig. 3.24. Hala de producție, sursa Google maps.....	57
Fig. 4.1. Prototip 2, [arhiva proprie]	62
Fig. 4.2. Prototip 3, [arhiva proprie]	62
Fig. 4.3. Prototip 4, [arhiva proprie]	63
Fig. 4.4. Prototip 4 după realizarea încercărilor, [arhiva proprie]	64
Fig. 4.5. Schiță centrală termică pilot	65
Fig. 4.6. Centrala termică pilot - varianta 3D.....	66
Fig. 4.7. Centrala termică pilot – Componente	67
Fig. 4.8. Schimbătorul de căldură 3.....	67
Fig. 4.9. Schimbătorul de căldură 2.....	68
Fig. 4.10. Schimbătorul de căldură montat în capac	68
Fig. 4.11. Traseul gazelor de ardere și dispunerea celor 3 schimbătoare	69
Fig. 4.12. Centrala termică pilot - Vedere izometrică	70
Fig. 4.13. Centrala termică pilot - Vedere laterală	71
Fig. 4.14. Centrala termică pilot - Vedere de sus.....	71
Fig. 4.15. Dimensiuni constructive ale centralei termice pilot.....	72
Fig. 4.16. Centrala termică pilot, [arhiva proprie]	73
Fig. 4.17. Centrala termică pilot: 1-tub de alimentare, 2-focar, 3-corpul centralei, [arhiva proprie]	73
Fig. 4.18. Centrala termică pilot la primele probe de ardere a peletilor, [arhiva proprie].....	75
Fig. 4.19. Focarul și primul drum al gazelor de ardere: a) vedere de sus, b) vedere din față, [arhiva proprie].....	76
Fig. 4.20. Reprezentarea legăturilor electrice în Proteus între Arduino, MAX6675 și Termocupla tip K	79
Fig. 4.21. Sursa de alimentare împreună cu afișajul și butoanele de control, [arhiva proprie].....	79
Fig. 4.22. Simularea pompei de recirculare, [arhiva proprie].....	80
Fig. 4.23. Modul 8 relee și module conversie pentru termocuple K, [arhiva proprie]	80
Fig. 4.24. Conexiune modul cu 8 relee și Arduino Uno	81
Fig. 4.25. Conexiune comandă octocuplor	81
Fig. 4.26. Ventilator cu motor DC, [arhiva proprie]	82
Fig. 4.27. Mini pompă de apă submersibilă, [arhiva proprie]	82
Fig. 4.28. Amplificator pentru senzorul PT 100, [arhiva proprie]	83
Fig. 4.29. Diagrama automatizării elementelor periferice	84
Fig. 4.30. Diagrama funcției Pompa_apa()	85
Fig. 4.31. Diagrama funcției flag_set()	86
Fig. 4.32. Diagrama funcției butoane()	87
Fig. 4.33. Meniul centralei, [arhiva proprie]	88

Fig. 4.34. Senzorii ultrasonici pentru măsurarea nivelului de peleți din cuva de alimentare, [arhiva proprie].....	88
Fig. 4.35. Senzorul PT 100 în stânga și în dreapta două termocuple K, [arhiva proprie].....	88
Fig. 4.36. Vedere de ansamblu, [arhiva proprie].....	89
Fig. 4.37. Interfață internet cablată, [arhiva proprie]	90
Fig. 4.38. Ansamblu de testare final, [arhiva proprie]	90
Fig. 4.39. Vedere de ansamblu cu partea mecanică și electronică pentru automatizare, [arhiva proprie]	91
Fig. 4.40. Clapeta de alimentare pentru peleți, [arhiva proprie].....	91
Fig. 4.41. Experimente în lucru pentru automatizarea conectată a centralei, [arhiva proprie].....	92
Fig. 4.42. Ansamblu centrală termică	96
Fig. 4.43. Ansamblu centrală termică 3D	96
Fig. 5.1. Moară pentru reducerea dimensiunii materialului (Fritsch P16), [arhiva proprie].....	102
Fig. 5.2. Balanță laborator, [arhiva proprie]	103
Fig. 5.3. Etuva model MEMMERT, [arhiva proprie]	103
Fig. 5.4. Cuptor de calcinare model Norbertherm B150, [arhiva proprie].....	103
Fig. 5.5. Bomba calorimetrică: a-model IKA C 5000, b- XRY-1B, [arhiva proprie] 104	
Fig. 5.6. Presa la cald model Struers – PRONTO PRESS – 10, [arhiva proprie]	104
Fig. 5.7. Spectrometru de tip PANalytical MagiXPro, [arhiva proprie]	104
Fig. 5.8. Cromatograful cu ioni pentru lichide – model DIONEX ICS -2100, [arhiva proprie].....	105
Fig. 5.9. Multianalizor model LECO TruSpec CHN, [arhiva proprie]	105
Fig. 5.10. Echipament de tip LECO AF 700, [arhiva proprie]	105
Fig. 5.11. Microscop termic - model IRF 1600 F, [arhiva proprie]	106
Fig. 5.12. Echipamentul de analiză termogravimetrică Netzsch TG 209 F1 Libra, (după [168]).....	106
Fig. 5.13. Exemple de mostre după procesul de ardere, [arhiva proprie].....	108
Fig. 5.14. Cenușă obținută pentru comportamentul de topire a cenușii, [arhiva proprie].....	111
Fig. 5.15. Pelete pentru comportamentul de topire a cenușii, [arhiva proprie]	111
Fig. 5.16. Materialul la începutul procesului, [arhiva proprie].....	112
Fig. 5.17. Materialul la începutul procesului, [arhiva proprie].....	112
Fig. 5.18. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (A), respectiv inert (B) al amestecului rășinos, [arhiva proprie]	113
Fig. 5.19. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (A), respectiv inert (B) pentru salcia energetică, [arhiva proprie]	114
Fig. 5.20. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (albastru), respectiv inert (olive) pentru topinambur inert (B) pentru topinambur, [arhiva proprie].....	115
Fig. 5.21. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (verde), respectiv inert (roșu) pentru cânepa românească, după [112].....	116

Fig. 5.22. Materiale alese pentru procesul de ardere: a) peleți rășinoase, b) peleți fag cu brad, c) carpen, d) rășinoase, e) cânepă, [arhiva proprie]	120
Fig. 5.23. Anemometru cu fir cald TESTO 425, după [170].....	121
Fig. 5.24. Anemometru cu elice, după [198].....	121
Fig. 5.25. Termooanemometru cu fir cald, după [196].....	121
Fig. 5.26. Termometru cu infraroșu, după [200]	122
Fig. 5.27. Termohigrometru, după [199].....	122
Fig. 5.28. Gazoanalizor TESTO 350 XXL, [arhiva proprie]	122
Fig. 5.29. Unitatea de control a gazoanalizorului TESTO 350 XXL: 1-interfața IrDA, 2-buton pornire/oprire, 3-suport magnetic, 4-display, 5-tastatura, 6-bara de contact pentru măsurători (pe spate), 7-interfete:7.1- USB 2-0, 7.3-încărcător, 7.2-TESTO DATA, 8-caneluri de ghidare pentru blocare cu unitatea de analiză, (după [169])	123
Fig. 5.30. Unitatea de analiză a gazoanalizorului TESTO 350 XXL: 1- Sifon pentru condens și recipient pentru condens,2-buton de blocare/deblocare pentru unitatea de control, 3-filtru de particule, 4-filtru de admisie a aerului proaspăt, 5-bară de contact pentru conectarea la unitatea de control, 6-știfturi de ghidare pentru blocarea cu unitatea de control,7-filtru de gaz de diluare,8-afișare stare, 8-afișarea stării, 9-conectori, după [169].....	123
Fig. 5.31. Sonda de prelevare a gazelor: 1-camera de filtrare detașabilă cu fereastră și filtru de particule, 2-mânerul sondei, 3-cablu de conectare, 4-fișă conector pentru instrumentul de măsură, 5-eliberarea blocării modulului sondei, 6-modulul sondei, după [169]	124
Fig. 5.32. Contor de energie termică multifuncțional, [arhiva proprie]	125
Fig. 5.33. Termocuplu tip K, [arhiva proprie]	125
Fig. 5.34. 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 ..	126
Fig. 5.35. Schița spațiului încălzit.....	128
Fig. 5.36. Pornirea centralei: a) amestec rășinoase, b)peleți, [arhiva proprie]	128
Fig. 5.37. Pregătirea și cântărirea probelor de material pentru realizarea experimentului, [arhiva proprie]	129
Fig. 5.38. Desfășurarea experimentelor de ardere, [arhiva proprie].....	129
Fig. 5.39. Cenușa rezultată în urma arderii probei P2: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie].....	132
Fig. 5.40. Cenușa rezultată în urma arderii probei P1: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie].....	132
Fig. 5.41. Cenușa rezultată în urma arderii probei P2: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie].....	133
Fig. 5.42. Cenușa rezultată în urma arderii probei P4: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie].....	133
Fig. 5.43. Cenușa rezultată în urma arderii probei P5: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie].....	133
Fig. 6.1. Pre-procesarea datelor.....	143

Fig. 6.2. Verificarea modelului și analiza coeficienților.....	144
Fig. 6.3.a. Diferența de temperatură (Y1) pentru agentul termic (tur și retur) (°C) în funcție de timp (X6).....	145
Fig. 6.4.a Energia termică produsă de centrală (kWh) funcție de timp	147
Fig. 6.5.a Temperatura gazelor de ardere la ieșire (°C), în funcție de timp	149
Fig. 6.6.a Temperatura în focar (°C) în funcție de timpul de ardere	151
Fig. 6.7. Forma dependențelor dintre variabilele analizate.....	153
Fig. 6.8. Variația lui Y1 în funcție de X1 și X6, atunci când $X2=13,45940044$	155
Fig. 6.9. Variația lui Y2 în funcție de X1 și X6, atunci când $X2=12,46233472$	156
Fig. 6.10. Variația lui Y5 în funcție de X1 și X6, atunci când $X2 = 17,03558343$..	157
Fig. 6.11. Variația lui Y6 în funcție de X2 și X6.....	158
Fig. 6.12. Puterea calorifică inferioară calculată față de puterea calorifică inferioară reală	160
Fig. 6.13. Structura rețelei neuronale	162
Fig. 6.14. Funcție de transfer de tip sigmoid.....	163
Fig. 6.15. Date de progres al antrenării rețelei neuronale.....	165
Fig. 6.16. Precizia rețelei	166
Fig. 6.17. Parametrii de oprire pentru rețeaua neuronală	167
Fig. 6.18. Valorile funcției eroare	167
Fig. 6.19. Histograma erorilor.....	168
Fig. 6.20. Detaliu de folosire a rețelei neuronale în Matlab	169
Fig. 6.21. Diferența dintre puterea calorifică inferioară determinată experimental și cea calculată	170
Fig. 6.22. Cantitatea de CO în $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări.....	171
Fig. 6.23. Cantitatea de NOx în $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări.....	172
Fig. 6.24. Cantitatea de CO ₂ în $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări.....	172
Fig. 6.25. Exemple de curgere în regim stabilizat periodic, adaptat după [88].....	174
Fig. 6.26. Secțiunea caracteristică discretizată cu elemente finite.....	177
Fig. 6.27. Liniile de curent.....	177
Fig. 6.28. Câmpul de viteză în secțiunile perpendiculare ale serpentinei	177
Fig. 6.29. Câmpul de temperatură	178

1. INTRODUCERE

1.1. Importanța și necesitatea temei alese

Energia este o componentă cheie a progresului actual și a dezvoltării civilizației. Practic, orice activitate și orice proces tehnologic au nevoie de consum de energie pentru a se desfășura.

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 cercetare 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. Continua dezvoltare a societății umane cu efect asupra sporirii cererii de energie a condus la noi idei, viziuni și soluții în producerea și asigurarea necesarului de energie pe piața energetică mondială, respectiv asigurarea cu material energetic inepuizabil. S-au căutat și se caută soluții pentru a obține materiale energetice inepuizabile cum este biomasa. Pe lângă faptul că aceasta este o sursă inepuizabilă de energie și face parte din categoria resurselor regenerabile de energie, ea este o sursă combustibilă neutră în ceea ce privește emisiile de CO₂, găsindu-se în cantitate mare în natură, sub diferite forme.

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.

- a) Necesitățile și problemele actuale la nivel global în domeniul energiei

Energia este baza tuturor activităților umane și evoluția acesteia nu poate fi întreruptă. De asemenea, combustia este unul din cele mai importante procese termo-chimice de producere a energiei. Nu trebuie neglijat faptul că procesele de ardere sunt posibile doar în prezența oxigenului, care de obicei este introdus în focar prin aerul de combustie. Sporirea continuă a dezvoltării societății umane cât și creșterea continuă a cererii de energie a condus la noi viziuni și idei în producerea și asigurarea necesarului de energie pe piața energetică mondială, respectiv asigurarea cu material energetic inepuizabil. De aceea poluarea mediului a devenit un factor important de orientare către biomasă ca sursă de producere a energiei.

În prezent, toate statele lumii își canalizează investițiile pe producerea energiei din surse alternative (SRE) care, după prognozele efectuate, se estimau să ajungă către anul 2020 la o cantitate de 20% din totalul energiei folosite la nivel European [201]. La nivel european, potențialul mare în producerea energiei îl deține biomasa (47%) fiind urmată de energia hidro (45%). De aceea, este necesară cunoașterea energiei eliberate în timpul arderii de diferitele forme de biomasă.

Introducerea unui sistem de încălzire cu cogenerare, alternativ la cele existente, poate să îmbunătățească performanța, consumul, autonomia și gradul de poluare.

Pentru limitarea modificărilor climatice se urmărește reducerea emisiilor de dioxid de carbon prin captarea și stocarea acestuia. Acest lucru este posibil în cazul generării energiei prin surse neconvenționale cum ar fi biomasa, energia solară, eoliană, etc.

Creșterea continuă a prețului combustibililor fosili, dar și interesul crescut pentru protejarea mediului fac ca producția globală de biocombustibil să se dezvolte foarte rapid. În momentul de față se estimează că potențialul de energie din biomasă este suficient de mare pentru a satisface cererea de energie la nivel mondial. Cu toate că Uniunea Europeană dorește o tranziție cât mai rapidă de la combustibili fosili și gaze la biomasă, pe termen scurt și mediu cărbunii vor rămâne sursa principală a generării de electricitate.

Această lucrare propune introducerea unui sistem de încălzire cu o centrală termică pe biomasă lemnoasă, care poate să îmbunătățească performanța, consumul, autonomia și 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.

b) Potențialul neexploatat de biomasă al României

Dacă ne referim la **potențialul de biomasă**, România este o țară cu potențial mare în domeniul surselor de energie regenerabilă SRE și anume în producerea energiei din biomasă, unul dintre motivele de creștere a acestui domeniu fiind creșterea prețurilor la carburanții fosili. Obținerea energiei din surse de energie regenerabilă devine astfel o valoroasă investiție, atât pentru consumatori cât și pentru întreprinderile de mare capacitate. Condițiile favorabile pentru producerea energiei din surse alternative sunt determinate de legislația în vigoare și de fondurile europene care încurajează producerea de energie regenerabilă din biomasă precum și utilizarea energiei solare, a energiei eoliene, geotermale și hidro [201], [27], [145] și [190].

Se apreciază că România are un potențial de biomasă evaluat la circa 7594 mii tone echivalent petrol/an reprezentând aproape 19% din consumul total de resurse primare. Biomasa este reprezentată de: reziduuri din exploatarea forestieră și lemn de foc, deșeurile din industria de prelucrare a lemnului (rumeguș, talaj), deșeurile agricole (tulpini), biogaz, deșeurile și reziduurile menajere. Valorificarea potențialului energetic al biomasei ar putea să acopere aproximativ 70% din angajamentele României referitoare la aportul surselor regenerabile în energia total consumată.

Pe termen mediu și lung, creșterea cantității de biomasă se poate asigura din plantații (arbori și arbuști cu creștere rapidă) pe terenuri degradate sau scoase din circuitul agricol, precum și din valorificarea integrală a resurselor existente (plante oleaginoase cu procesare la biodiesel și valorificarea energetică a turtelor, glicerinei și deșeurilor de la recoltare).

În România oportunitățile pentru aplicarea unor asemenea tehnologii sunt sprijinite de următoarele aspecte:

- circa 45% din populație trăiește în mediul rural și se ocupă cu agricultura;
- suprafața agricolă este mare (15 mil. ha din care 9 mil. ha pământ arabil);
- aproximativ 1,5 mil. ha de pământ este necultivat [190].

În acest context, lucrarea se înscrie în topul cercetărilor în domeniul energetic și al utilizării resurselor energetice regenerabile.

Tema de cercetare are titlul "**Contribuții la optimizarea procesului de fabricație a peleților/brichetelor și a arhitecturii centralei termice pentru arderea acestora**".

În această teză se vor folosi atât elemente de proiectare cât și elemente de tehnologia informației pentru optimizarea proceselor de fabricație a peleților și brichetelor de pe o linie tehnologică existentă în cadrul unei societăți comerciale având codul CAEN 1629 (fabricarea de peleți și brichete) și a arhitecturii unei centrale pilot pentru ardere biomasă.

Sursele din care provin datele folosite în cadrul acestei lucrări sunt:

- literatura de specialitate,
- date experimentale proprii obținute în laboratoarele din Universitatea Politehnica Timișoara, laboratoarele private din Viena și laboratorul de la SC COLTERM SA,
- date experimentale proprii obținute pe sistemul de încălzire în care a fost integrată centrala termică pilot,
- date obținute de la producători de peleți din Făget, Șandra și Beiuș.

1.2. Obiectivele cercetării

Obiectivul principal al prezentei cercetări îl reprezintă optimizarea procesului de fabricație peleți/brichete și realizarea unei centrale pilot de ardere a acestora, având un cost redus și o posibilitate de utilizare pe scară largă în locuințele private, în special din zonele rurale.

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 îndeplinirea obiectivelor primare este necesară atingerea în prealabil a următoarelor **obiective secundare**, corespunzătoare activităților realizate în stagiul 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.

1.3. Structura lucrării

Lucrarea este structurată pe 7 capitole.

Tema de cercetare, necesitatea acesteia și obiectivele propuse sunt prezentate în **Introducere**.

Al doilea capitol prezintă un studiu bibliografic de dată foarte recentă în contextul european. Așa cum se cunoaște deja, sistemele individuale de furnizare a energiei termice (de încălzire) reprezintă 88% din piața Uniunii Europene, iar una dintre prioritățile Uniunii Europene o reprezintă chiar promovarea unor sisteme independente, moderne și eficiente, care utilizează surse regenerabile de energie pentru a putea atinge obiectivul stabilit de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) cu 55% până în 2030. În consecință, lucrarea este de actualitate, deoarece încă se ia în considerare producerea de energie termică din biomasă solidă și, în plus, generarea de apă caldă menajeră în cadrul aceluiasi sistem independent – o centrală termică. Pentru a încadra dezvoltările din lucrare, în acest capitol este prezentat stadiul actual al cunoștințelor în domeniu, precum și ancorarea cercetării.

În **al treilea capitol** se prezintă o linie tehnologică existentă la o fabrică de producere peleți/brichete de la Cenei, procesul tehnologic de fabricație, îmbunătățirile aduse liniei tehnologice pentru creșterea și diversificarea producției, dar și pentru creșterea calității mediului de lucru. Tot în acest capitol se prezintă și transferul rezultatelor obținute în urma optimizării liniei tehnologice de fabricație peleți/brichete către SC COLTERM SA unde a fost construită o linie de pregătire a biomasei pentru arderea în cazanele de abur. La finalul capitolului se prezintă și premisele de dezvoltare ale firmei prin prezentarea de soluții privind scăderea cheltuielilor de obținere a materiei prime, scăderea cheltuielilor cu energia electrică, producerea de hrană pentru animale, creșterea vizibilității societății.

Capitolul al patrulea prezintă centrala termică pilot, de la idee la realizări fizice în număr de 5 prototipuri, de la soluția pentru prototipul 4 la proiectarea centralei, îmbunătățirile aduse (prototipul 5) și propunerea de brevet. Tot în acest capitol se prezintă soluția pentru automatizarea centralei și premisele pentru integrarea acesteia în dispozitivele smarthome.

Capitolul al cincilea se referă la cercetările experimentale realizate. Acest capitol conține metodologia cercetării, echipamentele și instrumentele utilizate, modul de realizare a experimentelor și rezultatele obținute. În acest capitol s-a realizat un studiu experimental privind biomasa: caracteristicile biomasei solide și la impactul favorabil al acesteia asupra emisiilor de GES, dar și un studiu al literaturii

de specialitate, rezultând o bază de date cu materii prime care pot fi peletizate sau utilizate direct ca și combustibil solid. Centrala termică pilot descrisă în capitolul anterior a fost integrată într-un sistem de încălzire pe care s-au efectuat experimente utilizând 5 tipuri de materii prime. Cu datele colectate s-a creat a doua bază de date.

În **capitolul șase** au fost utilizate datele din cele două baze de date din capitolul anterior. Prelucrarea datelor s-a făcut utilizând metode statistice și de inteligență artificială. Prin utilizarea mijloacelor 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%, relații funcționale între variabilele de intrare și de ieșire înregistrate în cadrul experimentelor. Tot în acest capitol 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 acestuia. Procesul de curgere a agentului termic prin schimbătorul 3 și de transfer termic a fost simulat și astfel s-au confirmat rezultatele obținute în urma experimentelor.

Capitolul șapte conține concluziile generale, contribuțiile personale și perspective ale cercetării ulterioare.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL TEMEI ALESE

2.1. Ancorarea cercetării în stadiul actual

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], [191]. 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, bagas, 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.

În tabelul de mai jos se prezintă gradul de utilizare pentru lemn, deșeu de lemn și lemn reciclat în țările europene.

Tab. 2.1. Procentul de masă lemnoasă de diferite tipuri utilizată în țările europene, după [100]

Țara	Procent masă lemnoasă [%]	Procent deșeu lemn [%]	Procent deșeu lemn reciclat [%]
Germania	20	46	34
Franța	41	37	22
Italia	0	5	95
Polonia	38	47	15
Spania	31	41	28
Elveția	20	45	35
Marea Britanie	16	31	53

Există destul de puțină literatură unde sunt abordate problemele legate de lanțurile de distribuție pentru partea de masă lemnoasă reciclată. Una dintre problemele legate de utilizarea acesteia o reprezintă logistica ce trebuie organizată pentru colectarea, transportul și tratamentul lemnului reciclat. Deoarece obiectivul principal este acela de a crește conținutul de carbon folosind ca sursă materiale reciclate, lipsa unui lanț de distribuție corespunzător poate duce la lipsa potențialelor beneficii ce pot fi obținute prin utilizarea acestei categorii de masă lemnoasă reziduală [33].

În anul 2011, Uniunea Europeană a reafirmat obiectivul său de a reduce emisiile gazelor cu efect de seră cu 80 – 95% până în anul 2050, prin comparare cu anul 1990, acest lucru fiind unul necesar pentru a ține efectul de încălzire globală la o valoare sub 2°C, corespunzătoare previziunilor IPCC (Panelului Interguvernamental asupra Schimbării Mediului) [46]. Acest lucru a fost urmat de semnarea Acordului de la Paris în anul 2016 pentru a menține efectul de încălzire "sub o valoare de 2°C corespunzătoare condițiilor preindustriale și de a continua eforturile de a menține creșterea de temperatură sub 1.5 °C față de nivelurile preindustriale" [156], [37]. Pentru a atinge aceste deziderate toate emisiile ce provin din sectorul energetic trebuie în esență să ajungă la 0 sau să atingă valori negative până la nivelul anului 2050. Acest lucru implică implementarea tehnologiilor de reducere a emisiilor de carbon la scară largă, printre acestea numărându-se utilizarea surselor de energie regenerabilă (RES), utilizarea energiei nucleare și captarea și stocarea CO₂ (CCS).

În cadrul evaluării asupra gradului de fezabilitate a utilizării resurselor de energie regenerabilă la o valoare de 100% a sistemelor energetice, raport bazat pe 24 de studii, Heard și alții [62] nu a reușit să găsească o definiție viabilă pentru fezabilitate și și-a bazat evaluarea pe următoarele aspecte legate de studiile realizate:

- dacă acestea au inclus realizarea de simulări pentru a se demonstra că există date corecte legate de satisfacerea cerinței de către sursele de energie regenerabilă;
- dacă studiile au presupus nivele ale cererii consistente cu previziunile realizate în prezent;
- dacă studiile au identificat necesarul cerințelor de distribuție și dacă a fost luată în considerare furnizarea de servicii auxiliare.

În același timp, ca o atitudine critică a celor menționate de Heard și alții [62], Brown și alții [30] au găsit ca necorespunzătoare o parte din criteriile de fezabilitate, considerând că acestea nu pot fi surmontabile cu costuri minime, prezentând ca argument faptul că "atingerea unei cote ridicate de regenerabile în cea mai bună manieră cost / calitate în timp ce trebuie respectate toate constrângerile sociale și politice" este principala problemă. Astfel, cu toate că în prezent nu există un acord cu privire la modul de obținere a unui nivel real de fezabilitate de către sistemele energetice prin utilizarea a 100% energie regenerabilă, cerința fundamentală ce trebuie asigurată este atingerea unui nivel de încredere din punct de vedere calitativ / financiar pentru aceste sisteme.

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]. În plus, biomasa este a treia resursă de energie primară din lume [18]. În Uniunea Europeană, în 2014, consumul de energie primară de biomasă solidă a fost de 89,1 Mtoe, consumul de căldură de 69,9 Mtoe și o producție brută de energie electrică de 84,8 TWh. Spania a reprezentat 5,95% din acest consum de energie primară. Consumul de căldură a fost de 3,7 Mtoe și au fost produse 3,8 TWh de energie electrică [48].

În sectorul rezidențial, prin utilizarea biomasei pentru încălzire și pentru soluțiile de apă caldă menajeră (ACM), este de așteptat o reducere substanțială a

emisiilor de CO₂. Această reducere contribuie la obiectivul european de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră cu 20% față de 1990 (Comisia Europeană, 2009a). Pe de altă parte, prin promovarea acestor soluții și prin utilizarea biomasei ca sursă de energie regenerabilă, aceasta contribuie la realizarea obiectivului european de a contribui la consumul total de energie de 20% din energia regenerabilă (Comisia Europeană, 2009b). În plus, biomasa reprezintă un factor-cheie în reducerea cu 20% a consumului de energie primară în comparație cu 2005 (Comisia Europeană, 2012), deoarece biomasa are un factor de conversie mai scăzut de la energia finală la cea primară decât combustibilii fosili (Ministerul Spaniol pentru Industrie, Energie și Turism și Ministerul Dezvoltării Spaniole, 2016). Toate aceste obiective sunt incluse în Strategia Europeană 2020 pentru climă și energie (Comisia Europeană, 2010). Până în 2030, aceste cerințe vor fi mult mai ambițioase [49],[50], [51]]. Prin urmare, aceste soluții sunt foarte importante în lumina acestui nou scenariu pentru perioada 2020-2030.

Impactul utilizării cazanelor pe bază de biomasă asupra locuințelor a fost evaluat în mai multe studii: Kattan și Ruble (2012) [78] au efectuat un studiu pentru locuințele cu mai multe familii din Liban; Stolarski și colab.[149], pentru case cu o singură familie în Polonia; Michopoulos și colab. (2014) [102], pentru locuințele cu mai multe familii din Grecia; și Carpio și colab. (2013) [34], pentru locuințele cu mai multe familii și pentru casele de o singură familie din Peninsula Iberică. Mai mult decât atât, utilizarea de biomasă în sistemele hibride pentru încălzire și apă caldă menajeră în clădiri rezidențiale este de mare interes. În acest domeniu, există multe posibilități: sistemele solare de apă caldă și un cazan pe biomasă (Berkovic-Subic et al., 2014) [16]; sistem combinat de răcire, încălzire și energie (CCHP) care utilizează biomasă și energie solară (Wang and Yang, 2016) [164]; integrarea energiei geotermale adânci și a resurselor biomasei lemnoase în sistemele energetice urbane (Moret et al., 2016) [106]; utilizarea biomasei în ciclurile Rankine organice (ORC) pentru sistemele multigeneratoare bazate pe solare cu depozite termice și calde și producția de hidrogen (Almahdi et al., 2016) [4]. Pe de altă parte, evaluarea impactului energetic, ecologic și economic al încălzirii centralizate pe biomasă poate contribui la consolidarea soluționării și dezvoltării sale, precum se menționează de către Madlener (2007) [94], Madlener și Koller (2007) [95] și Paredes-Sanchez et al. (2016) [128]. În plus, ar trebui luate în considerare posibilitățile de combinare a măsurilor de conservare a energiei cu sistemele de încălzire pe bază de biomasă (Lundström și Wallin, 2016) [91] și utilizarea sistemelor de încălzire locală pe bază de biomasă la temperaturi joase (Baldvinsson și Nakata, 2016) [13]. În cele din urmă, îmbunătățirea acestor soluții poate contribui la obținerea unor beneficii importante în zonele rurale, precum au arătat Stephen și alții (2016) [148], Hendricks și colab. (2016a, 2016b) [64], [32] în studiile lor.

Bioenergia, adică energia regenerabilă produsă din materii organice cum ar fi biomasa lemnoasă, culturile agricole și deșeurile organice, reprezintă cea mai mare pondere în această categorie la nivel mondial (77% sau 60 EJ [74]) și va continua să joace un rol critic pentru viitor [70], ultimele statistici indicând în jur de 120 mii TEP (tone echivalent petrol) energie regenerabilă furnizată prin bioenergie (figura 2.1).

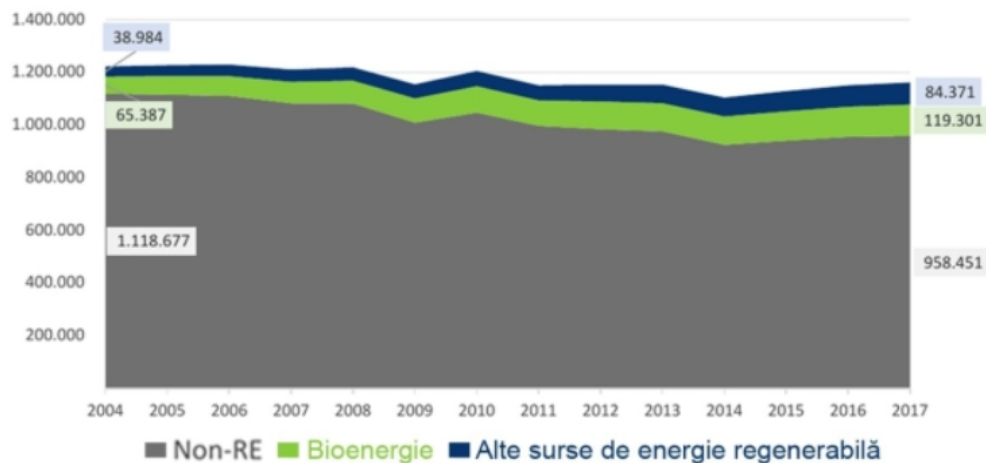


Fig. 2.1. Consumul brut de energie în UE, după [70]

Așa cum se observă din figura de mai sus energia produsă din surse regenerabile aproape că s-a dublat în ultima decadă.

Eliminarea CO₂ prin bioenergie combinată cu tehnicile de captare și stocare a carbonului pare indispensabilă pentru a limita încălzirea globală la sub 1,5 °C [20], [137]. O revizuire privind contribuția viitoare a biomasei la aprovizionarea cu energie globală atribuie cea mai mare pondere culturilor energetice (22-1272 EJ), depășind cea a silviculturii (60-230 EJ), a deșeurilor organice (12-120 EJ), agriculturii (10-66 EJ) și reziduurilor forestiere (3-35 EJ) [144].

2.1.1. România în contextul actual al utilizării surselor de energie regenerabilă

România este bogată în biodiversitate, cu vârfuri de munte de peste 2000 m înălțime, cea mai mare Deltă din Europa - Delta Dunării (care este de asemenea un sit al Patrimoniului Mondial din 1991), zone de cultivare extinse și păduri mari de creștere veche. Acestea sunt principalele motive pentru care guvernul român trebuie să dezvolte și să implementeze politici eficiente de mediu și să investească în surse de energie regenerabile, reciclabile și durabile. Prin urmare, reducerea poluării aerului trebuie să fie o prioritate. În România, emisiile de CO₂ fosil au scăzut cu 42%, de la 186,341 Mt CO₂ / an la 78,771 Mt CO₂ / an, în timp ce emisiile de gaze cu efect de seră (GHG) ca CO₂ echivalent / cap au scăzut în același timp cu aproape 46% [110].

Cu o suprafață totală de ordinul a 2,5 Mha, fagul comun (*Fagus sylvatica* L.) este unul dintre copacii dominanți ca specii din România și echivalează cu aproximativ 14% din suprafața europeană a pădurilor de fag. Fagul reprezintă aproape o treime din stocul de lemn din România. O altă specie dominantă este molidul (*Picea abies*

L.), însă managementul său poate să nu aibă aceeași variabilitate ca și cea a fagului și, prin urmare, nu s-a evaluat impactul managementului asupra acestei specii [25].

România, având o suprafață subvenționată necultivată declarată de aproximativ 38 mii hectare (conform APIA), la nivelul anului 2022, ar putea crește pe aceste suprafețe necultivate culturi specifice biomasei (specii forestiere cu viteză mare de creștere: plop, salcie, eucalipt; specii productive de biomasă agricolă: trestia de zahăr, rapița, sfecla de zahăr, soia dar și culturi perene), crescând astfel gradul securității energetice.

Cantitatea de căldură rezultată din valorificarea energetică a biomasei în România deține ponderi diferite în balanța resurselor primare, în funcție de tipul de deșeurii utilizat sau după destinația consumului final. Astfel, 54 % din căldura generată pe bază de biomasă se obține din arderea de reziduuri forestiere. De asemenea 89 % din căldura necesară încălzirii locuințelor și preparării hranei este considerată a fi rezultatul consumului de reziduuri și deșeurii vegetale în mediul rural.

În consumul curent de biomasă din România, în regim de exploatare energetică, se folosesc diferite tipuri de combustibili, cu următoarea destinație:

- circa 550 cazane industriale de abur și apă fierbinte pentru încălzire industrială (combustibil pe bază de lemn);
- circa 10 cazane de apă caldă, cu puteri instalate între 0,7 MW și 7,0 MW, pentru încălzire urbană (combustibil pe bază de deșeurii din lemn);
- aproximativ 14 milioane sobe sau cuptoare pe lemne și/sau deșeurii agricole destinate încălzirii locuințelor individuale sau preparării hranei ș.a.

Cultivarea intensivă a „plantelor energetice”, deși practică în multe țări, nu este recomandată deoarece în acest caz se folosesc îngrășăminte chimice la fabricarea cărora se emite indirect CO₂. Este de preferat să se utilizeze resurse biogene și plante energetice care se dezvoltă pe cale naturală, fără folosirea îngrășămintelor chimice.

O posibilitate des întâlnită în practică este utilizarea biomasei compactate sub formă de peleți, aceștia având avantajul îmbunătățirii procesului de aprindere și stabilitate a arderii [81], [151].

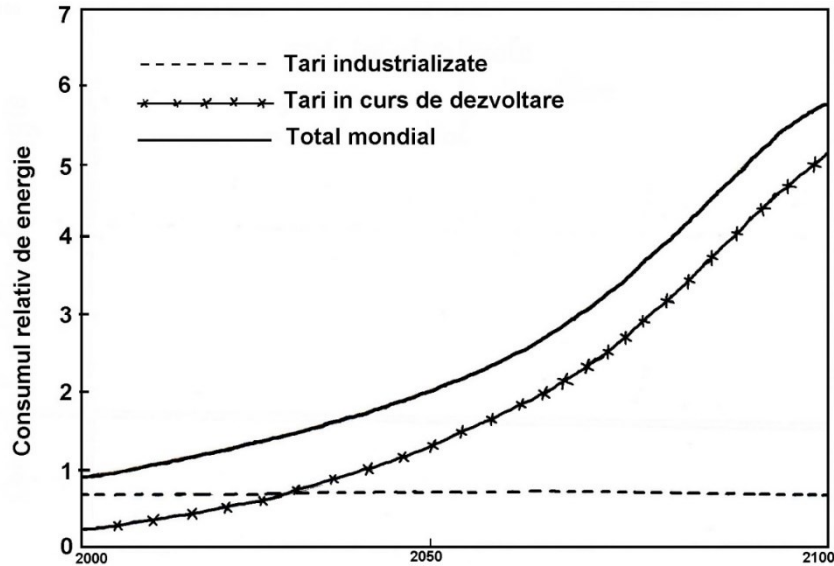


Fig. 2.2. Previziunile asupra consumului mondial de energie, după [44]

Datele referitoare la creșterea populației globului sunt bazate pe proiecția din 1992 a Băncii Mondiale și anume de 11,7 miliarde de locuitori la nivelul anului 2100.

România are un potențial energetic de biomasă ridicat. Rezervele potențiale [150] sunt deșeurile de lemn, deșeurile agricole (animale și vegetale), deșeurile menajere și culturile energetice. Acest potențial este împărțit pe următoarele categorii:

- a) reziduuri din exploatarea forestieră și lemn de foc: 1175 mii tep;
- b) deșeurile de lemn (rumeguș, talaș și alte resturi): 487 mii tep;
- c) deșeurile agricole rezultate din cereale, tulpini de porumb, resturi vegetale de viță de vie: 4799 mii tep;
- d) biogaz: 588 mii tep;
- e) deșeurile și reziduurile menajere urbane: 545 mii tep.

2.1.2. Arderea biomasei – considerații generale

În contextul actual, datorită creșterii majore a prețului la energia electrică, a crescut și cererea pentru biomasă. Ținând cont de faptul că utilizarea biomasei în gospodăria a depășit deja obiectivul stabilit pentru 2020 cu 10% în anul 2012 [141], pentru a satisface această cerere în creștere, biomasa forestieră, a cărei utilizare principală este în continuare producția de energie, nu este suficientă. Noile utilizări prevăzute pe termen mediu pentru aceste resurse (de exemplu, biorafinării și materiale noi) vor împiedica creșterea utilizării acestora în producția de energie [139]. Din acest motiv, este necesar să se caute noi resurse pentru a satisface sectorul

energiei termice. Cea mai mare creștere a ofertei trebuie să provină din sectorul agricol, unde este planificată o creștere de peste 150% față de anul 2016 [26]. Aceste noi resurse cuprind în principal, pe lângă culturile energetice și unele tipuri de biomasă agroindustrială reziduală, reziduuri de culturi agricole: reziduuri de plante erbacee și reziduuri de tăiere din culturile lemnoase permanente.

Biomasa în stare naturală are o umiditate ridicată. De exemplu, umiditatea deșeurilor agricole și celor rezultate din exploatarea forestieră poate varia de la 3 la 63% ([42], [152], [160]), iar umiditatea turbei poate varia de la 20 la 94% ([109], [83], [154]). O astfel de umiditate ridicată conduce la o valoare calorică scăzută a biomasei și creează dificultăți în transportul acesteia în timpul iernii [15]. În plus, transportul unor astfel de materii prime cu o pondere a balastului de până la 94% conduce la un cost ridicat al producției de căldură raportat la 1 MJ din cauza costurilor de transport. În plus, o serie de probleme însoțesc arderea biomasei: zgurarea suprafețelor de încălzire, nivelul ridicat al defecțiunii prin grătar în timpul arderii datorită compoziției fracționare eterogene etc. [143], [153]. Toate acestea conduc la costuri de exploatare ridicate pentru arderea biomasei prin metode tradiționale și previne utilizarea sa largă ca combustibil.

De asemenea, este important ca echipamentul energetic cel mai utilizat în centralele electrice autonome (turbină cu gaz, piston cu gaz și agregate diesel) să nu fie tehnic adecvat pentru utilizarea combustibililor solizi. În acest sens, metodele de prelucrare a biomasei ar trebui să ofere posibilitatea de a obține combustibili solizi, lichizi sau gazoși.

O soluție promițătoare în domeniul prelucrării biomasei în combustibili cu valoare energetică ridicată (gaze calde, lichide și solide) este piroliza. Piroliza este procesul de descompunere termică a materiilor prime organice în absența oxigenului liber. Aceste materii prime sunt optimizate în timpul pirolizei prin îndepărtarea oxigenului legat, în timp ce volumul specific de produse de ardere scade pe Joule de căldură produsă, și se obține creșterea temperaturii teoretice de ardere, ceea ce reduce semnificativ complexitatea materialului folosit pentru echipamentul aferent procesului de ardere a combustibilului [79].

Arderea biomasei lemnoase se caracterizează prin formarea de depozite sub formă de carbon și funingine. Formarea de funingine are loc la temperaturi ridicate în zonele bogate în combustibil. Cantitatea totală de funingine produsă este definită prin raportul carbon-oxigen (Vicente și Alves, 2018) [163]. Formarea de funingine în timpul arderii de biomasă este puternic influențată de conținutul de umiditate al combustibilului, în special în lemn natural, care prezintă adesea umiditate foarte variabilă. Prezența carbonului în depozite este legată de rata scăzută de oxidare (Branca și DiBlasi, 2010) [28].

Biomasa are numeroase componente anorganice (inclusiv Ca, P, K și Si) [76] care se integrează în cenușa rezultată în urma arderii. Estimările sugerează că procesarea termochimică la nivel mondial a biomasei generează anual 480 milioane de tone de cenușă [161]. Acest lucru poate fi împărțit în: cenușă de focar care este cenușa extrasă din partea inferioară a cuptorului și cenușă zburătoare formată din

particule mici de densitate mică care au fost antrenate cu gazele de combustie și care cad în diferite părți ale cazanului și sistemul de curățare a gazelor de ardere [119].

Există câteva exemple de utilizare a cenușii de biomasă ca material de fertilizare în agricultură și silvicultură [121]. Aplicarea acestora pe sol permite reciclarea substanțelor nutritive esențiale în sol ([130], [120] și cenușa poate fi utilizată ca îngrășământ în solurile agricole și forestiere [142]. Ca, Mg și K sunt de obicei prezente sub formă de carbonați. Temperatura înaltă a procesului de combustie a biomasei conduce la mineralizarea anorganicelor de biomasă (cenușă), iar cationii de bază sunt transformați în oxizi care sunt hidratați lent și apoi carbonați în condiții atmosferice [41]. Datorită pH-ului alcalin, cenușa de biomasă poate fi de asemenea utilizată ca material de limpezire a solului [135]. Solurile potențial predispușe la o potențială aplicare a cenușii de biomasă includ solurile miniere care sunt supuse devalorizării minereurilor acide (cuprinzând aproximativ 7% din siturile contaminate din Europa [125] și solurile forestiere acide (pH <4,2) ce cuprind circa 17% din solurile forestiere existente în Europa [136].

Utilizarea BAsh ca aditiv pentru compostarea deșeurilor organice ar putea fi o opțiune adecvată. Compostarea este un proces biochimic care degradează și stabilizează substraturile organice în condiții specifice de umiditate, aerare și izolare termică [17], [61]. Unele circumstanțe, cum ar fi umiditatea excesiv de scăzută sau ridicată, temperatura și pH-ul, lipsa spațiului aerian liber și lipsa de nutrienți pot afecta negativ procesul de compostare și calitatea compostului final. Aditivii de compost pot fi utilizați pentru a corecta astfel de condiții nefavorabile, pentru a spori calitatea procesului și a produsului final [61], iar BAsh ar putea fi una dintre ele. Un aspect favorabil în utilizarea BAsh ca aditiv de compost este îmbogățirea produsului final cu mineralele esențiale pentru creșterea plantelor [24], [84], [86], care îmbunătățesc calitatea și comercializarea compostului. De asemenea, BAsh are umiditate foarte scăzută și densitate în vrac, în timp ce porozitatea este mare, iar aceste proprietăți fizice pot contribui la menținerea difuziunii aerului în amestecurile de compost [24], [3], [105]. Dacă cenușa este folosită ca aditiv de compost, sunt de așteptat valori mai ridicate ale pH-ului în timpul procesului global care ar putea contribui la controlul scăderii pH-ului în stadiul incipient al procesului [54]. Pe de altă parte, valori excesive ale pH-ului ar putea afecta procesul în sine și calitatea produsului final. Efectele dezavantajoase ale cenușii ar putea fi legate de conținutul de metale grele și de lipsa sau concentrația scăzută de azot care ar putea afecta calitatea finală a compostului [105], [3], [54]. Mai mult, salinitatea BAsh poate fi dăunătoare pentru creșterea plantelor [131], [85].

În prezent, numai câteva țări europene (Austria, Belgia, Danemarca, Finlanda, Germania, Ungaria și Polonia) reglementează utilizarea de cenușă ca aditiv în compost. Cu toate acestea, setul de reguli din țările europene menționate mai sus reglementează cantitatea maximă de cenușă care urmează să fie adăugată în amestecul de compost și nu caracteristicile sale chimice (inclusiv conținutul de metale grele). Conținutul maxim admis se situează între 10 și 15% din masă, cu unele cazuri mai restrictive, cum ar fi Ordonanța de compost austriacă care stabilește o limită de 2% din masă [10].

2.1.3. Prelucrarea biomasei pentru obținerea de peleți/ brichete

În ceea ce privește producția de energie electrică, adoptarea biomasei a fost mult mai neuniformă între statele membre. Republica Cehă, Germania, Estonia, Italia, Slovacia și Regatul Unit și-au îndeplinit toate obiectivele, însă Bulgaria, Grecia, Lituania, Malta, Țările de Jos și România nu și-au îndeplinit încă nici 40% din ținta lor [19].

În figura de mai jos se poate observa situația pieței de peleți produse de țările europene, în conformitate cu certificarea ENPlus [19], iar în tabelul următor se observă evoluția exportului de peleți din principalele țări exportatoare printre care se numără și România care, în anul 2021 și-a dublat cantitatea exportată față de anul 2017 [192].

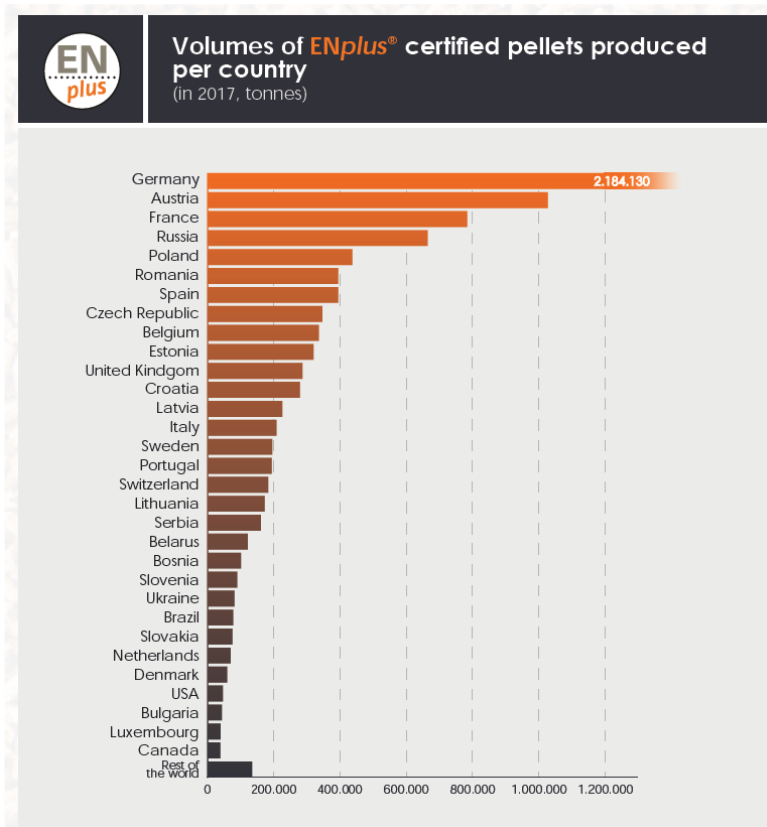


Fig. 2.3. Situația pieței de combustibili (peleți) la nivelul anului 2017, după [19]

Tab. 2.2. Cantitatea de peleți exportată în mii tone din țările selectate [192]

Țări exportatoare	Cantitate exportată (mii tone)				
	2017	2018	2019	2020	2021
United States of America	5148,097	6016,86	6917,474	7257,078	7522,55
Canada	2171,528	2651,441	2634,241	2900,687	3140,918
Latvia	1620,734	1690,946	2224,59	2364,148	2508,744
Russian Federation	1438,541	1513,009	1934,641	2284,884	2424,951
Estonia	1250,596	1111,953	1126,192	1090,074	1559,213
Denmark	332,611	700,195	1058,745	1442,631	943,999
Austria	671,24	804,433	818,387	849,292	873,735
Germany	489,879	641,45	771,278	810,915	804,324
Lithuania	403,23	479,166	598,278	611,006	618,878
Belgium	223,498	305,217	332,348	500,232	585,937
Belarus	204,734	261,586	377,632	532,41	581,507
Malaysia	526,992	703,291	614,558	634,039	561,815
Portugal	475,659	553,933	709,019	601,44	507,726
Poland	315,136	445,973	523,174	511,837	475,765
Ukraine	247,156	396,555	450,796	464,438	452,741
Czech Republic	317,131	346,952	316,294	374,395	451,193
Romania	182,922	139,451	240,202	388,881	424,804

2.1.4. Probleme legate de calitatea aerului

Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a estimat că aproximativ 7,3 milioane de persoane din întreaga lume mor din cauza poluării atmosferice, iar aproximativ 60% din aceste decese se datorează expunerii populației la fumul ce provine din incinte de ardere pentru gătit și combustibili murdari [165]. Într-un sens, poluarea aerului din gospodării (HAP) care este generată de arderea combustibilului în gospodării și în jurul acestora a devenit cel mai important risc de sănătate pentru mediul înconjurător. Întrucât consumul de energie rezidențial (REC) este sursa majoră de HAP, acesta are un impact considerabil asupra mortalității și morbidității. Pe lângă creșterea populației și îmbunătățirea semnificativă a calității vieții, REC global a crescut cu peste 33,7% în perioada 1990-2015. Între timp, ca urmare a creșterii drastice a gospodăriilor cu acces la electricitate, gaze naturale, gaz petrolier lichiefiat (GPL) și alți combustibili cu poluare mai puțină sau deloc, rata mortalității din HAP a scăzut dramatic de la 63,68 la 38,72 la 100 000 de persoane în această perioadă [72]. În ciuda unei astfel de îmbunătățiri a calității aerului în gospodării, aproximativ 3,1 miliarde de oameni din întreaga lume se bazează în continuare pe

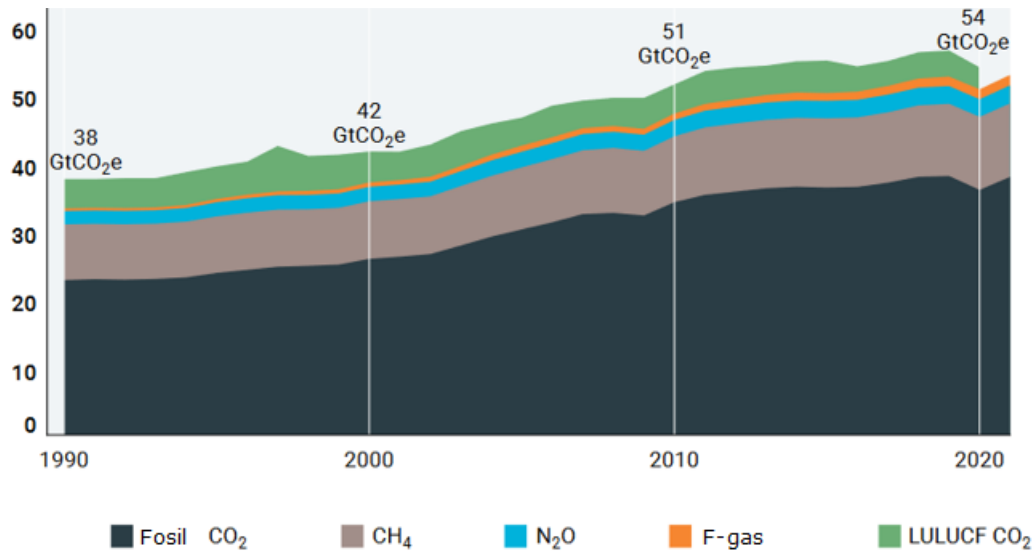
surse de energie poluante pentru gătit, încălzire și iluminat [165] și riscul global de sănătate al REC persistă mult timp, mai ales pentru țările în curs de dezvoltare.

Mai recent, atingerea obiectivului "zero emisii" a fost declarată de 196 de țări în cadrul celei de-a 21-a Conferințe a părților la CCONUSC (2018). Prin acest acord de la Paris, țările au fost lăsate în mod substanțial libere în ceea ce privește alegerea lor de a atinge ținta de emisii nete de GES până la sfârșitul acestui secol, deși ar fi de dorit să se atingă obiectivul propus până în 2070.

Ciclul carbonului generează „presiuni” mai puternice asupra climei și pe termen mai scurt decât se aștepta, adică generează mecanisme care „forțează” schimbarea climei. La rândul lor, schimbările climatice afectează ciclul carbonului, scăzând capacitățile de captare naturală oceanice și terestre. Un cerc vicios, față de care dr. Mike Raupach de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) din Australia afirma: „Constatăm că pământul își pierde capacitatea regenerativă de absorbție a emisiilor de CO₂ față de masiva creștere a acestora din ultimii 50 de ani. Cu cât întârziem să reducem emisiile, cu atât mai multă capacitate de regenerare va fi pierdută” [150].

Deoarece dioxidul de carbon (CO₂) este cel mai obișnuit poluant emis de activitățile umane, țintele de politică sunt de obicei exprimate în echivalent CO₂ (CO_{2e}), care se referă în mod corespunzător la cantitatea de dioxid de carbon care ar da același efect de încălzire ca efectul gazelor cu efect de seră sau emisiile de gaze cu efect de seră. Cu toate acestea, utilizarea CO_{2e} ca unitate standard ar putea neglija două probleme principale. În primul rând, unitatea standard CO_{2e} nu permite luarea în considerare a întregului spectru de substanțe nocive, deoarece în CO_{2e} (CH₄, CO₂, HFCS, NF₃, N₂O, PFCS și SF₆) pot fi indicați numai anumiți poluanți. În al doilea rând, măsurarea poluării aerului în echivalent CO₂ înseamnă că potențialul de încălzire globală ar trebui să aibă ponderi comune pentru toate țările [116], [133].

Pandemia de COVID-19 a avut un efect fără precedent, dar de scurtă durată asupra emisiilor (figura 2.4, tabelul 2.3). Totalul emisiilor globale de GES a scăzut cu 4,7% din 2019 până în 2020 – cea mai mare scădere absolută a emisiilor de GES din 1970 (anul de începere a setului de date), dar emisiile de CO₂ din combustibili fosili și industrie și-a revenit deja până la sfârșitul anului 2020 [155]. În 2021, emisiile globale datorate utilizării cărbunelui au depășit nivelurile din 2019, în principal datorită creșterii utilizării sale în China și India.

Fig. 2.4. Emisiile totale GHG în perioada 1990-2021 (GtCO₂e/an), după [155]

Tab. 2.3. Emisiile totale, după sursă (2019-2021), după [155]

An	GtCO ₂	CH ₄ , N ₂ O, F- gaze (GtCO ₂ e)	LULUCF(GtCO ₂)	Total emisii CHG exclusiv LULUF(GtCO ₂ e)	Total emisii CHG (GtCO ₂ e)
2019	37,9 (±3)	14,6 (±3,6)	38 (±2,2)	52,6	56,4
2020	36 (±2,9)	14,8 (±3,6)	32 (±2,2)	50,8	54
2021	37,9 (±3)	15 (±3,6)	N/A	52,8	N/A

Tendința generală a concentrațiilor de PM-uri ale poluanților atmosferici în aerul din Uniunea Europeană este în descreștere, dar este important să se continue monitorizarea acestora. În prezent, poluarea cu particule (PM) reprezintă una dintre principalele preocupări la nivel mondial, pentru efectele negative asupra sănătății, climatului și mediului [58].

Referitor la concentrația dioxidului de carbon în atmosferă, aceasta a fost de 280 ppm înainte de revoluția industrială, acum este de circa 430 ppm, adică aproape dublă, iar în anul 2035 ar putea fi de 550 ppm dacă fluxul emisiilor actuale de gaze cu efect de seră (GES) s-ar menține peste capacitatea naturală de absorbție. În această situație temperatura medie globală ar mai crește cu încă 2°C, ceea ce este foarte probabil să se întâmple ținând seama de dezvoltarea impetuoasă a economiilor în China, India, Brazilia, Australia, Asia de Sud-Est sau Europa răsăriteană [150].

2.1.5. Exemple de aplicații și tehnologii folosite în instalații de ardere a biomasei

În ceea ce privește eficiența producției de energie electrică și zona de recuperare a energiei totale, într-o instalație de combustie mare din Țările de Jos, eficiența electrică (randament energetic) a fost îmbunătățită prin aplicarea unor condiții avansate de abur în ciclul de abur supraîncălzit (130 bar, 440°C, $\eta_e = 30\%$) [1].

Cu toate acestea, o astfel de instalație este foarte costisitoare, astfel încât în majoritatea instalațiilor noi sunt de obicei preferate condiții standard de abur, cu modificări de proiectare mai mici, cum ar fi reducerea temperaturii de ieșire a cazanului la 160°C în loc de 230°C. În plus, mai multe proiecte recente au contribuit la relansarea energiei prin combinarea producției de energie electrică, pornind de la o fracțiune de abur generat, cu aplicarea directă a aburului rămas, mărinnd astfel în continuare eficiența energetică. De exemplu, proiectul KeppelSeghers Runcorn produce 80 MW de energie electrică și furnizează 52 MW de abur instalației chimice INEOS [82].

Altă aplicație o reprezintă rețeaua industrială de abur Indaver, din Antwerp, Belgia, care a fost înființată între uzina lor de producție de energie din deșeuri din Doel și mai multe companii chimice și logistice. În cele din urmă, numeroase sisteme de apă caldă / abur au fost utilizate pentru încălzirea urbană (și răcirea) pentru întreprinderile rezidențiale și comerciale, cum ar fi WTE din Minnesota, SUA, utilizate pentru încălzirea terenului de baseball Minnesota Twins. Aplicarea optimă din punct de vedere economic depinde de locație (apropierea fiind cea mai importantă) și de continuitatea nevoilor energetice ale utilizatorilor.

Concentrându-se pe curățarea gazelor de ardere (FGC), au existat eforturi continue de la implementarea standardelor privind emisiile în aer. Emisiile de poluanți (NO_x, SO_x, HCl, CO, PM, PCDD) cu gaze arse reprezintă o provocare majoră pentru instalațiile de acest tip, ca și în cazul altor instalații industriale, din cauza potențialelor pericole pentru sănătate. Acum, instalațiile operate corespunzător sunt cu mult sub cele mai stricte standarde de emisii ale UE, multe dintre acestea fiind aproape de o ordine de mărime. De exemplu, emisiile de dioxine din SUA au fost reduse cu mai mult de 90% față de nivelurile din 1987, de la un total colectiv pentru toate instalațiile de aproape 8,2 kg de echivalenți toxici pe dioxină pe an la mai puțin de 14,2 grame pe an [2]. Din păcate, există totuși uneori o reticență a guvernelor de a permite construirea de noi facilități datorită faptului că se bazează pe informații învechite. Deoarece instalațiile de ultimă generație respectă standardele stricte de emisii (care sunt cele mai stricte dintre toate sectoarele industriale), în principiu, nu este nevoie de o îmbunătățire suplimentară a procesului de tratare a gazelor de ardere.

Totuși, temperatura de ieșire a cazanului este în general mai scăzută. Acest lucru face ca curățarea gazelor arse semi-umede să devină mai dificilă deoarece toată apa din pasta injectată nu poate fi complet evaporată. Prin urmare, în instalațiile noi, FGC semiumed este de obicei înlocuit cu FGC uscat. Mai mult decât atât, reducerea

necatalitică selectivă (SNCR) pentru reducerea NO_x câștigă popularitate față de reducerea catalitică selectivă (SCR), deoarece SCR necesită prea multă energie pentru reîncălzirea gazului și SNCR îmbunătățită [40] poate performa cu mult sub limitele curente de emisie [159].

Revenind la reciclarea cenușii de jos, aceasta rămâne o provocare importantă, la care a fost și încă este dedicată multă cercetare. Dacă se poate identifica un proces care să permită utilizarea completă a cenușii (în zona inferioară și cea antrenată în curentul de aer), WTE va constitui cu adevărat o strategie zero privind deșeurile. Cu toate acestea, concentrațiile de Pb, Cd, Zn și alte metale grele în cenușa zburătoare fac din acesta un deșeu periculos. Dimpotrivă, cenușa de jos (BA) (din focar) are o concentrație mult mai scăzută a acestor metale și conține alte elemente care asigură un nivel de inertizare, făcând-o în prezent potrivită pentru aplicații cu utilizare benefică. În BA, metalele neoxidate sunt fracțiunea cea mai valoroasă, deci există o rentabilitate imediată a reciclării acestor metale. Apa, datorită operațiilor de stingere și spălare umedă în sistemele WTE, cauzează probleme în separarea metalelor neferoase prin separarea curentului turbionar. Recent au fost propuse tehnologii pentru tratamentul mai mult sau mai puțin uscat al BA ([5], [202], [191]), care permite o recuperare de peste 90% a metalelor neferoase. Frațiunea minerală a BA reprezintă cea mai mare masă și volum și, dacă nu este reciclată, cantități substanțiale din aceasta (aproximativ 25% din masa deșeurilor inițiale) ar trebui depozitate în depozite de cenușa. Verbinnen și colaboratorii [162] au examinat aplicațiile de inginerie ale WTE BA și barierele chimice corespunzătoare, precum și tehnologiile de tratare. Este clar în acest context că arderea nu numai că revine dar permite și reciclarea metalelor și a compușilor minerali din BA.

Gazeificarea este un proces de oxidare parțială termochimică, care utilizează oxigen, aer, apă, dioxid de carbon sau amestecuri ale acestora ca agent de gazeificare care transformă o materie primă combustibilă solidă sau lichidă în gaz de sinteză, un amestec de CO și H₂ în principal.

Gazul de sinteză poate fi utilizat drept combustibil pentru producerea energiei electrice și / sau căldurii sau ca bloc de construcție pentru industria chimică.

Gazeificarea nu este o idee nouă și nici o tehnologie nouă, deoarece aplicațiile industriale pentru producerea de gaze naturale provenite din cocs datează de la începutul secolului XX și o serie de instalații de mari dimensiuni pentru producerea de electricitate din cărbune sau reziduuri de țitei greu au fost construite în SUA și Europa în ultimii 30 de ani. Gazeificarea este adesea prezentată administratorilor publici ca o alternativă benignă și inovatoare față de centralele WTE cu combustie convențională [38].

Cu toate acestea, deși este disponibil un volum ridicat de surse bibliografice privind gazeificarea biomasei [9], [14] și a MSW [65, 23], numărul instalațiilor de gazeificare a deșeurilor operaționale (aproximativ 26 de exploatări la nivel mondial, care corespund aproximativ 1,2 milioane tone de biomasă și deșeuri pe an) este de două ordine de mărime mai mică comparativ cu arderea [87]. Prin urmare, experiența de operare este limitată, iar datele privind performanța reală, costul etc. sunt puține și fragmentate.

În majoritatea instalațiilor de gazeificare, gazele obținute sunt ulterior arse într-un cazan cu abur, pentru a produce energie electrică într-o turbină cu abur deși acesta este cel mai puțin eficient mod de producere a energiei electrice din gaze combustibile fierbinți. Astfel de instalații sunt foarte asemănătoare cu instalațiile de ardere, dar oxidarea completă se efectuează în două etape: oxidarea în două trepte și gazeificarea materiilor prime urmată de arderea gazului [92]. Aceste instalații sunt destul de simple pentru a funcționa, dar, la fel ca și instalațiile de ardere, produc numai energie electrică și căldură (abur, apă caldă) și pot fi de fapt considerate un tip special de instalație de ardere. Alte tipuri de instalații de gazeificare (gazeificarea "completă") pot furniza energie electrică și căldură precum și gaze naturale care pot fi transformate în produse chimice (de exemplu metanol, amoniac, hidrogen și combustibil lichid). Pentru a produce compuși chimici, sintezele obținute trebuie să fie curățate și tratate corespunzător pentru a se conforma specificațiilor procedurilor din aval care transformă sintezele chimice în produsul dorit. Este necesară, de asemenea, curățarea intensivă a gazului pentru a îndepărta gudronul, acizii, particulele etc. de la gazul de sinteză, atunci când este utilizată pentru producția de energie electrică (și căldură) cu randament ridicat în turbine cu ciclu combinat, motoare cu gaz sau celule de combustie. Aceasta ar spori și mai mult costurile instalațiilor. Gazeificarea cu gaze [118] este cel mai nou tip de gazeificare. Deoarece plasma în sine este o sursă de energie, temperaturile ridicate pot fi atinse chiar și pentru combustibilii cu consum redus de energie cum ar fi MSW. Gazeificarea prin plasmă are însă mai mari constrângeri CAPEX și OPEX.

În procesul de gazeificare, oxidarea carbonului cu oxigen în CO (sau CO₂) este exotermă, dar alte reacții la gazeificare sunt endoterme cu siguranță dacă apa sau dioxidul de carbon sunt utilizate ca agenți de gazificare. În consecință, prin gazeificare, în plus față de energia de la oxidare la CO, este nevoie de un combustibil de suport, cum ar fi gazul natural, cărbunele / cocsul pulverizat, încălzirea electrică ("torța cu plasmă") precum și aerul îmbogățit cu oxigen.

O nouă inițiativă a fost dezvoltată în vederea îmbunătățirii eficienței gazeificării biomasei prin furnizarea căldurii de proces de la sistemele solare concentrate, care pot atinge temperatura necesară de 900 °C [158]. Mai mult decât atât, în cazul gazeificării MSW, este de obicei necesară o pre-tratare a deșeurilor menită să crească LHV și omogenizarea și să respingă piesele inerte / voluminoase la intrare. Toate acestea sporesc complexitatea procesului și reduc fiabilitatea și performanța [31]. Atunci când se calculează producția de energie, trebuie luate în considerare încărcările parazitare, cum ar fi producția de oxigen, sursele de energie suplimentare sub formă de cocs și consumul de energie pentru tratarea prealabilă a deșeurilor.

Atunci când aceste intrări sunt scăzute din rezultatele raportate, eficiența este cel mult comparabilă cu, dar în mod obișnuit cu mult sub, cea a combustiei [31]. Prin urmare, beneficiile potențiale ale "oxidării în două etape" nu se referă la o eficiență energetică mai mare, ci se pot referi la îmbunătățirea recuperării și operării / controlului emisiilor, inclusiv, în funcție de procesul utilizat, recuperarea metalelor în formă neoxidată; colectarea cenușii în formă inertă, vitrificată și generarea inferioară

a unor poluanți, în special Nox [118]. Un alt avantaj posibil al gazeificării asupra arderii ar putea fi pentru țările în curs de dezvoltare și regiunile în care rețeaua de electricitate este mai puțin stabilă, iar distribuția de energie cu ajutorul generatoarelor este predominantă.

Așteptările privind gazeificarea în plasmă / vitrificarea pentru "gazeificarea completă" care are ca rezultat valorificarea combinată a energiei și materialelor sunt destul de ridicate și se susține că inputurile variabile de deșeurii nu ar pune probleme [158]. Sunt necesare în acest sens teste de lungă durată, complete și la scară variabilă, descrise în detaliu în literatura de specialitate. Acest lucru nu numai că va documenta în mod clar posibilitățile tehnologice ale tehnicii, ci va permite, de asemenea, evaluarea durabilității sale, având în vedere impactul său asupra mediului și nevoile de resurse. În plus, va furniza date demonstrative care să permită o evaluare în sensul în care gazeificarea / vitrificarea cu plasmă este viabilă din punct de vedere economic pentru tratarea pe scară largă a biomasei și a MSW. Acest lucru este important deoarece orice responsabil cu luarea deciziilor va solicita date de la o instalație demonstrativă sau de referință pentru a determina riscul asociat instalării. În contextul economic al Europei și al Statelor Unite (cu taxe tipice "low gate" și costuri de tratament), gazeificarea în plasmă pare, în mod normal, justificată doar pentru deșeurile care nu pot fi prelucrate în alt mod (cum ar fi deșeurile cu un conținut ridicat de azbest).

În cele din urmă, piroliza, definită ca descompunerea termică în absența completă sau aproape completă de oxigen, produce (în funcție de proces, temperatură, timpul de rezidență etc.) cantități variabile de gaz de piroliză combustibil, ulei de piroliză lichid și caractere solide. Piroliza s-a dovedit a fi un proces termochimic adecvat pentru unele fluxuri de deșeurii [31], dar este mai puțin adaptată și nu permite tratarea completă a materiilor prime eterogene, cum ar fi deșeurile menajere și deșeurile biologice. În plus, sunt necesare tratamente prealabile (uscarea, măcinare) și tratarea ulterioară a deșeurilor și a produselor. Din 1990, au fost comandate aproximativ 25 de instalații, în special în Asia de Sud-Est și Japonia. Acestea se bazează în cea mai mare parte pe un reactor de piroliză cu un gazificator de zgură adăugat și produc foarte puțin (dacă există) electricitate. În plus, instalațiile par dificil de operat, deoarece sunt foarte sensibile la admisia aerului [31].

Pornind de la ipoteza că proprietățile biomasei asupra procesului de fabricație al peleților/brichetelor este unul din factorii cei mai importanți în procesul de fabricare ai acestora, autorul tezei propune ca model de studiu "cutia neagră" de tip Box Wilson prezentată în figura 2.5.

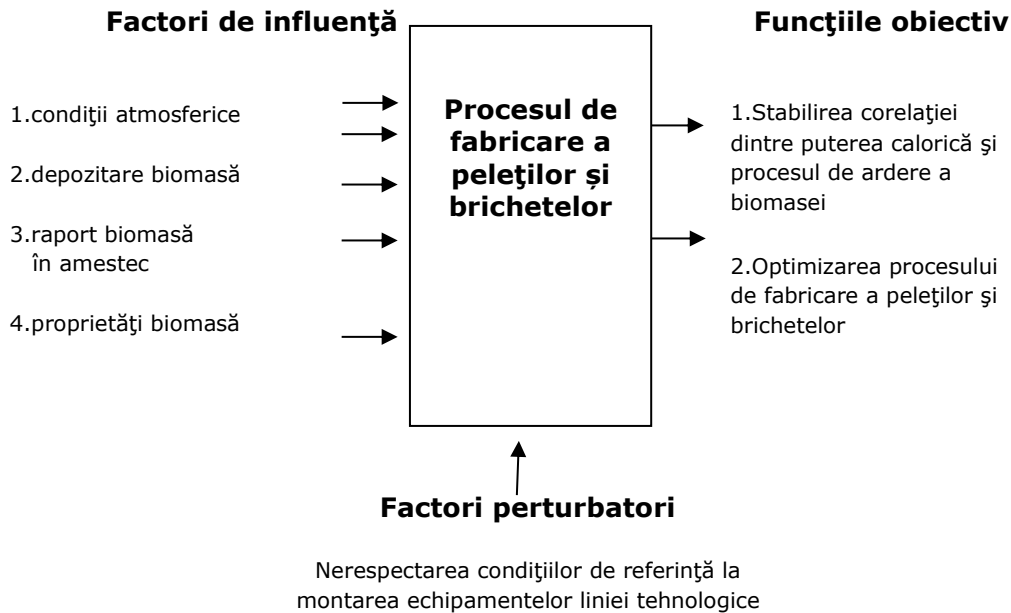


Fig. 2.5. Modelul cutiei negre tip Box Wilson pentru procesul de fabricare al peleiților și brichetelor

2.2. Standarde internaționale aplicabile în producția de peleiți și brichete pentru încălzire

Standardele aferente biocombustibililor solizi de tip peleiți și brichete sunt în continuă actualizare. Reglementările UE pentru aceste tipuri de biocombustibil sunt incluse în standardele EN 17225-1 [185], EN 17225-2 [186] și EN 17225-6 [187] care sunt actualizări ale standardelor EN 14961 [180] și EN 14961-4 [181] și sunt prezentate în Anexa 1.

2.3. Concluzii parțiale

Prin aplicarea modelului propus în figura 2.5, considerăm că vom aduce o plusvaloare consistentă cercetării în ceea ce privește procesul de fabricație peleiți/brichete.

3. OPTIMIZAREA LINIEI ȘI A PROCESULUI DE PELETIZARE/BRICHETARE

3.1. Preliminarii

Obiectivele acestui capitol sunt:

- Prezentarea liniei tehnologice pentru producția de peleți/brichete dintr-o micro-întreprindere 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.

În vederea realizării acestor obiective s-a parcurs literatura de specialitate pentru a înțelege întregul proces de realizare a peleiților/brichetelor, am realizat vizite tehnologice la mai multe micro-întreprinderi din domeniu unde am analizat situația existentă la fața locului și am discutat cu specialiști, am studiat situația actuală a liniei de peleți/brichete a firmei SC Titus Industries Srl din localitatea Cenei, județul Timiș. În urma tuturor acestor demersuri am propus soluții de optimizare a liniilor tehnologice de producere peleți respectiv brichete. Totodată, am adus modificări tehnice și tehnologice unor elemente componente ale liniei tehnologice obținând astfel foarte multe avantaje. La finalul capitolului am propus câteva premise de dezvoltare durabilă a firmei SC Titus Industries SRL.

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.

3.2. Descrierea liniei de peleți și brichete

Linia de peleți și brichete care a fost studiată în această lucrare se găsește la SC ANDREI SLAVICI SRL, microîntreprindere cu capital privat (codul CAEN 1629), care a dorit să producă peleți și brichete cu o eficiență energetică superioară și să diversifice inputurile de biomasă care pot fi brichetate sau peletizate.

Pentru aceasta, societatea și-a asumat următoarele obiective:

- optimizarea liniei de producție,
- optimizarea rețetelor de fabricație a peleiților și brichetelor,
- reciclarea reziduurilor de biomasă forestieră, agricolă și urbană pentru obținerea de peleți și brichete,
- pătrunderea pe piață.

Conform definițiilor din literatura de specialitate, peleții sunt aglomerări de particule de dimensiuni reduse de formă cilindrică (milimetri și zeci de milimetri), care se obțin, de obicei, din comprimarea unui material inițial. Atunci când vorbim despre brichete, acestea au aceeași definiție ca și peleții doar dimensiunile sunt mai mari (lungime și diametru de ordinul centimetrilor și zecilor de centimetri). De subliniat faptul că forma brichetelor poate varia: cilindrică sau paralelipipedică.

Brichetele și peleții sunt cele mai bune produse combustibile obținute din biomasa lemnoasă, alături de gazele combustibile rezultate la putrezirea fără aer. Reglementările cuprinse în legislația UE impun o tehnologie de valorificare a deșeurilor din materiale lemnoase în vederea unei valorificări eficiente. Această tehnologie este prezentată schematic în figura 3.1 [113].

Conform definițiilor din literatura de specialitate, peleții sunt aglomerări de particule de dimensiuni reduse de formă cilindrică (milimetri și zeci de milimetri), care se obțin, de obicei, din comprimarea unui material inițial. Atunci când vorbim despre brichete, acestea au aceeași definiție ca și peleții doar dimensiunile sunt mai mari (lungime și diametru de ordinul centimetrilor și zecilor de centimetri). De subliniat faptul că forma brichetelor poate varia: cilindrică sau paralelipipedică.

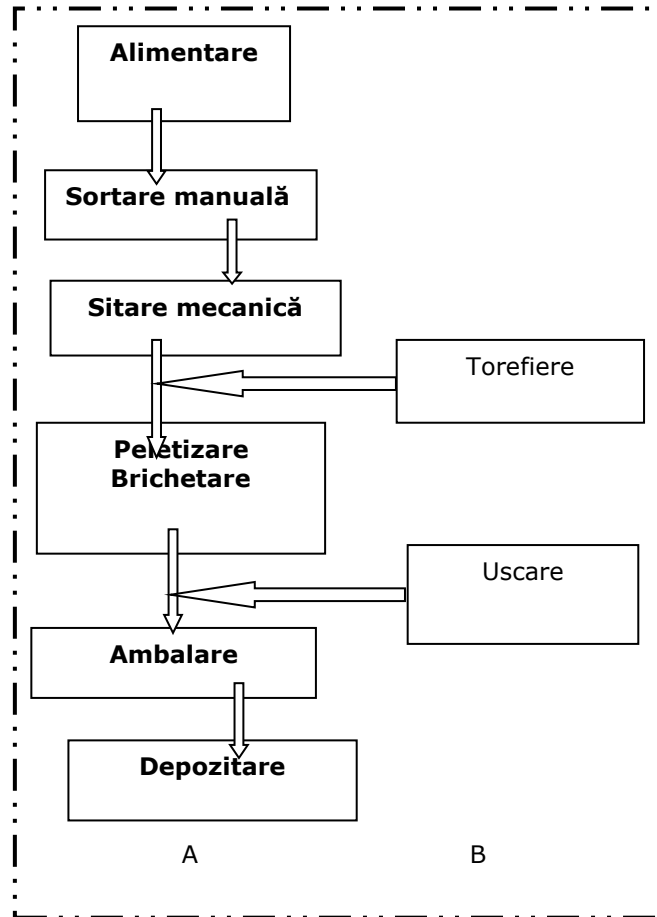


Fig. 3.1. Tehnologia de valorificare a deșeurilor lemnoase: A – reglementată, B-cu mărirea puterii calorice a materialului (după [113])

Procesul de obținere a produsului finit (peleți sau brichete) are mai multe etape și anume:

- alimentarea (această etapă include sortarea, tocarea și rafinarea materiei prime),
- uscarea (procesul prin care materia primă este adusă la umiditatea necesară),
- peletizarea sau brichetarea propriu-zisă,
- răcirea produsului finit (procesul prin care produsul finit este adus la temperatura necesară pentru ambalare),
- ambalarea (procesul prin care produsul finit este ambalat și etichetat).

Schema logică de funcționare a acestei linii este reprezentată în figura 3.2.

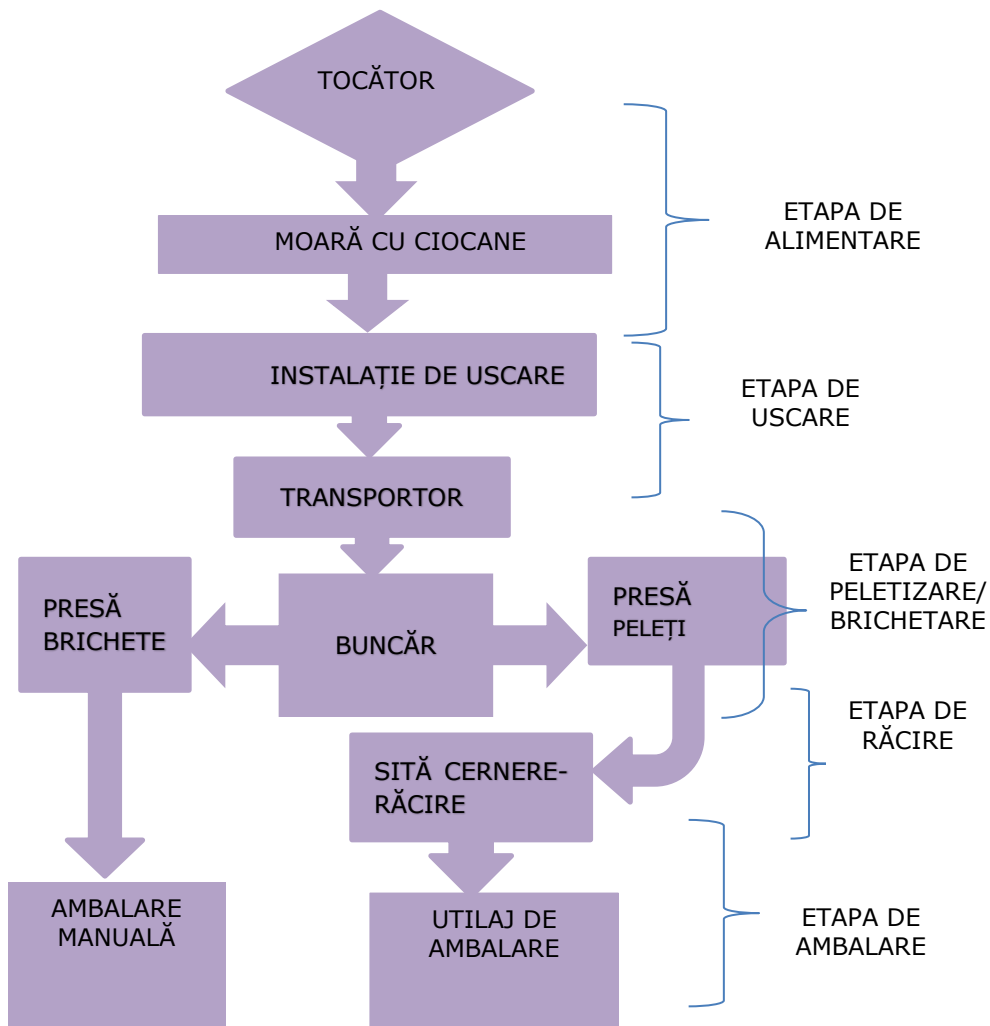


Fig. 3.2. Schema logică de funcționare, adaptare după [97]

Linia de peleți studiată este o linie de producție pentru peleți și brichete cu o capacitate de 400 kg/h. 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].

3.3. Contribuții privind optimizarea și conducerea liniei de fabricație

În urma procesului de modernizare [96], 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 acestor buncăre 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 biomasă 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.

Procesul tehnologic de realizare a peleților are următoarele etape:

- etapa 1: etapa de alimentare. În această etapă are loc alimentarea cu biomasă a tocătorului iar din tocător biomasa ajunge într-o moară cu ciocane.
- etapa 2: etapa de uscare. În această etapă biomasa din moara cu ciocane ajunge într-o instalație de uscare de unde va fi transportată în buncăr. Pentru a reduce consumul energetic pentru uscare se recomandă protejarea materiilor prime de intemperii. Dacă biomasa după măcinare nu necesită uscare se fac doar stocuri în buncăre, fără a mai folosi instalația de uscare.
- etapa 3: etapa de pelletizare. În această etapă are loc efectiv realizarea de peleți, în funcție de cerințe (în funcție de produsul final dorit se pregătește întregul proces tehnologic). Din buncăr biomasa ajunge în malaxor (în cazul când se dorește realizarea de peleți din mai multe sorturi) unde este bine amestecată, apoi în presa de peleți.
- etapa 4: etapa de răcire. În această etapă peleții sau brichetele sunt transportate într-o instalație de răcire și cernere pentru a separa peleții întregi de praf.
- etapa 5: etapa de ambalare. În această etapă peleții sunt transportați într-o instalație de ambalare și etichetare, recomandarea noastră fiind de a nu se folosi un transportor cu șnec ci o bandă cu racleți.

Procesul tehnologic de realizare a brichetelor are următoarele etape:

- etapele 1 și 2 sunt identice cu specificația că la moara cu ciocane este necesară o sită cu ochiurile mai mari.
- etapa 3: înaintea prese de brichete avem un buncăr cu malaxor din care este alimentată presa de brichetat, brichetele se răcesc pe un ghidaj metalic iar la capătul acestuia are loc secționarea lor la dimensiunea cerută.
- etapa 4: ambalarea lor se realizează manual.

Schema logică de funcționare a acestor linii după îmbunătățirile aduse este reprezentată în figura 3.3, cu roșu fiind evidențiate îmbunătățirile aduse.

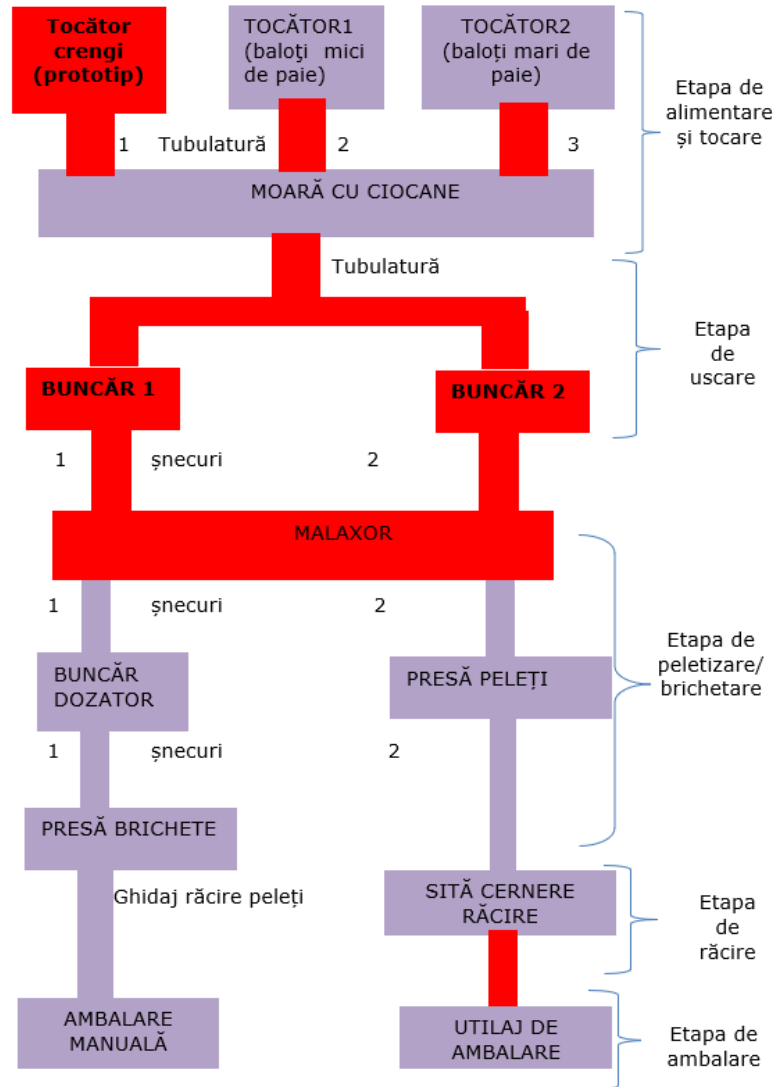


Fig. 3.3. Schema instalației de peletizare/brichetare

Elementele componente ale liniei tehnologice din figura 3.3 pe care s-au realizat peleții necesari în procesul de ardere sunt prezentate în continuare:

- **Tocătorul** este de tip tambur, folosește pentru funcționare două motoare: motorul principal de 15 kWh și un motor auxiliar de 1,1 kWh. Capacitatea de prelucrare a acestui tocător este de 1 balot (500-700 kg) la 8 minute. Diametrul interior al tamburului este de 150 cm, iar lungimea de tocare de 4-5 cm. Linia are în dotare 2 tocătoare identice ca și mod de funcționare dar diferite ca diametrul cuvei de alimentare pentru două tipuri de baloți rotunzi

(cu diametru diferit). În urma experimentelor am constatat că aceste tocătoare pot mărunți și baloți dreptunghiulari. Prin montarea **convertizorului de frecvență** se controlează turația motorului de 1,1 kW, motor care rotește cuva tocătorului, obținând următoarele avantaje: controlul cantității de măcinătură trimisă către moara cu ciocane pentru aducerea materiei prime către cuțitele acestuia, funcționare lină a motorului de 15 kW care acționează cuțitele tocătorului precum și posibilitatea tocării diverselor deșeuri agricole: coceni de porumb, bețe de floarea soarelui, paie de diverse cereale, soia, rapiță etc.



Fig. 3.4. Tocătorul liniei tehnologice, [arhiva proprie]

- **Tocătorul pentru crengi** (concepție proprie ce urmează a fi brevetat). Tocătorul de crengi a fost conceput pentru a mărunți crengile rezultate din toaletări de arbori și pomi fructiferi sau din exploatări forestiere. Cu ajutorul lui se pot mărunți și bețele de salcie energetică. Mărunțirea se realizează în intervalul dintre cuțitul montat pe arbore și placa fixă, iar această distanță poate fi reglată. Acest tocător a fost conceput pentru tocarea crengilor cu diametru de până la 6 cm și este încărcat manual. Este de menționat faptul că la ora actuală există în comerț un tocător asemănător, dotat cu doi arbori pe care sunt montate cuțite, dar mărunțirea realizată de acest tocător este grosieră față de tocătorul concepție proprie.



Fig. 3.5. Tocător pentru crengi, [arhiva proprie]



a)



b)

Fig. 3.6. Sistemul de mărunțire: a)cuțitele tocătorului prototip (6 bucăți) montate pe arbore, b) cuțitele cu masa de tăiere, [arhiva proprie]



Fig. 3.7. Volantele montate pe arbore, [arhiva proprie]

- **Moara** de pe linia tehnologică este o moară cu ciocane care are o putere de 22 kW și poate prelucra 500 kg materie tocată pe oră. Procesul de mărunțire se realizează datorită ciocnirii particulelor de materie primă cu ciocanele, este un proces rapid și cantitatea de praf degajată la acest tip de moară este mai mică decât în cazul altor tehnologii de mărunțire. Grosimea maximă a materialului măcinat este reglată de o sită la ieșirea din moară și poate varia de la 5 mm la 70 mm, în funcție de destinația tocăturii. În urma probelor succesive de realizare peleți/brichete a reieșit următoarea concluzie: pentru brichetat se recomandă sita de 10 mm care dă și o productivitate mai mare a morii cu ciocane, sita de 6 mm pentru linia de peleți, iar sita de 3 mm (granulație foarte fină) se recomandă doar la măcinarea cerealelor (nu se recomandă la realizarea peleților pentru încălzire). La început s-au realizat doar peleți, deci moara a permis ieșirea de material măcinat cu diametrul maxim (granulație maximă) de 6 mm, după care s-au achiziționat site de 10 mm (doar pt. linia de brichete) și de 3 mm nu se recomandă decât pentru măcinarea cerealelor.



Fig. 3.8. Moara cu ciocane, [arhiva proprie]

- **Instalația de uscare** este o instalație de uscare în flux compusă dintr-o sobă pe lemn sau brichete și un ciclon cu flux continuu, acționată de o suflantă de 18 kWh și un motor de 1,1 kWh. Această instalație are o capacitate de uscare de maxim 500 kg/h, în funcție de umiditatea rumegușului (materia primă care provine din moara cu ciocane). Umiditatea inițială a rumegușului poate fi de maxim 50%, iar după uscare, umiditatea ajunge între 12-15%. Umiditatea materialului la ieșirea din instalația de uscare se poate regla prin controlul dozării materiei prime la intrare. De menționat este faptul că, pentru uscarea materialului, soba consumă maxim 30 kg combustibil (brichete produse pe linia tehnologică studiată, dar de calitate a II-a) pe oră. La această instalație s-au adus următoarele îmbunătățiri: peretele din spatele focarului a fost înălțat astfel încât flacăra să nu poată pleca pe tubulatura unde are loc uscarea materialului, în spatele acestui perete s-au montat două site pentru a opri scânteile care pot aprinde/detona rumegușul pe tubulatura de uscare.

La buncărul unde se transferă materialul uscat s-a montat la partea superioară un ciclon în care se realizează separarea rumegușului de fum.



Fig. 3.9. Instalația de uscare (cuptorul de ardere împreună cu tubulatură în care are loc uscarea uscare), [arhiva proprie]

- materia primă rezultată din moara cu ciocane care nu necesită uscare va fi direcționată și transportată prin tubulatură către cele **două buncăre** dotate cu separator de praf (fiecare buncăr poate conține același tip de biomasă sau diferit, în funcție de rețeta utilizată pentru producerea peleiților/brichetelor).



Fig. 3.10. Buncăr cu separator de praf, [arhiva proprie]

- în funcție de rețeta aleasă, din unul sau din ambele buncăre materia primă ajunge în **malaxor** unde are loc omogenizarea acesteia. Datorită spirelor elicoidale ale malaxorului, straturile interioare de materie primă se deplasează în sens contrar straturilor exterioare realizându-se astfel omogenizarea. Malaxorul are o putere de 3 KW și poate amesteca 200 kg materie primă în 10 minute. În cazul în care umiditatea materiei prime este sub 8%, în timpul omogenizării acesteia se poate adăuga apă.



Fig. 3.11. Malaxor orizontal, [arhiva proprie]

- materia primă ajunge într-un **buncăr** doar pentru realizarea de brichete (de la linia tehnologică inițială) cu ajutorul unui transportor elicoidal unde este omogenizată cu ajutorul unui motor de 7 kWh, acesta fiind alimentat de un motor de 0,5 kWh.



Fig. 3.12. Buncărul liniei tehnologice pentru brichetare, [arhiva proprie]

- din buncărul liniei tehnologice pentru brichetare materia primă ajunge în presa de brichete. Pentru obținerea brichetelor se folosește o **presă de brichete** cu piston hidraulic cu o productivitate de 220 kg/h. Aceasta are un motor de 22 kWh ce acționează pompa hidraulică, un motor de alimentare de 1,35 kWh și un motor de dozare de 5,5 kWh. Ca și îmbunătățire adusă acestei linii tehnologice am montat un dozator de apă la intrarea în presă pentru cazurile în care materia primă este prea uscată iar ca și recomandare: la finalul zilei de lucru este necesar să se adauge puțin ulei în presă astfel încât materia primă rămasă în aceasta să nu se blocheze în capul extrudor. Brichetele care ies în formă continuă din presă sunt conduse pe un ghidaj cu lungimea de 6140 mm (figura 3.13.b), unde are loc răcirea acestora. La

capătul ghidajului brichetele sunt secționare la dimensiunea dorită. Ambalarea brichetelor se face manual în saci sau în big-bags-uri.



Fig. 3.13. a) Presa de brichete, b) Ghidaj, [arhiva proprie]

- din malaxor, cu ajutorul tot a unui transportor elicoidal sau din buncărul de la finalul instalației de uscare (dacă este cazul) și după eliminarea eventualelor reziduuri metalice materia primă ajunge în **presa de peleți**. Linia tehnologică dispune de o presă de peleți profesională (industrială), cu matriță inelară și separator magnetic, cu o putere de 30 kWh. Presa este alimentată de un transportor elicoidal dotat cu motor de 2,2 kWh iar motorul care acționează transportorul elicoidal ce dozează rumegușul la intrare este de 1,1 kWh. Cele două motoare care acționează transportoarele elicoidale de alimentare și dozare au fost dotate cu convertizoare de frecvență. Rolul acestor convertizoare este de a regla cantitatea de materie primă care ajunge în zona de presare și astfel se diminuează riscul blocării preseii de peleți.

Materia primă (rumeguș de lemn, paie, cereale sau deșeuri de biomasă cu o granulație de 4-5mm) este dozată la partea superioară a preseii și este distribuită uniform pe suprafața matriței. Matrița este de forma unui cilindru cu multe perforații conice, numite canale de presare. Materialul este presat prin canale cu ajutorul unor role canelate, al căror număr depinde de diametrul matriței și de capacitatea preseii. Peleții extrudați sunt în final tăiați de un cuțit aflat sub matrița de presare, lungimea lor putând fi reglată. Cuțitul este dispus sub un unghi de 30° față de planul tangent la rolă. La fel ca și la operația de brichetare se recomandă ca la finalul zilei de lucru să se adauge ulei în presă pentru evitarea blocării acesteia.



Fig. 3.14. Presa de peleți: 1- transportor elicoidal, 2-transportor elicoidal (alimentator), 3- dozator, 4-motor acționare presă, 5- corpul presei de peleți, 6-transportor elicoidal de peleți spre cernere uscare, [arhiva proprie]

Diametrul peleiților 6 mm, iar lungimea lor între 15-60 mm. Pentru o funcționare optimă, conținutul de umiditate al materiei prime trebuie să fie între 10-14%.

Capacitatea de lucru a unei astfel de prese este de 500 kg/h, densitatea de vrac a peleiților obținuți este de cel puțin 650 kg/m^3 iar pentru a obține rezultate optime aceasta trebuie să funcționeze continuu un timp îndelungat.

- din presă, peleiții ajung într-un **răcitor** cu sită vibratoare și aspirator pentru praf, răcitorul având o capacitate de 200-350 kg/h.

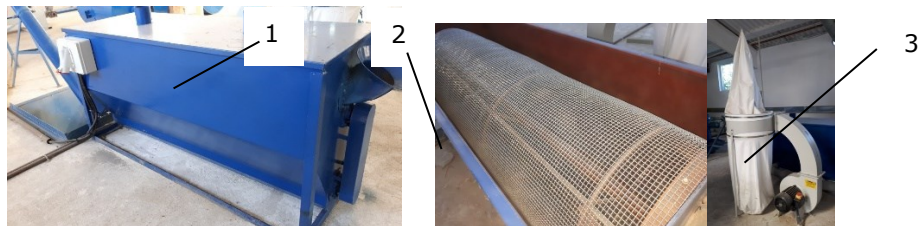


Fig. 3.15. Instalație de răcire și cernere: 1-exterior, 2-sită de cernere, 3-filtru pentru reținerea prafului, [arhiva proprie]

- din răcitor, prin banda transportoare, peleiții ajung la **instalația de ambalare**. Instalația de ambalare consumă 4 kWh și realizează ambalarea peleiților la saci de polietilenă. Instalația dispune de o balanță electronică

reglabilă între 0-30 kg, pentru ambalarea semi-automată, iar capacitatea de ambalare este de 120-150 saci/h.



Fig. 3.16. Transportor elicoidal și instalație de ambalare, [arhiva proprie]

Peleții care au fost folosiți pentru studiul arderii în centrala pilot realizată au fost produși pe această linie tehnologică, dar s-a utilizat o presă de peleți cu matricea plană. S-a achiziționat această presă strict în vederea realizării de încercări experimentale (realizarea de peleți cu diferite rețete). Presa are o putere de 7,5 kW și poate procesa 100-120 kg/h.



Fig. 3.17. Presă peleți de capacitate mică, [arhiva proprie]

3.4. Transferul rezultatelor obținute în urma optimizării liniei tehnologice de fabricație peleți/brichete

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].

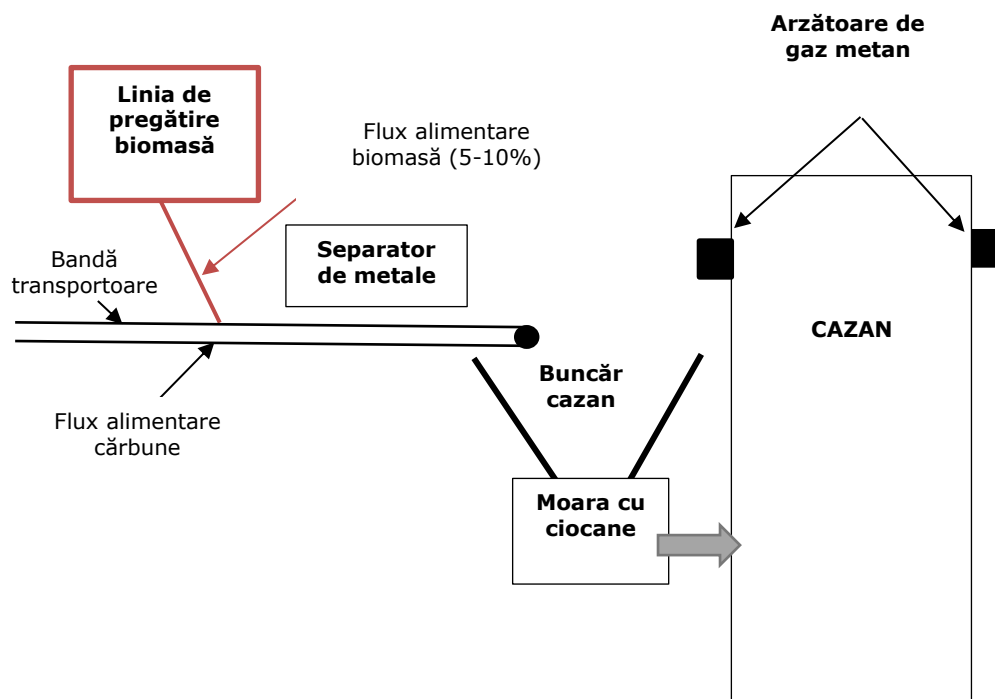


Fig. 3.18. Schema unui cazan alimentat cu un amestec de biomasă și cărbune, folosind arzătoare cu metan, după [113]

Această linie face parte din instalația de alimentare a cazanelor de la CET SUD, iar biomasă pregătită de ardere ajunge pe banda transportoare care alimentează cazanele cu cărbune.

Amestecul este trecut prin separatorul de metale pentru a extrage orice urmă de metal încă prezent și este alimentat în continuare în cazanul de buncăr. În interiorul buncărului, amestecul este ulterior uscat și mărunțit printr-o moară cu ciocane, înainte de a fi încărcat în cazan. Arderea din interiorul cazanului este alimentată de arzătoare cu metan. Întrucât temperatura gazelor din interiorul cazanului este de aproximativ 700 °C, și deci superioară temperaturii de piroliză a lemnului, nu pot fi utilizate cantități mari de biomasă. În caz contrar, există riscul ca biomasă să se autoaprindă, ducând la aprinderea cărbunelui și eliberarea de gaze volatile, rezultând o ardere violentă. Acesta este motivul pentru care raportul dintre biomasă și cărbune se menține la o cantitate scăzută de 5-10%.

Pentru realizarea liniei de alimentare cu biomasă, a cărei schemă este dată în figura 3.19 s-au achiziționat următoarele echipamente:

- cupă pentru graifer (figura 3.20),
- tocător industrial Graindini (figura 3.21),
- moară cu ciocane (identică cu cea de la linia tehnologică descrisă mai sus),
- tub de alimentare (figura 3.22),

- s-a construit o platformă betonată pentru depozitarea materialului lemnos și o mică hală pentru moara cu ciocane (figura 3.23).

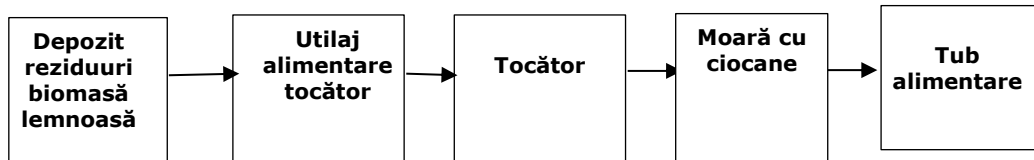


Fig. 3.19. Schema liniei de pregătire a măcinăturii de biomasă pentru arderea împreună cu cărbune



Fig. 3.20. Graifer, [arhiva proprie]



Fig. 3.21. Tocător industrial de crengi, [arhiva proprie]



Fig. 3.22. Hala cu echipamentele sale: 1-hala, 2-moara, 3-tub alimentare linie, [arhiva proprie]



Fig. 3.23. Hala și platforma betonată, [arhiva proprie]

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 cărbunile (Anexa 2), apoi s-a actualizat și autorizația GES. În urma actualizării GES, COLTERM nu plătește certificate de poluare pentru biomasa arsă.

3.5. Premise de dezvoltare a firmei

Pentru dezvoltarea ulterioară a firmei s-au identificat următoarele posibilități:

a) Scăderea cheltuielilor de obținere a materiei prime necesare procesului tehnologic prin autorizarea firmei ca unitate prelucrătoare de deșeuri de biomasă lemnoasă. Datorită diversificării utilajelor de prelucrare a biomasei, deșeurilor forestiere sau agricole se poate autoriza societatea și pentru transformarea deșeurilor de biomasă în biomasă certificată. În legislația din România, crengile rezultate din toaletările arborilor situați în parcuri și grădini aflate în mediul urban și periurban sunt considerate deșeuri, doar crengile rezultate din exploatarea forestiere fiind considerate biomasă. Pentru a putea sorta, prelucra și transforma deșeurile de biomasă în biomasă certificată legislația cere o autorizație suplimentară și dotarea tehnică corespunzătoare a societății. Spre exemplu, orașul Timișoara generează o cantitate de peste 10000 tone deșeuri de biomasă lemnoasă.

b) scăderea cheltuielilor cu energia electrică prin:

- depozitarea materiei prime în spații protejate unde are loc uscarea în mod natural (nu mai este necesară uscarea în instalația de uscare care ar presupune consum de combustibil și energie electrică),
- instalarea unui sistem fotovoltaic de producere energie electrică, parte din consumul instalațiilor liniei tehnologice ar fi asigurat de către sistemul fotovoltaic. Pe hala de producție (figura 3.24) se poate monta un sistem fotovoltaic de producere energie electrică 200 kW, puterea maxim instalată.

Dacă și energia electrică achiziționată ar fi produsă din surse regenerabile (panouri fotovoltaice, eoliene, hidroelectric) atunci peleții/brichetele ar deveni produse 100% ecologice (produse verzi), doar componenta de transport de la sursă la hala de producție nefiind ecologică (nu există încă răspândit transportul cu camioane electrice).

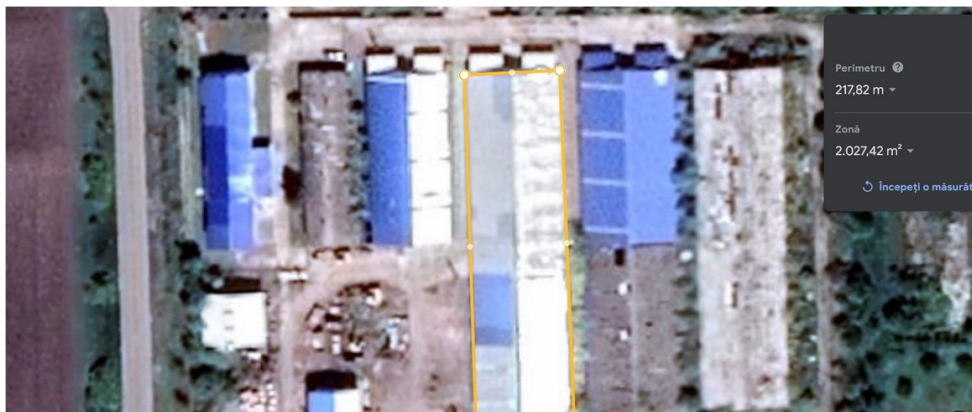


Fig. 3.24. Hala de producție, sursa Google maps

c) producerea de hrană pentru animale. S-au făcut diverse experimente cu presa mică de peletizare realizându-se peleți din diverse amestecuri: lucernă, porumb, grâu, floarea soarelui, soia, triticale. Cu peleții obținuți am hrănit găini, iepuri, porci, respectiv pești. În funcție de destinația hranei se folosesc site diferite. Avantajul realizării acestor peleți:

- *plus valoare datorită prețului mare de vânzare* a acestora față de cei pentru ardere. Spre exemplu, la hrănirea iepurilor pierderile de lucernă în stare naturală sunt mult mai mari decât în cazul peleților doar din lucernă, tot pentru hrana iepurilor existând posibilitatea de a realiza peleți din amestec de lucernă cu ovăz,
- posibilitatea *diversificării compoziției peleților*,
- posibilitatea *dozării automate a hranei peletizate* pentru animale,
- posibilitatea de a asigura *uscarea materiilor prime fără costuri* prin realizarea unor spații de stocare a acestora, structuri metalice acoperite cu prelată care ar proteja de intemperii și unde se poate asigura uscarea acestora cu costuri zero,
- reducerea pierderilor și diminuarea riscului de fermentare a hranei neutilizate de către pești ce duce la deteriorarea calității apei (mai ales în perioada verii). Modelul clasic de hrănire a peștilor este măcinătură fiartă care odată în contact cu apa se descompune mult mai repede decât peleții.

d) creșterea vizibilității societății poate aduce clienți cu achiziții mari cantitative care doresc marfa ambalată în big-bags-uri (1 sau 2 tone). În acest caz se reduc substanțial costurile cu: pungi și saci pentru ambalare, energie electrică utilizată de utilajul de ambalare, manopera unui angajat pentru ambalare.

3.6. Concluzii parțiale

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.

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 a 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 "start/stop", 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).

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

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.

Pe baza principiului descris în lucrarea [113] și a rezultatelor obținute în urma optimizării liniei de fabricație peleți/brichete, s-a implementat la SC COLTERM SA o linie tehnologică de pregătire a biomasei pentru arderea acesteia împreună cu cărbunele.

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

4.1. Preliminarii

Obiectivul principal este concepția unei centrale termice cu puterea de 37 kW având ca bază de pornire soba tip rachetă inventată de Ianto Evans. Se vor prezenta soluții inovatoare ale autorului, finalizate prin depunerea unei cereri de brevet, detaliată în subcapitolul 4.4.

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 smarthome care permit utilizatorilor să automatizeze mai multe dispozitive printre care și o centrală termică.

Pentru realizarea acestor obiective s-au efectuat vizite de documentare la mai multe micro-întreprinderi care realizează centrale termice pentru încălzire, s-a analizat situația existentă la fața locului și în final s-au propus soluții tehnice pentru un nou tip de centrală termică. După realizarea proiectului tehnic s-a realizat fizic centrala termică pilot (toate prototipurile până la obținerea prototipului final), după care s-a realizat automatizarea acesteia și s-a găsit o soluție pentru integrarea ei în dispozitivele smarthome.

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 smarthome;
- cerere de brevet.

4.2. Concepția centralei termice

4.2.1. Generalități

Pornind de la necesitatea realizării unui bilanț energetic al peleiților 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.

Țelul principal al sistemului de smarthome este de a defini și a stabili interoperabilitatea componentelor necesare pentru a crea o centrală termică pe peleți cu control digital. Principala funcție este de a controla componentele unei centrale termice pe peleți și a stabili un ciclu de operare ce asigură funcționarea în siguranță. Arhitectura sistemului este concentrată pe utilizarea tehnologiilor cloud și a înlesni integrarea unui termostat virtual controlat printr-o aplicație web și/sau o aplicație mobilă.

Într-o vedere mai amplă, sistemul este menit să se integreze cu ușurință și să facă parte dintr-o suită de dispozitive smarthome care permite utilizatorilor să automatizeze mai multe dispozitive printre care și o centrală termică. Un astfel de sistem ajută la dezvoltarea pe termen lung a unor soluții sustenabile, ce micșorează consumul de energie în mediul rezidențial. Acesta servește nevoii generale de a diminua impactul asupra mediului înconjurător.

O centrală termică este o instalație pentru producerea căldurii care apoi se distribuie printr-un agent termic fluid (apă, abur, aer cald, antigel). O centrală termică este prevăzută cu una sau mai multe instalații de ardere, în focarul cărora se arde un combustibil, fosil, biocombustibil, etc.

Primele instalații termice care au apărut în evoluția societății au fost cele care foloseau diferența de densitate la temperatură a apei (agent termic). Acest tip se numește centrală cu circulație naturală. Randamentul acestora este mulțumitor, între timp însă s-a constatat că montând o pompă pe o instalație de acest gen, randamentul se mărește, cantitatea de material folosit în instalația termică se diminuează considerabil. De aici s-au inspirat oamenii pentru a proiecta și executa centrale cu circulație forțată. În ultimii 30 – 40 de ani aceste centrale au fost îmbunătățite permanent, făcând ca la acest moment, acestea să fie o entitate de sine stătătoare, funcțională, în parametrii de siguranță în exploatare.

4.2.2. Concepția prototipurilor centralei

Studiind generatorul de abur inventat de Traian Vuia [101], care are ardere catalitică și focar supraîncălzit, datorită arderii și a inexistenței schimbului termic la nivelul focarului, drumurilor succesive a gazelor de ardere și schimbătoarelor realizate în spirală, s-a ajuns la concluzia că focarul nu trebuie să facă schimb de căldură cu agentul termic, schimbătoarele de căldură aer-apă sunt cele tip serpentină, iar arderea trebuie să fie turbionară pentru un amestec cât mai bun aer-combustibil, pentru a obține o eficiență a arderii de peste 90%. Generatorul de abur Vuia folosea combustibil lichid sau gazos, cercetările noastre fiind legate de utilizarea combustibililor solizi în formă brută sau prelucrați sub formă de peleți/brichete.

Studiind soba tip rachetă inventată de Ianto Evans [53], care nu avea schimb aer-apă (fără schimbătoare de căldură), încălzirea încăperii fiind realizată de transferul termic dintre aerul din încăperea și pereții sobei, în plus temperatura gazelor de ardere cedau căldură unui acumulator termic (banchetă realizată din cărămidă/lut/piatră), s-a ajuns la concluzia că arderea este turbionară și completă datorită unei bune gazeificări și a dimensiunilor constructive a diferitelor componente ale acesteia.

Din concluziile desprinse din studierea celor două invenții s-a conceput o centrală termică cu schimbătoare aer-apă (prototipul 4), iar după testele efectuate s-au adus îmbunătățiri constructive, rezultând prototipul final numărul 5.

Deoarece s-a dorit să se obțină o temperatură cât mai mare în focar, centrala s-a conceput ținând cont de două aspecte: focarul să fie izolat și să nu cedeze căldură către schimbător și schimbătoarele de căldură să fie post ardere în drumul gazelor de ardere. Totodată s-au adus modificările/îmbunătățirile necesare pentru o ardere cât mai bună și un randament cât mai ridicat cu încadrarea în normativele europene a emisiilor "la coș", cu evacuarea gazelor de ardere având temperatura cât mai joasă.

Pentru a obține ceea ce s-a propus, au fost efectuate încercări succesive pe diferite variante intermediare, astfel:

Prototip 1

Pe acest prototip s-a studiat gazeificarea și arderea gazului. S-a introdus aer suplimentar deasupra arderii cu ajutorul unei ventilator. Arzătorul are secțiunea de 80 mm² și înălțimea de 100 mm cu pereți dubli, ventilatorul aducând aer la baza focarului și deasupra arderii circular. În urma efectuării experimentelor s-a constatat că arderea este fără fum (vizual nu se observă fum deasupra arderii).

Prototip 2

Acest prototip are același principiu de funcționare ca și prototipul 1, doar că dimensiunile acestuia sunt mai mari. Și pe acest prototip s-a studiat gazeificarea și arderea gazului cu ajutorul unei ventilator și generarea unei turbionări a gazelor rezultate în urma arderii (în partea de focar). Rezultatele încercărilor au fost mulțumitoare atât din punct de vedere al arderii (arderea completă a

combustibilului) cât și din punct funcțional la o scară mai mare. Acest prototip (figura 4.1.) încă se poate utiliza pentru alte teste și măsurători. Pe acest prototip au fost testați atât peleți realizați pe baza rețetelor propuse prin proiect cât și materie primă nepeletizată.



Fig. 4.1. Prototip 2, [arhiva proprie]

Prototip 3

Acest prototip are la bază invenția lui Ianto Evans. S-au respectat raportul secțiunilor celor trei componente:

- camera de ardere,
- tunel ardere,
- tubul ridicător în care se finalizează arderea.

La finalul tunelului de ardere a fost dispusă o șicană pentru a realiza turbionarea gazelor de ardere și obținerea unei post arderi. Pe acest prototip s-a studiat gazeificarea și arderea gazului precum și generarea unei turbionări a gazelor pentru o post ardere (în tubul ridicător). Pe acest prototip au fost testați atât peleți realizați pe baza rețetelor propuse prin proiect cât și materie primă nepeletizată. Acest prototip (figura 4.2) încă se poate utiliza pentru alte teste și măsurători.



Fig. 4.2. Prototip 3, [arhiva proprie]

Prototip 4

Acest prototip (figura 4.3) a suferit multe modificări constructive și pe acesta s-au ars câteva tone de diverse tipuri de materie primă și peleți. Sistemul pilot de încălzire este compus din:

- arzător de peleți,
- cameră de ardere pentru biomasă și/sau brichete,
- schimbător de căldură tip vas de acumulare (schimbătorul 1),
- schimbător de căldură elicoidal din cupru dispus în drumul 2 al gazelor de ardere (schimbătorul 2),
- schimbător de căldură elicoidal din cupru dispus între mantaua exterioară a centralei și izolația acesteia (schimbătorul 3),
- pompă de recirculare a apei.

Centrala de încălzire este cu circulație naturală a aerului (în cazul utilizării peleților se utilizează un ventilator) și alimentare manuală cu combustibil care îi oferă o gamă de la 1,5 la 2,5 ore de funcționare, în funcție de materialul de ars. Coșul de fum este realizat din inox și cedează căldura unei sere de legume [115].

Pe acest prototip nu a fost arsă doar biomasă simplă și doar peleți realizați de noi, ci și amestecuri de cărbune cu biomasa, ulei alimentar uzat etc., pentru a testa centrala [114]. Din cauza modificărilor succesive și a temperaturilor mari, focarul și drumul 1 au suferit avarii. La construirea focarului s-a folosit un oțel OLC care s-a dovedit nepotrivit pentru focar și astfel centrala nu se mai poate utiliza după două ierni în care a fost folosită intens (figura 4.4).



Fig. 4.3. Prototip 4, [arhiva proprie]



Fig. 4.4. Prototip 4 după realizarea încercărilor, [arhiva proprie]

Prototip 5

Acest prototip a fost realizat din inox și reprezintă **varianta finală îmbunătățită a centralei**, iar prototipul va fi utilizat atât pentru continuarea cercetărilor în ceea ce privește procesul de ardere și eficiența energetică cât și pentru studiul impactului asupra mediului.

Acest prototip are un număr de două schimbătoare și un supraîncălzitor. Primul schimbător are forma unui trunchi de con cu un volum de 10 litri și este corp comun cu capacul centralei, flacăra care urcă prin tubul ridicător întâlnește baza mică a trunchiului de con. Al doilea schimbător este realizat din țeava de cupru cu secțiunea de 15 mm în formă de spirală, având un număr de 19 spire, dispus în drumul 2 al gazelor rezultate în urma arderii, apa circulă în contracurent față de sensul de curgere al gazelor de ardere. Cel de al treilea schimbător este tot din țeava de cupru cu secțiunea de 18 mm având un număr de 12 spire și este dispus în exteriorul centralei. Îl numim supraîncălzitor deoarece este ultimul către consumatori și primește căldura prin convecție de la mantaua centralei.

Centrala termică poate funcționa cu lemn, pește, resturi forestiere și agricole, iar arderea se realizează la temperaturi ce depășesc 800°C, rezultând gazeificarea și arderea completă a combustibilului.

Se propune ca în gazele de ardere conținutul de CO să fie mai mic de 500 ppm, astfel nu se va vedea fum la coș decât în primele 10 minute de la pornirea focului, timpul necesar atingerii temperaturilor de peste 800°C în focar (dacă combustibilul are o umiditate mai mică de 16%). Ridicarea temperaturii în focar este dată și de faptul că apa nu circulă în pereții acestuia precum și datorită izolației termice din zona focarului și parțial în zona drumului 2 al gazelor de ardere.

De la început s-a dorit să se automatizeze alimentarea cu combustibil, pornirea și oprirea focului, reglarea tirajului de aer, debitul apei prin cele 3 schimbătoare. De asemenea, prin măsurătorile realizate și analiza acestora (temperatura din focar, temperatura agentului termic - tur/retur, temperatura precum și conținutul de O₂, CO, CO₂, NO_x al gazelor de ardere (fumului), conținutul de nămol din cenușa de la baza focarului, a raportului între cantitatea de combustibil ars și cenușa rezultată în urma arderii (cenușa de la baza focarului și

cea zburătoare), se vor putea realiza reglaje la funcționarea centralei în funcție de combustibilul utilizat.

Cunoscând valorile pentru coeficientul Lambda, puterea calorică a combustibilului folosit și umiditatea acestuia, cantitatea de căldură obținută, s-a putut calcula și randamentul centralei termice.

4.3. Proiectarea centralei și a elementelor componente ale acesteia

În cadrul etapei de proiectare a centralei (plecând de la schița din figura 4.5) s-au realizat mai multe vederi a acesteia, o secțiune a ei precum și desene detaliate pentru fiecare piesă trecând și tipurile de materiale recomandate a se utiliza.

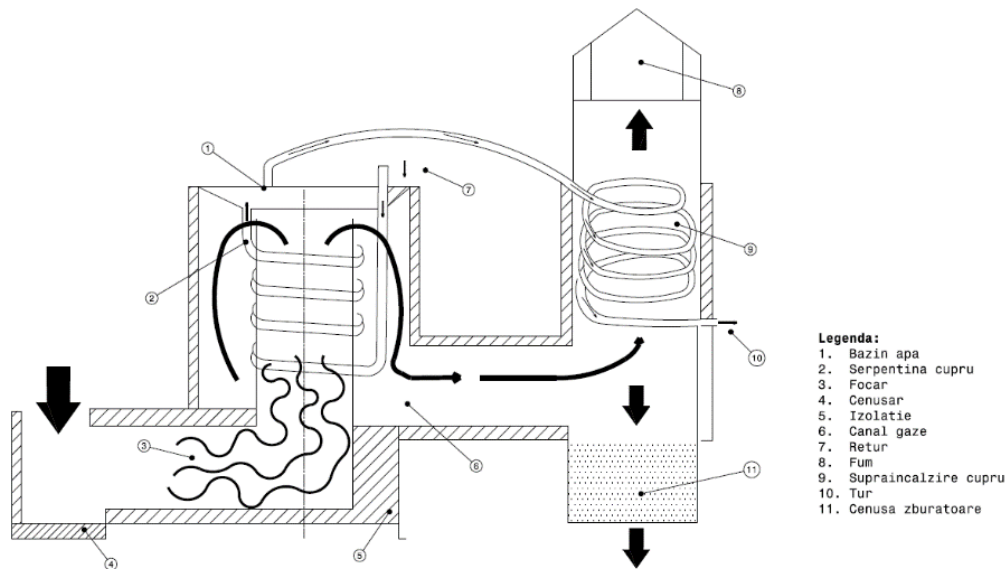


Fig. 4.5. Schiță centrală termică pilot

Focarul și tubul ridicător care sunt supuse la temperaturi mari s-a recomandat să fie protejate cu ciment refractar sau să se folosească oțel sicromal. Pentru serpentine, se va folosi țeava de cupru cu diametrul de 15 respectiv 18 mm moale ce permite roluirea. Etanșarea la capacul centralei se face cu un șnur grafitat. Când se dorește curățarea centralei, se demontează capacul și împreună cu acesta se extrage și al doilea schimbător tip serpentină de cupru.

Elementele componente ale centralei proiectate sunt:

- camera de gazeificare/ardere prevăzută la partea superioară cu o ușă, în spate o ușă ce permite curățarea cenușii și un orificiu pentru aer suplimentar iar la bază un grătar și cenușarul;
- tunelul de ardere, care are o șicană către dreapta pentru imprimarea unei circulații turbionare a flăcării respectiv a gazelor de ardere. Turbionarea este foarte importantă atât pentru tiraj cât și pentru un transfer termic bun către apa din schimbătoare cât și pentru separarea cenușii zburătoare la schimbarea curgerii gazelor de ardere de la orizontală la verticală;
- tubul ridicător;
- capac cu schimbător de căldură având capacitatea de 10 litri;
- tubul de întoarcere sau mantaua centralei, care la exterior poate fi izolată dacă nu se dorește căldură în camera centralei, între aceasta și tubul ridicător este dispus cel de-al doilea schimbător de căldură realizat din țeava de cupru cu diametru de 15 mm;
- al treilea drum al gazelor, care are la interior dispus cel de-al treilea schimbător de căldură, realizat din țeavă de cupru cu diametru de 18 mm, numit și supraîncălzitor.

Pe această centrală se poate monta un arzător de peleți clasic cu mici modificări, sau un arzător cu alimentare gravitațională.

În continuare sunt prezentate câteva dintre desenele de execuție a centralei, astfel: în prima imagine (figura 4.6) este reprezentată centrala dintr-o vedere 3D și apoi vederea din față, laterală, de sus, apoi sunt și evidențiate câteva din elementele componente ale acesteia.

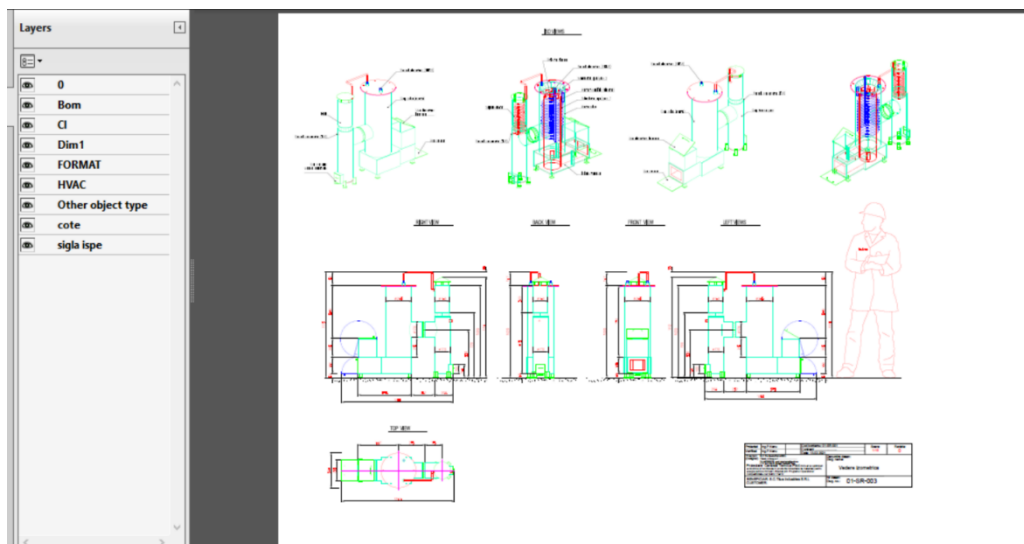


Fig. 4.6. Centrala termică pilot - varianta 3D

În desenele următoare (figurile 4.7...4.11) este centrala termică pilot și componentele sale.

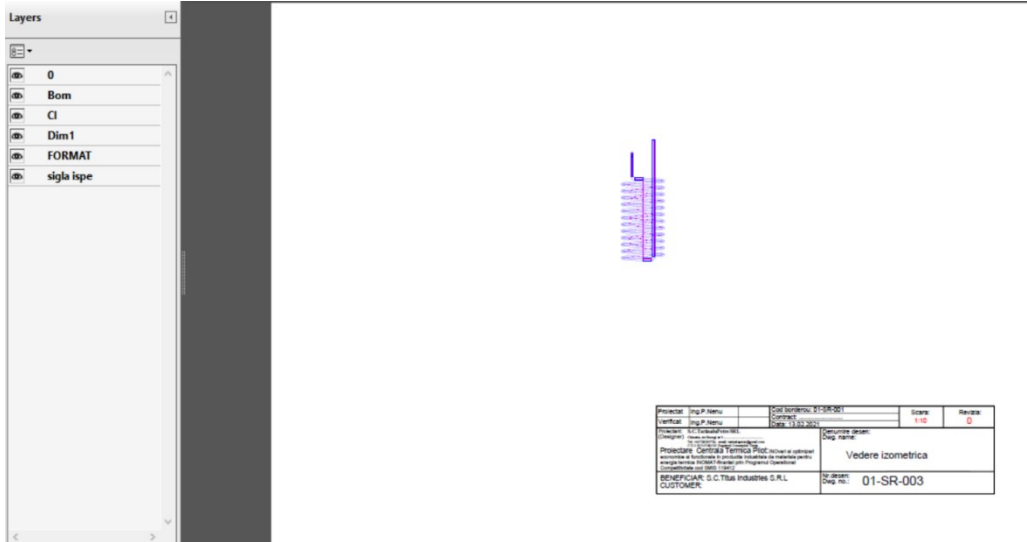


Fig. 4.9. Schimbătorul de căldură 2

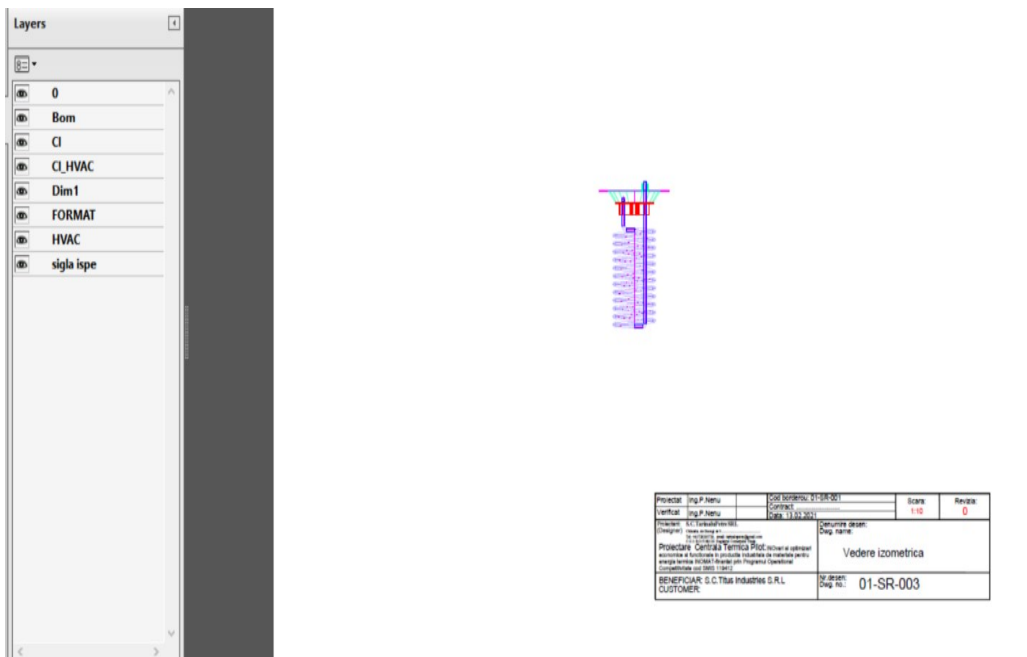
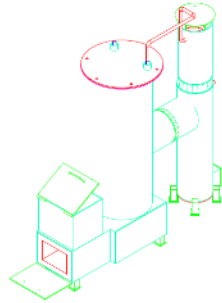
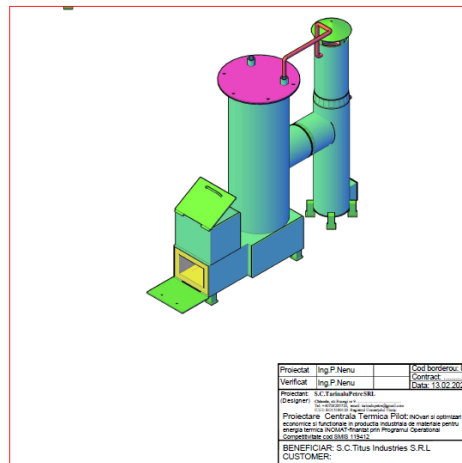


Fig. 4.10. Schimbătorul de căldură montat în capac



Proiectat: Ing. P. Nenu	Cod proiect: 01-SR-003	Scara: 1:10	Revizii: 0
Verificat: Ing. P. Nenu	Data: 13.02.2008	Denumire desen: Vedere izometrică 2D	
Proiectant: S.C. Tibus Industries S.R.L. Beneficiar: S.C. Tibus Industries S.R.L. CLIENT: S.C. Tibus Industries S.R.L.			
Nr. desen: 01-SR-003		Denumire desen: Vedere izometrică	



Proiectat: Ing. P. Nenu	Cod proiect: 01-SR-003	Scara: 1:10	Revizii: 0
Verificat: Ing. P. Nenu	Data: 13.02.2008	Denumire desen: Vedere izometrică	
Proiectant: S.C. Tibus Industries S.R.L. Beneficiar: S.C. Tibus Industries S.R.L. CLIENT: S.C. Tibus Industries S.R.L.			
Nr. desen: 01-SR-003		Denumire desen: Vedere izometrică	

Fig. 4.12. Centrala termică pilot - Vedere izometrică

Desenele următoare prezintă vederea laterală a centralei cu partea de alimentare și cenușar în stânga, precum și vederea de sus.

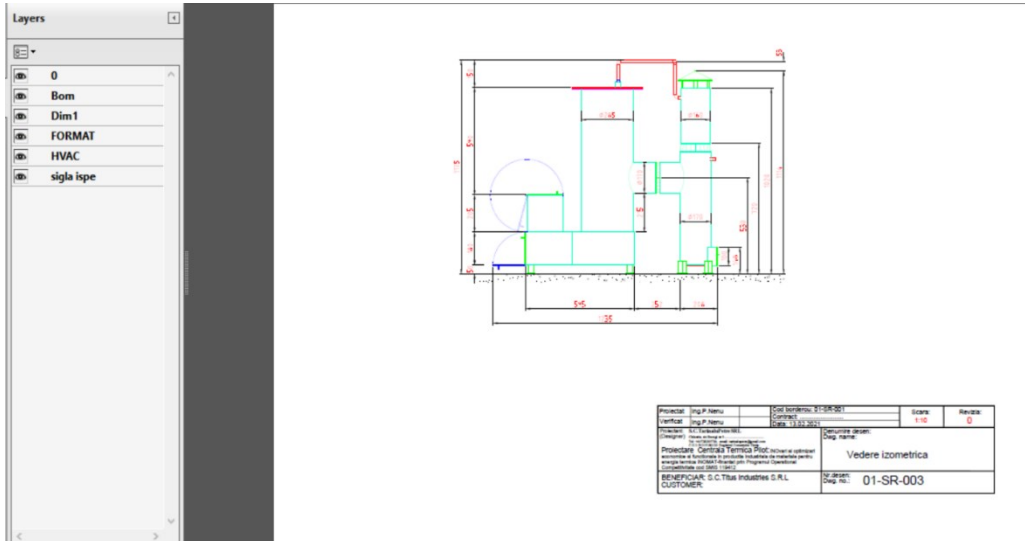


Fig. 4.13. Centrala termică pilot - Vedere laterală

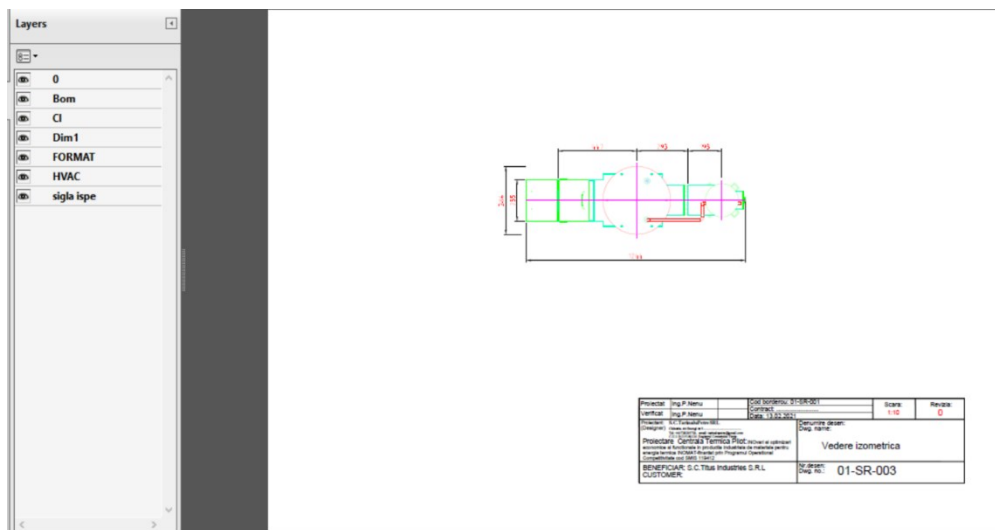
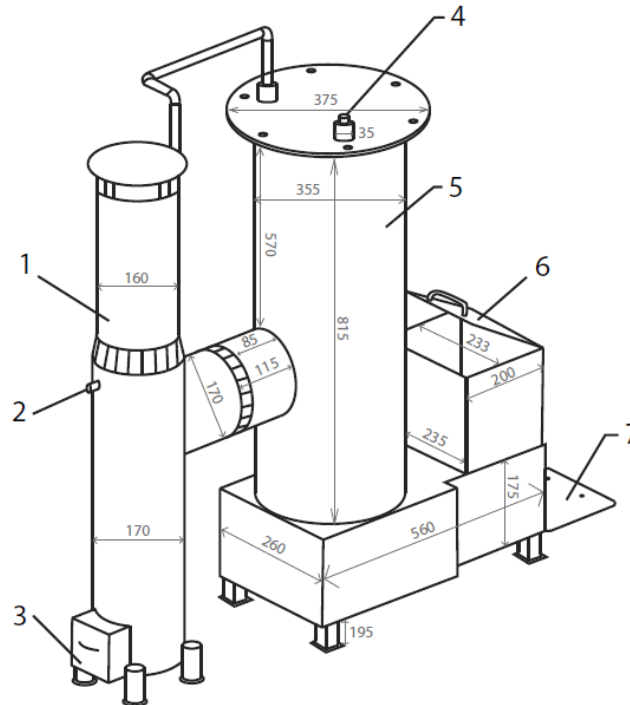


Fig. 4.14. Centrala termică pilot - Vedere de sus

Dimensiunile de gabarit ale centralei pilot sunt date în figura următoare.



Legendă

1. Horn
2. Racord consumator (TUR)
3. Ușa de evacuare cenușă zburătoare
4. Racord alimentare (RETUR)
5. Corp sobă (manta exterioară)
6. Capac alimentator biomasă
7. Ușa evacuare cenușă

Fig. 4.15. Dimensiuni constructive ale centralei termice pilot

4.4. Realizarea fizică a centralei prototip

Așa cum s-a descris în paragraful 4.2, pentru a ajunge la rezultatul dorit, s-au efectuat încercări succesive pe diferite variante intermediare până s-a ajuns la prototipul 5, prototipul final pentru care s-a depus o cerere de brevet. Materialele necesare tuturor acestor prototipuri sunt prezentate în Anexa 6.

Pentru realizarea ultimului prototip (figura 4.16) a fost nevoie de:

- tablă de tip hardrox de grosime 6mm și suprafață 8 m²,
- tablă inox, grosime \varnothing 2 mm minim și suprafață 8 m²,
- 6m \varnothing ; 280 \varnothing – 2mm minim,
- țevă de cupru având dimensiunea de 15 \varnothing , iar lungimea de 7m,
- țevă de cupru având dimensiunea de 18 \varnothing , iar lungimea de 10 m,
- 2 robinți de alimentare de dimensiune $\frac{3}{4}$,

- cuplaje,
- 2 pompe de recirculare,
- 1 supapa de siguranță,
- 1 termorezistor,
- 2 aerisitoare,
- un vas de expansiune,
- electrozi pentru sudură inox,
- balamale, încuietoare și șamota
- 1 buc grătar fontă.



Fig. 4.16. Centrala termică pilot, [arhiva proprie]

Corpul centralei este realizat din tablă tip hardrox și inox. Părțile componente ale centralei sunt: tubul de alimentare gazeificator, focarul și corpul exterior al centralei termice (figura 4.17).



Fig. 4.17. Centrala termică pilot: 1-tub de alimentare, 2-focar, 3-corpul centralei, [arhiva proprie]

Din tabla de oțel inox s-au realizat ușițe, primul schimbător, coșul de fum, cenușar, tubul ridicător al centralei. Al doilea schimbător este realizat din țeavă de cupru de 15 mm, iar al treilea schimbător cel în formă de spirala tot din țeavă de cupru de 18 mm.

Datorită temperaturii mari din focar, temperatura atinsă în urma probelor, 927 °C și datorită faptului că focarul nu a fost răcit cu apă, un oțel laminat la cald nu ar rezista în timp. Din această cauză, s-a ajuns la hotărârea de a folosi oțelul tip hardrox pentru realizarea focarului, și folosirea inoxului pentru restul elementelor constructive.

Primul schimbător este realizat din oțel inox.

Al doilea schimbător realizat din cupru, care este dispus în fluxul de curgere al gazelor rezultate în urma arderii. Curgerea agentului termic este în contracurent.

Al treilea schimbător realizat din țeavă de cupru, unde curgerea este pe aceeași direcție de curgere pentru a evita formarea punctului de rouă.

Primul drum al gazelor de ardere este realizat dintr-o țeavă având diametrul 168 mm. Focarul și primul drum al gazelor de ardere este realizat din oțeluri speciale sicromal, datorită temperaturii mari din focar și a faptului că nu este realizat cu perete membrană pentru schimb termic. Gazele de ardere întâlnesc capacul sobei care este și schimbător de căldură.

Capacul sobei este și primul schimbător, în calea gazelor de ardere.

Cel de-al doilea traseu al gazelor de ardere, de data aceasta descendent, se realizează între tubul primului traseu și corpul exterior al centralei. În zona aceasta este dispus cel de-al doilea schimbător realizat în forma unei serpentine din cupru. Gazele părăsesc centrala și intră în cel de-al treilea drum al gazelor de ardere unde are loc separarea gravitațională a cenușii zburătoare din fum.

Diametrul interior al primului drum al gazelor de ardere este de 160 mm iar la bază este conectat cu tunelul de ardere care la partea din față are camera de gazeificare și ardere prevăzută cu o ușă prin care poate fi evacuată cenușa de la baza focarului. Prin această ușă în focar intră și aer suplimentar. Drumul 2 al gazelor de ardere se realizează între drumul 1 și mantaua centralei, iar la partea inferioară se conectează la coșul de fum.

Serpentina 3 este realizată tot din cupru.

Această centrală poate funcționa pe lemne, crengi măcinate, peleți, deșeuri agricole, porumb boabe, etc. Se poate adapta centralei atât arzător automat pe peleți cu alimentare cu ardere orizontală, cu ardere în contra-curent sau inversată. În cazul în care se folosește arzător pe peleți, tirajul sobei trebuie să fie forțat. S-au făcut atât încercări experimentale (figura 4.18) cu forțare din spatele arzătorului, dar și cu suflanta dispusă în coș. În cazul în care nu se folosește un arzător de peleți și se arde lemn cu alimentare manuală, centrala termică poate funcționa cu tiraj natural.



Fig. 4.18. Centrala termică pilot la primele probe de ardere a peșteilor, [arhiva proprie]

Circulația apei în centrală se realizează cu ajutorul unei pompe de recirculare. Capacul centralei este detașabil astfel încât se poate curăța și centrala și serpentina foarte ușor demontând câteva șuruburi. Atât cenușa de la baza focarului cât și cenușa zburătoare se evacuează manual.

Arderea în această centrală termică se realizează la temperaturi de peste 800°C astfel încât după primele 10 minute de la pornirea focului la coș nu se mai vede fum, iar rezultatele analizelor fumului sunt foarte bune, spre exemplu dacă ne referim la CO, acesta are valori între 20 ppm (părți pe milion) și 500 ppm față de o centrală clasică sau șemineu care au peste 4000 ppm.

Datorită faptului că focarul și primul traseu al gazelor de ardere nu sunt răcite cu apă, nu avem depuneri (figura 4.19). Punctul de rouă nu are condiții de formare decât pe coș, astfel că în această centrală se poate arde și salcie energetică cu coajă. În centralele clasice, datorită conținutului mare de siliciu și de salicil din coaja salciei apar depuneri pe pereții centralelor clasice, iar unde se formează și punct de rouă depunerile devin aproape imposibil de curățat. În cazul centralei prototip 5, salcia energetică poate fi arsă și în mănunchiuri, iar înălțimea bețelor poate fi cât înălțimea camerei centralei.



Fig. 4.19. Focarul și primul drum al gazelor de ardere: a) vedere de sus, b) vedere din față, [arhiva proprie]

4.5. Conducerea cu microcontroler a centralei pilot

Sunt prevăzute 4 (patru) părți distincte de conducere a procesului de aprindere, ardere și stingere al centralei prin intermediul automatizării, astfel:

1. Alimentarea cu peleți din buncăr se face printr-un sistem cu melc acționat cu ajutorul unui mecanism motor-reductor controlat de către unitatea centrală de automatizare;
2. Controlul aprinderii cu ajutorul unei surse de aer cald sau bujie incandescentă prin intermediul unui releu solid-state (SSR) controlat de către unitatea centrală de automatizare;
3. Dozarea și controlul tirajului cu ajutorul unei clapete acționată de un motor pas cu pas prin intermediul unui driver dedicat controlat de către unitatea centrală de automatizare;
4. Ventilator pentru forțarea tirajului (montat pe calea de evacuare) - la pornirea și la oprirea arderii se pornește ventilatorul pentru a compensa scăderea tirajului datorată temperaturilor reduse a gazelor de evacuare. Ventilatorul este controlat de către unitatea centrală de automatizare.

Partea practică a acestui proiect poate fi descrisă din punct de vedere hardware, din punct de vedere software și din punct de vedere electric. Partea electrică are ca bază placa de dezvoltare Arduino Nano. Aceasta la rândul ei este construită în jurul microcontroler-ului Atmega328 preprogramat cu un bootloader ce permite încărcarea softului dezvoltat cu ajutorul Arduino IDE din calculatorul personal. Bootloader-ul este din punct de vedere tehnic codul soft ce se execută înainte ca restul aplicațiilor să pornească. La fel ca în BIOS, în bootloader se regăsesc instrucțiunile necesare aplicațiilor să pornească. Deoarece bootloader-ul pornește înaintea oricărei aplicații din microcontroler, acesta este dedicat fiecărui procesor și fiecare placa are bootloader personalizat.

Partea hardware este realizată cu ajutorul a:

- 2 termocuple de tip K pentru monitorizarea sursei de foc în interiorul cazanului și a temperaturii cazanului în sine pentru protecția acestuia la supraîncălzire ca formă de siguranță.
- 2 module MAX6675 folosite în tandem cu termocuplele de tip K pentru digitizarea semnalului.
- un senzor RTD PT100 pentru monitorizarea temperaturii apei în interiorul cazanului.
- un modul MAX31865 folosit împreună cu senzorul RTD PT100 pentru digitizarea semnalului.
- un senzor de distanță Ultrasonic HC-SR04 pentru a identifica când este nevoie ca utilizatorul să alimenteze buncărul de depozitare cu peleți.
- un LCD 16x4.
- un modul I2C folosit pentru înlesnirea comunicării cu ecranul LCD.
- un releu solid state SSR.

Pentru a atinge scopul propus, acest sistem folosește o arhitectură flexibilă ce permite diferite variante pentru a defini o infrastructură de producție. Infrastructura se poate redefini pentru a determina scopuri finale diferite, implementând componentele software în diferite zone, după preferințe. Cele 2 componente software legate de infrastructură sunt: CloudAPI și HomeAssistant. Ele pot fi implementate direct pe microcontroler sau pe alt hardware în intranet sau pe internet.

Microcontroler-ul este un dispozitiv Raspberry Pi4 care este conectat la un set de mecanisme și senzori ce operează centrala termică. Software-ul care rulează pe microcontroler-ul are o componentă care interacționează cu CloudAPI prin REST API pentru schimbul de informații necesare la monitorizarea și operarea centralei.

Datorită ușurinței de implementare s-a luat în considerare o infrastructură ce utilizează resursele dintr-un "Data center". Resursele sunt alocate unei mașini virtuale accesată de microcontroler prin intermediul internetului. De asemenea, pentru utilizarea termostatului virtual, este necesar un dispozitiv cu conexiune la internet. Configurarea microcontrolerului și a dispozitivelor pentru acces general la internet nu fac scopul acestui proiect.

Mașina virtuală din cloud rulează Linux și are următoarele componente:

- a) Baza de date MySQL
- b) CloudAPI - serviciu API scris în Go
- c) HomeAssistant - container-ul docker care rulează o instanță HomeAssistant

b) CloudAPI [172]

Serviciul de API intermediază comunicarea între microcontroler și HomeAssistant. Serviciul ascultă cereri de tip REST pe un endpoint predefinit și folosește o bază de date pentru a stoca informația, astfel setările se păstrează chiar dacă centrala este repornită.

Endpoint-urile API pot fi extinse, acum asigurând doar niște funcții esențiale, fără autentificare.

c) HomeAssistant

Acest proiect software [189] este o platformă OpenSource disponibilă pentru întreaga comunitate ca și soluție ce integrează o gamă variată de producători de dispozitive IoT și Smarthome. Metodele de integrare sunt foarte modulare și documentate în detaliu. Integrările sunt în mare parte întreținute de comunitate.

O parte a proiectului este o componentă care extinde un termostat virtual și comunică cu componenta Cloud API; astfel, definește în detaliu un widget ce poate fi adăugat la dashboard de utilizatorii platformei. Această componentă și configurația aferentă se instalează sub formă de modul de integrare la HomeAssistant.

Componentele necesare automatizării centralei pilot sunt date în Anexa 3.

Pentru a verifica conducerea cu microcontroler s-a realizat un prototip (figura 3.20) care a fost folosit doar pentru simulare. Mărimile de intrare sunt simulate și se măsoară presiunile, temperaturile și sunt comandate în consecință elementele de execuție. Diferitele variante au simulat citirea cu traductori a marimilor de utilizare folosind diferite traductoare și comanda elementelor de execuție conform algoritmilor cu care a fost programat microcontrolerul.

În timpul funcționării unei centrale este esențial din punct de vedere al automatizării să știm când s-a inițiat arderea biomasei folosite ca și combustibil. De altfel, este la fel de important să avem posibilitatea de a controla bujia folosită pentru inițierea arderii.

În cazul nostru vom folosi o termocuplă de tip K pentru a detecta prezența flăcării în interiorul focarului. Aceasta este un senzor de temperatură cu o rezoluție foarte mică și care oferă un grad ridicat de precizie în funcționare. Termocuplele de tip K au în compoziția lor Nichel sau Crom și Alumel iar diferența de temperatură dintre cele două creează o diferență de potențial ce poate fi măsurată cu un multimetru sau ADC, fie direct cu cel încorporat în cadrul plăcuței de dezvoltare Arduino Uno prin pinii analogici sau cu ajutorul unui modul de măsurare. Înainte de a digitiza semnalul generat de termocuplă este necesară o a doua compensare de temperatură pe lângă cea față de erorile generate de fire descrisă mai sus și anume cea față de punctul de referință aflat la 0 °C stabilit virtual și se determină creșterea voltajului cu $41\mu V$. Această concluzie ne aduce către formula:

$$V_{out} = 41\mu V/^{\circ}C \cdot 5 (T_r - T_{amb}) \quad (4.1)$$

unde V_{out} este ieșirea termocuplei exprimată în μV ,

T_r este temperatura joncțiunii și

T_{amb} este temperatura ambientală.

Acest tip de termocuplă l-am folosit și pentru determinarea temperaturii periculoase a focarului. Aceasta va avea rol de siguranță și va opri bujia în cazul în care este folosită în acel moment ventilatorul ce alimentează focul cu aer și va ține pompa de apă acționată pentru a avea efect de răcire asupra cazanului.

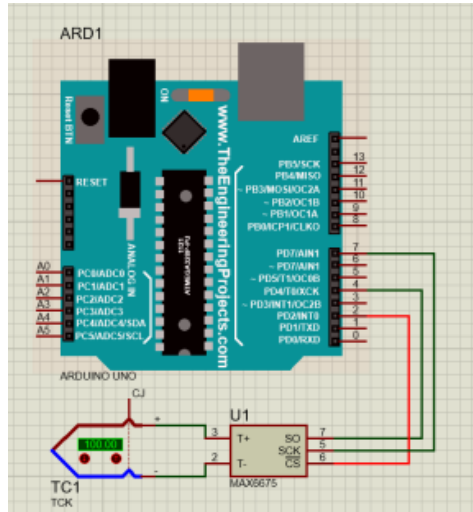


Fig. 4.20. Reprezentarea legăturilor electrice în Proteus între Arduino, MAX6675 și termocupla tip K

Pentru a stabili durata și momentul acționării pompei de apă trebuie să determinăm și să monitorizăm îndeaproape temperatura apei în cazan. În același timp trebuie monitorizată temperatura cu scopul protecției cazanului în caz de defecțiune al pompei. Astfel am decis ca orice temperatură peste 90°C este periculoasă pentru centrală și vom opri bujia în cazul în care este în funcțiune și ventilatorul ce alimentează focul cu aer.

PT100 este un senzor ce seamănă în funcționare cu un rezistor variabil. Acesta își va modifica rezistența între firele sale și aceasta poate fi măsurată și cuantificată pentru diferite aplicații. Senzorul PT100 este foarte cunoscut pentru precizia sa de măsurare de doar ± 0.1 °C.

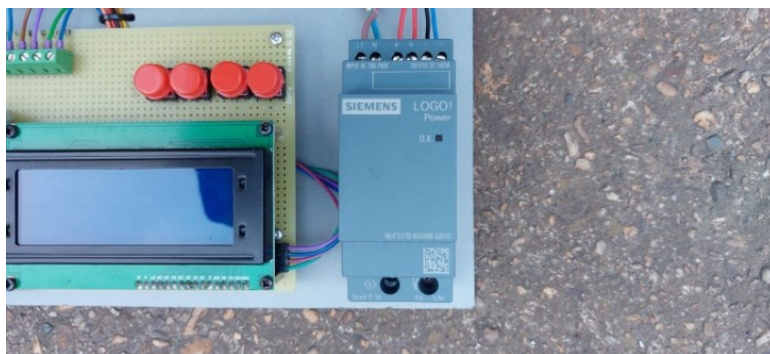


Fig. 4.21. Sursa de alimentare împreună cu afișajul și butoanele de control, [arhiva proprie]

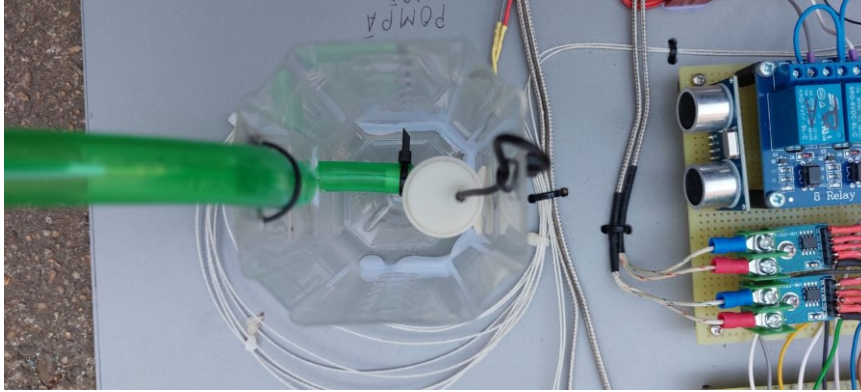


Fig. 4.22. Simularea pompei de recirculare, [arhiva proprie]

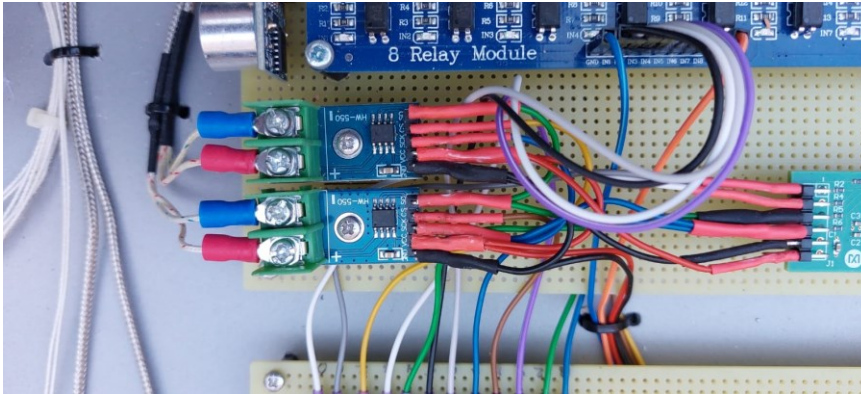


Fig. 4.23. Modul 8 rele si module conversie pentru termocupla K, [arhiva proprie]

Modulul de rele ale este comandat la 5 volți și poate controla aparate ce funcționează la 230V AC sau 30V DC cu un consum maxim de 10 Amperi.

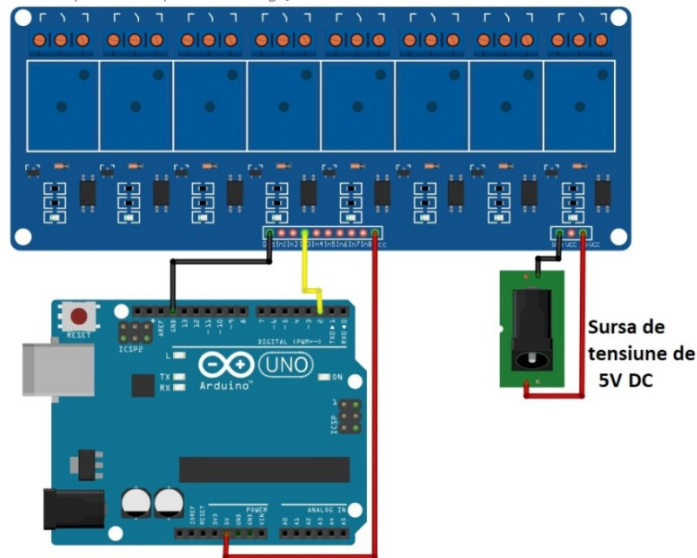


Fig. 4.24. Conexiune modul cu 8 rele și Arduino Uno

Comanda releului este efectuată de un octocuplor conectat la 4 Volți și curentul maxim folosit cu toate cele 8 relele cuplate este de 490 miliamperi.

Se observă că alimentarea optocuplorului este separată de cea a releului prin deconectarea unui șunt la bornele conectorului J5 și se poate opta pentru alimentare cu sursă separată de tensiune. Aceasta este o opțiune bună în cazul în care vrem să separăm ansamblul format din microcontroler și senzori, de elementele externe controlate prin modulul de rele.

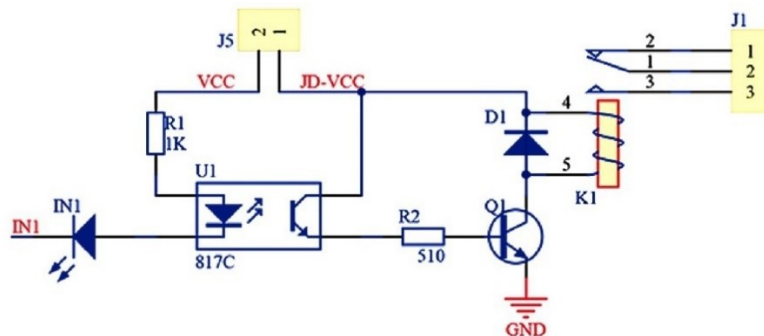


Fig. 4.25. Conexiune comandă octocuplor

Un element controlat de modulul de rele este ventilatorul ce alimentează cu aer focarul pentru a menține și îmbunătăți arderea biomasei. În cadrul proiectului, am hotărât să simulez ventilatorul controlând motorul în curent continuu, după cum se vede în figura următoare.

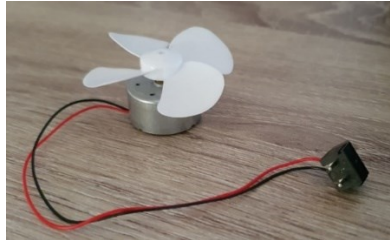


Fig. 4.26. Ventilator cu motor DC, [arhiva proprie]

Motorul în curent direct tipic funcționează pe principiul conversiei de energie electrică în energie mecanică atunci când aplicăm tensiune la bornele pinilor săi. Bobine de fire înăuntrul motorului se magnetizează când curentul electric trece prin ele astfel creează câmpuri magnetice ce atrag și resping magneți pe marginea lor, aceasta duce la o mișcare de rotire din partea arborelui ce susține ansamblul. Dacă aplicăm un curent invers bornelor atunci vom avea o mișcare în sens invers a motorului.

Unul din elementele simulate în cadrul proiectului este pompa de apă menajeră. În locul acesteia vom folosi o pompa de apă submersibilă mai mică, care va circula apa în cadrul simulării noastre.



Fig. 4.27. Mini pompă de apă submersibilă, [arhiva proprie]

Această pompă funcționează la tensiuni de 3 volți până la 6 volți având performanțe diferite în funcție de tensiunea la bornele firelor sale. În cazul în care alimentăm cu 3.3 volți pompa va consuma 83 mA în aer și 138 mA submersată. Dacă alegem o tensiune de 5 volți, tipică proiectelor pe bază de Arduino, o să observăm un consum de 100 mA în aer și 230 mA în momentul în care pompa funcționează în apă. O concluzie ce o putem trage în urma analizei consumului de curent al pompei este că pentru siguranța microcontrolerului și a pompei este mai bine să alimentăm pompa de la o sursă de alimentare separată. Volumul de apă pompat este de aproximativ 60 litri/oră în cazul alimentării la 3.3 volți și de aproximativ 100 litri/oră dacă alegem să alimentăm cu 5 volți.

Un alt aspect de siguranță notabil în folosința mini pompei de apă este nevoia de a menține motorul pompei de apă submersat pe tot parcursul folosinței acesteia și toate acestea în regim de maxim 5 minute pornită per ciclu de alimentare.

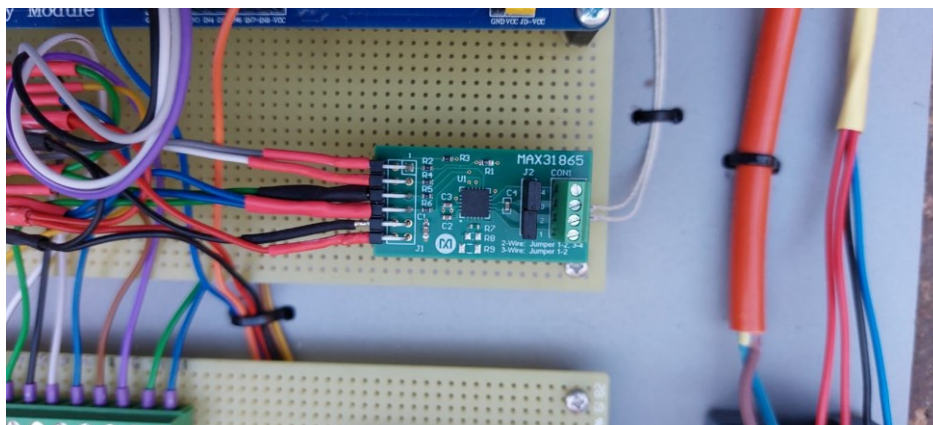


Fig. 4.28. Amplificator pentru senzorul PT 100, [arhiva proprie]

Unul din elementele ce ține de interfața om-mașină este ecranul pe care vom afișa diferite informații dar cu ajutorul căruia vom și seta temperatura apei în centrală.

Pentru nevoile noastre am decis să folosim un ecran tip LCD 20x4. Acest modul LCM tip 2004 poate afișa 4 linii cu câte 20 de caractere pe linie și este folosit des în proiecte bazate pe Arduino Uno pentru afișarea de informații.

Pentru navigarea meniului și modificarea variabilei pentru temperatura apei în centrală se folosesc 4 butoane. Acestea vor fi folosite pe pinii analogici ai plăcii de dezvoltare și vom trage o tensiune de 5 volți către ei prin acționarea butoanelor. Apoi prin folosirea ADC-ului vom citi valoarea pinilor și vom stabili, în funcție de timpul de măsurare a unei valori mari, dacă un buton a fost apăsat sau nu. De asemenea, această metodă va asigura înregistrarea unei singure apăsări și vom putea acționa în funcție de ea.

O altă metodă de folosire a acestor butoane este cu ajutorul pinilor digitali, fie prin montarea în serie a unor rezistențe de $10K\Omega$ sau asemănătoare sau prin folosirea funcției software de a trage în starea „HIGH” a pinilor, intern, prin rezistențele de tip Pull Up amintite în detaliile despre placa de dezvoltare Arduino Uno. În acest caz vom folosi un semnal de masă pentru a verifica acționarea butoanelor.

Am ales acest tip de butoane deoarece sunt rezistente la temperatură de la -25°C până la 70°C ceea ce se mulează perfect pe nevoile noastre. O altă componentă în procesul de decizie a fost rezistența și durabilitatea acestora, putând observa în tabelul de date al acestui buton 300000 de apăsări.

Aceste butoane funcționează în regim normal la 12V și 50mA dar pot rezista și la 250 VAC timp de 1 minut. În același timp garantează o rezistență de contact de maxim $100\text{ m}\Omega$.

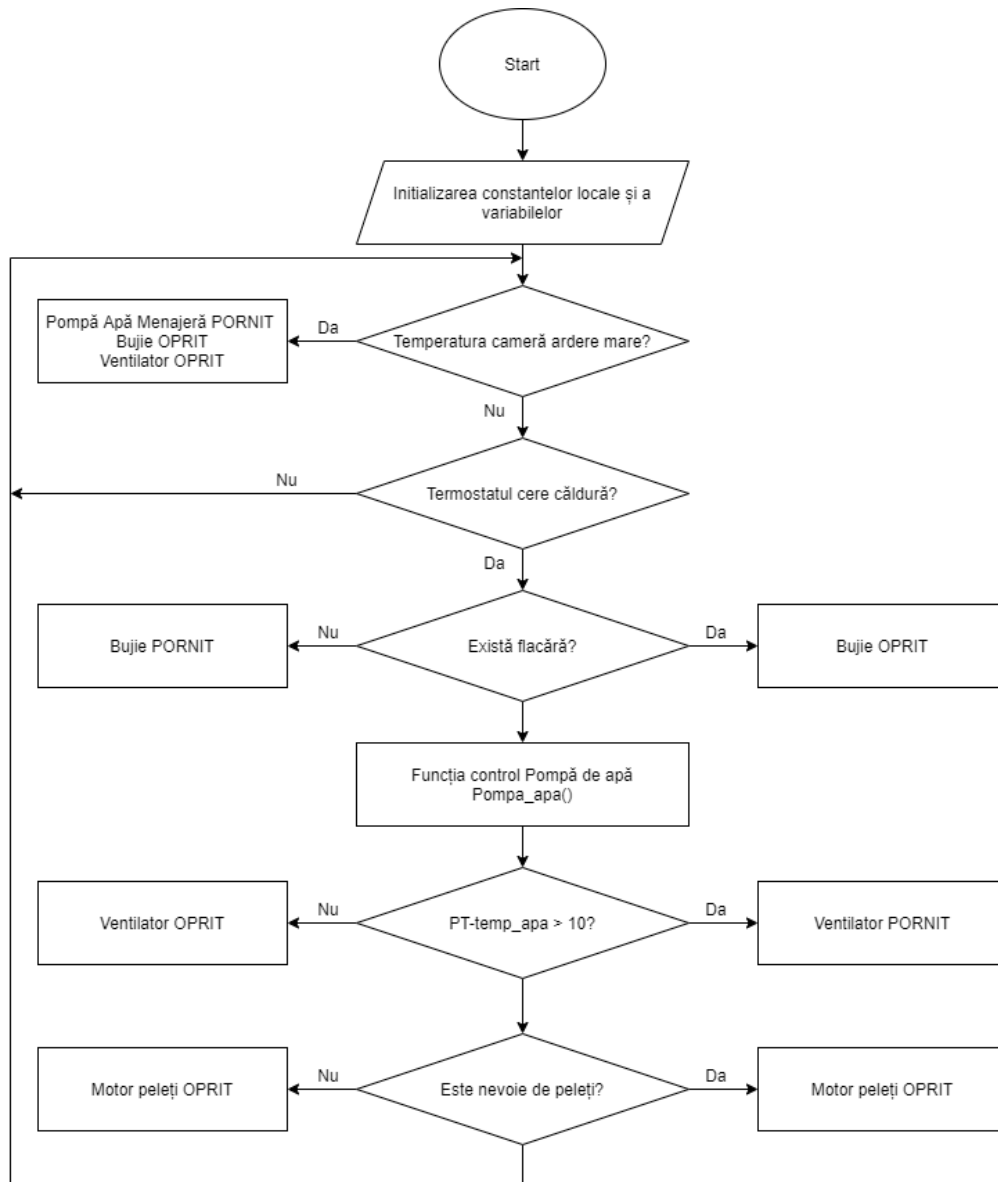


Fig. 4.29. Diagrama automatizării elementelor periferice

A doua parte a automatizării este controlul pompei de apă în funcție de temperatura setată (temperatură-apă) și în funcție de cât timp funcționează pompa de apă sau cât timp nu funcționează. Această funcție se bazează pe funcțiile `millis()` și `digitalWrite()`, în tandem cu funcția `pompa_apa()` folosim și funcția `flag_set()` care definește tipul de pompare în funcție de temperatură.

Diagrama din figura de mai jos, arată cum folosim pompa de apă în funcție de timpul marcat cu `millis()` în variabila `old_time` (`old_time` se inițializează în zona `setup()` a părții software).

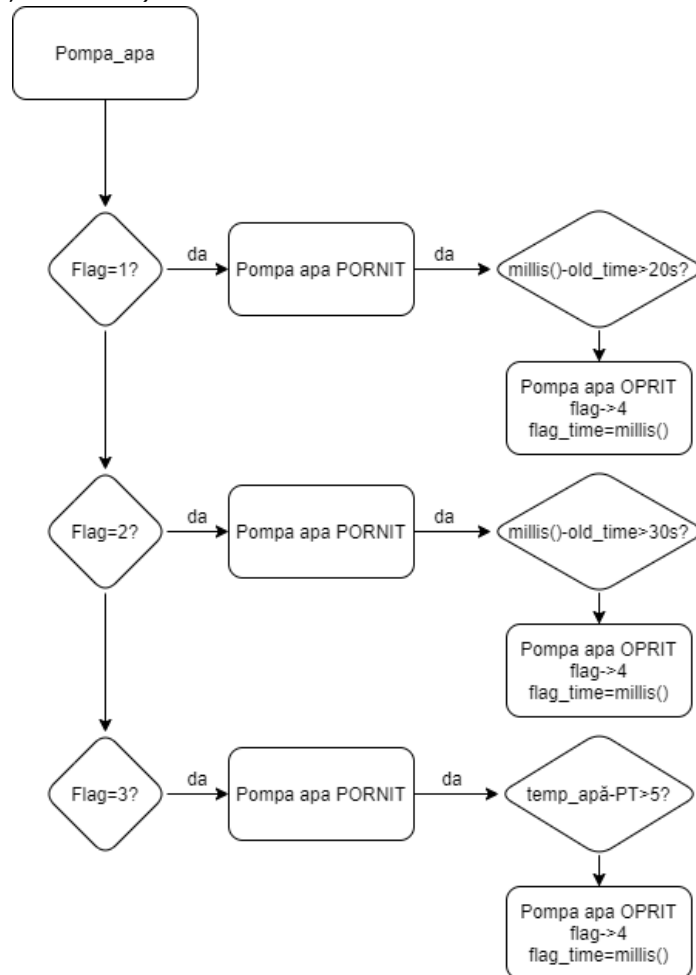


Fig. 4.30. Diagrama funcției `Pompa_apa()`

În același timp putem observa dependența de statusul variabilei „Flag” de altfel inițializată și ea cu valoarea 4 în cadrul funcției `setup()`. Valoarea 4 dată variabilei „Flag” asigură intrarea în funcția `flag_set()` și stabilirea tipului de rulare al pompei în funcție de diferența de temperatură între valoarea setată în meniu pentru apă și cea măsurată cu senzorul PT100.

Din următoarea figură notăm faptul că statusul 4 al variabilei „Flag” ține de fapt pompa oprită timp de 20 de secunde din cauza faptului că nu i se atribuie nici una din valorile 1, 2 sau 3 pentru a porni iar prin funcția `Pompa_apa()`. Astfel lăsăm apa să se încălzească în cazan înainte de a o circula prin instalație.

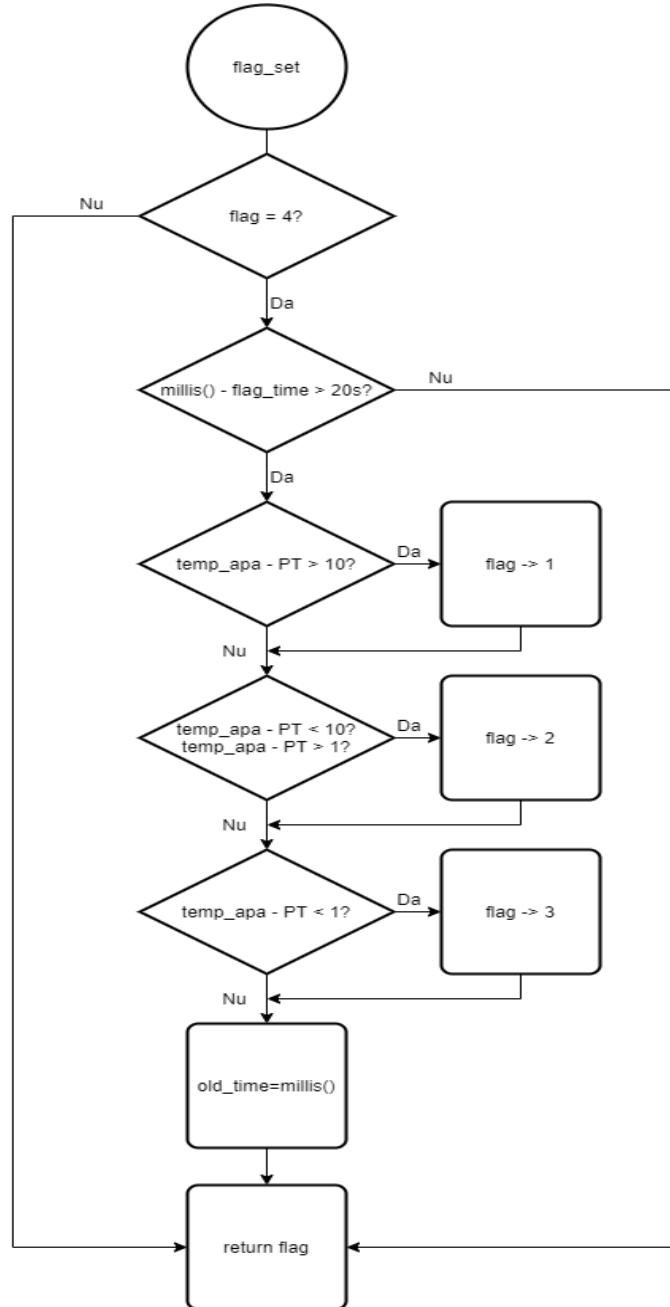


Fig. 4.31. Diagrama funcției flag_set()

Interfața om-mașină este reprezentată prin elementele hardware lcd și 4 butoane. Aceste elemente se controlează prin funcția `lcd_print()` și `butoane()` și se observă în figura următoare.

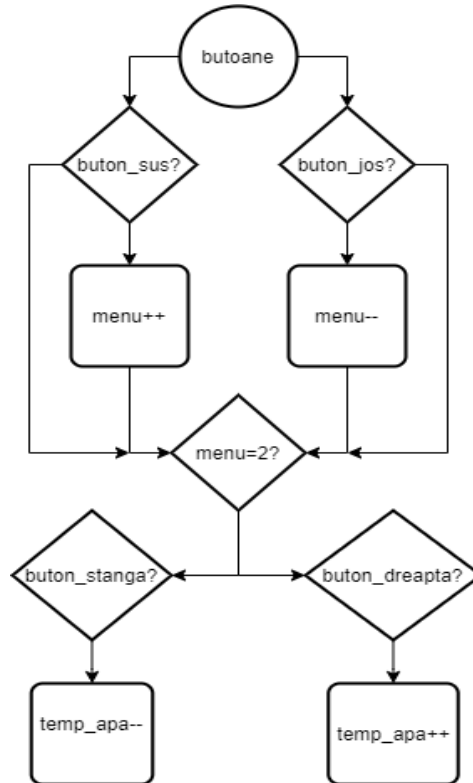


Fig. 4.32. Diagrama funcției `butoane()`

În funcție de variabila `menu` se afișează ecranul principal cu informații generale asupra senzorilor, iar în funcție de variabila `temp_apa` se iau decizii în funcția `Pompa_apa`, codul sursă fiind dat în Anexa 4.

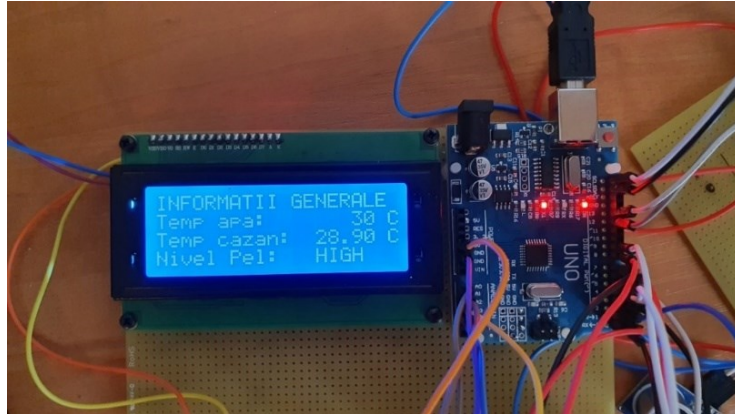


Fig. 4.33. Meniul centralei, [arhiva proprie]

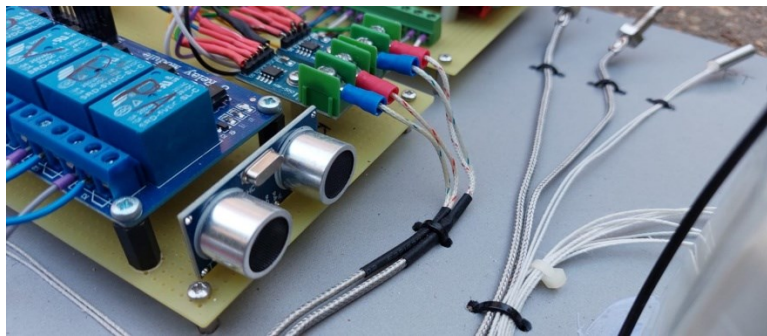


Fig. 4.34. Senzorii ultrasonici pentru măsurarea nivelului de pește din cuva de alimentare, [arhiva proprie]

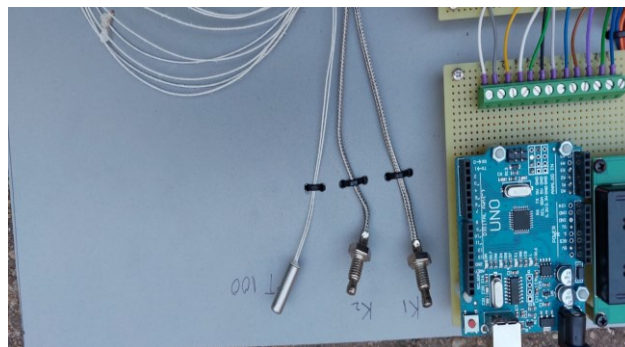


Fig. 4.35. Senzorul PT 100 în stânga și în dreapta două termocuple K, [arhiva proprie]

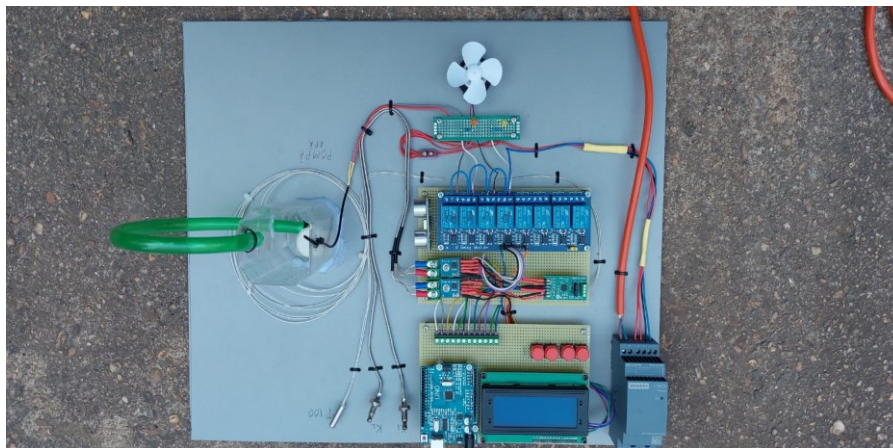


Fig. 4.36. Vedere de ansamblu, [arhiva proprie]

La pornirea centralei se verifică existența peleților. Acest lucru se realizează cu ajutorul senzorului poziționat în partea superioară a cuvei. Dacă acesta este inactiv, cuva este alimentată cu peleți până când este plină. În cazul în care după o perioadă de timp cuva nu se umple sau dacă senzorul nu mai detectează peleți în cuva, este afișată alarma **#1 – Cuvă peleți goală.**

Apoi se verifică temperatura pentru a vedea dacă este nevoie de pornirea centralei. Dacă aceasta se încadrează în parametrii, se așteaptă în continuare semnalul de la termostat, altfel se inițializează procesul de pornire al centralei dacă temperatura ambientală scade cu cel puțin $1,5^{\circ}\text{C}$ față de temperatura setată pe termostat.

Se pornește ventilatorul pentru a aprinde flacăra, apoi se mărește sau micșorează turația ventilatorului în funcție de temperatura de ardere a peleților pentru a se menține temperatura apei la temperatura setată, în cazul nostru la 45°C .

Dacă nu apare flacăra, atunci se afișează alarma **#2 – Lipsă flacăra.**

Când temperatura apei din cazan a ajuns la 45°C , se pornește pompa de recirculare a apei.

Dacă de la pornire pompei de apă temperatura în cazan depășește 75°C apare alarmă

#3 – Temperatura boiler.

Dacă după cele 10 minute temperatura nu ajunge la cel puțin 45°C , se consideră că avem o problemă cu circuitul de încălzire și apare alarma **#4 – Circuit încălzire defect.**

Dacă după alte 10 minute de la oprirea centralei temperatura apei din cazan nu scade sub 45°C înseamnă că avem o problemă cu sistemul de oprire al centralei și se afișează alarma **#5 – Eroare oprire centrală.**

Codul sursă pentru aceasta este dat în Anexa 5.

Cu materialele existente s-a realizat configurația finală de conducere cu microcontroler. Această configurație conține o telecomandă ce oferă posibilitatea de a seta diferiți parametri ai centralei de la distanță. De asemenea, o altă îmbunătățire o reprezintă accesarea, vizualizarea și setarea parametrilor centralei de la distanță printr-o interfață accesibilă de pe Internet. Trăind într-o lume plină de automatizări aceste îmbunătățiri fac parte din conceptul de „casa inteligentă” de a accesa de la distanță, de pe Internet sau chiar de pe dispozitivul mobil, setările centralei, spre exemplu temperatura din cazan sau temperatura din cameră.



Fig. 4.37. Interfață internet cablată, [arhiva proprie]

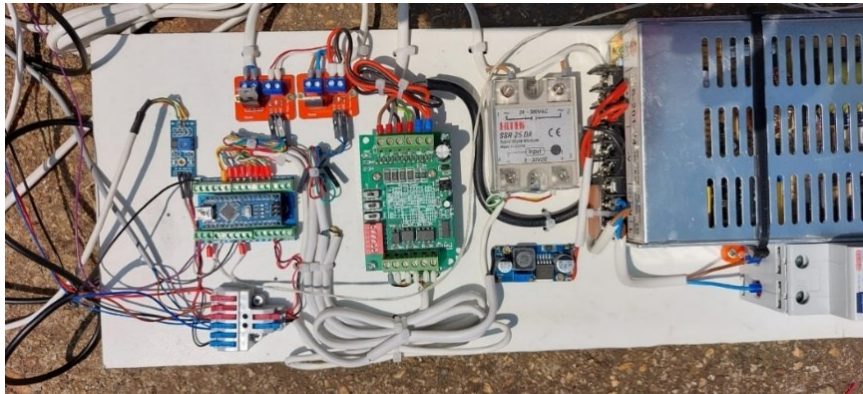


Fig. 4.38. Ansamblu de testare final, [arhiva proprie]

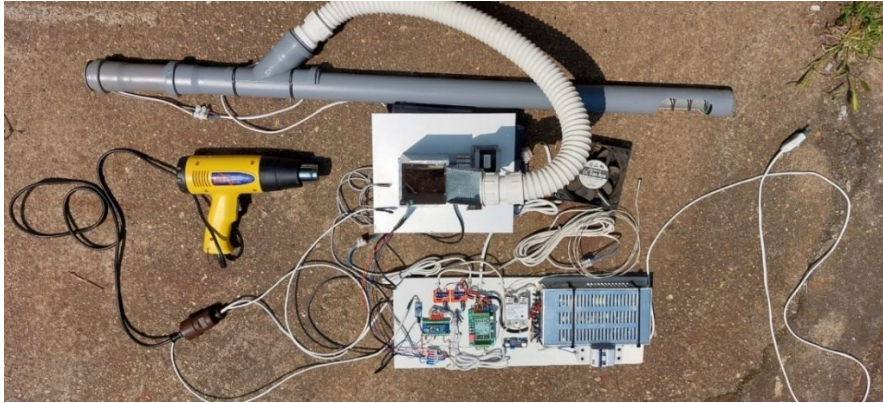


Fig. 4.39. Vedere de ansamblu cu partea mecanică și electronică pentru automatizare, [arhiva proprie]

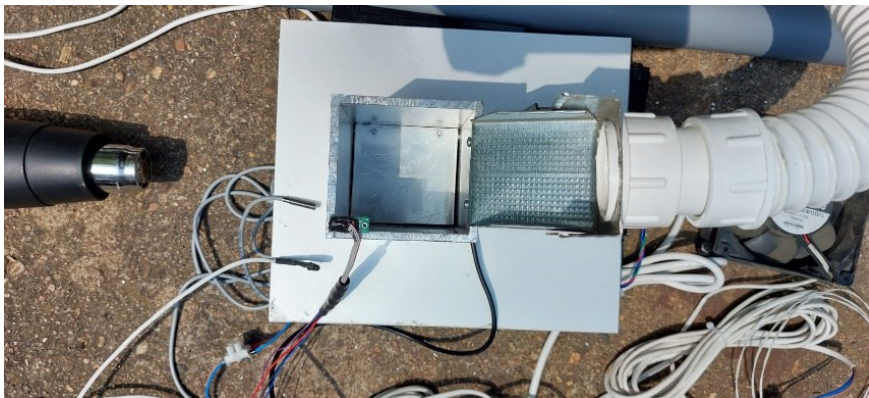


Fig. 4.40. Clapeta de alimentare pentru peleți, [arhiva proprie]



Fig. 4.41. Experimente în lucru pentru automatizarea conectată a centralei, [arhiva proprie]

4.6. Propunere brevet

După finalizarea fizică și testarea centralei termice pilot s-a depus la OSIM o cerere de brevet cu titlul: **Procedeu de obținere a agentului termic utilizând o centrală automatizată cu ardere completă a biomasei**, iar conținutul cererii de brevet este detaliat în continuare.

Invenția se referă la un procedeu de obținere a agentului termic utilizând o centrală automatizată cu ardere completă a biomasei, dotată cu un supraîncălzitor care, prin reducerea temperaturii gazelor de ardere, crește randamentul centralei iar separarea cenușii zburătoare din gazele de ardere face ca această centrală să fie prietenoasă cu mediul.

Pe plan național, au fost făcute studii referitoare la arderea biomasei sub formă de peleți, și anume, un arzător gravitațional destinat producerii energiei termice care poate fi transformată în energie electrică (brevet RO 123389 B1) [67]. De asemenea, în invenția RO 134453 (A0) este prezentată o centrală termică cu camera de ardere și schimbător de căldură tip serpentină [55]. Prezenta invenție

prezintă în plus, ventilația continuă, existența supraîncălzitorului, colectarea cenușii zburătoare, automatizarea aprinderii/stingerii focului și alimentarea cu combustibil.

Brevetul RO 133992 (A2) prezintă o centrală termică țărănească destinată gospodăriilor din mediul rural, fiind utilizată atât la încălzirea suprafețelor cu solarii sau sere cât și în adăposturile din fermele pentru creșterea animalelor [126]. Această invenție are un drum al gazelor de ardere, față de 3 drumuri la prezenta invenție.

De asemenea, s-au făcut cercetări în acest domeniu în brevetul RO 133520 (A2) în care este descrisă o centrală termică pe combustibil solid pentru încălzire și preparare apă caldă menajeră pentru locuințe [117]. Diferența dintre această centrală și prezenta invenție constă în faptul că invenția nu are buclă de reacție termică, dar, datorită temperaturilor mari din focar se produce gazeificarea și în cazul utilizării unui combustibil solid umed (nu necesită o astfel de buclă).

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în automatizarea alimentării cu peleți sau măcinătură de lemn, controlul aprinderii/stingerii flăcării și controlul arderii în volumul de aer introdus în focar. Eficiența instalației este dată de temperatura mare din focar, turbionarea pe primul drum al gazelor de ardere pentru un amestec aer-gaze ce generează o postardere, dispunerea primului schimbător hidraulic la finalul primului drum al gazelor de ardere și al celui de al doilea schimbător în drumul 2 al gazelor de ardere și un supraîncălzitor. Mai mult, invenția reprezintă un supraîncălzitor dispus în afara centralei, în drumul 3 al gazelor rezultate în urma arderii și are secțiunea identică cu centrala, având la interior un element tubular închis de diametru egal cu diametrul drumului 1, astfel schimbul de căldură între gaze și supraîncălzitor este forțat în contracurent iar temperatura de ieșire a gazelor se reduce către 90°C. Această turbionare din drumul 3 al gazelor de ardere ajută la separarea cenușii zburătoare din fum și depozitarea ei la baza acestui element.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- arderea completă a biomasei,
- automatizarea alimentării, aprinderii, controlul arderii, stingerea flăcării,
- recuperarea căldurii gazelor de ardere de la coș datorită formei speciale a supraîncălzitorului, secțiunea de curgere a gazelor de ardere,
- constructiv se poate demonta și curăța ușor,
- nu există depuneri de gudron pe nici un element al centralei.

Această centrală are la bază o invenție mai veche, soba cu acumulare termică numită apoi soba rachetă.

Componenta centralei termice: zonă alimentare, atunci când nu se folosesc peleți autonomia este de 2 h; focarul protejat cu cărămidă refractară; apoi primul drum al gazelor de ardere în flux ascendent; la partea superioară gazele întâlnesc primul schimbător hidraulic realizat din oțel; al doilea drum al gazelor de ardere în flux descendent, în această zonă este dispus cel de-al treilea schimbător confecționat tot din cupru la care curgerea apei este tot în contracurent iar secțiunea de curgere a gazelor de ardere este redusă pentru un schimb de căldură mai bun.

Această centrală este una cu gazeificare și nu are nevoie de ventilație pentru a realiza gazeificarea, în zona de ardere se obțin temperaturi de peste 900°C datorită

inexistenței unui schimbător de căldură iar prima parte a primului drum de gaze este izolat pentru a obține o postardere.

Pentru un amestec foarte bun aer/gaze de ardere și realizarea postarderei a fost schimbată secțiunea focarului spre finalul lui, astfel ca pe drumul 1 al gazelor apare o turbionare. Drumul 2 al gazelor de ardere este printr-un spațiu creat între țeava drumului 1 și mantaua exterioară a centralei. În fluxul de gaze al drumului 2 este dispus schimbătorul 2 hidraulic în formă de serpentină din cupru. Mantaua exterioară a centralei se poate izola dacă nu se dorește să cedeze căldura în camera cazanului.

Gazele de ardere împreună cu cenușa zburătoare părăsesc centrala și intră într-un corp dispus la baza coșului de fum. Intrarea gazelor de ardere în acest drum 3 întâlnesc o serpentină de cupru, al treilea schimbător hidraulic. Inovativ la acest supraîncălzitor este secțiunea de curgere a gazelor de ardere pentru un schimb de căldură forțat. La interiorul coșului este dispus un element în formă de cilindru închis pentru a reduce secțiunea de curgere doar în jurul serpentinei, astfel se crează o turbionare a gazelor de ardere.

Alimentarea centralei este automatizată și controlăm aprinderea, stingerea focului, controlul arderii prin mărirea debitului de aer.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției

Înainte de pornirea centralei trebuie să fie asigurat că buncărul este plin cu peleți, se verifică alimentarea cu energie electrică, după care se poate lansa aprinderea. La comanda de pornire a centralei se pornește motorul alimentatorului de peleți, după ce clapeta dozatorului este în poziție închis, până la umplerea dozatorului.

Dozatorul este inovator și are dublu rol: alimentare peleți și controlul admisiei aer. După ce dozatorul este plin cu peleți se deschide clapeta și peleții cad în cuva arzătorului, se pornește ventilatorul de pe coș și se inițiază aprinderea electrică a peletilor.

În momentul în care senzorul de temperatură citește valoarea de minim 55 °C se oprește aprinderea electrică iar când senzorul măsoară o temperatură mai mare de 90°C se oprește și ventilatorul (montat după supraîncălzitor) din coș deoarece centrala funcționează fără forțarea ventilației.

Pompa pentru recircularea apei din instalația termică a clădirii se pornește automat. Temperatura dată de ardere generează gazeificarea peletilor, flacăra arde orizontal în focar iar la finalul focarului, datorită deflectorului și modificării secțiunii, se obține o turbionare care generează un amestec omogen flacăra, aer, gaze de ardere, rezultând o postardere. După ce părăsesc focarul, gazele de ardere au un traseu ascendent pe primul drum al gazelor, care la partea inferioară este izolat pentru o supraîncălzire a metanului.

La finalul primului drum gazele arse întâlnesc primul schimbător hidraulic, apoi circulația gazelor pe drumul 2 este gravitațională și cedează temperatura schimbătorului hidraulic 2.

La baza drumului 2 avem evacuarea gazelor din corpul principal al centralei care apoi intră tangențial în corpul de la baza coșului unde întâlnesc supraîncălzitorul hidraulic și unde are loc separarea cenușii zburătoare din gazele de ardere.

Acest drum 3 al gazelor de ardere este inovativ ca formă constructivă, turbionarea în interior este generată de intrarea tangențială a gazelor de ardere și reducerea secțiunii de curgere în zona supraîncălzitorului, facilitează eliminarea cenușii zburătoare din gaze și depunerea acesteia la baza corpului.

Continuarea arderii se realizează prin alimentări consecutive automate cu peleți, admisia de aer fiind realizată prin dozatorul de peleți aflat deasupra cuvei arzătorului. Clapeta se închide când dorim încetarea arderii.

După 10 minute de la pornirea centralei, la coș nu se mai vede fumul datorită arderii complete iar în urma analizelor gazelor de ardere am găsit cantități mici de CO, sub 300 ppm.

Când se dorește oprirea arderii, centrala nu se mai alimentează cu peleți și se pornește ventilatorul de pe coșul de evacuare care rămâne în funcțiune până când senzorul de temperatură montat la evacuarea din centrală scade sub 55°C.

REVENDICARE

Procedeul de obținere a agentului termic, **caracterizat prin aceea că** centrala este automatizată, cu ardere completă a biomasei, cu temperatură mare în focar, având 2 schimbătoare hidraulice de căldură pe traseul gazelor de ardere și un supraîncălzitor la finalul traseului.

Procedeul de realizare a unei centrale termice, **caracterizat prin aceea că** modul de obținere și utilizare a energiei termice se realizează prin arderea combustibililor solizi și a biomasei mult mai eficient.

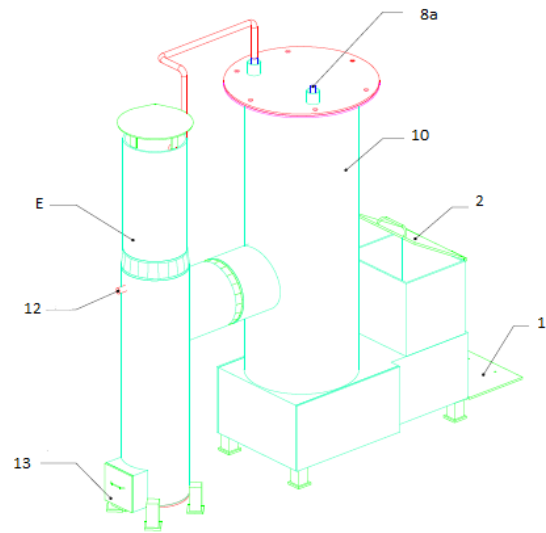


Fig. 4.42. Ansamblu centrală termică

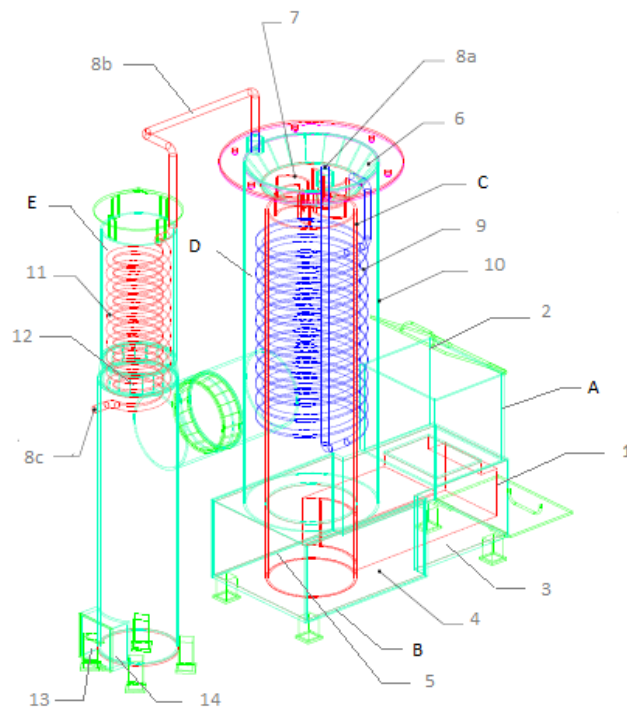


Fig. 4.43. Ansamblu centrală termică 3D

Legendă:

- 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 - schimbător de căldură 1
- 7 - aripioare
- 8a- racord alimentare (RETUR)
- 8b - racord evacuare apă caldă
- 8c - racord consumator (TUR)
- 9 - schimbător de căldură 2
- 10 - manta
- 11 - schimbător de căldură 3 (supraîncălzitor)
- 12 - element cu formă specială
- 13 - ușa evacuare cenușă zburătoare
- 14 - colector

REZUMAT

Invenția se referă la un procedeu de obținere a agentului termic utilizând o centrală automatizată cu ardere completă a biomasei, dotată cu supraîncălzitor care, prin reducerea temperaturii gazelor de ardere, crește randamentul centralei iar prin separarea cenușii zburătoare din gazele de ardere face ca această centrală să fie prietenoasă mediului.

Conform invenției, procedeu constă atât în realizarea unei centrale termice cât și în modul de obținere și utilizare a energiei termice, prin arderea combustibililor solizi și a biomasei mult mai eficient, în scopul încălzirii spațiilor rezidențiale, comerciale, de producție, caselor de vacanță, solarilor/serelor și spațiilor de îngrijire a animalelor.

4.7 Concluzii parțiale

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 cenușii zburătoare* din gazele de ardere și colectarea acesteia,
- *automatizarea* completă a centralei pentru integrarea acesteia în dispozitivele smarthome.

Prototipul 3 de arzător stă la baza prototipului 4 de centrală. Pe această centrală, echipată cu 3 schimbătoare de căldură, conectată la instalația de încălzire (Anexa agricolă de la Țarina lu` Petre) s-au făcut multiple teste de-a lungul a două ierni. În urma acestor teste focarul realizat din OLC s-a distrus complet datorită temperaturilor mari din acesta, iar schimbul de căldură între gazele de ardere și schimbătoarele hidraulice a fost insuficient (temperatură maximă a gazelor de ardere la coș a fost de 280 °C la coș).

La prototipul 4, arderea peleiilor s-a făcut cu ajutorul unui alimentator gravitațional, iar la prototipul 5 s-a folosit un arzător automatizat. Atât prototipul 4 cât și prototipul 5 s-au comportat foarte bine la arderea salciei energetice cu coajă, dar și la arderea a altor combustibili cu coajă (scoarță), depunerile pe schimbătoarele de căldură putându-se îndepărta foarte ușor. Prototipul 5 a fost automatizat pentru arderea peleiilor, centrala termică putând fi controlată de la distanță.

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

5.1. Preliminarii

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.

Pentru realizarea acestor obiective a fost stabilită o metodologie de lucru specifică datelor inițiale (materii prime, condiții de lucru etc.) și au fost realizate experimentele fizice atât pentru studiul proprietăților materiilor prime, cât și pentru studiul arderii și a influenței asupra mediului a gazelor de ardere. Pentru analiza puterii calorifice și a cenușii reziduale s-au folosit echipamentele de laborator de la UPT, dar și de la laboratorul particular din Viena. Datele culese au fost mai apoi prelucrate folosind Statgraphics Centurion și Matlab, iar rezultatele vor fi prezentate și interpretate în capitolul următor.

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.

5.2. Metodologia cercetărilor empirice experimentale privind parametrii de calitate ai biomasei

În acest subcapitol vor fi prezentate atât conceptele cheie cât și principalele metode și echipamente folosite în cadrul cercetărilor empirice experimentale.

5.2.1. Concepte cheie

Controlul parametrilor de calitate ai biomasei include analiza conținutul de cenușă, conținutul de umiditate, părțile volatile și puterea calorifică. Puterea calorifică este un parametru important în analiza biomasei deoarece depinde de umiditate și de compoziția lemnului ars. Conținutul de umiditate în lemn afectează puterea calorifică.

Elementele chimice care intră în compoziția biomasei (de fapt a oricărui combustibil solid) sunt următoarele: carbon (C), hidrogen (H), oxigen (O), azot(N) și sulf (S) organic (acestea formând masa organică sau combustibilă), umiditatea (W) și masa minerală necombustibilă (în care intră și sulful din sulfuri) din care rezultă cenușa.

Umiditatea este definită ca și cantitatea totală de apă prezentă în combustibil (în procente).

Masa organică a combustibilului este reprezentată de conținutul de C, H, N, O, S organic, materii volatile (procentual). Masa minerală și umiditatea formează așa – numitul „balast” al combustibilului.

Materiile volatile (substanțe în stare gazoasă) se degajă și se oxidează atunci când combustibilul este încălzit peste anumite limite și facilitează arderea [75].

Compoziția elementară a unei probe de biomasă, exprimată în procente de masă, este raportată la următoarele stări ([104], [122], [167], [123] și [151]:

starea inițială:

$$C_i + H_i + O_i + N_i + S_{ci} + A_i + W_{ti} = 100 [\%] \quad (5-1)$$

starea uscată la aer:

$$C_u + H_u + O_u + N_u + S_{cu} + A_u + W_{hu} = 100 [\%] \quad (5-2)$$

starea de analiză:

$$C_a + H_a + O_a + N_a + S_{ca} + A_a + W_{aa} = 100 [\%] \quad (5-3)$$

starea anhidră:

$$C_{anh} + H_{anh} + O_{anh} + N_{anh} + S_{canh} + A_{anh} = 100 [\%] \quad (5-4)$$

starea combustibilă:

$$C_{mc} + H_{mc} + O_{mc} + N_{mc} + S_{cmc} = 100 [\%] \quad (5-5)$$

starea organică:

$$C_o + H_o + O_o + N_o + S_{oo} = 100 [\%] \quad (5-6)$$

Sulful poate fi organic (S_o), din sulfuri (S_s) și din sulfați (SSO_4). În mod curent se folosesc noțiunile de:

sulf combustibil:

$$S_c = S_o + S_s [\%] \quad (5-7)$$

sulf total:

$$S_t = S_c + SSO_4 [\%] \quad (5-8)$$

Cantitatea totală de umiditate aflată în compoziția biomasei se împarte în umiditate de îmbibație și umiditate higroscopică.

Umiditatea de îmbibație sau externă W_i reprezintă cantitatea de apă pierdută prin uscare în etuvă la 50 °C timp de circa 3h sau la temperatura camerei de 20 °C timp de circa 24h, până la o greutate practic constantă. Dacă masa probei inițiale este m kg, iar după uscare ajunge la m_1 kg, umiditatea de îmbibație este dată de relația:

$$W_i^i = \frac{m - m_1}{m} 100[\%] \quad (5-9)$$

Umiditatea higroscopică sau internă W_h provine din apa ce se găsește în capilarele și celulele plantelor (biomasei). W_h se determină prin uscare în etuvă la 105 °C până la greutate practic constantă. Dacă se notează cu m_1 masa inițială și cu m_2 masa finală, umiditatea higroscopică rezultă din relația:

$$W_h^u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100[\%] \quad (5-10)$$

Dacă starea uscată la aer coincide cu starea de analiză, atunci evident

$$W_h^a = W_a^a.$$

În urma arderii combustibilului [11], [12], [60] rezultă:

- căldura provenită din transformarea energiei chimice a combustibilului analizat,
- gazele de ardere (CO₂, vapori de apă, N₂, CO, SO₂ etc.),
- cenușa reziduală (zgura).

În funcție de rezultatele arderii, dintre care cele mai ușor de observat sunt cenușa reziduală și puterea calorică evaluăm eficiența unui anumit combustibil. Aceste rezultate ale arderii depind la rândul lor de masa organică precum și de umiditatea combustibilului analizat [93].

Cenușa reprezintă reziduul solid care rămâne după arderea combustibilului la temperaturi de 815±25 °C, până la masă constantă [157].

Puterea calorică superioară este definită ca și cantitatea de căldură degajată prin arderea „perfectă și completă” a unei unități de masă dintr-un anumit combustibil, în condiții standard, atunci când vaporii de apă rezultați din ardere sunt condensați și căldura latentă de vaporizare se recuperează.

Puterea calorică inferioară este definită ca și cantitatea de căldură degajată prin arderea „perfectă și completă” a unei unități de masă dintr-un anumit combustibil, atunci când vaporii de apă rezultați din ardere nu sunt condensați și căldura latentă de vaporizare nu se recuperează [66]. Puterea calorică inferioară este cunoscută și sub denumirea de putere calorică utilă sau putere calorică industrială.

În general puterea calorică a unui combustibil solid sau lichid, notată cu Q , se poate exprima în funcție de elementele sale componente (n elemente) astfel:

$$Q = \sum_{i=1}^n \text{mix} Q_i \quad [J/kg] \quad (5-11)$$

unde m_i este participația masică (fracția masică) a componentului i , iar Q_i este puterea calorică a elementului i [12].

În instalațiile industriale din practică, deoarece apa se elimină sub formă de vapori împreună cu celelalte produse de ardere, se ia în considerare puterea calorică inferioară și nu cea superioară.

5.2.2. Metode și echipamente folosite în cercetările empirice experimentale prin descompunerea în elemente chimice primare

5.2.2.1. Metodologia de lucru pentru analizele de laborator

Pentru obținerea de date cât mai concludente referitoare la proprietățile combustibililor analizați, este nevoie de o planificare a cercetării.

Etapele de lucru în acest caz vor fi:

- a. identificarea materiilor prime care se vor analiza,
- b. tocarea cât mai omogenă a materiilor prime – reducerea dimensiunii până la o valoare de 1 mm,
- c. uscarea probelor,
- d. consultarea standardelor privind biocombustibilii, precum și manualul de utilizare pentru echipamentul folosit pentru analizele de laborator,
- e. realizarea analizelor necesare,
- f. prelucrarea datelor obținute folosind modelarea statistică și numerică.

5.2.2.2. Echipamente utilizate pentru determinările experimentale

Pentru a continua cu determinările de laborator au fost pregătite probele, instrumentele și aparatele de măsură.

În acest scop s-au pregătit următoarele instrumente, echipamente, aparate de măsură:

- moară cu ciocan încrucișat pentru mărunțirea materialului,



Fig. 5.1. Moară pentru reducerea dimensiunii materialului (Fritsch P16), [arhiva proprie]

- balanță laborator 0.0001 g pentru cântărirea probelor,



Fig. 5.2. Balanță laborator, [arhiva proprie]

- etuva model MEMMERT [188] împreună cu excicator pentru determinarea conținutului de umiditate,



Fig. 5.3. Etuva model MEMMERT, [arhiva proprie]

- cuptor de calcinare model Norbertherm B150 [175] pentru determinarea conținutului de cenușă,



Fig. 5.4. Cuptor de calcinare model Norbertherm B150, [arhiva proprie]

- bomba calorimetrică model IKA C5000 [171], respectiv Calorimetrul XRY-1B pentru determinarea puterii calorifice,

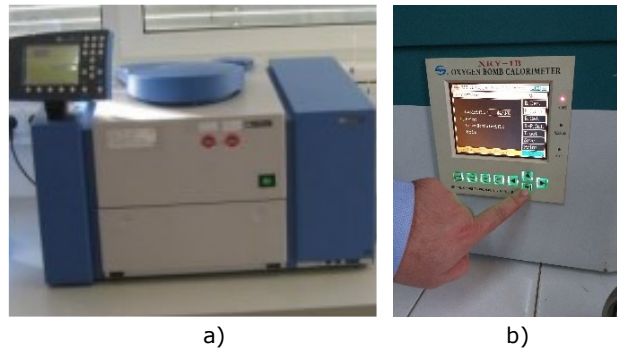


Fig. 5.5. Bomba calorimetrică: a-model IKA C 5000, b- XRY-1B, [arhiva proprie]

- presa la cald model Struers – PRONTO PRESS – 10 [194] și spectrometru de tip PANalytical MagiXPro [195] (Spectrometrie cu fluorescență) pentru determinare metale grele, elemente chimice majore,



Fig. 5.6. Presa la cald model Struers – PRONTO PRESS – 10, [arhiva proprie]

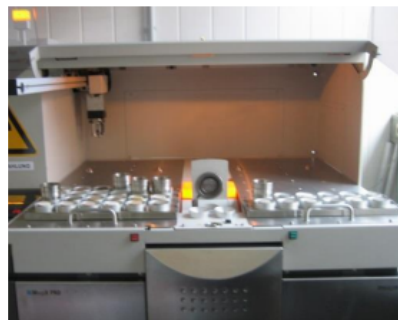


Fig. 5.7. Spectrometru de tip PANalytical MagiXPro, [arhiva proprie]

- cromatograful cu ioni pentru lichide – model DIONEX ICS -2100 [174] pentru determinare nitriți, nitrați, sulfati și cloruri – corecție pentru determinare putere calorică inferioară,

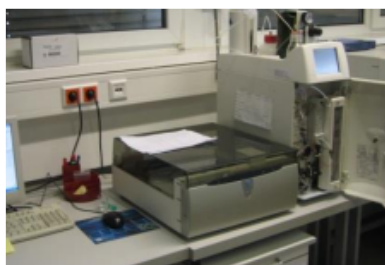


Fig. 5.8. Cromatograful cu ioni pentru lichide – model DIONEX ICS -2100, [arhiva proprie]

- multianalizor model LECO TruSpec CHN pentru determinare conținut C, H, N [193]



Fig. 5.9. Multianalizor model LECO TruSpec CHN, [arhiva proprie]

- suport metalic cu creuzete din cuarț pentru determinare conținut volatile,
- echipament de tip LECO AF 700 [176] - incintă încălzită la peste 1400 grade Celsius prevăzută cu o cameră termică dedicată,



Fig. 5.10. Echipament de tip LECO AF 700, [arhiva proprie]

- microscop termic - model IRF 1600 F pentru determinarea comportamentului de topire a cenușii,



Fig. 5.11. Microscop termic - model IRF 1600 F, [arhiva proprie]

- echipamentul de analiză termogravimetrică Netzsch TG 209 F1 Libra [168] pentru studiul degradării termice.



Fig. 5.12. Echipamentul de analiză termogravimetrică Netzsch TG 209 F1 Libra, (după [168])

5.2.3. Determinări experimentale privind parametrii de calitate ai biomasei

În continuare probele au întreprins un proces de reducere a dimensiunii până la o valoare de 1 mm folosind o moară cu ciocan încrucișat (figura 5.1), apoi un proces de uscare.

De asemenea, înainte de a face determinările de laborator, au fost consultate standardele privind biocombustibilii, precum și manualul de utilizare pentru echipamentele folosite pentru analize de laborator. Determinările experimentale s-au făcut în cadrul laboratoarelor private ale BEA Institut für Bioenergie GmbH, Viena, dar și în cadrul Centrului de Cercetare pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării, din cadrul Departamentul de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi al Facultății de Mecanică a UPT.

Standardele utilizate pentru determinările de laborator au fost:

- EN 14774 – părțile 2 și 3 (EN ISO 18134) - Biocombustibili solizi - Determinarea conținutului de umiditate [177];
- EN 14775 (EN ISO 18122)- Biocombustibili solizi - Determinarea conținutului de cenușă [178];
- EN 14918 - Biocombustibili solizi - Determinarea puterii calorice [179];
- EN 15104 (EN ISO 16948) - Biocombustibili solizi - Determinarea conținutului total de carbon, hidrogen și azot [182];
- EN 15148 – Biocombustibili solizi – determinarea conținutului de materii volatile [183];
- EN 15289 (EN ISO 16994) - Biocombustibili solizi - Determinarea conținutului total de sulf și clor [184].

5.2.3.1. Determinarea conținutului de umiditate

Operațiile realizate s-au făcut în conformitate cu standardul EN 14774 – părțile 2 și 3 [177], astfel:

- s-a cântărit în fiecare recipient cca. 2-3 gr (precizie balanță laborator 0,0001g),
- pentru fiecare probă s-au realizat trei determinări în paralel,
- s-au introdus mostrele în cuptor la o temperatură de circa 105 °C până la atingerea unei mase constante,
- după finalizarea perioadei aferente menținerii în cuptor, probele au fost lăsate să se răcească (pentru circa 5 - 10 minute), apoi au fost introduse în exicator iar după aceea au fost cântărite din nou iar datele au fost introduse în protocolul specific determinării,
- pentru verificarea acurateții măsurărilor, pentru probe cu un conținut mai ridicat de umiditate, au fost repetate măsurătorile pentru siguranță.

5.2.3.2. Determinarea conținutului de cenușă

Operațiile realizate s-au făcut în conformitate cu standardul EN 14775 [178], astfel:

- înainte de introducerea mostrelor în cuptor, mojarile sunt lăsate pentru circa 2 ore la o temperatură de 550 °C, după care sunt scoase și lăsate să se răcească pentru circa 10 – 15 minute,
- după ce mojarile sunt reci, acestea sunt scoase din exicator, cântărite iar apoi din fiecare probă de material se va cântări minim 1 g (precizia balanței de laborator fiind 0.0001)
- în paralel cu procesul de răcire al mojarilor, cuptorul este scos din funcțiune pentru a se răci la o temperatură mai mică de 200 °C,
- procesul de determinare a conținutului de cenușă pentru biomasă are două etape: în prima fază se introduc mojarile în cuptor și se lasă cel puțin 1 oră la o temperatură de 250 °C pentru a permite eliminarea volatilelor înainte de procesul propriu-zis (temperatura este mărită constant până la 250 °C de-a lungul unei perioade de 30 – 50 minute),

- după perioada inițială, temperatura din cuptor va fi crescută la 550 °C, mostrele lăsându-se la această valoare minim 2 ore – pentru creșterea acurateții măsurătorii, materialele sunt lăsate la temperatura de 550 °C până a doua zi (circa 16 - 17 ore),

- după finalizarea determinării, probele sunt scoase din cuptor, lăsate să se răcească în aer liber pentru 2 - 3 minute și apoi sunt introduse în exicator pentru circa 3 - 5 minute, după care se vor cântări, iar datele aferente măsurătorilor sunt introduse în protocolul corespunzător,

- pentru verificarea acurateții măsurătorilor, pentru probe cu un conținut mai ridicat de cenușă au fost repetate măsurătorile pentru siguranță,

- ca o observație suplimentară, datorită temperaturilor ridicate este dificil de numerotat fiecare mostră în parte, iar din această cauză trebuie notat în protocolul aferent fiecărei determinări poziția pe care o au cele 3 mostre în ansamblul mostrelor analizate,

- conținutul de cenușă a fost corectat la bază uscată utilizând conținutul de umiditate.



Fig. 5.13. Exemple de mostre după procesul de ardere, [arhiva proprie]

5.2.3.3. Determinarea puterii calorifice

Operațiile realizate s-au făcut în conformitate cu standardul EN 14918 [179], astfel:

- înainte de realizarea determinării puterii calorifice a mostrelor, acestea sunt pregătite în vederea introducerii în bomba calorimetrică,

- pregătirea mostrelor constă în presarea la rece a unei cantități de circa 0,6 – 0,8 g material, realizându-se astfel o pastilă ce va fi introdusă în bombă; valoarea menționată este legată de faptul că puterea calorifică obținută este calculată la nivelul calibrării echipamentului,

- materialul astfel pregătit este introdus în bomba calorimetrică, ce va fi introdusă la rândul său în calorimetru,

- după ce sunt introduse datele aferente materialului (cantitatea cântărită, numărul de identificare al probei, respectiv al utilizatorului ce realizează determinarea), se pornește calorimetrul în vederea realizării analizei de laborator,
- pentru fiecare material au fost realizate minim 2 determinări succesive în vederea determinării puterii calorifice, pentru a se verifica dacă diferențele obținute pentru cele două măsurători sunt mai mici de 120 J /g,
- în cadrul determinărilor au fost utilizate două bombe calorimetrice, pentru fiecare material utilizându-se aceeași bombă; motivul acestei proceduri îl reprezintă eliminarea posibilelor impurități de la alte mostre analizate,
- după finalizarea analizei, s-a spălat interiorul bombei cu apă ultra pură, iar lichidul obținut a fost completat până la 100 ml și colectat în recipiente din sticlă, având numărul de identificare aferent pentru fiecare material în parte,
- valorile au fost apoi introduse în protocolul aferent determinării în vederea obținerii rezultatului final,
- în vederea obținerii puterii calorifice inferioare, în protocol sunt introduse și date cu privire la conținutul de nitrați și sulfați, conținut ce va fi determinat cu ajutorul cromatografiei cu ioni, din cei 100 ml colectați după realizarea determinării pentru mostrele de material,
- puterea calorifică a fost corectată la bază uscată utilizând conținutul de umiditate.

5.2.3.4. Cromatografia cu ioni

Acest tip de cromatografie se folosește în general pentru analiza lichidelor pentru ioni de Fluor, Cloruri, Nitriți, Nitrați, Bromuri, Sulfați și Fosfați.

Valorile obținute în urma măsurătorilor sunt prezentate sub forma unor picuri pe o cromatogramă din care sunt selectați timpii de retenție, conex cu standardul utilizat (reprezentat de soluții standard de referință introduse în caruselul rotativ al sistemului), iar mai apoi sunt măsurate și valorile, comparate cu etalonul existent. Pentru analiza mostrelor de biomasă, s-a impus doar determinarea conținutului de Nitrați și Sulfați în vederea corectării valorii obținute pentru puterea calorifică,

În cadrul caruselului există 50 de poziții disponibile, dintre care poziția cu numărul 1 este o probă „oarbă”, pozițiile 2 și 3 sunt soluții standard de referință conforme cu standardul utilizat, respectiv pozițiile 45 – 50 conțin soluții de spălare a acului utilizat pentru prelevarea mostrelor,

Între pozițiile 4 și 44 se introduc mostrele de lichid aferente mostrelor de material (recipiente cu volum de 5 ml), după care se verifică funcționarea corectă a procesului și elementele componente ale acestuia. Dacă în urma diagnozei sistemul nu prezintă nici o eroare, se lansează în execuție analiza mostrelor introduse. După finalizarea analizei, rezultatele sunt prezente sub forma unei cromatograme, din care, prin eliminarea marcajelor realizate automat de sistem și înlocuirea acestora cu unele corespunzătoare pic – urilor existente, se determină suprafețele aferente și valorile corespunzătoare fiecărui element analizat.

La final, rezultatele sunt introduse în protocolul aferent, corespunzător determinării puterii calorifice, în vederea realizării corecțiilor aferente (conform standardului EN 15289 [184]).

5.2.3.5. Determinarea conținutului de Carbon, Hidrogen și Azot

Standardul utilizat pentru aceste determinări a fost EN 15104 – Biocombustibili solizi – determinarea conținutului total de carbon, hidrogen și azot [182].

Operațiile pentru determinarea conținutului de Carbon, Hidrogen și Azot sunt:

- anterior procesului de analiză a materialelor, are loc o verificare a sistemului, prin realizare unor teste „oarbe”, respectiv a unor teste utilizând materiale de referință, în vederea calibrării echipamentului,

- după finalizarea verificărilor și calibrării, valoarea calibrată nou obținută se folosește la recalcularea valorii existente, după obținerea unor valori relativ constante pentru carbon, hidrogen, respectiv azot,

- mostra de material se cântărește (la o valoare maxim posibilă pentru un domeniu cuprins între 0.1 și 0.3 gr / mostră, valoare stabilită relativ la volumul ocupat de biomasă) și este introdusă într-o folie de Zn, după care se va introduce, în paralel cu notarea datelor de identificare (nume, număr, respectiv cantitate) în caruselul aferent echipamentului de analiză,

- în vederea realizării analizelor, ca și gaze consumabile se folosesc Oxigen de puritate ridicată, pentru realizarea unei combustii complete a gazelor de ardere rezultate, respectiv Helium, pentru determinarea conținutului de Azot. De asemenea, pentru antrenarea diferitelor componente în mișcare se va utiliza aer comprimat în mod continuu,

- între mostrele analizate sunt introduse materiale de referință în vederea verificării preciziei sistemului.

5.2.3.6. Determinarea conținutului de materii volatile

În vederea determinării conținutului de materii volatile, analizele s-au efectuat în concordanță cu Standardul EN 15148 [183], astfel:

- mojarile goale sunt introduse în cuptor la o temperatură de $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru circa 7 minute, după care sunt scoase și lăsate să se răcească la temperatura camerei într-un exicator.

- după ce acestea se răcesc, se cântărește o cantitate minimă de $1\text{ g} \pm 0.1\text{ g}$ de material.

- se introduc mojarile în cuptor la $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru exact 7 minute, după care sunt scoase și lăsate să se răcească la temperatura camerei, sunt introduse în exicator și mai apoi sunt cântărite din nou, iar datele se introduc în protocolul aferent.

- prin diferența de masă se va determina conținutul de materii volatile existent pentru mostrele considerate.

- s-au realizat 3 determinări pentru fiecare material în parte,

- conținutul de materii volatile a fost corectat la bază uscată utilizând conținutul de umiditate.

5.2.3.7. Determinarea comportamentului de topire a cenușii - CEN / TS 15370

Pentru acest tip de determinare se utilizează un microscop termic - model IRF 1600 F.

În primul rând, materialele trebuie pregătite: cenușa se obține folosind o combinație de temperaturi începând de la 200 de grade Celsius pentru a degaja eșantionul, timp de aproximativ 20 de ore, după care temperatura crește încet timp de aproximativ 1 oră până la 250 de grade Celsius și încă o oră de la 250 ° C la 300 grade Celsius, iar după acest pas, temperatura crește de la 300 ° C la 550 grade Celsius pe o perioadă de 6 ore. În ultima perioadă materialul este lăsat să se preardă la 550 de grade Celsius timp de aproximativ 2 ore.



Fig. 5.14. Cenușă obținută pentru comportamentul de topire a cenușii, [arhiva proprie]

După obținerea cenușii, următorul pas este pregătirea probei. O parte din cenușă este amestecată cu etanol și introdusă într-un dispozitiv special pentru a obține o mică peletă care va fi introdusă în interiorul microscopului termic.



Fig. 5.15. Pelete pentru comportamentul de topire a cenușii, [arhiva proprie]

Peletul este introdus și păstrat în interiorul microscopului termic timp de trei ore. În acest timp, pot fi observate modificările materialului din cauza influenței temperaturii. Principalele puncte de interes sunt: punctul de contracție, punctul de deformare, punctul emisferei și punctul de curgere.



Fig. 5.16. Materialul la începutul procesului, [arhiva proprie]

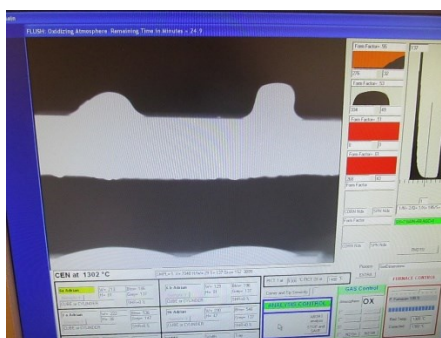


Fig. 5.17. Materialul la începutul procesului, [arhiva proprie]

La sfârșitul procesului, materialele sunt scoase din echipamentul termic și citirile se fac cu ajutorul unui software specific pentru a determina valorile corecte ale temperaturii.

5.2.3.8. Cinetica procesului de degradare pentru materialele analizate

Studiul degradării termice s-a realizat folosind echipamentul de analiză termogravimetrică Netzsch TG 209 F1 Libra. Probele au fost supuse unui regim dinamic de analiză: au fost încălzite de la 20 la 900°C, cu o viteză de încălzire de 10 K/min, atât în mediu inert (azot) cât și în mediu oxidativ (aer).

a) Studiul termic al procesului de degradare al amestecului rășinos

Din termograma de degradare în mediu oxidativ (figura 5.18.A) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (aproximativ 7%)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc în două etape care nu pot fi bine separate, produșii intermediari fiind instabili. În această etapă are loc pierderea cea mai mare de masă de 90%

Reziduul final este de 1,64%

Din termogramă de degradare în mediu inert (figura 5.18.B) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (sub 7%)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc într-o singură etapă cu pierderea cea mai mare de masă de 74,43%

Reziduul final este de 12,76%

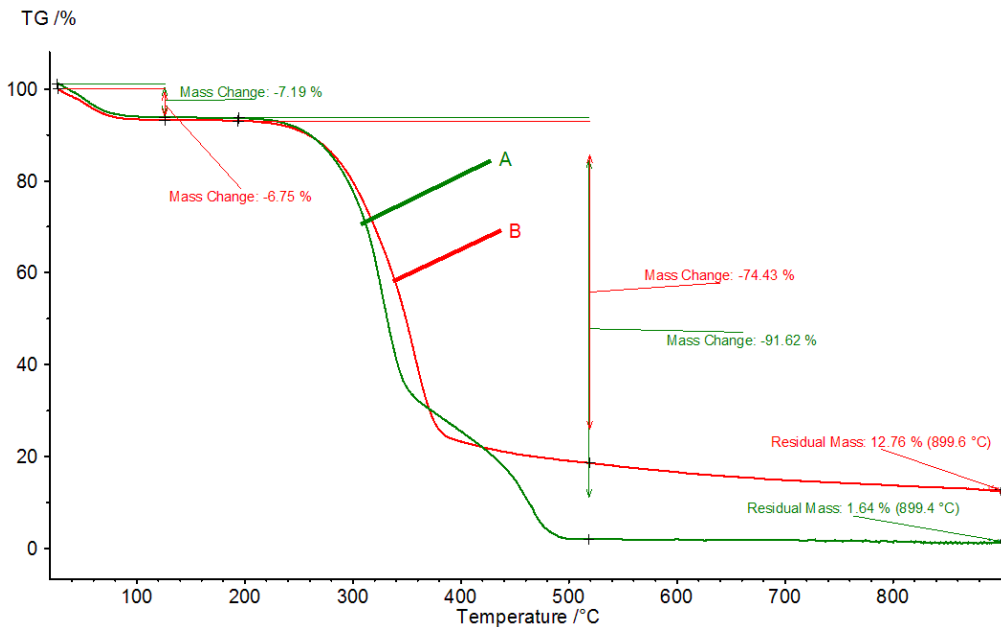


Fig. 5.18. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (A), respectiv inert (B) al amestecului rășinos, [arhiva proprie]

b) Studiul termic al procesului de degradare al salciei energetice

Din termograma de degradare în mediu oxidativ (Figură 5.19. A) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (aproximativ 7%)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc în două etape care nu pot fi bine separate, produșii intermediari fiind instabili. În această etapă are loc pierderea cea mai mare de masă de 85,27%

Reziduul final este de 3,86%

Din termogramă de degradare în mediu inert (Figură 5.19 B) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (8,92%)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc într-o singură etapă cu pierderea cea mai mare de masă de 65,37%

Reziduul final este de 14,93%

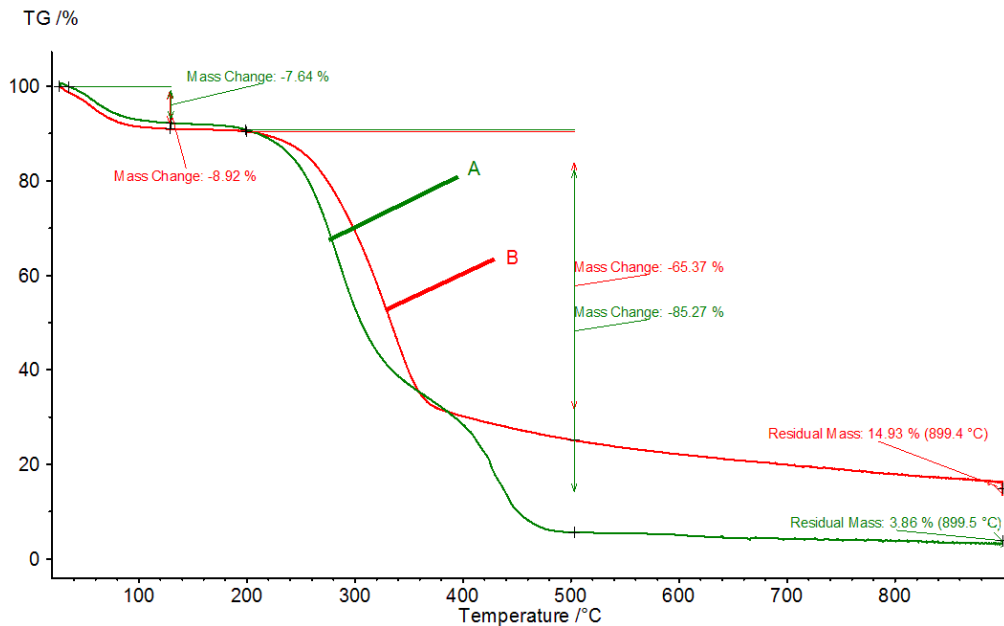


Fig. 5.19. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (A), respectiv inert (B) pentru salcia energetică, [arhiva proprie]

c) Studiul termic al procesului de degradare pentru topinambur

Din termograma de degradare în mediu oxidativ (figura 5.20. albastru) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (sub 10 %)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc în două etape care nu pot fi bine separate, produșii intermediari fiind instabili. În această etapă are loc pierderea cea mai mare de masă de 86,67%

Reziduul final este de 4,28%

Din termograma de degradare în mediu inert (figura 5.20 maro) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (9,87%)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc într-o singură etapă cu pierderea cea mai mare de masă de 60,6%

Reziduul final este de 22,5%

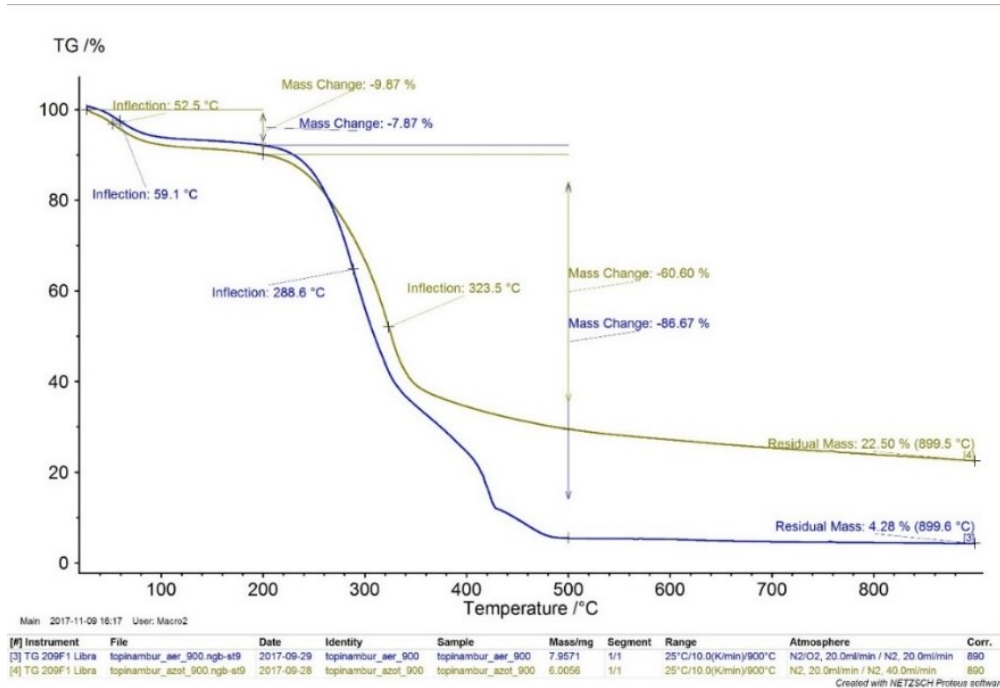


Fig. 5.20. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (albastru), respectiv inert (olive) pentru topinambur inert (B) pentru topinambur, [arhiva proprie]

d) Studiul termic al procesului de degradare pentru cânepă românească

Din termograma de degradare în mediu oxidativ (figura 5.21 verde) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (sub 10 %)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc în două etape care nu pot fi bine separate, produșii intermediari fiind instabili. În această etapă are loc pierderea cea mai mare de masă de 87,87%

Reziduul final este de 0,61%

Din termograma de degradare în mediu inert (figura 5.21 roșu) se observă că au loc mai multe pierderi de masă:

Între 20 și aproximativ 125°C are loc un proces de pierdere de masă asociat pierderii de apă (9,68 %)

În continuare are loc degradare termică între 200 și 500°C; acest proces are loc într-o singură etapă cu pierderea cea mai mare de masă de 67,17 %

Reziduul final este de 17,49 %

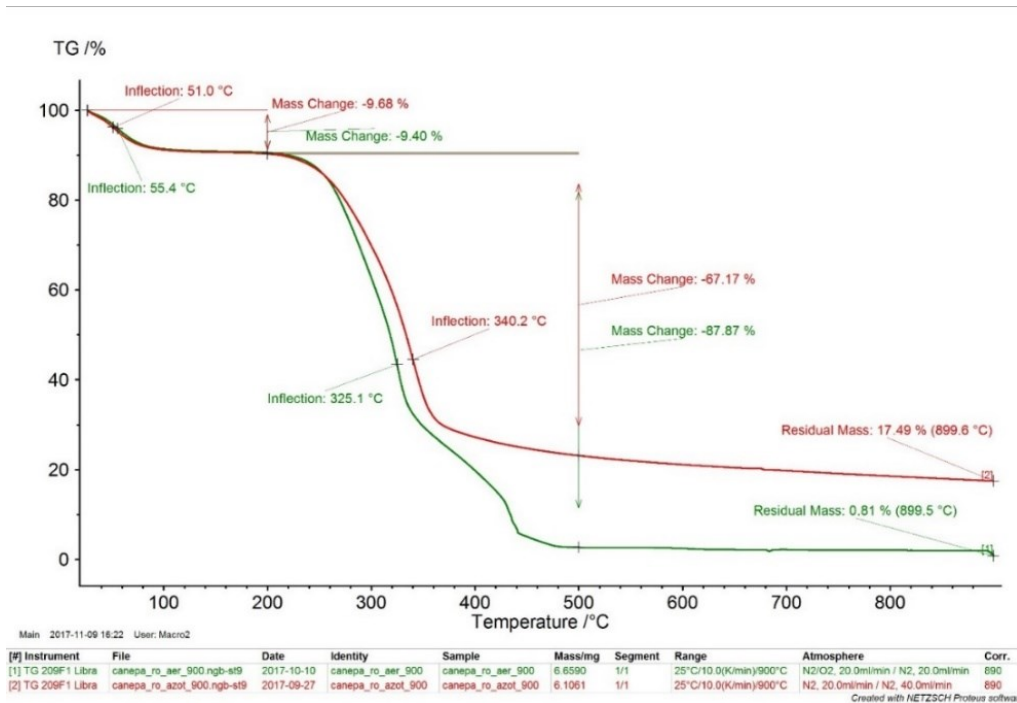


Fig. 5.21. Termogramele TG la degradarea în mediu oxidativ (verde), respectiv inert (roșu) pentru cânepa românească, după [112]

Prima parte a pierderii de masă nu este influențată de mediul de lucru, acesta reprezentând un proces fizic de deshidratare.

Al doilea pas este influențat de mediul folosit (aer sau azot) iar temperaturile de lucru sunt mai reduse pentru aer decât pentru azot. De asemenea se poate observa că pierderea de masă crește cu până la 20% pentru mediul ce conține aer față de cel cu azot.

Pierderea procentuală de masă pentru aer nu depășește 5% în timp ce pentru mediul inert (azot) ea poate ajunge și la valori de circa 20% deoarece în atmosfera pe bază de azot carbonul descompus nu se va oxida la CO_2 și astfel conținutul de masă reziduală va fi unul mai ridicat.

5.3. Rezultatele experimentale privind parametrii de calitate ale materialelor alese pentru analiză

În această parte se vor prezenta pe scurt analizele realizate pe materialele alese. De menționat că materialele au fost analizate în forma rezultată în urma tocării și nu a fost necesar un proces preliminar de uscare a acestora.

În vederea pregătirii pentru analizele de laborator, materialele au fost măcinate pentru a se atinge o valoare medie de granulație de circa 1 mm.

În tabelul 5.1 se prezintă materialele alese și sursa de proveniență a acestora, împreună cu detalii legate de materialul folosit pentru analize.

Tab. 5.1. Materialele alese pentru teste – prezentare generală

Nr. crt.	MATERIAL	Sursa de proveniență	Tip material
1.	Câneapă românească	Țarina lu` Petre	Plantă întreagă
2.	Topinambur	Țarina lu` Petre	Plantă întreagă
3.	Salcie energetică	Ghilad	Plantă întreagă
4.	Amestec rășinoase	Țarina lu` Petre	Fără rădăcini sau scoarță

Analizele au fost realizate, conform descrierii anterioare, cu respectarea standardelor europene aflate în vigoare.

În cele ce urmează se vor prezenta rezultatele obținute în cadrul determinărilor de laborator [112]. Acestea vor fi prezentate sub formă tabelară.

Tab. 5.2.a. Rezultate experimentale (partea 1)

Nr. crt.	MATERIAL	Conținut de umiditate [%]	Conținut cenușă [%]	Putere calorică superioară (bază uscată) [kJ/kg]	Putere calorică inferioară (bază uscată) [kJ/kg]
1.	Câneapă românească	15,5	2,87	19334	17940
2.	Topinambur	11,3	5,94	18277	16903
3.	Salcie energetică	7,91	2,34	19815	18307
4.	Amestec rășinoase	24,2	0,32	19380	17800

Tab. 5.2.b. Rezultate experimentale (partea 2)

Nr. crt.	MATERIAL	Conținut de Carbon [%]	Conținut de Hidrogen [%]	Conținut de Azot [%]	Conținut de volatile (bază uscată) [%]
1.	Câneapă românească	48,3	5,4	0,45	79,1
2.	Topinambur	45,6	5,59	1,46	74,3
3.	Salcie energetică	44.6	6.36	0.65	44.6
4.	Amestec rășinoase	51,2	6,13	0,14	74

Tab. 5.2.c. Rezultate experimentale (partea 3)

Nr. crt.	MATERIAL	S (bază uscată) [%]	Cl (bază uscată) [%]	O (bază uscată) [%]
1.	Câneapă românească	0,008	0,001	43,0
2.	Topinambur	0,117	0,258	41,0
3.	Salcie energetică	0,064	0,012	48,25
4.	Amestec rășinoase	0,005	0,004	42,52

5.4 Metodologia cercetărilor empirice experimentale privind eficiența energetică a centralei pilot

5.4.1. Metode și echipamente

5.4.1.1. Metodologia de lucru

Pentru obținerea de date cât mai concludente referitoare la eficiența energetică a centralei pilot, este nevoie de o planificare a cercetării.

Etapele de lucru în acest caz vor fi:

A. Alegerea materiilor prime care vor fi arse în centrala pilot, pregătirea și cântărirea acestora,

B. Identificarea aparatelor, instrumentelor, echipamentelor necesare pentru realizarea experimentelor și studierea manualelor de operare ale acestora,

C. Realizarea experimentelor,

D. Prelucrarea datelor obținute folosind modelarea statistică și numerică.

5.4.1.2. Materiale alese pentru procesul de ardere în centrala termică pilot

Din literatura de specialitate [56], [57], [39], [132] s-au luat rezultatele necesare pentru a putea completa tabelul cu materiile prime care pot fi utilizate ca și combustibil solid, date care vor fi utilizate apoi și în capitolul următor (Anexa 7). Din baza de date realizată (materii prime analizate la punctul anterior și materii prime din literatura de specialitate), la care s-au adăugat două categorii de peleți (peleți 1 din 70%stejar și 30%brad și peleți 2 din 30%brad și 70%molid) s-au ales următoarele materiale necesare studiului arderii, date în tabelul următor. Pentru aceste materiale s-a determinat umiditatea și puterea calorică inferioară în laboratorul de analize de la COLTERM SA, iar buletinele de analiză se găsesc, pentru puterea calorică, în Anexa 8.

Observație: deoarece topinamburul are cea mai mică valoare a puterii calorice inferioare și datorită faptului că nu am avut suficient material pentru procesul de ardere care durează minim 2,5 ore, acest material a fost eliminat dintre materialele alese pentru procesul de ardere și a fost înlocuit cu carpen.

Tab. 5.3. Materialele alese pentru a fi arse în timpul experimentelor

Nr. crt.	Denumire material	Conținut de umiditate [%]	Conținut cenușă [%]	Putere calorică inferioară (bază uscată) [kcal/kg]	Conținut de Carbon [%]	Conținut de Hidrogen [%]	Conținut de Azot [%]	S (bază uscată) [%]	O (bază uscată) [%]
1.	Câneapă românească	15,96	2,87	17940	48,3	5,89	0,74	0,01	44,97
2.	Amestec rășinoase	8,19	0,34	17800	49,3	6,31	0,13	0,006	44,254
3	Carpen	16,74	13,1	16278	48,2	5,9	1,3	0,1	44,4
4	Peleți 1	7,96	0,23	17725	50,801	6,08	0,08	0,027	43,012
5	Peleți 2	9,59	2,87	17825	48,3	5,4	0,45	0,008	45,842

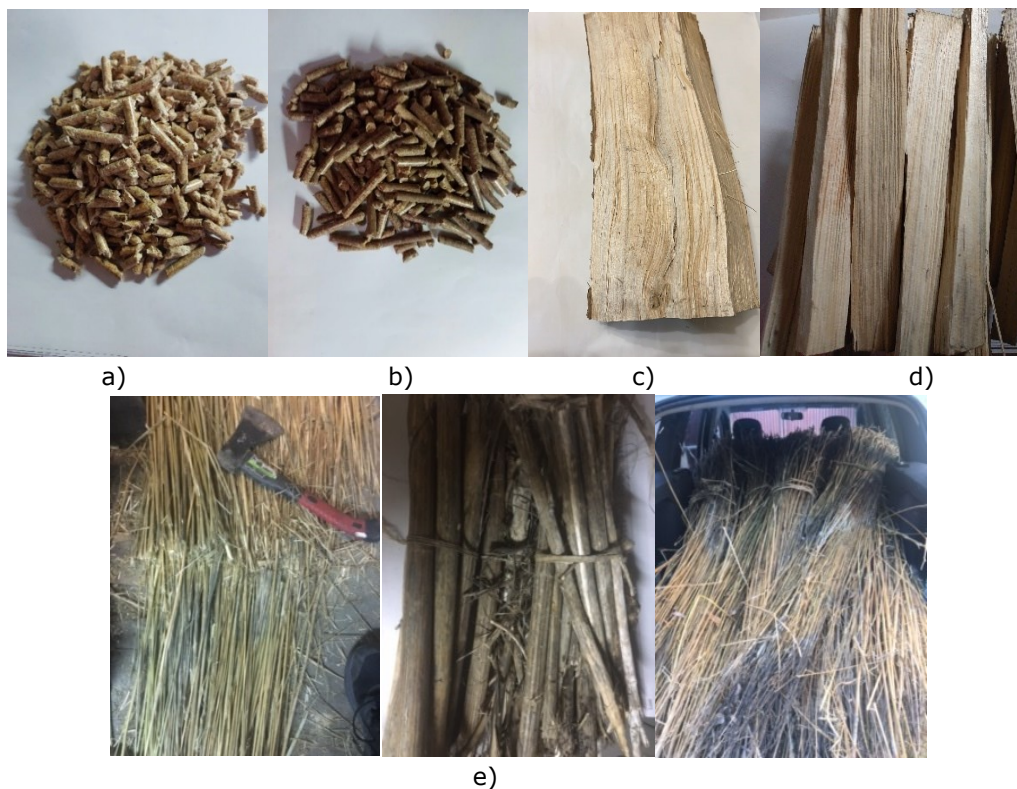


Fig. 5.22. Materiale alese pentru procesul de ardere: a) peleți rășinoase, b) peleți fag cu brad, c) carpen, d) rășinoase, e) cânepă, [arhiva proprie]

5.4.1.3. Echipamentele utilizate pentru determinările experimentale

Pentru realizarea măsurătorilor s-au folosit:

- senzori de temperatură, umiditate și viteză a aerului marca TESTO.
- Operarea senzorilor se face cu ajutorul unui smartphone care se conectează prin intermediul Bluetooth-ului la aplicația TESTO Smart,
- gazoanalizorul TESTO 350 XXL,
 - contor pentru determinarea temperaturii apei din instalație,
 - termocuplu de tip K pentru determinarea temperaturii din focar.

În continuare sunt descrise instrumentele folosite la determinările experimentale:

a) Anemometru cu fir cald TESTO 425

La determinarea vitezei gazelor de ardere la ieșire din cazan s-a folosit anemometrul cu fir cald TESTO 425 [170] (figura 5.23).



Fig. 5.23. Anemometru cu fir cald TESTO 425, după [170]

TESTO 425 este un anemometru compact cu sondă fixă pentru măsurarea vitezei aerului. Vârful sondei are diametrul de 7,5 mm. Cu ajutorul telescopului extensibil (lungime max. 820 mm), instrumentul de măsură este potrivit pentru măsurarea vitezei aerului în conducte. De asemenea, TESTO 425 măsoară extrem de precis în cazul vitezelor mici.

b) TESTO 410i. Anemometru cu elice [198]



Fig. 5.24. Anemometru cu elice, după [198]

Acest senzor este destinat măsurării fluxului de aer, a debitului volumetric și a temperaturii aerului.

c) TESTO 405i. Termoanemometru cu fir cald [196].



Fig. 5.25. Termoanemometru cu fir cald, după [196]

Este destinat pentru măsurarea fluxului de aer, debitului volumetric și a temperaturii aerului.

d) TESTO 805i. Termometru cu infraroșu [200]



Fig. 5.26. Termometru cu infraroșu, după [200]

Măsoară fără contact temperatura suprafețelor cu ajutorul laserului multi-punct.

e) TESTO 605i. Termohigrometru [199]



Fig. 5.27. Termohigrometru, după [199]

Ajută la măsurarea temperaturii și a umidității relative din încăperi și conducte.

Deși avem senzorii 410i, 405i, 805i, 605i, prin intermediul aplicației aceștia primesc un indicativ: 291, 920, 940, 647

- 291-Anemometrul cu elice 410i;
- 920-Termoanemometru cu fir cald 405i;
- 940-Termometru cu infraroșu 805i;
- 647-Termohigrometru 605i.

f) Analizor de gaze model TESTO 350 XXL [169]

La determinarea concentrației compușilor nocivi din gazele de ardere s-a folosit analizorul de gaze sus amintit al Laboratorului Transporturile și mediul din cadrul Universității Politehnica Timișoara.



Fig. 5.28. Gazoanalizor TESTO 350 XXL, [arhiva proprie]

Principial Gazoanalizorul TESTO 350 XXL [169], este compus din:

- Unitatea de control TESTO 350, care, având un ecran grafic clar, de mari dimensiuni, permite controlul măsurărilor pentru emisii. Utilizarea acestei unități de control este foarte ușoară în aplicațiile pentru arzătoare, turbine pe gaz, motoare, precum și alte aplicații care pot fi selectate din meniul acestei. Cu ajutorul unității de control avem controlul la distanță al unității de analizare, chiar și atunci când există distanță mare între locul măsurării (gazele arse) și locația montării. Acest aspect apare în special pentru măsurarea emisiilor în fabricile mari, respectiv CET-uri.



Fig. 5.29. Unitatea de control a gazoanalizorului TESTO 350 XXL: 1-interfața IrDA, 2-buton pornire/oprire, 3-suport magnetic, 4-display, 5-tastatura, 6-bara de contact pentru măsurători (pe spate), 7-interfețe: 7.1- USB 2-0, 7.3-încărcător, 7.2-TESTO DATA, 8-caneluri de ghidare pentru blocare cu unitatea de analiză, (după [169])

- Unitatea de analiză TESTO 350 conține toată tehnologia și circuitele electronice pentru senzori și este instrumentul de care este nevoie pentru a realiza efectiv măsurarea emisiilor. Gazoanalizorul TESTO 350 include un senzor de gaz O_2 în mod standard, dar pentru punerea sa în funcțiune este nevoie de cel puțin încă un senzor care trebuie să fie conectat (poate lucra cu maxim 6 senzori). Ca și senzori opționali se poate alege între senzorii de gaz pentru CO, CO_2 , NO, NO_2 , SO_2 , H_2S sau $CxHy$.

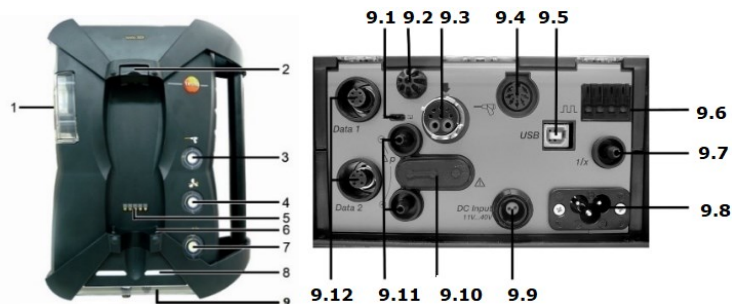


Fig. 5.30. Unitatea de analiză a gazoanalizorului TESTO 350 XXL: 1- Sifon pentru condens și recipient pentru condens, 2-buton de blocare/deblocare pentru unitatea de control, 3-filtru de particule, 4-filtru de admisie a aerului proaspăt, 5-bară de contact pentru conectarea la

unitatea de control, 6-știfturi de ghidare pentru blocarea cu unitatea de control, 7-filtru de gaz de diluare, 8-afișare stare, 8-afișarea stării, 9-conectori (după [169])

- Sonda de prelevare a gazelor

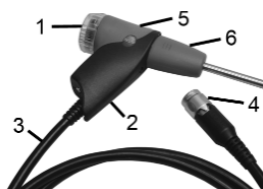


Fig. 5.31. Sonda de prelevare a gazelor: 1-camera de filtrare detașabilă cu fereastră și filtru de particule, 2-mânerul sondei, 3-cablu de conectare, 4-fișă conector pentru instrumentul de măsură, 5-eliberarea blocării modulului sondei, 6-modulul sondei (după [169])

- Imprimantă.

Gazoanalizorul TESTO 350 XXL este un echipament performant de determinare a emisiilor gazoase din gazele de ardere, determinarea acestora realizându-se în celule speciale, în urma unor reacții electro-chimice de tip Peltier. Gazele analizate sunt SO_2 , CO , CmHn , O_2 , NO și NO_2 .

De asemenea, se poate determina coeficientul excesului de aer și concentrația de CO_2 , viteza de curgere a gazelor și debitul masic (numai dacă se ia în calcul secțiunea de curgere) pentru toate speciile de gaze analizate.

Principiul de analiză se bazează pe modificarea intensității curentului galvanic generat de o pilă galvanică a cărui electrolit își modifică proprietățile, în urma reacției sale cu componenta gazoasă ce trebuie detectată și a cărei concentrație trebuie măsurată.

Celulele de măsură sunt chiar niște elemente galvanice. Acestea generează un curent proporțional cu numărul ionilor ce disociază în soluția de electrolit, ca urmare a interacțiunii cu gazul în cauză. Important este că doar componenta gazoasă respectivă din întregul amestec gazos analizat, poate să producă acest efect.

Măsurarea concentrației noxelor precum și a altor componente ale gazelor de ardere poate fi continuă, respectiv discontinuă, în funcție de puterea termică a instalației de ardere precum și a altor considerente. În cazul măsurătorilor continue, obligatorii pentru instalațiile mari de ardere, se înregistrează dependența de timp a valorilor măsurate. Pentru măsurătorile discontinue se determină valori medii, reprezentative pentru intervalul de timp scurs între cel puțin două măsurători succesive.

g) contor de energie termică multifuncțional utilizat pentru determinarea temperaturii apei din instalație, MULTICAL 402 Kamstrup [173]

Funcția de bază a oricărui contor de energie termică este desigur măsurarea energiei termice, dar un contor de energie termică multifuncțional face posibilă realizarea unui număr de alte funcții. Pentru experimentele desfășurate s-au citit la acest contor următoarele mărimi: temperatura agentului termic (tur și retur),

diferența dintre temperaturile din instalația de căldură, debitul agentului termic din circuit și energia termică. Acesta a înregistrat datele, după care au fost descărcate în calculator.



Fig. 5.32. Contor de energie termică multifuncțional, [arhiva proprie]

h) Termocuplul de tip K (sondă piezoelectrică) pentru determinarea temperaturii din focar [197]

Domeniul de temperaturi pentru care poate fi utilizat acest termocuplu este între - 200 C- și +1350 C, iar temperatura maximă continuă este de aproximativ 1.100 C.

Precizia de măsurare a acestui termocuplu este de:

- standard: +/- 2.2 C sau +/- 0.75%,
- construcție specială: +/- 1,1 C sau 0,4%.

Termocuplul de tip K este un senzor utilizat pentru măsurarea temperaturii care funcționează pe baza efectului Seebeck: apare o tensiune electromotoare continuă [mV] la joncțiunea a doi conductori, tensiune care este proporțională cu diferența de temperatură între aceștia. Cu cât temperatura este mai ridicată, cu atât este mai mare tensiunea de ieșire. Pentru a afla valoarea temperaturii se folosesc tabele de echivalență tensiune-temperatură [203].

Termocuplurile de tip K deoarece sunt unele dintre cele mai ieftine termocupluri sunt utilizate in toate aplicațiile industriale, având o bună rezistență la oxidare, liniaritatea de măsurare și stabilitate. Termocuplul utilizat este cu tub ceramic pentru a proteja firele termocuplului de deteriorare.



Fig. 5.33. Termocuplu tip K, [arhiva proprie]

5.4.2. Determinările experimentale privind eficiența energetică a centralei pilot

Pentru a caracteriza experimental performanțele centralei termice pilot de ardere a biomasei, măsurătorile au fost efectuate prin variația debitului agentului termic (apă) care s-a făcut prin reglarea unei pompe aferente circuitului agentului termic din instalație (Debit 1, Debit 2), schimbarea secțiunii focarului, introducerea de aer suplimentar. Prin aceste modificări s-a studiat influența acestora asupra eficienței termice a centralei.

Pentru realizarea efectivă a experimentelor s-au parcurs următoarele etape:

Etapa 1. Pregătirea experimentului în care s-au realizat următoarele operații:

- s-au ales punctele de măsurare (figura 5.34 și tabelul 5.4),

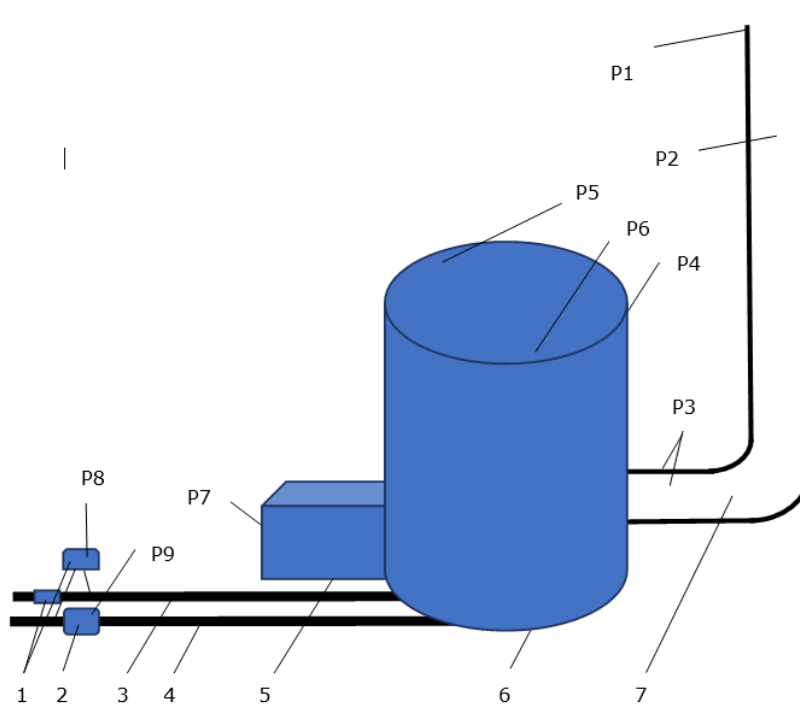


Fig. 5.34. Schița instalației de încălzire (centrală termică pilot) cu punctele de măsurare: 1-contor multical, 2-pompa de recirculare a agentului termic, 3-retur apă, 4-tur apă, 5-focar, 6-manta centrală, 7-coș evacuare gaze

Tab. 5.4. Punctele de măsurare

Numărul punctului de măsurare	Locația	Mărimea măsurată	Unitatea de măsură
P1	La ieșirea coșului de evacuare din camera tehnică (5 ml)	Temperatura exterioară a coșului	°C
P2	În interiorul coșului, la 4ml de la ieșirea din centrală	Temperatura interioară a coșului	°C
		Viteza gazelor	m/s
P3	La ieșirea din centrală	Temperatura exterioară a coșului	°C
		Gazele de ardere: O ₂ , CO, CO ₂ , NO, NO _x H ₂ S, HC,	% sau ppm, transformate în [mg/m ³ N]
P4	Manta	Temperatura exterioară a mantalei centralei	°C
P5	Manta	Temperatura interioară a mantalei centralei	°C
P6	Manta	Temperatura agentului termic la intrarea în schimbătorul 3	°C °C
P7	Focar	Temperatura din focar	°C
P8	La 1 m de centrală, pe țevile de circulație a apei	Temperatura apei din instalație (tur, retur)	°C
P9	La 1 m de centrală, pe țeava de tur de circulație a apei	Debitul pompei	m ³ /h

- s-a calculat volumul de apă din instalația de încălzire,
- s-a calculat spațiul încălzit (în special din camera tehnică) (figura 5.35 și Anexa 9),

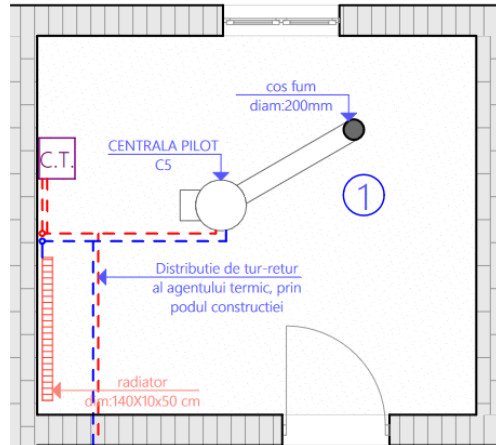


Fig. 5.35. Schița spațiului încălzit

- s-a determinat umiditatea materialului pentru fiecare experiment în parte (tabelul 5.3),
- s-a reglat debitul pompei de recirculare,
- s-a măsurat volumul focarului,
- s-au oprit cele două centrale pe gaz care asigurau încălzirea (s-a închis circuitul astfel încât apa să nu circule și prin acestea) și s-au deschis la maxim toate cele 10 calorifere.

Etapa 2. Realizarea efectivă a experimentului în care s-au realizat următoarele operații:

- s-a pornit centrala și s-a notat ora pornirii,

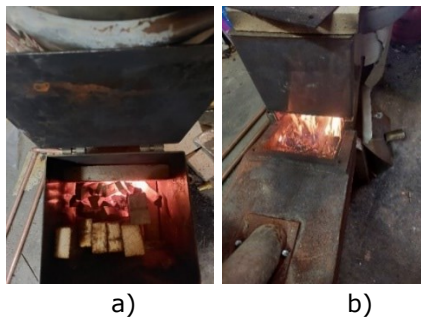


Fig. 5.36. Pornirea centralei: a) amestec rășinoase, b)peleți, [arhiva proprie]

- s-au notat datele de pornire: temperatură apă (tur și retur), temperaturi manta, temperatura din camera tehnică,

- s-a cântărit materialul pentru teste (biomasa aferentă probei) și s-a alimentat centrala cu materialul cântărit. Pentru fiecare experiment în parte materialul a fost pregătit, apoi cântărit înaintea fiecărei alimentări a centralei,

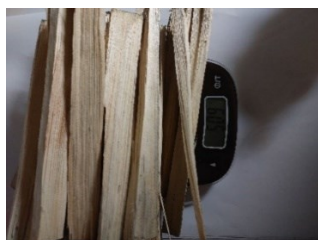


Fig. 5.37. Pregătirea și cântărirea probelor de material pentru realizarea experimentului, [arhiva proprie]

- s-au făcut măsurători la fiecare 10 minute, timp de 2 ore și jumătate, prima fiind la 10 minute de la pornirea centralei (Figura 5.37),
- s-au făcut și măsurători de gaze după o oră de la pornirea centralei.

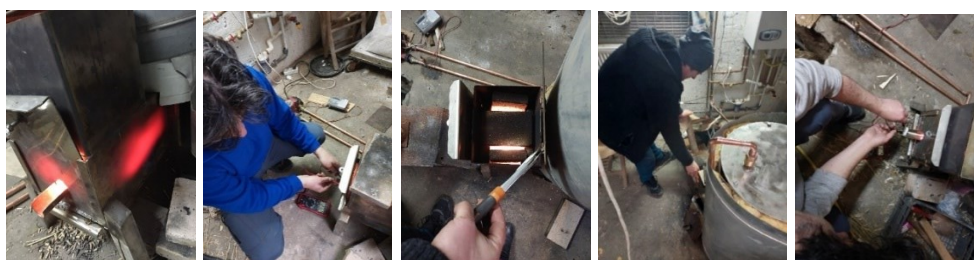


Fig. 5.38. Desfășurarea experimentelor de ardere, [arhiva proprie]

Etapa 3. Încheierea experimentului în care s-au realizat următoarele operații:

- s-a lăsat focul să se stingă și instalația să se răcească astfel încât apa din instalație să scadă sub 20 °C,
- s-a adunat cenușa rezultată atât cea din focar cât și cea zburătoare.

Observație: atunci când s-a realizat încă un experiment, s-a reluat procesul de la etapa 2, iar când nu s-a mai realizat încă un experiment, după stingerea focului s-a închis circuitul centralei pilot și s-au pornit cele două centrale pe gaz.

5.5. Rezultate experimentelor privind eficiența energetică a centralei pilot

În continuare se prezintă câteva dintre rezultatele experimentale privind eficiența energetică a centralei pilor, toate rezultatele regăsindu-se în Anexa 10.

În tabelul 5.5 se prezintă rezultatele privind temperatura apei din instalație.

Tab. 5.5.a. Temperatura agentului termic din instalație

Nr. crt	Proba 1=amestec rășinoase			Proba 2=Peleți 1 (70%stejar cu 30%brad)			Proba 3=Peleți 2 (30%brad cu 70%olid)		
	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]
1	40	34	6	41,41	28,91	12,5	27,35	26,41	0,94
2	48,11	31,2	16,91	43,5	30,12	13,38	27,45	25,28	2,17
3	48,53	32,38	16,15	45,05	32,11	12,94	27,91	24,06	3,85
4	55,45	37,84	17,61	45,98	33,52	12,46	33,07	29,92	3,15
5	58,17	38,94	19,23	52,24	34,46	17,78	37,15	25,87	11,28
6	60,53	40,16	20,37	56,33	34,68	21,65	43,91	28,38	15,53
7	50,8	39,96	10,84	47,5	33,14	14,36	43,76	32,2	11,56
8	51,79	37,59	14,2	41,07	34,89	6,18	52,21	34,25	17,96
9	56,16	37,7	18,46	39,42	32,51	6,91	49,66	36,69	12,97
10	60,42	40,74	19,68	42,77	32,07	10,7	51,11	36,17	14,94
11	59,89	41,13	18,76	41,92	32,54	9,38	52,51	36,28	16,23
12	59,1	40,44	18,66	42,26	32,38	9,88	53,07	36,98	16,09
13	59,76	41,29	18,47	55,36	33,06	22,3	52,75	35,95	16,8
14	58,48	41,28	17,2	59,93	34,2	25,73	55,61	35,03	20,58
15	55,51	40,73	14,78	49,4	36,38	13,02	50,63	36,7	13,93
16	53,3	41,19	12,11	49	35,95	13,05	47,48	35,5	11,98
17	53,1	41,24	11,86	48,9	35,61	13,29	50,04	39,15	10,89

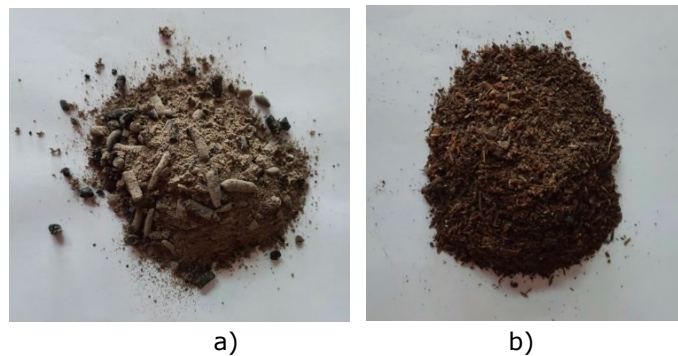
Tab. 5.5.b.Temperatura agentului termic din instalație (continuare)

Nr. crt	Proba 4= Carpen			Proba 5=Cânepă			Proba 6=Carpen cu focar mărit			Proba 7=Carpen cu focar mărit și umiditate mărită		
	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]
1	30,3	25,6	4,7	29	22,8	6,2	32,1	27,82	4,28	31,46	24,24	7,22
2	33,6	26	7,6	45,1	26,13	19,01	47,81	29,09	18,7	28,93	25,69	3,24
3	34	26,3	7,7	45	24,46	20,58	56,57	32,71	23,9	31,8	25,46	6,34
4	34,7	27,1	7,61	46,9	33,17	13,68	58,88	38,36	20,5	32,62	26,35	6,27
5	33,5	27,2	6,33	42,5	33,71	8,81	57,89	38,94	19	33,94	26,87	7,07
6	36,46	28,4	8,11	43,6	34,93	8,64	57,5	42,89	14,6	44,32	28,29	16,0
7	42,52	30	12,5	42,8	32,01	10,79	57,72	43,31	14,4	49,25	32,2	17,0
8	45,1	31,6	13,6	42,5	34,27	8,2	59,38	42,72	16,7	48	34,59	13,4
9	46,34	34,3	12	45	33,7	11,3	56,6	43,09	13,5	50,25	35,12	15,1
10	48,2	34,9	13,3	45,1	33,42	11,68	59,42	44,57	14,9	51,5	36,24	15,2
11	47,92	35,2	12,7	47,2	33,8	13,37	61,7	44,55	17,2	52,7	40,55	12,1
12	50,97	35,3	15,7	43,3	34,56	8,7	60,03	44,59	15,4	50,13	39,59	10,5
13	49,44	35,2	14,3	48,9	31,5	17,36	59,08	44,2	14,9	49,8	38,2	11,6
14	48,2	36,2	12,1	40,4	33,8	6,55	58,9	44,2	14,7	48,9	36,2	12,6
15	49	36,6	12,4	43,9	33,29	10,64	56,6	43,3	13,3	46,6	33,3	13,3
16	50,6	36,9	13,7	48,5	33,59	14,93	54,7	38,5	16,3	44,1	32,5	11,6
17	48,2	37,2	11	48	32,15	15,87	54,6	38,8	15,8	44,4	32,8	11,6

În tabelul 5.6 și figurile următoare se prezintă rezultatele privind cenușa rezultată în urma arderii.

Tab. 5.6. Cenușa rezultată

Numărul și denumirea probei	Material introdus [kg]	Cenușă focar [kg]	Cenușă zburătoare [kg]
Proba 1=amestec rășinoase	10,073	0,009	0,0005
Proba 2=Peleți 1 (70%stejar cu 30%brad)	9,318	0,025	0,002
Proba 3=Peleți 2 (70%brad cu 30%molid)	8,918	0,005	0,0005
Proba 4=Carpen	7,71	0,069	0,0005
Proba 5=Câneapă românească	12,408	0,116	0,004
Proba 6=Carpen cu focar mărit	7,895	0,081	0,011
Proba 7=Carpen cu focar mărit și umiditate mărită	10,875	0,09	0,012



a)

b)

Fig. 5.39. Cenușa rezultată în urma arderii probei P2: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie]



a)

b)

Fig. 5.40. Cenușa rezultată în urma arderii probei P1: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie]

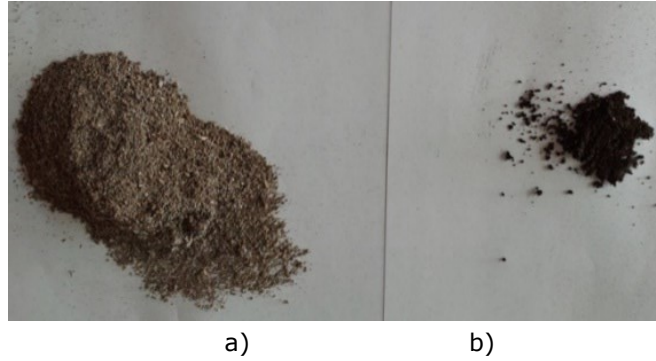


Fig. 5.41. Cenușa rezultată în urma arderii probei P2: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie]

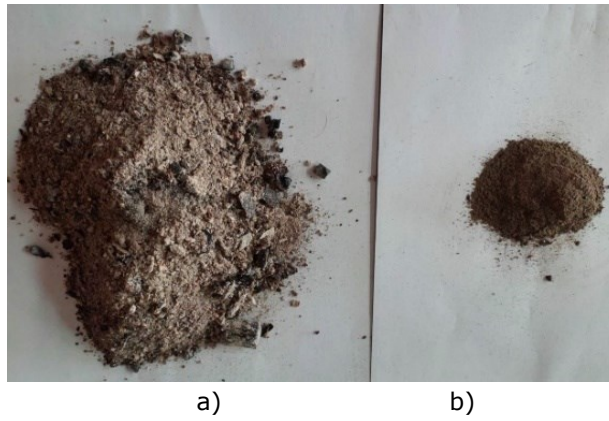


Fig. 5.42. Cenușa rezultată în urma arderii probei P4: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie]

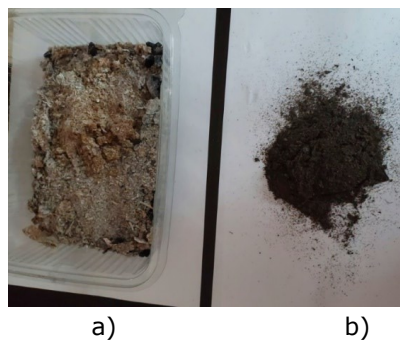


Fig. 5.43. Cenușa rezultată în urma arderii probei P5: a) din focar, b) din colectorul de cenușă zburătoare, [arhiva proprie]

În tabelul 5.7 se prezintă rezultatele privind viteza și temperatura gazelor de ardere.

Tab. 5.7.a. Temperatura și viteza gazelor de ardere

Nr. crt	Proba 1=amestec rășinoase		Proba 2=Peleți 1 (70%stejar cu 30%brad)		Proba 3=Peleți 2 (30%brad cu 70%olid)	
	Viteza [m/s]	Temperatura [°C]	Viteza [m/s]	Temperatura [°C]	Viteza [m/s]	Temperatura [°C]
1	2,4	20,2	2,4	22,7	1,95	22,1
2	2,6	27,6	2,62	30,2	2,07	29,2
3	2,91	31,2	2,85	36,1	2,26	38,6
4	2,4	28,5	2,86	39,8	3,17	56,7
5	2,68	31,5	2,8	42,2	3,44	61,7
6	2,69	28,1	2,85	55,6	3,54	77,8
7	2,29	25,5	3,26	61,6	3,44	84,7
8	2,5	30,1	2,26	48,5	3,94	87,9
9	2,45	29,3	2,16	47,2	2,88	73,8
10	3,02	33,3	2,68	63,8	3,15	72,5
11	2,55	33,4	2,26	46,7	3,02	72,9
12	2,85	37,4	2,95	53,6	3,25	68,8
13	2,91	37,1	2,37	58,6	3,86	81,9
14	2,25	35,3	3,09	83,4	3,81	78,2
15	2,54	37,3	2,72	69,5	3,75	86,9
16	2,51	34,3	2,87	68,2	3,72	85,1
17	2,48	33,5	2,76	67,9	3,42	68,9

Tab. 5.7.b. Temperatura și viteza gazelor de ardere (continuare)

Nr crt	Proba 4=Carpen		Proba 5=Cânepă		Proba 6=Carpen cu focar mărit		Proba 7=Carpen cu focar mărit și umiditate mărită	
	Viteza [m/s]	Temperatura [oC]	Viteza [m/s]	Temperatura [oC]	Viteza [m/s]	Temperatura [oC]	Viteza [m/s]	Temperatura [oC]
1		34,5	2,77	49	2,7	48,2	1,56	34
2	2,58	35,8	2,9	68,7	2,51	60,5	1,59	31,5
3	2,75	41,8	2,92	68,1	2,78	75,9	1,6	33,4
4	2,77	45,3	3,06	67,3	2,61	69,2	1,73	42,4
5	2,71	49,1	2,75	67	2,62	68,4	1,89	40,6
6	2,79	46,8	2,98	67,4	2,68	79,6	2,2	54,6

7	2,81	52	3,17	66,1	2,91	71,5	2,25	61,3
8	2,89	53,9	2,8	58,6	2,76	84	1,69	47,5
9	2,48	57,3	2,95	64,5	2,52	84,3	1,64	47,4
10	2,65	58,5	2,75	67,3	2,33	82,4	1,8	48,7
11	3,51	58,9	2,82	65,8	2,36	80,8	1,98	54,8
12	2,94	59,6	2,83	63,9	2,16	75,2	2,06	53,2
13	2,91	61,1	3,24	66,9	1,97	72	1,97	53,5
14	3,57	61,8	2,86	68,8	2,17	65,8	1,89	55,8
15	3,07	62	2,85	67	2,02	62,6	1,95	52,6
16	2,87	61,9	3,07	67,1	1,86	53,2	1,86	51,2
17	2,87	61,4	2,65	65,2	1,93	49,9	1,82	50,8

În tabelul 5.8 se prezintă rezultatele privind temperatura agentului termic în schimbătorul de căldură 3, pentru proba de carpen.

Tab. 5.8. Temperatura agentului termic în schimbătorul de căldură 3

Nr. crt.	Timp	Temperatura apei la intrarea în serpentina [oC]	Temperatura apei tur [oC]	Temperatura apei retur [oC]
1	10	33,5	44	36
2	20	32	46	37,21
3	30	42	52,29	41,32
4	40	44	56	42,95
5	50	43,2	57,8	43,78
6	60	46	56,71	43,53
7	70	46,5	56,67	43,22
8	80	47,6	55,6	43
9	90	47	57	43,3
10	100	48,2	59,85	42,14
11	110	48	58,75	42,1
12	120	48,7	59	42,57
13	130	48,5	59,49	43,2
14	140	48	58,2	43

5.6. Rezultate privind influența asupra mediului a gazelor de ardere

Influența asupra mediului a centralei termice s-a studiat pentru 2 din cele cinci prototipuri de centrală.

a) Centrala termică pilot nr. 4 (înainte de îmbunătățiri)

Pentru prototipul de centrală pilot nr. 4 măsurătorile au fost efectuate în data de 11.11.2018 la o temperatură a aerului de 18 °C, sonda analizorului TESTO a fost poziționată în coșul de fum la 4 ml de ieșirea din centrala termică prototip [114].

Tab. 5.9.a. Rezultatele arderii pentru prototipul 4

Nr. crt.	Tip combustibil	O ₂	CO	Temperatura gazelor	CO ₂	NO	NO ₂	NO _x	λ
		[%]	[ppm]	[°C]	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[-]
1	Amestec rășinoase	7,5	1905	181	13,1	267	0	267	1,56
2	Stejar uscat	13,5	268	175	7,2	114	0	114	2,8
3	Brad uscat	6,1	1159	166	14,4	135	0	135	1,41
4	Cânepa românească	15,5	1522	152	5,3	110	10	120	3,82
5	Peleti (Brad 30% + Fag 70%).	18,4	548,6	189	2,3	25	1	26	8,27

Tab. 5.9.b Rezultatele arderii (prelevări raportate la oxigenul de referință de 6% exprimate în mg/m³N) pentru prototipul 4

Tip combustibil	CO	NO _x	SO ₂	CO ₂	CO*	NO _x *	SO ₂ *	CO ₂ *
	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[g/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[g/m ³ N]
Amestec rășinoase	2381,25	548,02	0,00	257,26	2645,83	608,91	0,00	285,85
Stejar uscat	335,00	233,99	0,00	141,39	670,00	467,97	0,00	282,80
Brad uscat	1448,75	277,09	0,00	282,79	1458,47	278,95	0,00	284,69
Cânepa românească	1902,50	246,30	0,00	104,08	5188,64	671,73	0,00	283,87
Peleti (Brad 30% + Fag 70%).	685,75	53,37	0,00	45,17	3956,25	307,88	0,00	260,59

b) Pentru prototipul de centrală pilot numărul 4 (cu îmbunătățiri)

Măsurătorile au fost efectuate în perioada 12 - 19.11.2021, sonda analizorului TESTO a fost poziționată în coșul de fum la 4 ml de ieșirea din centrala termică prototip. Combustibilul folosit pentru comparația proceselor de ardere a fost format din peleți (Brad 30% + Fag 70%).

Tab. 5.10.a. Rezultatele arderii (prelevări directe) pentru prototipul 4

Nr. crt	tgc	O ₂	CO	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂	Wg	λ
	[°C]	[%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[ppm]	[ppm]	[m/s]	[-]
1	187,2	18,37	555	25	2	27	0	2,21	0	214	1,01	8,22
2	188,1	18,49	540	24	2	26	0	2,3	0	206	1,20	8,49
3	188,6	18,4	537	26	1	27	0	2,35	0	206	1,11	8,13
4	189,7	18,42	524	26	1	27	0	2,32	0	206	1,02	8,16
5	189,3	18,43	519	25	2	27	0	2,31	0	196	1,15	8,24
6	189,9	18,41	568	25	1	26	0	2,29	0	204	1,01	8,22
7	189,2	18,45	568	25	1	26	0	2,3	0	209	0,96	8,27
8	189,3	18,52	565	26	2	28	0	2,29	0	212	1,12	8,29
9	190,3	18,44	556	26	1	27	0	2,3	0	213	1,09	8,27
10	190,9	18,49	554	25	2	27	0	2,24	0	216	1,16	8,45
M	189,25	18,44	548,6	25,3	1,5	26,8	0,0	2,29	0,0	208,2	1,08	8,27

Tab. 5.10.b Rezultatele arderii (prelevări raportate la oxigenul de referință de 6% exprimate în mg/m³N) pentru prototipul 4

Nr. crt	CO	NO _x	SO ₂	CO ₂	CmHn	CO*	NO _x *	SO ₂ *	CO ₂ *	CH ₄ *
	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]	[mg/m ³ N]
1	693.75	55.42	0.00	43.40	0.00	3956.75	316.07	0.00	247.54	0.00
2	675.00	53.37	0.00	45.17	0.00	4033.86	318.91	0.00	269.93	0.00
3	671.25	55.42	0.00	46.15	0.00	3872.60	319.72	0.00	266.25	0.00
4	655.00	55.42	0.00	45.56	0.00	3808.14	322.19	0.00	264.89	0.00
5	648.75	55.42	0.00	45.36	0.00	3786.48	323.45	0.00	264.78	0.00
6	710.00	53.37	0.00	44.97	0.00	4111.97	309.06	0.00	260.46	0.00
7	710.00	53.37	0.00	45.17	0.00	4176.47	313.91	0.00	265.70	0.00
8	706.25	57.47	0.00	44.97	0.00	4271.67	347.60	0.00	272.01	0.00
9	695.00	55.42	0.00	45.17	0.00	4072.27	324.71	0.00	264.66	0.00
10	692.50	55.42	0.00	43.99	0.00	4138.45	331.18	0.00	262.89	0.00
M	685.75	55.01	0.00	44.99	0.00	4021.21	322.56	0.00	263.83	0.00

*) raportat la O₂ref = 6%

c) Pentru prototipul de centrală termică numărul 5

După finalizarea modificărilor succesive aduse prototipului de centrală termică, din luna ianuarie până în luna octombrie 2022, în perioada 05.11-11.11.2022 s-au reluat măsurătorile (o șarjă pe zi, timp de 3 ore) și s-au înregistrat următoarele date din tabelul 5.11, raportate la oxigenul de referință de 6% exprimate în $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$, pentru prototipul final al centralei.

Sonda analizorului TESTO a fost poziționată în coșul de fum la 4 ml de ieșirea din centrala termică prototip. Combustibilul folosit pentru comparația proceselor de ardere a fost format din peleți (Brad 30% + Fag 70%).

Tab. 5.11. Rezultatele arderii (prelevări raportate la oxigenul de referință de 6% exprimate în $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$) pentru prototipul 5

Nr. crt	CO	NOx	SO ₂	CO ₂	C _m H _n	CO*	NOx*	SO ₂ *	CO ₂ *	CH ₄ *
	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]	[$\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$]
1	344.03	51.65	0	43.39	0	1962.15	294.58	0	247.49	0
2	334.73	49.74	0	45.16	0	2000.39	297.22	0	269.88	0
3	332.87	51.65	0	46.14	0	1920.42	297.98	0	266.20	0
4	324.81	51.65	0	45.55	0	1888.46	300.28	0	264.84	0
5	321.72	51.65	0	45.35	0	1877.72	301.46	0	264.73	0
6	352.09	49.74	0	44.96	0	2039.13	288.04	0	260.41	0
7	352.09	49.74	0	45.16	0	2071.11	292.56	0	265.65	0
8	350.23	53.56	0	44.96	0	2118.32	323.96	0	271.96	0
9	344.65	51.65	0	45.16	0	2019.44	302.63	0	264.61	0
10	343.41	51.65	0	43.98	0	2052.26	308.66	0	262.84	0
Media	340.06	51.27	0	44.98	0	1994.12	300.63	0	263.78	0

Toate datele rezultate în urma determinărilor experimentale pentru materiile prime alese:

P1 Proba 1=amestec rășinoase,

P2 Proba 2=peleți stejar cu brad,

P3 Proba 3=peleți conifere,

P4 Proba 4=carpen,

P5 Proba 5=câneapă românească,

P6 Proba 6=carpen cu focar mărit și surplus de aer,

P7 Proba 7= carpen cu focar mărit și surplus de aer și umiditate mărită

au fost colectate în tabele de forma:

Nr crt	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
	[kWh/kg]	[%]	[m ³ /h]	[m ³]	[m ³ /h]	[min]	[°C]	[kWh/kg]	[%]	[%]	[°C]	[°C]

unde X_i reprezintă date de intrare, iar Y_i sunt date de ieșire, iar semnificația lor și unitățile de măsură aferente sunt:

X1-energia combustibilului introdus (depinde de puterea calorifică inferioară a combustibilului și de masa combustibilului) [kWh/kg],

X2-umiditatea combustibilului [%],

X3-debitul pompei de recirculare a agentului termic (apă) [m³/h],

X4-volumul focarului [m³],

X5-fluxul de aer dat de ventilatorul (utilizat doar pentru arderea de peleți) cu puterea de 13W, flux aer 120 [m³/h],

X6-timpul desfășurat de la începutul experimentului [minute]. Acesta variază între 0 (momentul demarării experimentului) și 170. Măsurătorile s-au desfășurat din 10 în 10 minute, timp de 3 ore, prima și ultima valoare ($X_6=0$ și $X_6=180$) nefiind înregistrate (pornirea, respectiv oprirea centralei termice),

Y1-diferența de temperatură dintre tur și retur [°C],

Y2-energia termică produsă de centrală [kWh/kg] (depinde de X_3 și Y_1),

Y3-concentrația de CO [%],

Y4-cantitatea de cenușă reziduală (cenușa din focar împreună cu cenușa zburătoare) [%],

Y5-temperatura gazelor de ardere la ieșire [°C],

Y6-temperatura în focar.

Aceste date colectate în urma experimentelor (Anexa 10) vor fi analizate în capitolul următor, urmând a fi stabilite relații funcționale între datele de intrare și datele de ieșire.

5.7. Concluzii parțiale

Pe lângă optimizarea liniei de fabricație peleți descrisă în capitolul 3 și realizarea centralei pilot descrisă în capitolul 4, 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 și s-au montat/pregătit echipamentele, instrumentele și aparatele de măsură.

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

Rămâne deschisă cercetarea privind:

- modificări aduse automatizării pentru arderea peleților astfel încât să poată conduce și arderea măcinăturii de biomasă, ținând cont de faptul că peletizarea este o operație energofagă,
- transformarea centralei pilot 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 peleți (soluția 2 din lucrarea [113]).

6. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

6.1. Preliminarii

Obiectivul principal al acestui capitol îl constituie prelucrarea efectivă a rezultatelor din capitolul anterior și interpretarea acestora.

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.

Pentru atingerea acestor obiective s-a plecat de la sistematizarea bazelor de date din capitolul anterior. Pe lângă rezultatele din capitolul anterior se va folosi baza de date împreună cu formula de regresie pe care o vom determina pentru calculul puterii calorifice inferioare.

Se va antrena o rețea neuronală pentru determinarea compoziției elementale a unui combustibil solid dacă se cunoaște umiditatea acestuia, cenușa reziduală rezultată în urma arderii (în procente masice) și puterea calorifică (în MJ/kg).

Totodată se va simula procesul de curgere și transfer termic în schimbătorul de căldură al centralei termice.

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 capitolul 5 a fost realizată o bază de date care conține materii prime combustibile. Aceasta a fost realizată folosind atât determinări proprii, cât și determinări existente în literatura de specialitate [56], [57], [39], [132].

Datele au fost colectate într-un tabel de forma de mai jos, care are 84 intrări și care va fi anexat prezentei lucrări.

Denumire material	Umiditate [%]	Cenușa [%]	Puterea calorifică [kJ/kg]	N [%]	C [%]	S [%]	H [%]	O [%]
Brichete	5,84	0,08	18498	1,24	46,74	0,1	6,39	45,52

Aceste date au fost prelucrate în două moduri:

- cu Statgraphics, pentru a determina noi ecuații pentru puterea calorifică inferioară, cu precizie mai bună,

- cu Matlab, pentru a determina o rețea neuronală care să lege puterea calorifică, cenușa și umiditatea unui material (cantități care pot fi determinate destul de ușor) de compoziția sa elementală, și, în final, de cantitatea de noxe pe care arderea materiei prime respective o emite în atmosferă.

Baza de date rezultate în urma experimentelor din capitolul 5 (Anexa 10) a fost sistematizată și apoi rezultatele au fost analizate cu Statgraphics pentru a determina relații funcționale între variabilele de intrare și cele de ieșire și, în consecință, proprietăți teoretice ale variabilelor de ieșire. S-au prelucrat datele cu Statgraphics și pentru a determina noi ecuații pentru puterea calorifică inferioară, cu precizie mai bună.

6.2. Prelucrarea datelor folosind Statgraphics

6.2.1. Tehnici de prelucrare folosind Statgraphics

Statgraphics Centurion [147] este un software statistic utilizat pentru analiza de date, proiectare experimentală și modelare care a fost dezvoltat de firma StatPoint Technologies. Acesta include o varietate de instrumente pentru analiza de date, cum ar fi analiza de regresie, analiza de varianță, analiza de cluster și analiza de serii temporale.

Acesta este un software performant și versatil, care poate fi aplicat în diferite domenii, inclusiv inginerie, economie, științe sociale și naturale. Statgraphics este recomandat pentru utilizatorii care doresc o analiză statistică de înaltă precizie și o prezentare clară a rezultatelor.

Datele care urmează a fi analizate cu Statgraphics Centurion, trebuie introduse în "Data Book", organizat similar unei foi de lucru din Excel (fiecare coloană corespunde unei anumite informații de analizat care poate fi de tip numeric, de tip caracter, întreg, formule de calcul etc.). În cadrul aceluiași program Statgraphics,

unui fișier cu date de intrare i se pot aplica mai multe tipuri de analize, în funcție de cerințe.

Analiza de tip regresie multiplă din Statgraphics [146] poate fi realizată prin următoarele etape:

a) Pre-procesarea datelor: setul de date este importat în Statgraphics și verificat pentru a se asigura că este curat și pregătit pentru analiză (figura 6.1),

	Denumire romana	Densitate	Cantitatea	Puterea calorifică	B	C	S	H	D	Col
1	Bricete	5.84	0.08	18498	1.24	44.74	0.1	6.39	45.52	
2	Așchii de crengi	11.1	7.4	17381	0.76	45.45	1.99	5.75	45.84	
3	Pellete din frunze	6.2	3.2	18147	0.4	42.24	0.27	4.81	52.27	
4	Așchii de pin	10.25	0.4	18427	0.09	48.15	0.28	5.59	45.9	
5	Coșuri de pin	9.14	1.3	18633	0.27	47.45	0.44	5.43	44.21	
6	Coaja de seminte	6.33	2.7	18993	0.31	47.31	0.4	4.9	44.28	
7	Pellete de pin	6.75	1.3	18840	0.28	44.83	0.31	5.3	47.28	
8	Coșuri de pin	23.1	3.5	14440	0.29	42.22	0.84	5.84	51.59	
9	Musegus	11.3	1.4	18016	0.53	45.34	1.07	6.02	47.05	
10	Pellete de paie (la)	7.3	9.8	14584	0.56	47.89	0.17	5.51	45.87	
11	Carbone vegetal	5.29	5.9	29712	0.45	79.34	0.3	2.74	14.97	
12	Chipseuri de suguri	22	9.7	14631	0.41	40.15	0.31	5.02	53.91	
13	Așchii de lemn	25.4	1.5	15142	0.13	42.2	0.27	5.51	51.88	
14	Pellete de lemn	7.7	1.3	18218	0.4	44.79	0.32	6.13	44.15	
15	Pellete de lemn 1	9.59	2.29	17825	0.11	43.577	0.013	6.21	43.788	
16	Pellete de lemn 2	7.94	0.23	17725	0.08	35.043	0.324	6.08	43.012	
17	Pin tulpina fara	41.4	0.32	18604	0.1	49.9	0.005	6.53	43.445	
18	Amețec rașinoase	24.2	0.32	19382	0.14	51.2	0.005	6.13	42.525	
19	Brad tulpina fara	24.21	0.31	17799	0.14	51.2	0.005	6.13	42.525	
20	Fag fara coaja	14.4	0.74	17677	0.19	49.8	0.005	6.32	43.685	

Fig. 6.1. Pre-procesarea datelor

b) Crearea modelului: sunt selectate variabila dependentă, variabilele independente precum și funcția de regresie multiplă utilizată,

c) Verificarea modelului: modelul este verificat prin intermediul statisticilor R^2 , F și P -valoare, precum și prin intermediul graficelor de dispersie și reziduale (figura 6.2).

d) Analiza coeficienților: importanța fiecărei variabile independente este analizată prin intermediul coeficienților de regresie și p -valorilor (figura 6.2),

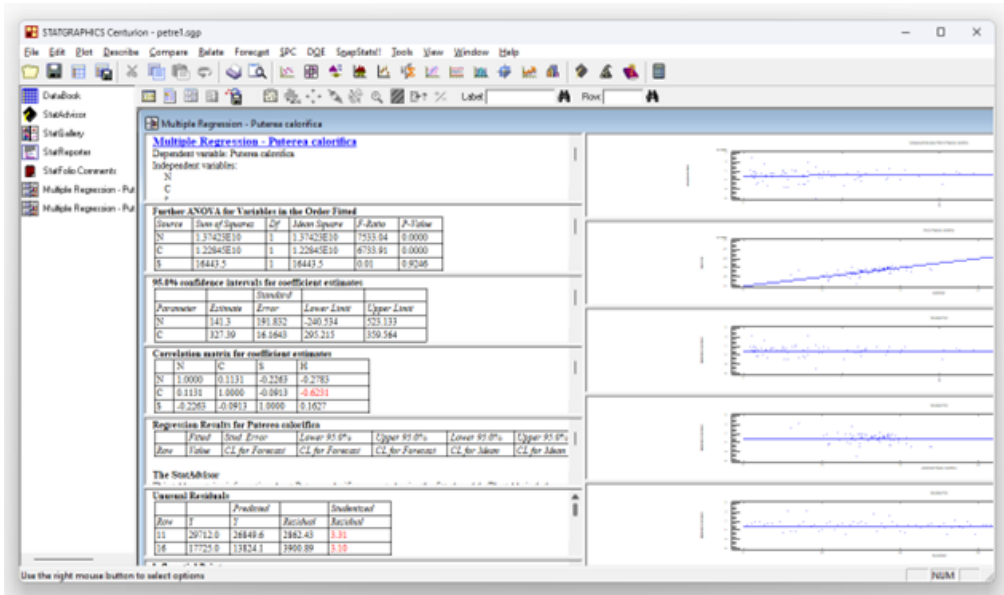


Fig. 6.2. Verificarea modelului și analiza coeficienților

e) Interpretarea rezultatelor: rezultatele sunt interpretate și sunt luate decizii cu privire la importanța variabilelor independente și relația acestora cu variabila dependentă,

f) Raportare: rezultatele analizei sunt prezentate într-un format clar și concis. Înainte de a interpreta rezultatele este necesar să se verifice ipotezele regresiei multiple și, dacă este necesar, să se ajusteze modelul.

6.2.2. Rezultate obținute cu Statgraphics

6.2.2.1. Rezultate obținute pentru determinările experimentale

Diferența de temperatură pentru agentul termic, apa (dintre tur și retur) notată cu Y1 în cazul a 7 probe de ardere este prezentată în figura 6.3. În general, această diferență de temperatură se situează în intervalul 5-20°C.

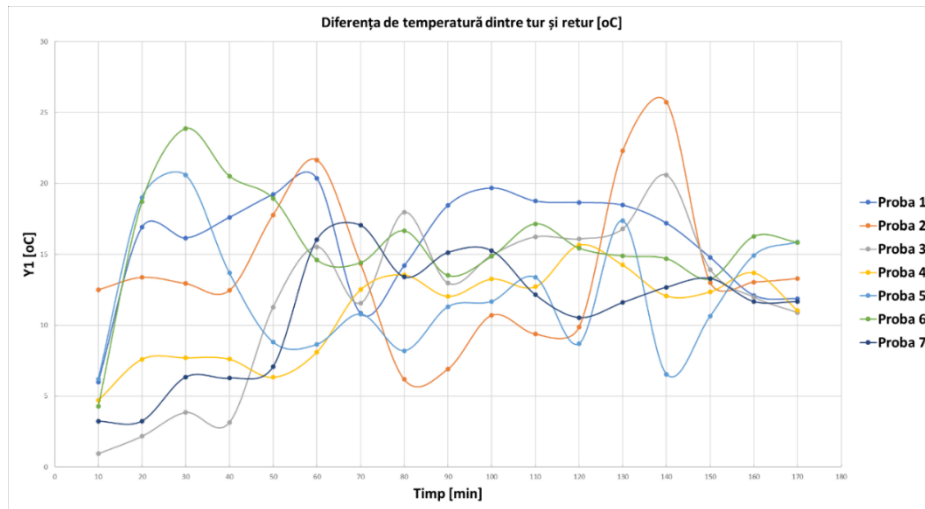


Fig. 6.3.a. Diferența de temperatură (Y1) pentru agentul termic (tur și retur) (°C) în funcție de timp (X6)

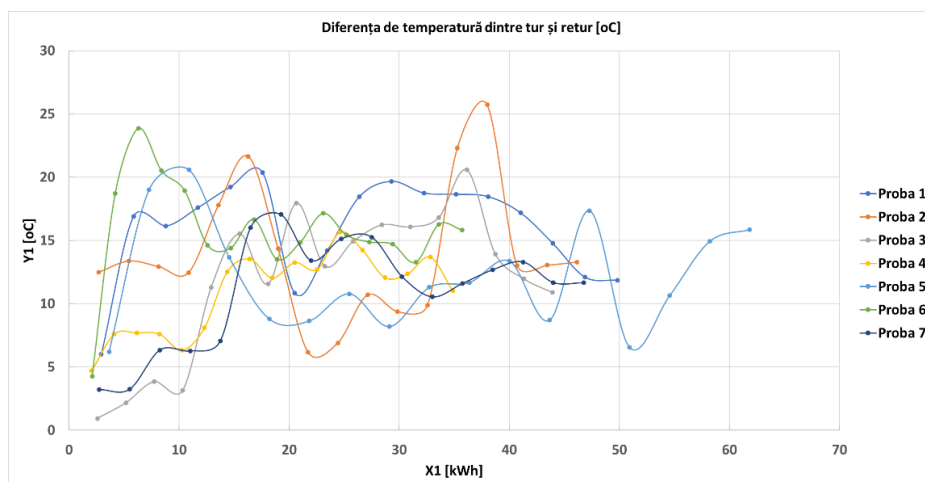


Fig. 6.3.b. Diferența de temperatură (Y1) pentru agentul termic (tur și retur) (°C) în funcție de energia combustibilului utilizat (X1)

Din analiza figurilor de mai sus reiese că nu avem o funcționare liniară a centralei, arderea fiind influențată de operator prin multiplele alimentări și de perioada de timp dintre alimentare și procesul de gazeificare a combustibilului. Din figură se observă că proba 6 (carpen) la care dimensiunea focarului este mărită și aer suplimentar în spatele focarului, atinge maximum în 30 minute de la aprinderea focului, comparativ cu proba 5 (câneță), care gazeifică la temperatură mai redusă.

Proba 2 (peleți fag+brad) și proba 3 (peleți molid+brad) ating maximum la 50 minute de la aprinderea focului. O altă concluzie care rezultă din aceste grafice se referă la arzătorul de peleți și anume că acesta nu asigură o ardere constantă, necesită îmbunătățiri constructive.

Deoarece pentru materialul combustibil carpen s-au realizat trei seturi de măsurători diferite (primul în aceleași condiții ca și în cazul celorlalte materii prime, al doilea în care s-a modificat volumul focarului, respectiv al treilea în care s-a modificat în plus și gradul de umiditate al materialului), s-au reprezentat grafic separat rezultatele obținute (figura 6.3.c și d).

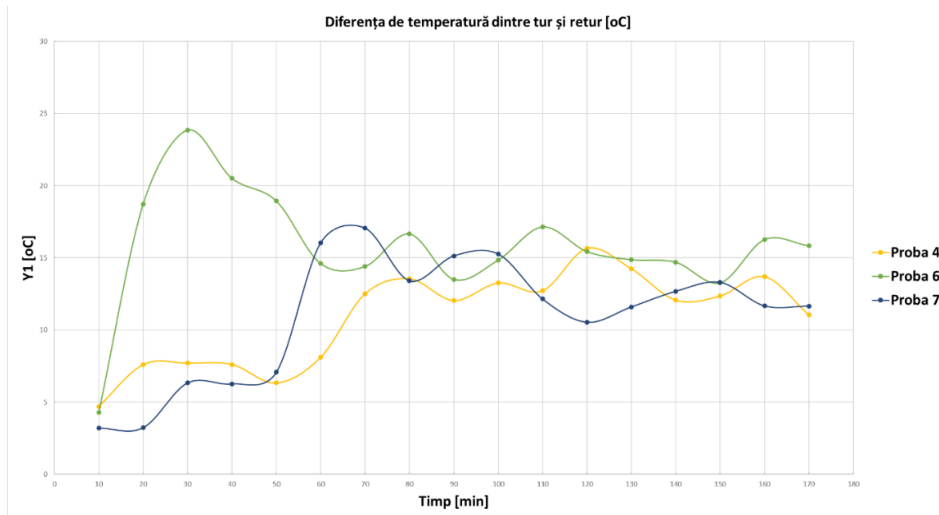


Fig. 6.3.c. Diferența de temperatură dintre tur și retur (°C) pentru carpen, în condiții diferite de ardere

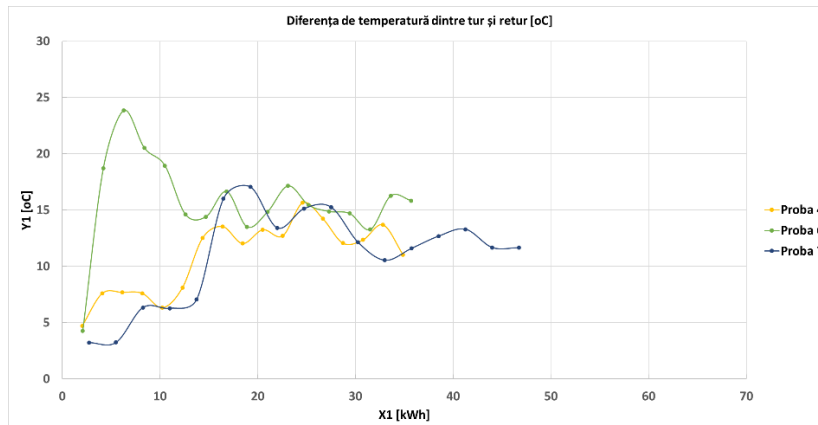


Fig. 6.3.d. Diferența de temperatură dintre tur și retur (°C) pentru carpen, în condiții diferite de ardere, funcție de energia combustibilului

Din analiza figurilor de mai sus reiese că rezultatele arderii cu un volum mărit al focarului și ajutorul aerului suplimentar sunt mai bune chiar dacă combustibilul a avut un procent în plus de umiditate la proba 7.

După aproximativ 60 minute de la aprinderea focului centrala ajunge la un regim stabil de funcționare, indiferent de secțiunea focarului sau de umiditatea combustibilului. Din punct de vedere al energiei materialului combustibil, rezultă că un singur procent de umiditate influențează considerabil atât timpul de intrare în parametri a centralei, cât și cantitatea de poluanți care se duc în atmosferă.

În figura 6.4 este reprezentată energia termică produsă de centrală (Y2), în kWh. Aceasta are un minim de 0,33 și un maxim de 8,98 kWh, cu o medie de 4,56 kWh generată în 10 minute.

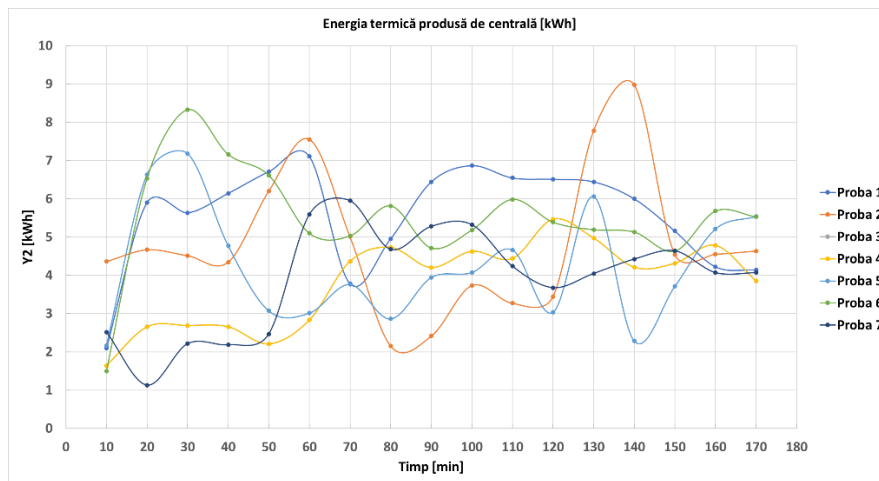


Fig. 6.4.a Energia termică produsă de centrală (kWh) funcție de timp

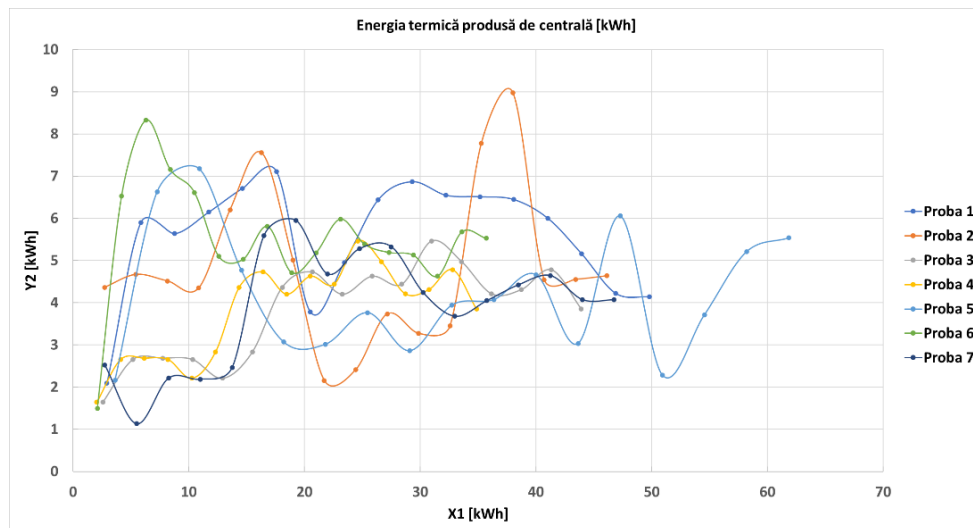


Fig. 6.4.b Energia termică produsă de centrală (kWh) funcție de energia introdusă

Din analiza figurilor de mai sus reiese că pentru proba 6 (carpen) centrala atinge maximum de producție energie termică la 30 minute de la aprinderea focului, proba 1 și 2 ating maximum la 60 de minute, proba 2 își depășește acest maxim la 130 de minute unde ne apropiem de 9 kWh în 10 minute.

Rezultatele obținute pentru carpen, ca și în cazul de mai sus, au fost reprezentate și separat în figura 6.4.c și d.

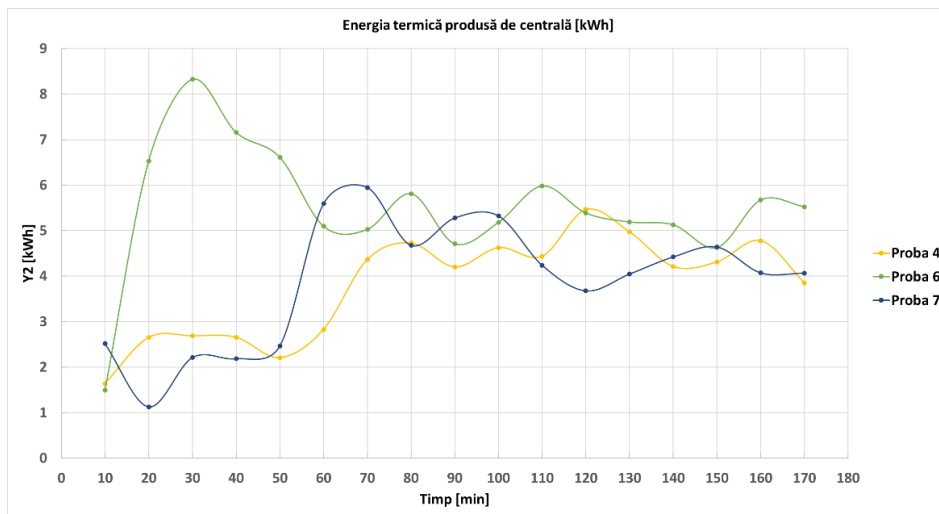


Fig. 6.4.c. Energia termică produsă de centrală (kWh) pentru carpen, în condiții diferite de ardere, în funcție de timp

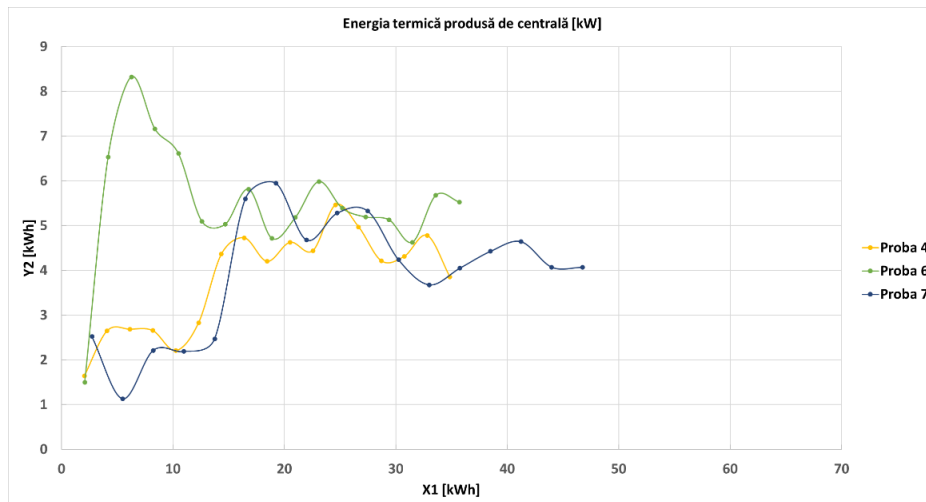


Fig. 6.4.d. Energia termică produsă de centrală (kWh) pentru carpen, în condiții diferite de ardere, în funcție de energia introdusă

Din analiza figurilor de mai sus s-a constatat că prin mărirea focarului se accelerează exponențial debitarea de energie termică a centralei (după 10 minute de la aprinderea focului) pentru aceeași umiditate a combustibilului, dar în același timp mărirea focarului nu reușește să grăbească procesul de evaporare al apei din combustibil. S-a constatat că pentru proba 4 (umiditate de 16,74%) și proba 7 (umiditate de 17,7% și focar mărit) creșterea exponențială apare abia după 50 de minute de la aprinderea focului. Concluzia care se poate trage de aici este că centrala are cel mai bun randament cu focarul mărit.

Temperatura gazelor de ardere la ieșirea (Y5) este prezentată în figura 6.5. Aceasta se situează în intervalul 20-90°C.

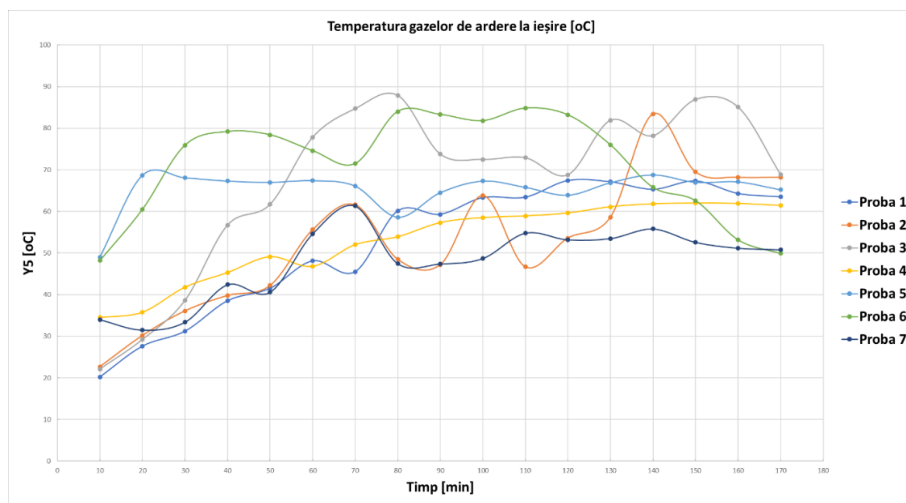


Fig. 6.5.a Temperatura gazelor de ardere la ieșire (°C), în funcție de timp

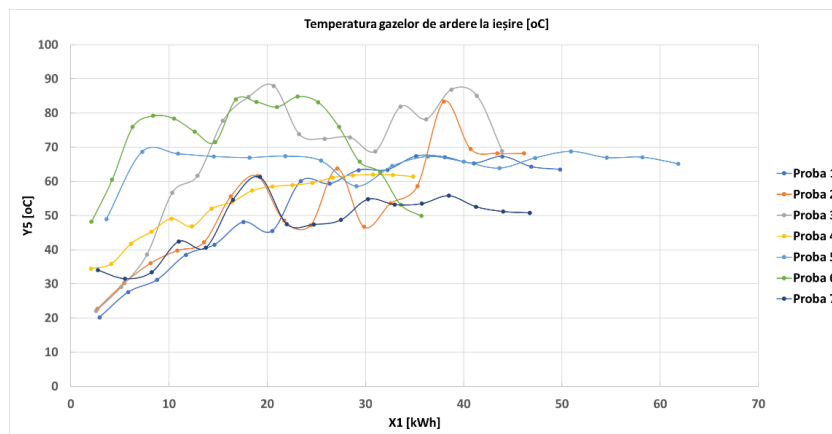


Fig. 6.5.b Temperatura gazelor de ardere la ieșire (°C), în funcție de energia introdusă

Din analiza figurilor de mai sus se constată că creșterea temperaturii gazelor de ardere la ieșirea din centrală depinde de viteza de gazeificare a combustibilului pentru aceeași secțiune a focarului. Valoarea maximă este atinsă la 20 minute de către cânepă (proba 5), apoi este depășită de către brad (proba 1) după 58 de minute.

Rezultatele obținute pentru carpen, ca și în cazul de mai sus, au fost reprezentate și separat în figura 6.5.c și d.

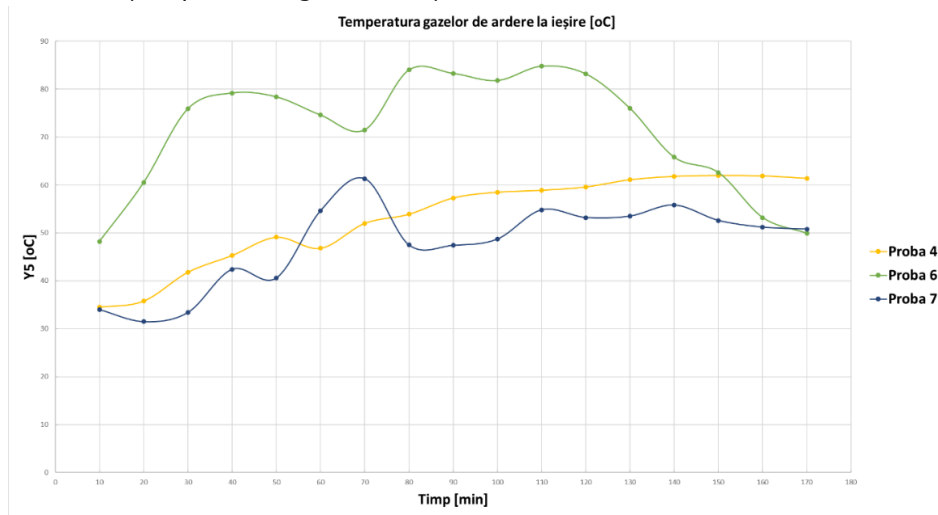


Fig. 6.5.c. Temperatura gazelor de ardere la ieșire (°C) pentru carpen, în condiții diferite de ardere, în funcție de timp

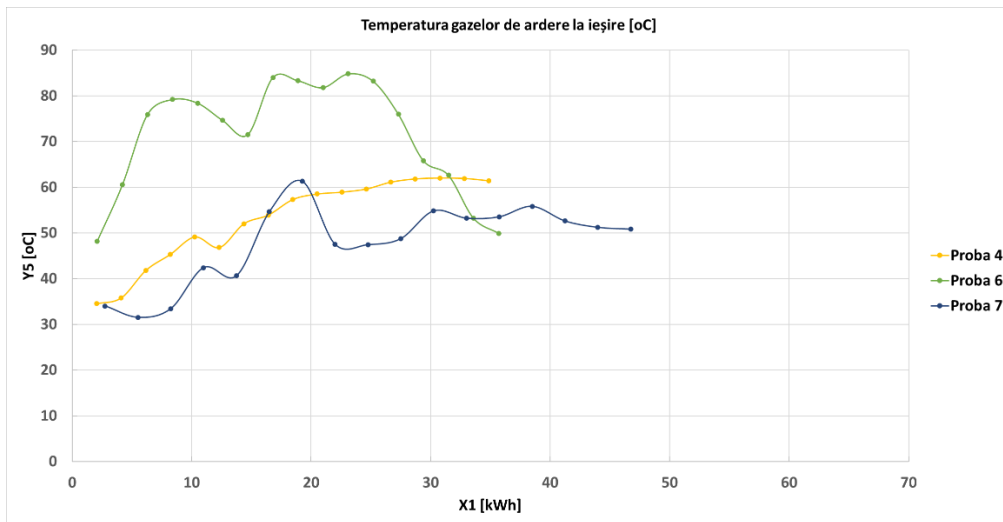


Fig. 6.5.d. Temperatura gazelor de ardere la ieșire (°C) pentru carpen, în condiții diferite de ardere, în funcție de energia introdusă

Din analiza figurilor de mai sus reiese că pierderea de căldură în atmosferă este superioară în cazul focarului mărit (proba 6). Analizând și din punct de vedere al vitezei de curgere a gazelor (1,85m/s la proba 7 și 2,4 m/s la proba 6), se confirmă și se întărește concluzia de mai sus (viteza mare de curgere a gazelor duce la reducerea transferului de la gaze către agentul termic).

Pentru probele 4, 6 și 7, s-a înregistrat, în plus, și temperatura în focar. Aceasta este prezentată în figura 6.6.

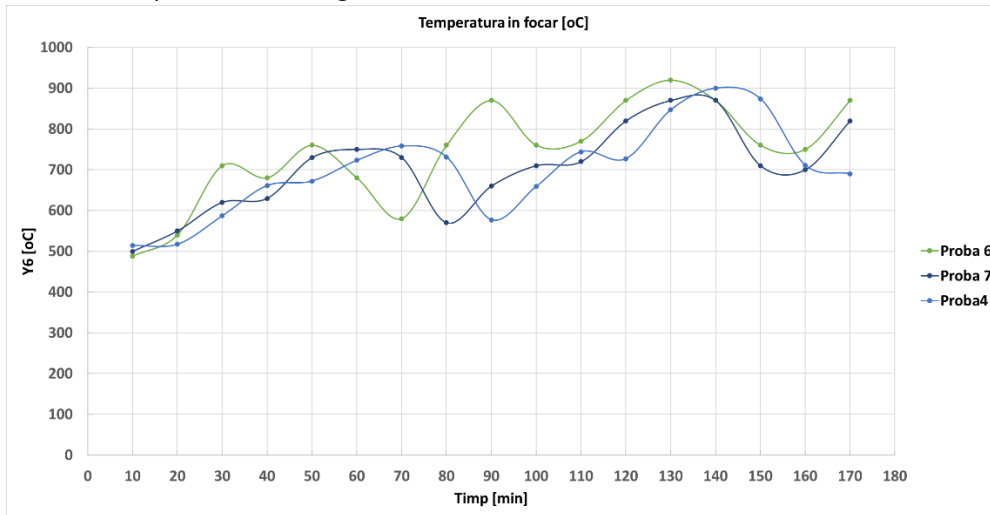


Fig. 6.6.a Temperatura în focar (°C) în funcție de timpul de ardere

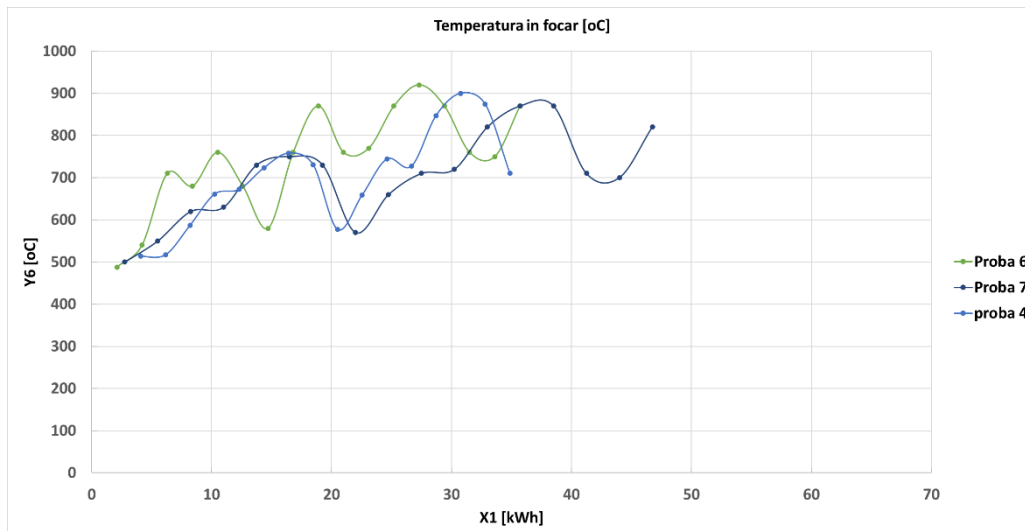


Fig. 6.6.b Temperatura în focar (°C) în funcție de energia intrată în sistem

Din analiza figurilor de mai sus în ceea ce privește temperatura din focar, pentru același combustibil, nu se constată diferențe considerabile (nici umiditatea combustibilului, nici secțiunea focarului).

6.2.2.2. Rezultate obținute în urma analizei dependențelor dintre variabilele cu variație semnificativă în timpul procesului

În continuare, am analizat folosind Statgraphics dependențele dintre variabilele de intrare și de ieșire cu variație semnificativă în timpul procesului.

Statisticile pentru variabile sunt prezentate în tabelele de mai jos, pentru intrări (X_i) și ieșiri (Y_i).

Tab. 6.1. Statisticile pentru variabile intrări (X_i)

Variabila	X1	X2	X3	X4	X6
Număr de valori analizate	34	34	34	34	34
Media	21,8233	17,24	1,4	0,015	90,0
Abaterea standard	12,5223	0,507519	0,406015	0	49,7265
Valoare minimă	57,3803%	2,94385%	29,0011%	0%	55,2517%
Valoare maximă	2,09993	16,74	1,0	0,015	10,0
Interval de valori	46,7447	17,74	1,8	0,015	170,0
Asimetrie standard	44,6448	1,0	0,8	0	160,0
Curtoză standard	0,440185	0	0	-2,49178	0
Variabila	-1,10959	-2,53406	-2,53406	-2,53406	-1,43695

Tab. 6.2. Statisticile pentru variabilele ieșiri (Y_i)

Variabila	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Număr de valori analizate	34	34	34	34	34	34
Media	13,4865	2,0901	574,333	1,0976	59,5941	723,471
Abaterea standard	4,54626	0,708893	213,835	0,0687181	15,8944	115,038
Valoare minimă	33,7098%	33,9167%	37,2318%	6,26076%	26,6711%	15,9009%
Valoare maximă	3,24	0,497764	363,667	1,0299	31,5	488,0
Interval de valori	23,86	3,56925	785,0	1,1653	84,8	920,0
Asimetrie standard	20,62	3,07148	421,333	0,1354	53,3	432,0
Curtoză standard	-0,962198	0,105525	0	0	0,333806	-0,802723
Variabila	0,452089	-0,023977	-2,53406	-2,53406	-1,23574	-0,647851

Aceasta indică corelații (și deci posibile relații de cauzalitate) între următoarele seturi de date, corelații care sunt reprezentate grafic în figura 6.7:

- X1 și X6
- X1 și Y2
- X1 și Y6
- X2 și X3
- X2 și Y1
- X2 și Y2

X2 și Y3
 X2 și Y4
 X2 și Y5
 X3 și Y1
 X3 și Y2
 X3 și Y3
 X3 și Y4
 X3 și Y5
 X6 și Y6
 Y1 și Y2
 Y1 și Y3
 Y1 și Y4
 Y1 și Y5
 Y1 și Y6
 Y2 și Y3
 Y2 și Y4
 Y3 și Y4
 Y3 și Y5
 Y4 și Y5
 Y5 și Y6

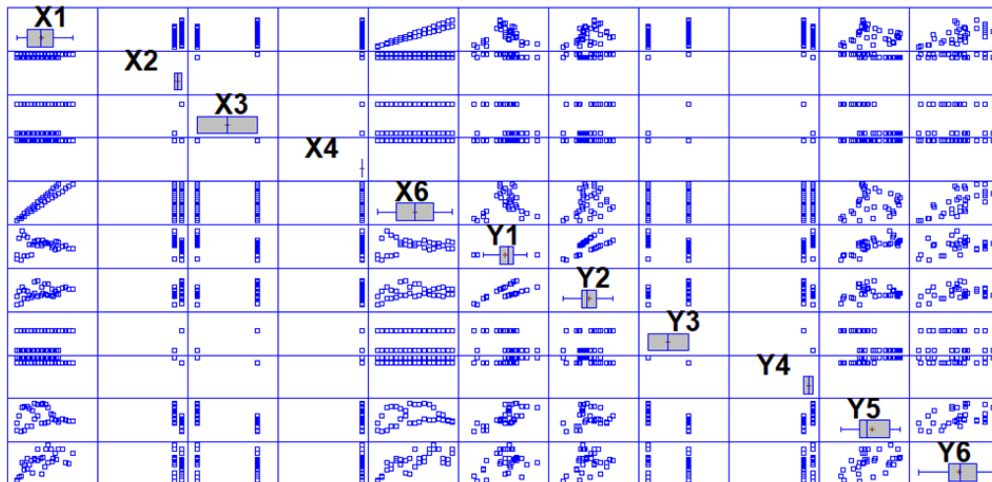


Fig. 6.7. Forma dependențelor dintre variabilele analizate

Din această cauză, am căutat să exprimăm variabilele de ieșire Y1, Y2, Y5, Y6 în funcție de variabilele de intrare X1, X2, X6, în forma unor regresii multiple neliniare. Pentru fiecare dintre ecuațiile obținute în continuare, am impus într-o primă fază un model care să conțină ca variabile independente X1, X2, X6, $X1 \cdot X2$, $X1 \cdot X6$, $X2 \cdot X6$, $X1^2$, $X2^2$, $X6^2$ și am eliminat din model acele variabile pentru care P-valoarea a fost mai mare decât 0,05.

a) Studiul variației diferenței de temperatură a agentului termic dintre tur și retur (Y1)

Prima ecuație se referă la variația lui Y1 (diferența de temperatură dintre tur și retur) în funcție de X1, X2 și X6:

$$Y1 = 0,53994 \cdot X1 + 1,40559 \cdot X2 - 0,0401162 \cdot X1 \cdot X2 + 0,00926796 \cdot X2 \cdot X6 - 0,0571069 \cdot X2^2 - 0,000561434 \cdot X6^2 \quad (6-1)$$

Pentru această ecuație, eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru sunt date în tabelul de mai jos.

Tab. 6.3. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația (6-1)

Parametrul	Coeficientul	Eroarea standard	P-Valoarea
X1	0,53994	0,15445	0,0007
X2	1,40559	0,349732	0,0001
X1*X2	-0,0401162	0,0107376	0,0003
X2*X6	0,00926796	0,00250378	0,0003
X2^2	-0,0571069	0,0202152	0,0056
X6^2	-0,000561434	0,000185846	0,0031

Statistica R² asociată acestei ecuații este de 90,5544%, ceea ce înseamnă că ecuația explică 90,5544% din variația lui Y1 în raport cu variabilele de intrare. Abaterea medie pătratică a estimării este de 3,35268.

Variabila Y1 atinge o valoare extremă atunci când derivatele parțiale ale acesteia sunt nule, adică:

$$\begin{aligned} 0,53994 - 0,0401162 \cdot X2 &= 0 \\ 1,40559 - 0,0401162 \cdot X1 + 0,00926796 \cdot X6 - 0,1142138 \cdot X2 &= 0 \\ 0,00926796 \cdot X2 - 0,001122868 \cdot X6 &= 0 \end{aligned} \quad (6-2)$$

Această condiție este îndeplinită atunci când X1 = 22,38330371, X2 = 13,45940044, X6 = 111,0915842. Valoarea maximă a lui Y1 va fi în acest caz 15,50201984.

Dacă se analizează și datele din baza de date, se confirmă că întreg sistemul de încălzire atinge un punct de medie, după 110 minute de la pornirea focului.

Pentru valoarea extremă a lui X2, dependența lui Y1 de X1 și X6 este prezentată în figura 6.8.

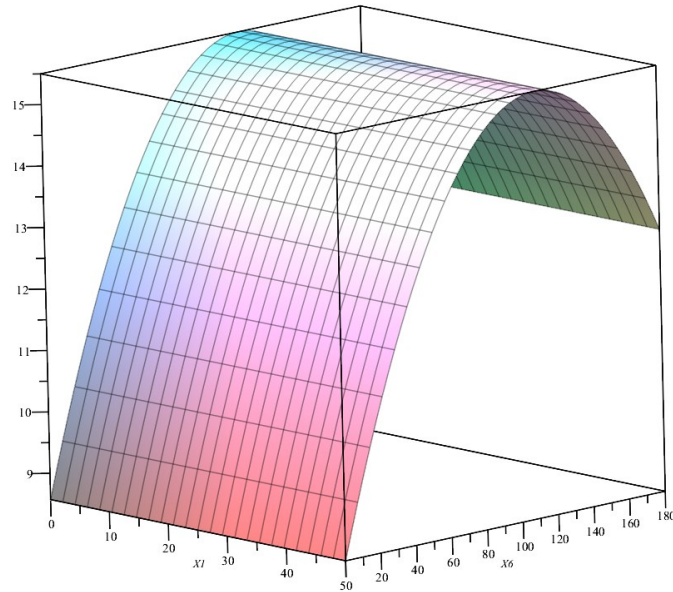


Fig. 6.8. Variația lui Y1 în funcție de X1 și X6, atunci când X2=13,45940044

b) Studiul variației energiei termice produsă de centrală (Y2)

A doua ecuație se referă la variația lui Y2 (energia termică produsă de centrală) în funcție de X1, X2, X6 și are expresia:

$$Y2 = 0,0489615 \cdot X1 + 0,329878 \cdot X2 - 0,00849139 \cdot X6 - 0,013235 \cdot X2^2 \quad (6-3)$$

Pentru această ecuație, eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru sunt date în tabelul de mai jos.

Tab. 6.4. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-2

Parametrul	Coefficientul	Eroarea standard	P-Valoarea
X1	0,0489615	0,0143399	0,0009
X2	0,329878	0,0354269	0,0000
X6	-0,00849139	0,00409517	0,0404
X2 ²	-0,013235	0,00192652	0,0000

Statistica R² indică faptul că acest model simplificat explică 89,6026% din variabilitatea lui Y2 în funcție de variabilele independente. Abaterea medie pătratică a estimării este de **0,592875**.

Funcția Y2 are o variație liniară în raport cu X1 și X6 și prezintă o valoare extremă în raport cu variabila independentă X2 atunci când

$$0,329878 - 0,026470 \cdot X2 = 0 \quad (6-4)$$

adică $X_2=12,46233472$.

Corespunzător acestei situații, valoarea maximă pentru funcția Y_2 este de 4,503600026 și se obține atunci când $X_1=50$, $X_2=12,46233472$ și $X_6=0$.

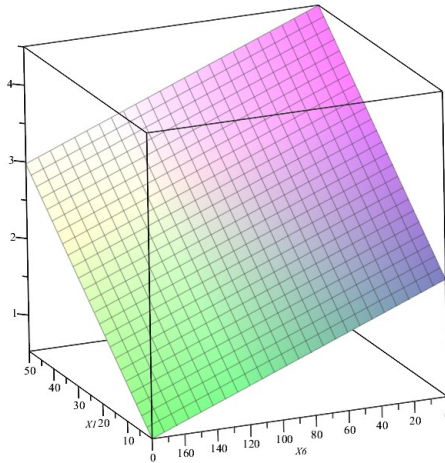


Fig. 6.9. Variația lui Y_2 în funcție de X_1 și X_6 , atunci când $X_2=12,46233472$

c) Studiul variației temperaturii gazelor de ardere la ieșirea din centrală (Y_5)

Variația lui Y_5 în funcție de variabilele independente X_1 , X_2 , X_6 este dată de relația:

$$Y_5 = -7,02429 \cdot X_1 + 2,2046 \cdot X_2 + 2,91893 \cdot X_6 + 0,356027 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0278506 \cdot X_1 \cdot X_6 - 0,125091 \cdot X_2 \cdot X_6 + 0,0652596 \cdot X_1^2 \quad (6-5)$$

Pentru această ecuație, eroarea standard și P-valoarea asociate fiecărui parametru sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tab. 6.5. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-5

Parametrul	Coeficientul	Eroarea standard	P-Valoarea
X_1	-7,02429	2,13976	0,0014
X_2	2,2046	0,219372	0,0000
X_6	2,91893	0,590283	0,0000
$X_1 \cdot X_2$	0,356027	0,125293	0,0053
$X_1 \cdot X_6$	-0,0278506	0,00538412	0,0000
$X_2 \cdot X_6$	-0,125091	0,0341593	0,0004
X_1^2	0,0652596	0,0173244	0,0003

Acest model explică 97,0898% din variabilitatea lui Y5 în funcție de variabilele independente, iar abaterea medie pătratică a estimării este de **7,97173**.

Pentru a determina valorile extreme ale funcției Y5, se pun condițiile ca derivatele parțiale ale lui Y5 în raport cu X1, X2, X6 să fie nule, adică:

$$\begin{aligned} -7,02429 + 0,356027 \cdot X2 - 0,0278506 \cdot X6 + 0,1305192 \cdot X1 &= 0 \\ 2,2046 + 0,356027 \cdot X1 - 0,125091 \cdot X6 &= 0 \\ 2,91893 - 0,0278506 \cdot X1 - 0,125091 \cdot X2 &= 0 \end{aligned} \quad (6-6)$$

Această situație corespunde soluției X1 = 28,29137730, X2 = 17,03558343, X6 = 98,14530371. Corespunzător acestui set de valori, Y5 = 62,6545400.

Pentru X2 = 17,03558343, variația lui Y5 în raport cu X1 și X6 este prezentată în figura 5.10. Se poate observa că valoarea lui Y5 pentru soluția X1 = 28,29137730, X2 = 17,03558343, X6 = 98,14530371 corespunde unui punct șa, de minim-maxim, așadar nu se poate vorbi despre o combinație de valori ale variabilelor de intrare (X1, X2, X6) pentru care variabila dependentă Y5 să aibă o valoare extremă.

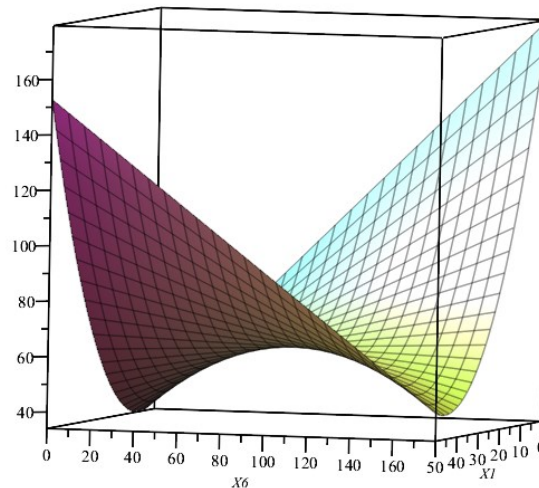


Fig. 6.10. Variația lui Y5 în funcție de X1 și X6, atunci când X2 = 17,03558343

d) Studiul variației temperaturii din focar (Y6)

Variația lui Y6 în funcție de variabilele independente este dată de relația:

$$Y6 = 32,9919 \cdot X2 + 1,70703 \cdot X6 \quad (6-7)$$

Eroarea standard și P-valoarea asociată fiecărui parametru sunt prezentate în Tabelul 6.6.

Tab. 6.6. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru pentru ecuația 6-7

Parametrul	Coeficientul	Eroarea standard	P-Valoarea
X2	32.9919	1.80476	0.0000
X6	1.70703	0.30377	0.0000

Acest model este un model simplificat, pornind de la analiza posibilității unei dependențe de ordinul 2 între Y6 și variabilele de intrare, de tipul

$$Y6 = f(X1, X2, X6, X1 \cdot X2, X1 \cdot X6, X2 \cdot X6, X1^2, X2^2, X6^2) \quad (6-8)$$

În urma determinării modelelor intermediare și a posibilității de simplificare a acestora prin eliminarea acelor variabile de intrare pentru care P-valoarea calculată depășește 0,05 (adică acele variabile de intrare care nu sunt semnificative la un nivel de încredere de 95%), s-a ajuns la modelul simplificat de mai sus. Acesta explică 98,6747% din variabilitatea lui Y6 în raport cu X2 și X6, iar abaterea medie pătratică aferentă este de **73,4159**.

Deoarece dependența lui Y6 de X2 și X6 este una liniară, Y6 va avea valoarea maximă atunci când X2 și X6 vor avea valori maxime (figura 6.11) Această valoare maximă, atinsă pentru X2 = 18 și X6 = 180 este 901,11960.

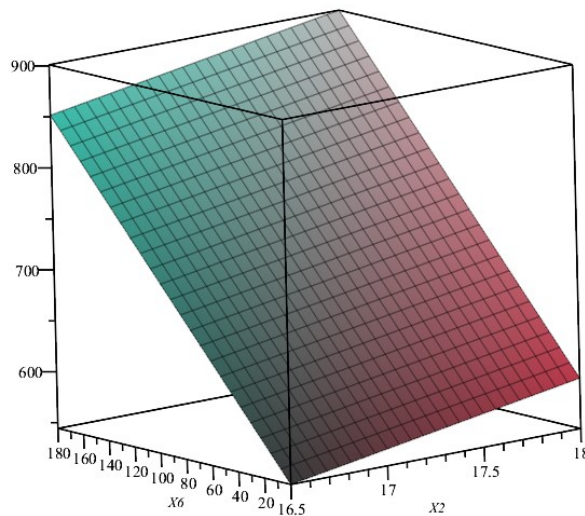


Fig. 6.11. Variația lui Y6 în funcție de X2 și X6

6.2.3. Determinarea ecuației de regresie pentru puterea calorică inferioară

Pe baza intrărilor din baza de date (Anexa 7) din capitolul 4, paragraful 4.2, privind parametrii de calitate ai biomasei, a fost determinată o relație între puterea calorică inferioară (în MJ/kg), pe de-o parte, și variabilele independente umiditate, N, C, S, H, O (în procente) pe de altă parte. Cu ajutorul Statgraphics, formula care dă puterea calorică inferioară în funcție de variabilele independente anterior menționate este:

$$\begin{aligned} \text{Puterea calorică} = & -39,5703 \cdot \text{Umiditate} + 100,365 \cdot N + 329,299 \cdot C - \\ & - 683,714 \cdot S - 74,1666 \cdot H + 78,4107 \cdot O \end{aligned} \quad (6-9)$$

Pentru acest model, statistica R^2 este de 99,4727%, ceea ce explică 99,4727% din variabilitatea puterii calorifice în funcție de parametrii umiditate, N, C, S, H, O. Eroarea standard și P-valoarea fiecărui parametru al ecuației de regresie sunt prezentate în tabelul următor. Chiar dacă P-valoarea în cazul parametrilor individuali este mai mare decât 0,05, am ales să nu eliminăm aceste variabile din ecuația pentru puterea calorică pentru a obține o ecuație similară cu ecuațiile clasice pentru puterea calorică.

Tab. 6.7. Eroarea standard și P-valoarea pentru ecuația 6-9

Parametrul	Coeficientul	Eroarea standard	P-Valoarea
Umiditate	-39,5703	21,8292	0,0737
N	100,365	190,459	0,5997
C	329,299	15,9701	0,0000
S	-683,714	449,222	0,1321
H	-74,1666	105,426	0,4838
O	78,4107	13,3933	0,0000

O reprezentare a puterii calorifice inferioare calculate (cu formula de regresie determinată) față de puterea calorică reală, este dată în figura de mai jos.

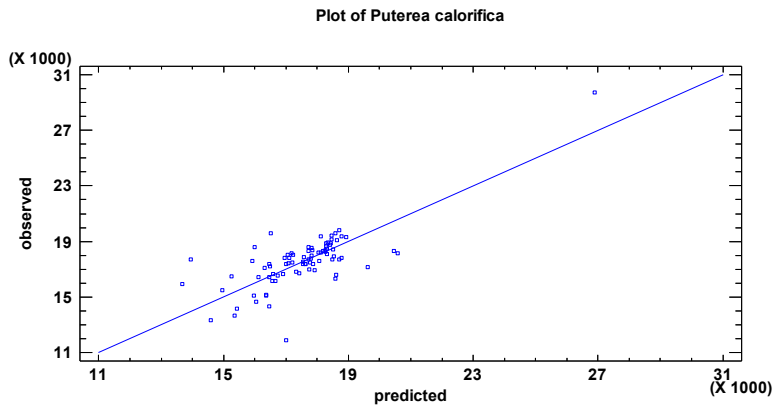


Fig. 6.12. Puterea calorifică inferioară calculată față de puterea calorifică inferioară reală

6.3. Prelucrarea datelor folosind MATLAB. Utilizarea inteligenței artificiale

6.3.1. Tehnici de prelucrare folosind MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) este un software de calcul matematic și tehnologic, care oferă un mediu integrat pentru analiza numerică, procesare de semnale, vizualizare de date și programare [35]. MATLAB conține un limbaj de programare propriu, precum și biblioteci de funcții specifice pentru aplicații precum procesarea imagisticii, analiza de date, proiectarea de sisteme și control, precum și multe altele. Acest software este larg utilizat în cercetare și educație, precum și în industrie pentru a rezolva probleme tehnice complexe.

Matlab oferă mai multe instrumente pentru crearea și antrenarea rețelelor neuronale:

- Function Fitting Toolbox: Această unealtă permite utilizatorului să își antreneze propriile rețele neuronale, să le valideze și să le ajusteze.
- Deep Learning Toolbox: Această unealtă oferă un set complet de instrumente pentru crearea, antrenarea și validarea rețelelor neuronale profunde, cum ar fi rețele neuronale cu propagare înainte, convoluționale sau recurente.
- Neural Network Toolbox: Această unealtă oferă instrumente pentru crearea, antrenarea și validarea rețelelor neuronale, inclusiv algoritmi de învățare cum ar fi retropropagare și rețele neuronale cu propagare înainte.

Pentru a utiliza aceste instrumente, utilizatorul trebuie să definească arhitectura rețelei neuronale, să pre-proceseze datele de antrenare și să configureze parametrii de antrenare. După antrenare, rețeaua poate fi evaluată prin intermediul mai multor metrici, cum ar fi precizia sau eroarea.

Etapele de lucru cu Neural Network Toolbox [99] în MATLAB sunt următoarele:

a) Pre-procesarea datelor: În această etapă, datele sunt curățate și pregătite pentru antrenarea rețelei neuronale.

b) Definierea arhitecturii rețelei: În această etapă, utilizatorul trebuie să definească numărul de straturi, numărul de neuroni per strat și tipul de funcție de activare utilizată pentru fiecare strat.

c) Antrenarea rețelei: În această etapă, rețeaua este antrenată folosind algoritmi de învățare precum retropropagare, fie prin intermediul unui set de date de antrenare, fie prin intermediul unui algoritm genetic.

d) Evaluarea rețelei: În această etapă, rețeaua este evaluată prin intermediul mai multor metrici, cum ar fi precizia sau eroarea, pe baza unui set de date de testare.

e) Folosirea rețelei: În această etapă, rețeaua poate fi folosită pentru a efectua preziceri sau clasificări pe baza datelor noi, neantrenate anterior.

6.3.2. Prelucrarea rezultatelor determinărilor experimentale pentru arderea în centrala pilot

Construirea unei rețele neuronale începe cu considerarea unor aspecte generale legate de parametrii procesului și tehnica de lucru. Arhitectura rețelei neuronale urmează a fi detaliată.

Calculul s-a realizat folosind Neural Network Toolbox din Matlab [99].

S-au utilizat 84 de seturi de date, fiecare conținând 8 elemente (3 intrări și 5 ieșiri). Setul a fost divizat în set de testare (58 seturi de date = 70% din intrări), set de validare (13 seturi de date = 15% din intrări), respectiv set de test (13 seturi de date = 15% din intrări).

Construirea unei rețele neurale implică mai multe etape: inițializarea parametrilor rețelei, crearea de conexiuni între straturi și antrenarea acesteia.

Inițializarea parametrilor rețelei presupune alegerea datelor de intrare și de ieșire dintr-o bază de date cunoscută, pe baza căreia se construiește rețeaua. Baza de date este împărțită în: date de antrenament, date de validare și date de testare, fără a exista reguli universale pentru realizarea acestei împărțiri. În practică, se folosesc adesea divizări de 60:20:20, 60:30:10 sau 70:15:15. Un strat ascuns este suficient pentru a aproxima funcții neliniare cu o acuratețe înaltă, însă acest fapt necesită folosirea unui număr mare de neuroni, și astfel se încetinește procesul de învățare. Uneori sunt mai eficiente rețelele cu două straturi ascunse, dar creșterea numărului de straturi nu duce la o creștere semnificativă a acurateței rețelei.

În acest caz, datele de intrare au fost împărțite aleator.

Rețeaua neuronală poate fi construită cu conexiuni diferite între straturile sale de neuroni. Există conexiuni standard, directe și fără feedback între intrări și ieșiri, conexiuni de salt prin care se pot asigna ponderi legăturilor dintre neuroni din straturi neadiacente și conexiuni multiple, atunci când neuronii din straturile ascunse modifică variabilele de intrare pentru a stabili ponderea conexiunii.

Funcțiile de transfer sau activare pot fi de mai multe tipuri și sunt caracterizate prin faptul că, aplicate intrărilor, duc la determinarea unui răspuns

specific al rețelei. Performanța rețelei poate fi evaluată prin eroarea sa, adică prin diferența dintre rezultatele previzionate de rețea și rezultatele cunoscute.

Antrenarea rețelei implică găsirea acelor ponderi care conduc la minimizarea erorii rețelei.

Eroarea poate fi exprimată prin intermediul erorii medii, erorii maxime sau a numărului de epoci în care eroarea nu s-a îmbunătățit. Antrenarea rețelei se încetează atunci când se ating valori prestabilite pentru indicatorii legați de eroare. Algoritmul Levenberg-Marquardt, folosit pentru antrenarea rețelei, are o rată globală de precizie de 99,966%. Precizia poate fi evaluată și prin intermediul dreptei de regresie, care arată corelația dintre ieșirile rețelei și ieșirile așteptate. Ideal ar fi ca panta acestei drepte să fie cât mai aproape de 1. Setul de date de intrare a fost împărțit într-un set de antrenare, un set de validare și un set de testare, în procentul 70:15:15.

Fiecare intrare este de tipul

Umiditate	Cenușa	Puterea calorifică
------------------	---------------	-------------------------------

și fiecare ieșire este de tipul

C	H	O	N	S
----------	----------	----------	----------	----------

Rețeaua neuronală este o funcție

$$y = f(x) \quad (6-10)$$

unde y este un vector cu 5 elemente corespunzător compoziției chimice elementare procentuale (C, H, O, N, S), iar x este un vector cu 3 elemente, corespunzător valorilor pentru umiditate (%), cenușa reziduală (%) și puterea calorifică inferioară (în MJ/kg)

Rețeaua neuronală, a cărei structură este prezentată în figura 6.13, are un strat de intrare, cu 3 neuroni, două straturi ascunse cu 10, respectiv 5 neuroni și un strat de ieșire cu 5 neuroni.

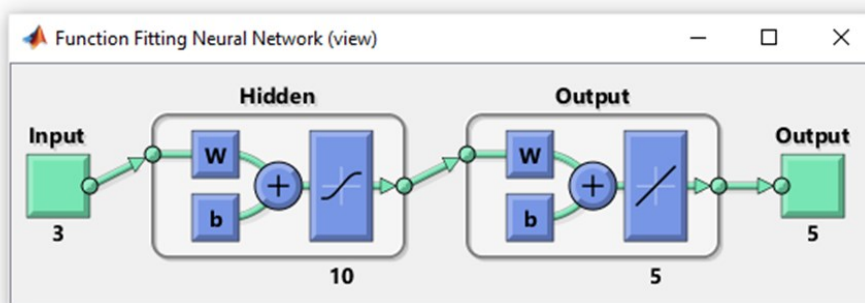


Fig. 6.13. Structura rețelei neuronale

Stratul ascuns este generat cu ajutorul unei funcții de tip sigmoid

$$a = \frac{2}{1+e^{-2n}} - 1 \quad (6-11)$$

care ia valori între -1 și 1, iar stratul de ieșire este generat cu ajutorul unei funcții de transfer liniare.

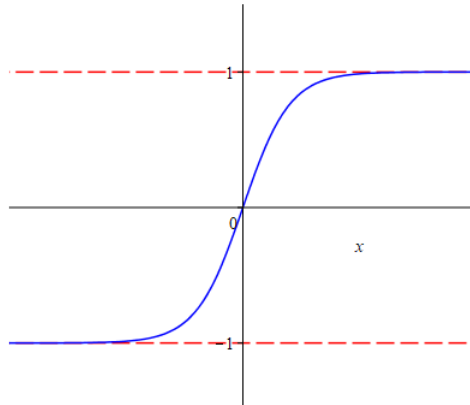


Fig. 6.14. Funcție de transfer de tip sigmoid

Antrenarea rețelei urmează acești pași:

Inițializarea ponderilor cu valori aleatorii

Repetarea procesului de antrenament, prin:

- Realizarea etapei forward prin aplicarea funcției de transfer asupra neuronilor din stratul de intrare

- Realizarea etapei backward

- Ajustarea ponderilor

- Recalcularea funcției de eroare

Procesul se oprește atunci când se atinge condiția de oprire.

Pentru algoritmul Levenberg-Marquardt, funcția de eroare este abaterea medie pătratică. Procesul de antrenare se va încheia dacă:

- A fost atins numărul maxim de epoci de antrenare,
- A fost atins timpul maxim de antrenare (în secunde),
- A fost atins obiectivul de minimizare pentru performanța rețelei (funcția de eroare),

- Gradientul funcției de eroare a scăzut sub o valoare minimă (`min_grad`),

- Rata de învățare μ a depășit o valoare maximă (`mu_max`),

- Funcția de eroare la validare a crescut consecutiv de mai mult de `max_fail`

ori.

Scriptul Matlab asociat acestei RNA are următoarea structură:

1. Introducerea datelor de intrare și de ieșire:

- `x = datain'`;

- `t = dataout'`;

2. Algoritmul de antrenare:

- `trainFcn = 'trainlm'`; % retropropagare Levenberg-Marquardt

3. Inițializarea RNA-ului

se specifică numărul de neuroni de pe stratul ascuns

- `hiddenLayerSize = 10;`
- se inițializează rețeaua
- `net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);`
- se specifică funcțiile de preprocesare și postprocesare ale rețelei:
- `net.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};`
 - `net.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};`
4. Diviziunea datelor pentru antrenare, validare, testare
 - `net.divideFcn = 'dividerand';`
 - `net.divideMode = 'sample';`
 - `net.divideParam.trainRatio = 70/100;`
 - `net.divideParam.valRatio = 15/100;`
 - `net.divideParam.testRatio = 15/100;`
 5. Specificarea funcției de eroare
 - `net.performFcn = 'mse';`
 6. Specificarea funcțiilor care vor fi reprezentate grafic
 - `net.plotFcns = {'plotperform','plottrainstate','ploterrhist', ...
'plotregression', 'plotfit'};`
 7. Antrenarea rețelei
 - `[net,tr] = train(net,x,t);`
 8. Testarea rețelei
 - `y = net(x);`
 - `e = gsubtract(t,y);`
 - `performance = perform(net,t,y)`
 9. Actualizarea funcției de eroare a rețelei (actualizarea performanței rețelei)
 - `trainTargets = t .* tr.trainMask{1};`
 - `valTargets = t .* tr.valMask{1};`
 - `testTargets = t .* tr.testMask{1};`
 - `trainPerformance = perform(net,trainTargets,y)`
 - `valPerformance = perform(net,valTargets,y)`
 - `testPerformance = perform(net,testTargets,y)`
 10. Vizualizarea rețelei
 - `view(net)`
 11. Reprezentări grafice
 - `figure, plotperform(tr)`
 - `figure, plottrainstate(tr)`
 - `figure, ploterrhist(e)`
 - `figure, plotregression(t,y)`
 12. Generarea funcției Matlab de antrenare a rețelei
 - `genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction');`
 - `y = myNeuralNetworkFunction(x);`

Datele de progres sunt prezentate în figura 6.15.

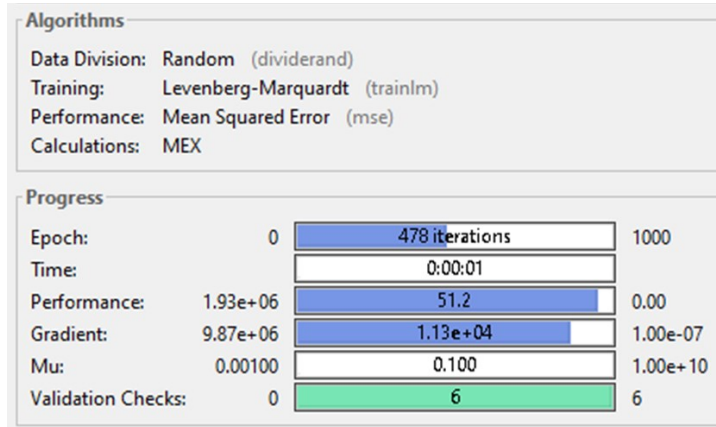


Fig. 6.15. Date de progres al antrenării rețelei neuronale

Figura 6.16 prezintă precizia rețelei: pentru etapa de antrenare, aceasta este de 0,99962, pentru etapa de validare este de 0,99985, iar pentru etapa de testare este de 0,94763. Precizia globală a rețelei este de **0,99966**.

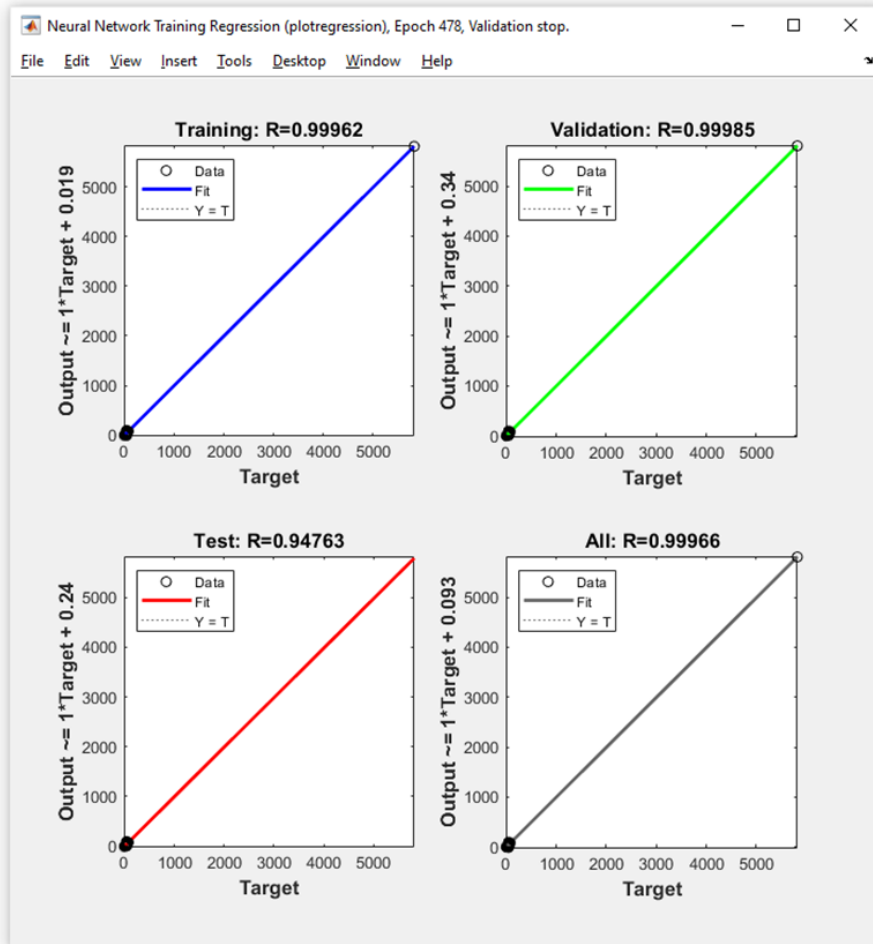


Fig. 6.16. Precizia rețelei

Algoritmul s-a oprit după 478 epoci de antrenare, atunci când valoarea funcției de eroare a crescut de 6 ori consecutiv. La această epocă, gradientul funcției eroare a fost 11278,2788, iar rata de învățare a fost 0,1 (figura 6.17).

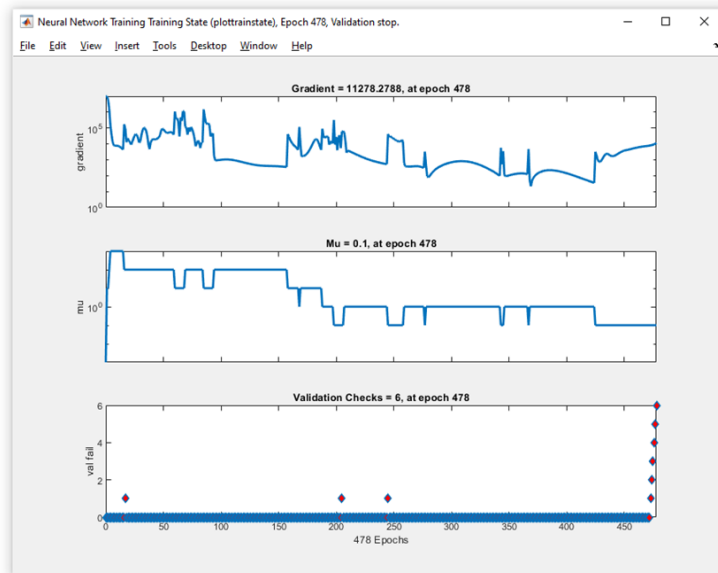


Fig. 6.17. Parametrii de oprire pentru rețeaua neuronală

Cea mai mică valoare a funcției eroare s-a înregistrat la epoca 472, fiind de **65,5552** (figura 6.18).

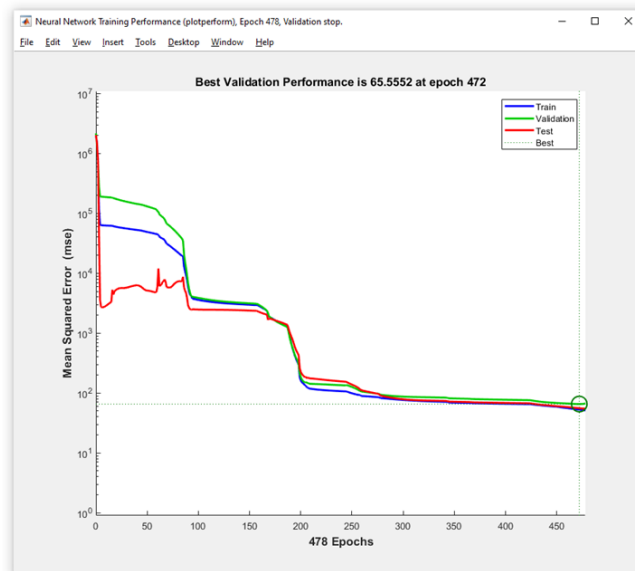


Fig. 6.18. Valorile funcției eroare

Histograma erorilor este prezentată în figura 6.19 și se referă la diferența dintre răspunsul rețelei și răspunsul dorit. După 478 epoci de antrenare, majoritatea erorilor sunt centrate în jurul valorii nule.

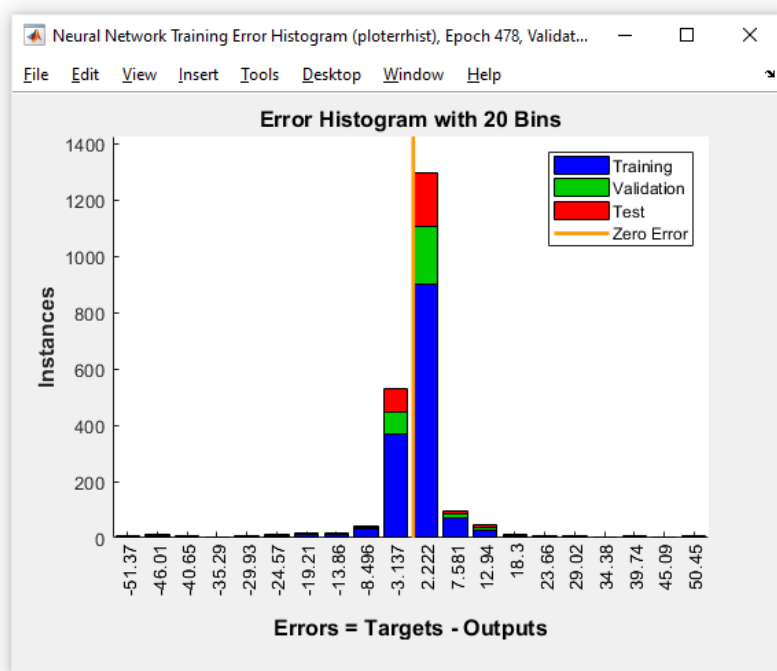


Fig. 6.19. Histograma erorilor

Importanța acestei rețele neuronale este în determinarea compoziției elementale a unui combustibil solid dacă se cunoaște umiditatea acestuia, cenușa reziduală rezultată în urma arderii (în procente masice) și puterea calorică (în MJ/kg).

O dată cu aflarea compoziției elementale, sunt determinate și procentele de azot (N) și sulf (S) aferente combustibilului, cu o precizie de 99,96%. Aceasta permite determinarea unei părți a noxelor pe care arderea combustibilului le poate emite în atmosferă, cu o precizie mare.

Validarea rezultatelor obținute cu rețeaua neuronală și formula pentru puterea calorică pentru următoarele materii prime inovative (dintre care unele au fost testate și în centrala termică): amestec de rășinoase, cânepă românească, topinambur. Un detaliu al folosirii Matlab pentru aceste calcule este prezentat în figura 6.20.

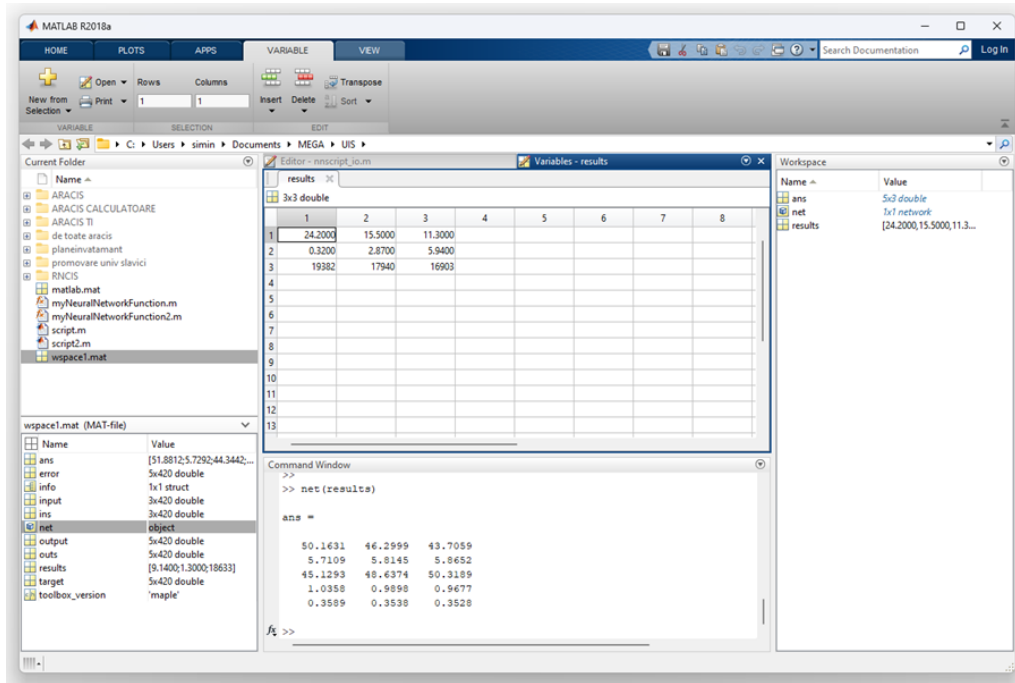


Fig. 6.20. Detaliu de folosire a rețelei neuronale în Matlab

Datele sintetizate în tabelul următor indică diferența dintre rezultatele calculate cu rețeaua neuronală și formula de calcul a puterii calorifice față de rezultatele obținute experimental.

Tab. 6.8. Diferențe între valorile calculate și cele determinate pentru puterea calorifică inferioară

	Amestec rășinoase	Câneapă românească	Topinambur	Salcie energetică
Puterea calorifică determinată	19382	17940	16903	18307
Puterea calorifică calculată	18534,69	17873,07	17311,61	18323,3
Abaterea dintre puterea calculată și puterea determinată	-4,37%	-0,37%	2,42%	-1,71%

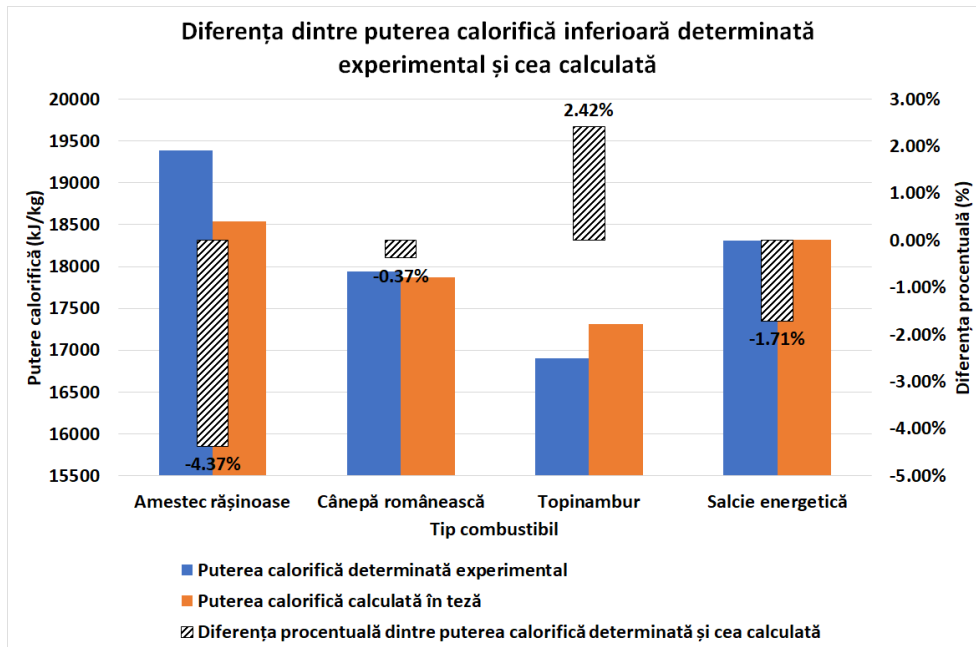


Fig. 6.21. Diferența dintre puterea calorifică inferioară determinată experimental și cea calculată

Din figura 6.21 se observă că diferența dintre puterea calorifică inferioară determinată experimental și cea calculată cu relația 5-11 este mai mică de 5%, așadar rezultatele teoretice se încadrează în limite acceptabile față de rezultatele experimentale.

6.4. Prelucrarea rezultatelor privind influența gazelor de ardere asupra mediului

Așa cum s-a arătat în capitolul 4, s-au adus modificări succesive centralei, iar pentru prototipul 4 și 5 s-au realizat măsurători identice: tiraj Ambiental, Combustibil peleți (30% brad și 70% fag), prezentate în capitolul anterior (tabelele 5.9 și 5.10).

În urma primei serii de măsurători (prototipul 4) s-au tras următoarele concluzii:

Rezultatele măsurătorilor indică faptul că, instalația de ardere necesită îmbunătățire în privința gestionării debitului de oxigen în incinta de ardere (focar) și se necesită creșterea recuperării de căldură din gazele de ardere.

În urma analizelor s-au realizat următoarele îmbunătățiri la centrala prototip:

1. s-a redus secțiunea de alimentare cu peleți a focarului, reducându-se astfel volumul de aer care intră în focar, pentru a reduce noxele rezultate la coș,

2. s-a modificat forma constructivă a cenușarului pentru a limita aportul de aer din zona respectivă, în scopul reducerii de noxe rezultate la coș,

3. ușa de acces pentru curățarea focarului a fost dotată cu o garnitură suplimentară pentru o mai bună etanșare.

Analizând determinările pentru prototipului final al centralei (prototipul 5), cu referire la rezultatele medii raportate la oxigenul de referință $O_{2ref} = 6\%$, s-a constatat faptul că centrala a devenit mai puțin poluantă:

- în medie cu 50,41 % în ceea ce privește emisia de monoxid de carbon – CO (figura 6.22);

- în medie cu 6,8 % în ceea ce privește emisia de monoxid de azot - NO_x (figura 6.23);

- în medie cu 0,02 % în ceea ce privește emisia dioxid de carbon – CO_2 (figura 6.24).

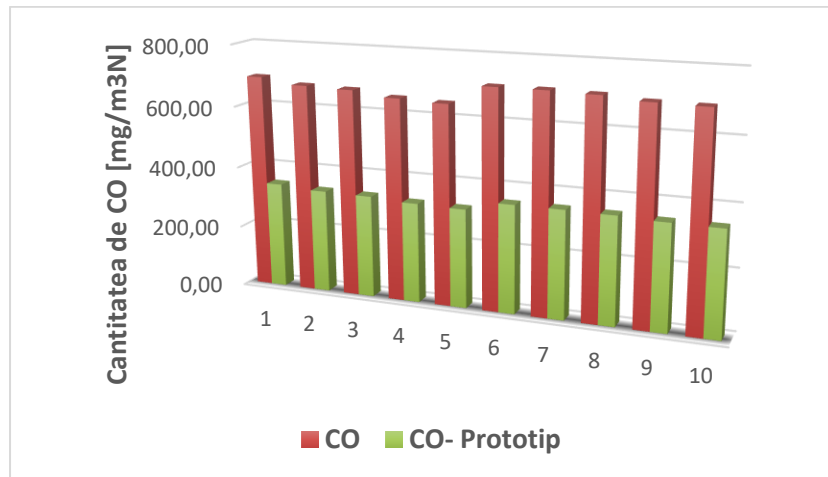


Fig. 6.22. Cantitatea de CO în mg/m^3N pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări

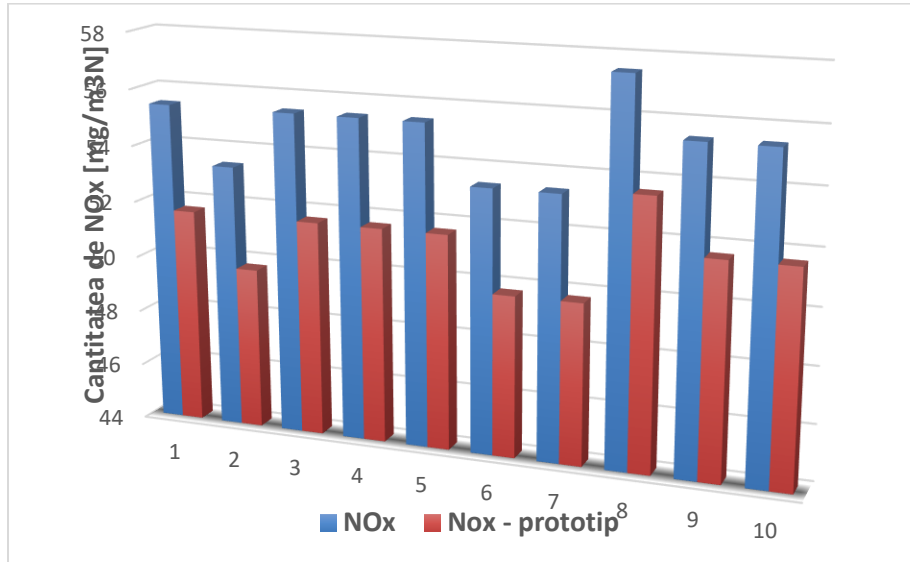


Fig. 6.23. Cantitatea de NOx în mg/m³N pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări

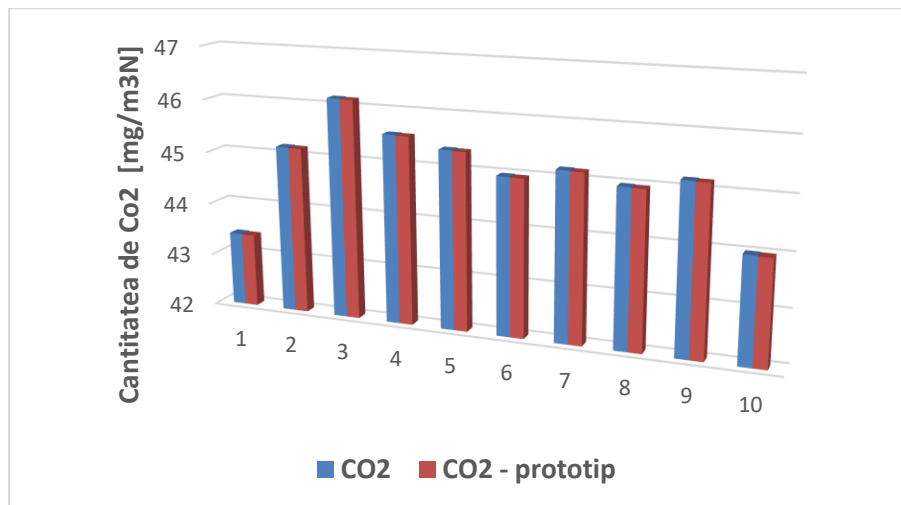


Fig. 6.24. Cantitatea de CO₂ în mg/m³N pentru prototipul 4 și 5 pentru cele 10 prelevări

Alte concluzii care s-au desprins în urma realizării experimentelor făcute pe centrala prototip au fost:

1. Datorită absenței unui schimbător de căldură în zona focarului, centrala pilot ajunge la temperaturi de ardere chiar și peste 900°C, în toată incinta focarului. Aceasta duce la o ardere completă a peleților, la un volum de cenușă reziduală mai

mic decât cel de la o centrală obișnuită, iar în consecință intervenția pentru curățarea centralei are o frecvență mai mică decât în cazul centralelor obișnuite.

2. S-a constatat că în cazul folosirii salciei energetice, la centrala pilot nu rezultă depuneri pe schimbătoarele de căldură. La o centrală obișnuită, în cazul folosirii salciei energetice, pe schimbătorul de căldură apar depuneri mai greu de curățat decât depunerile care ar apărea atunci când se folosește alt tip de biomasă. În urma testelor, nu se poate recomanda folosirea de salcie energetică (mai ales cu coajă) în centralele obișnuite, dar se poate folosi fără probleme, chiar pe lei 100% realizați din salcie energetică pentru centrala pilot.

6.5. Modelarea numerică a fenomenelor de curgere și transfer de căldură printr-un schimbător de căldură

6.5.1. Noțiuni generale

Modelarea numerică a fenomenelor se bazează pe patru mari discipline și anume: matematica, ingineria, utilizarea calculatoarelor și fizica. Dacă ne referim la modelarea fenomenelor de curgere și a celor termice, în prezent are mai multe denumiri provenite din limba engleză, precum:

- dinamica fluidelor computerizată (Computational Fluid Dynamics, CFD),
- schimbul de căldură computerizat (Computational Heat Transfer, CHT),
- schimbul de căldură și curgerea numerică (Numerical Heat Transfer and Fluid Flow).

Deoarece CFD-ul a înregistrat o deosebită expansiune în ultimele decenii, au apărut o gamă foarte mare a de pachete comerciale de programe pentru simularea curgerii și a schimbului energetic sub formă de căldură [88], [89].

Pentru a obține informații necesare pentru proiectarea sau optimizarea instalațiilor, echipamentelor sau a dispozitivelor termice sau fluido-dinamice s-au realizat foarte multe exemple legate de fenomene de curgere sau de schimb de căldură, care trebuie înțelese, astfel încât orice inginer să poată să realizeze simulările numerice dorite. Totuși nu se pot obține rezultatele dorite dacă utilizatorul nu are cunoștințe bune despre:

- fenomenele de curgere și mecanica fluidelor;
- ecuațiile diferențiale parțiale și discretizarea lor;
- soluții algebrice de rezolvare;
- modul de alegere a programului corespunzător;
- cum se formulează exact problema care se studiază (condițiile la limită, granițele sistemului, stabilirea convergenței soluțiilor finale);
- modul de interpretare exactă și corectă a rezultatelor.

Procedeul de soluționare numerică a ecuațiilor diferențiale cu metoda volumului finit este compus din doua faze, și anume [129]:

- faza I: obținerea ecuațiilor algebrice ca urmare a discretizării ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale;

- faza a II-a: soluționarea sistemului de ecuații algebrice obținut la faza I.

6.5.2. Studiul fenomenelor de curgere și transfer de căldură printr-un schimbător de căldură

În acest subcapitol s-a studiat curgerea agentului termic prin schimbătoarele de căldură. Deoarece schimbătoarele de căldură din centrala termică pilot sunt de forma unor serpentine, avem o curgere a apei prin secțiuni care se repetă (prin spirele schimbătorului). Totodată vom analiza doar schimbătorul 3 (ultimul schimbător al centralei).

În cazul schimbătorului de căldură analizat curgerea apei are loc prin secțiuni de curgere cu o geometrie care se repeta într-o anumită ordine. În acest caz, profilul de viteze respectiv de temperaturi, are aceeași variație în fiecare dintre secțiunile caracteristice, după porțiunea de intrare, iar regimul de curgere este un regim stabilizat periodic [129], [89]. Deci, dacă se face excepție de porțiunea de intrare se poate urmări numai o singură secțiune pentru a obține performanțele termice și fluidodinamice pentru întregul schimbător de căldură. Câteva exemple pentru o astfel de curgere s-au prezentat în figura următoare.

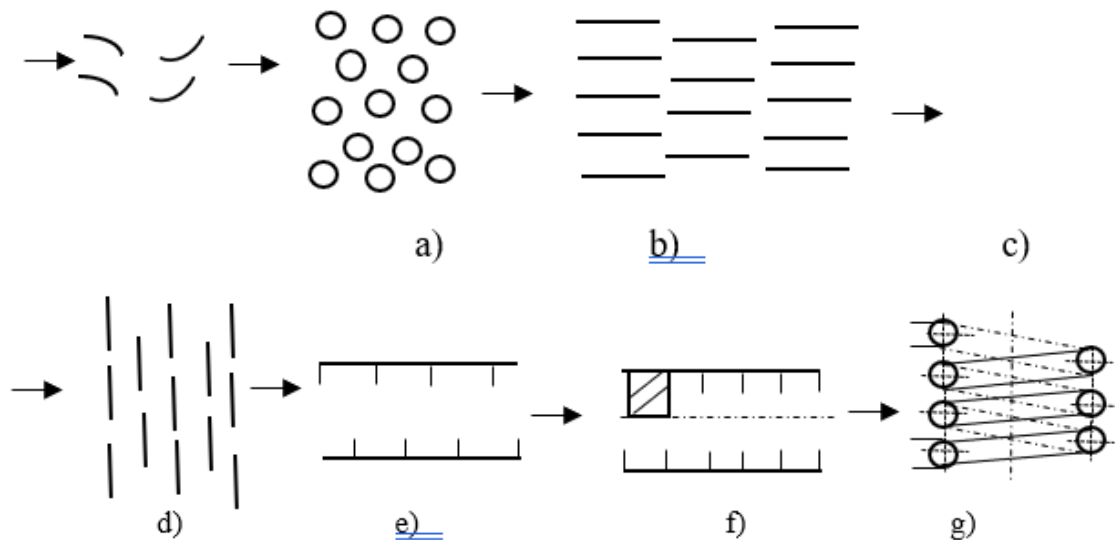


Fig. 6.25. Exemple de curgere în regim stabilizat periodic, adaptat după [88]

Sistemul de ecuații diferențiale cu derivate parțiale utilizat în simularea de față este:

Ecuția de continuitate:

$$\frac{\partial(\rho_{eff} \cdot u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (6-15)$$

Ecuția de conservare a momentului

$$\frac{\partial(u_i \cdot \rho_{eff} \cdot u_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6-16)$$

Ecuția de conservare a energiei

$$\frac{\partial(\rho_{eff} \cdot c_{p,eff} \cdot u_i \cdot T)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (6-17)$$

Condițiile la limită care au fost impuse:

- condiții periodice (ciclice) în secțiunile intrare-ieșire,
- densitatea fluxului de căldură constant pe peretele schimbătorului de căldură,
- proprietățile termofizice au valori constante pentru agentul termic (apa) la temperatura de intrare.

Metoda de soluționare: Model numeric bazat pe metoda volumului finit.

Discretizarea ecuațiilor de mișcare, respectiv a ecuației de conservare a energiei, s-a realizat prin modelul *Power-law*.

Câmpul de presiune a fost soluționat prin metoda *Simple*.

Soluționarea ecuațiilor diferențiale s-a realizat cu programul comercial *Ansys - Fluent* varianta 2019R1 [7].

Procesul este unul iterativ, fiind necesare 80 de iterații.

Pentru simularea curgerii și a transferului termic în schimbătorul 3 al centralei din baza de date realizată în capitolul 4 s-au utilizat datele de mai jos.

Tab. 6.9. Temperaturile de intrare și ieșire a agentului termic din schimbătorul 3

Nr. crt.	Timpul	Temperatura de intrare în serpentină [°C]	Temperatura de ieșire din serpentină (tur) [°C]	Temperatura retur [°C]
1	10	33,5	44	36
2	20	32	46	37,21
3	30	42	52,29	41,32
4	40	44	56	42,95
5	50	43,2	57,8	43,78
6	60	46	56,71	43,53
7	70	46,5	56,67	43,22
8	80	47,6	55,6	43
9	90	47	57	43,3
10	100	48,2	59,85	42,14
11	110	48	58,75	42,1
12	120	48,7	59	42,57
13	130	48,5	59,49	43,2
14	140	48	58,2	43

Pentru simulare au mai fost nevoie și de următoarele date:

- Diametrul conductei de cupru: 18 mm
 - Debitul de apă: 1,5 m³/h
 - Densitatea specifică a apei la 20 °C: 998 kg/m³
 - Capacitatea termică masică a apei: 180 J/kg*K
 - Vâscozitatea dinamică: 0,001 Pa*s
 - Conductivitatea termică: 0,6 W/m*K
 - Debit masic: 0,415833 kg/s
 - Aria secțiunii de curgere: 0,000314 m²
 - Suprafața de schimb de căldură: 0,0315 m²
 - Viteza de curgere: 1,326964 m/s
 - Puterea termică: 26000 W
 - Densitatea fluxului de căldură: 68783,07 W/m²
 - Criteriul Reynolds, Re=23838, deci rezultă că avem un regim de curgere turbulent
 - Temperatura statistică, la intrare: 296 K, la ieșire: 297,11899 K
 - Presiunea absolută, la intrare 101536,74 Pa, la ieșire 100181,86 Pa
 - Diferența de căldură totală pe schimbător (serpentina cu 12 spire): 13,32 K
 - Căderea de presiune pe schimbător: 16258,56 Pa
- Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile următoare.

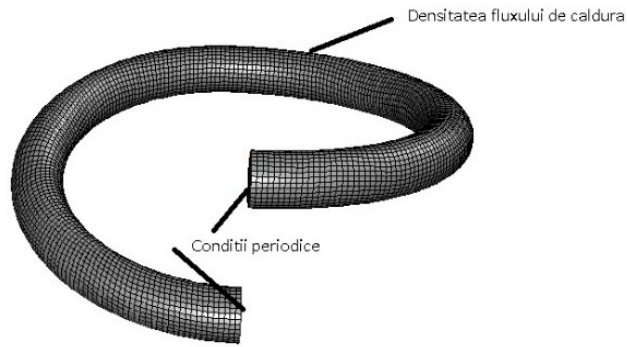


Fig. 6.26. Secțiunea caracteristică discretizată cu elemente finite

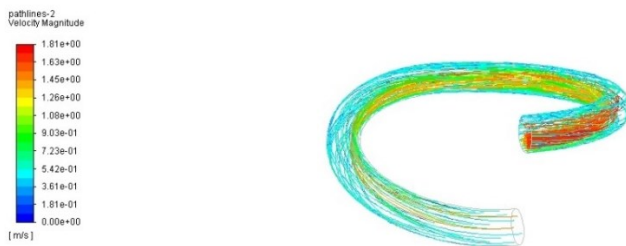


Fig. 6.27. Liniile de curent

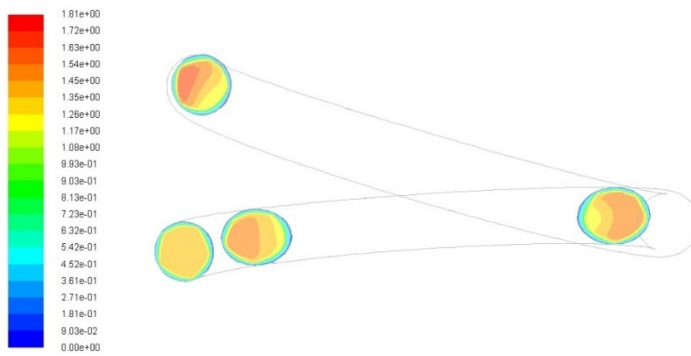


Fig. 6.28. Câmpul de viteză în secțiunile perpendiculare ale serpentinei

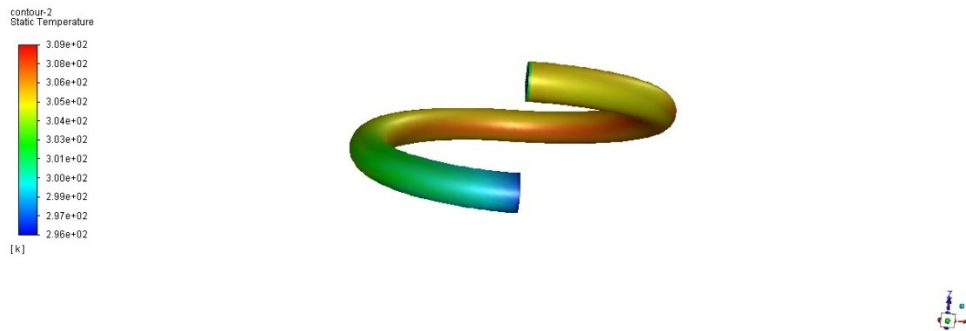


Fig. 6.29. Câmpul de temperatură

În figurile 6.26 – 6.29 sunt prezentate fenomenele hidrodinamice și termice create de curgerea apei printr-un schimbător de căldură cu serpentină. Din figurile 6.27 - 6.28 rezultă o curgere cu centrifugă cu vârtejuri care împiedică dezvoltarea stratului limită. Astfel, rezultă un coeficient de căldură mai bun care intensifică schimbul de căldură între gazele de ardere și apa.

De asemenea, valoarea diferenței de temperatură (intrare – ieșire serpentină) obținută prin simulare numerică este apropiată de rezultatul obținut prin măsurători experimentale.

6.6. Concluzii parțiale

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%.

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.

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. 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.

Prin îmbunătățirea adusă prototipului final de centrală termică s-a redus cantitatea de CO (combustibil) eliminat în atmosferă la jumătate.

Din procesul de simulare 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.

7. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII

7.1. 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.

În ceea ce privește optimizarea liniei tehnologice de producție peleți/brichete existentă în firmă, în prima fază s-a făcut o cercetare pe teren, s-au stabilit îmbunătățirile care pot fi aduse, după care s-a comandat executarea buncărelor și a malaxorului după specificațiile tehnice elaborate de doctorand. La utilajul de uscare s-a modificat focarul pentru eliminarea riscului de incendiu. Totodată s-a conceput și executat un tocător de crengi care a fost introdus pe linia tehnologică pentru prelucrarea crengilor și introducerea în procesul de fabricație al peletilor. Pentru efectuarea cercetărilor legate de peleți s-a achiziționat și o presă mică de peleți și site corespunzătoare. Toate acestea s-au realizat în cadrul unui proiect cu fonduri europene, unde doctorandul și-a adus contribuția de la scriere până la finalizarea acestuia. Rezultatele obținute de la optimizarea liniei tehnologice au fost transferate, astfel încât s-a realizat la CET SUD o linie tehnologică de pregătire a biomasei pentru arderea în cazanele de abur.

În ceea ce privește arderea produselor obținute în firmă, într-o primă fază, a fost concepută o centrală termică pilot. Apoi au fost discutate posibilități de îmbunătățire a performanțelor acesteia, a posibilității de funcționare atât cu peleți, cât și cu biomasă, precum și a posibilității de automatizare, bazate pe rezultatele din această teză. Pentru a putea studia comportarea acestui prototip de centrală au fost studiate diverse materii prime care apoi au fost arse (compoziție chimică, putere calorifică inferioară, cenușă). În faza a doua s-a realizat fizic atât prototipul de centrală cât și automatizarea acestuia. Faza a treia a constat în efectuarea experimentelor de ardere a materiilor prime, pentru care s-au determinat în prealabil datele necesare pentru studiul arderii. În baza studiului realizat s-a ajuns la concluzia că acest prototip merită brevetat și s-a depus o cerere de brevet.

În paralel s-a realizat automatizarea centralei pentru funcționarea pe peleți.

7.2. 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.

Contribuțiile personale vor fi sumarizate în continuare, împreună cu importanța și domeniile lor de aplicabilitate.

Rezultatele originale obținute în urma **procesului de optimizare** a liniei tehnologice (dintre care o parte au fost publicate în [113]) sunt constituite din:

- un tocător inovativ pentru mărunțirea crengilor,
- un malaxor pentru omogenizarea amestecurilor de biomasă,
- buncăre 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 **concepției, proiectării și realizării** fizice a centralei termice (dintre care o parte au fost publicate în [96], [113], [114] și [115]), sunt:

- 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 acesteia în dispozitivele smarthome care permit utilizatorilor să automatizeze mai multe dispozitive printre care și o centrală termică.

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.

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).

7.2.1. Contribuții teoretice

Principalele contribuții de natură teoretică sunt:

- **parcursarea critică a literaturii de specialitate** atât din domeniul biomasei, cât și din domeniul centralelor termice. Din studierea a peste 200 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 [112] și a cercetărilor din teren. Această bază de date are o importanță deosebită pentru calculul arderii, pentru realizarea experimentală a arderii în centrala termică prototip, dar și pentru cercetări viitoare. Totodată poate fi utilă atunci când se dorește obținerea unei noi rețete de peleți sau brichete. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și la obiectivul secundar OS1.

- **construirea unei rețele neuronale** care să previzioneze puterea calorifică 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.**

7.2.2. 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.

7.2.3. Contribuții aplicabile industrial

Principalele contribuții aplicabile industrial sunt:

- premise 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 smarthome. Acest rezultat contribuie la realizarea obiectivului primar OP1 și OP2 și a obiectivului secundar OS3.

7.3. Perspective 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. Acesta poate fi în serie cu celelalte schimbătoare, sau poate fi separat și utilizat pentru producerea apei calde menajere. Din studiul experimental s-a constatat că temperatura gazelor la ieșirea din centrală este mare, deci se poate integra în sistem încă un schimbător de căldură în prima zonă a coșului de fum;
- construirea focarului dintr-un material mai rezistent. Soluția tehnică actuală pentru focar: inox îmbrăcat cu cărămidă refractară, oțel protejat cu ciment refractar, oțel hardox;
- studiul complet al arderii în astfel de centrale individuale. Din literatura de specialitate se cunoaște faptul că cenușa de la arderea lemnului (cenușa din focar, precum și cenușa zburătoare) conține, de asemenea, și potențiale elemente toxice precum As, Cd, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb și Zn. Deci, este necesar să se facă un studiu complet al arderii (concentrațiile majore, elemente potențial toxice și compoziția de fază a cenușii) în astfel de centrale individuale, în primul rând pentru faptul că, în general, cenușa este depozitată și utilizată în agricultură și în al doilea rând faptul că cenușa zburătoare contribuie la creșterea poluării aerului cu particule.

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/miniturbina 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 peleti pe cazanul de abur CET SUD pentru creșterea raportului de biomasă în mixtul cărbune biomasă (maxim este 10%).

LISTA DE LUCRĂRI PROPRII

1. Lucrări științifice publicate în reviste indexate Web of Science-WoS (ISI)

- S. Maris, T. Slavici, **P. Nenu**, L. Baci, *Artificial intelligence as a decision-making tool in planning the research*, Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience (BRAIN - ISSN 2067-3957), vol.8(3), 2017, pp.69-76, WOS:000408993400006
- **Nenu, Petre Florinel**; Dungan, Luisa Izabel; Cioabla, Adrian Eugen; Rusu, Gerlinde; Bandur, Geza Nicolae; Dumitrel, Alina Gabriela; Pode, Vasile, *BIOMASS ANALYSIS FOR COMBUSTION APPLICATIONS - CASE STUDY SCENARIOS*, STUDIA UNIVERSITATIS BABES-BOLYAI CHEMIA, vol.63, 2018, pag 7-20, WOS:000448339300001

2. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings

- S. Maris, **P. F. Nenu**, S. A. Maris, T. Slavici, *Estimating the calorific value of pellets from different blends of biomass*, Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 21-24 February 2017), pp. 459-464 (**WOS**:000432420200048)
- **P. F. Nenu**, S. A. Maris, L. Forgacs, S. Maris, *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)
- S. A. Maris, D. Tucu, T. Banabatsas, V. Nagy, S. Maris, **P. F. Nenu**, *Possibilities of using the robots in greenhouses*, Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 21-24 February 2017), pp. 531-538, (**WOS**:000432420200056)
- **Petre-Florinel NENU**, Luisa-Izabel DUNGAN, Lavinia CERNESCU, Titus SLAVICI, *Energetic and economic considerations on thermal regime effectiveness in a greenhouse*, Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 46 th International Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering" 27th February – 1 st March 2018, Opatija, Croatia), pp. 1-11 (**WOS**: 000448339300001)

3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI (cu specificarea BDI)

- S. Maris, **P. Nenu**, St. Maris, L. Cernescu, *FINANCING METHODS FOR INNOVATIVE START-UPS IN THE DOMAIN OF NONCONVENTIONAL ENERGIES*, Nonconventional Technologies Review XX(3)/2016, pp.65-70, (**BDI**: ProQuest, EBSCOhost, DOAJ, Google Scholar și Index Copernicus)
- Mircea Dorin VASILESCU, **Petre Florinel NENU**, *CONSIDERATIONS ON ENERGY EFFICIENCY OF GREENHOUSES FOR VEGETABLE PRODUCTION*, Buletinul AGIR, Supliment 1/2013, pag.162-166, (**BDI**: EBSCO, Publishing Inc., Index Copernicus International)

4. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale (Proceedings) din străinătate

- **Petre Florinel NENU**, Luisa Izabel DUNGAN, Adrian Eugen CIOABLA, *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

BIBLIOGRAFIE

1. AEB (Waste-to-Energy company), <http://www.aebamsterdam.com/> (2016). Accessed 20 Sept 2016
2. Air Emissions from MSW Combustion Facilities, 29 martie 2016, <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/airem.html>
3. Agnew J.M., Leonard J.J., *The physical properties of compost*, *Compost Sci. Util.* 11 (3) (2003) 238–264.
4. Almahdi, M., Dincer, I., Rosen, M.A., 2016. *A new solar based multigeneration system with hot and cold thermal storages and hydrogen production*. *Renew. Energy* 91, 302e314. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.069>.
5. Alves C., Gonçalves C., Fernandes A.P., Tarelho L., Pio C., *Fireplace and wood stove fine particle emissions from combustion of western Mediterranean wood types*, *Atmospheric Res* 101:692–700. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.015>
6. 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>
7. Ansys 2019R1, Ansys Inc., 2019
8. Appavou, F.; Brown, A.; Epp, B.; Leidreiter, A.; Lins, C.; Murdock, H.; Musolino, E.; Petrichenko, K.; Farrell, T.; Krader, T. *Renewables 2017 global status report*. In *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century; REN21: Paris, France, 2017,*
9. Asadullah, M., *Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 29(C), pages 201-215, 2014 DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.074
10. Asquer C., Cappai G., Carucci A., De Gioannis G., Muntoni A., Piredda M., Spiga D., *Biomass ash characterisation for reuse as additive in composting process*, *Biomass and Bioenergy* 123 (2019) 186–194
11. Bala-Litwiniak, A.; Musiał, D. *Computational and Experimental Studies of Selected Types of Biomass Combustion in a Domestic Boiler*. *Materials* 2022, 15, 4826. <https://doi.org/10.3390/ma15144826>
12. Balan, M., Mădărașan, T., *Arderea Combustibililor*. Preluat pe 06 11, 2017, de pe <http://www.termo.utcluj.ro/termo/06ardere.pdf>
13. Baldvinsson, I., Nakata, T., 2016. *A feasibility and performance assessment of a low temperature district heating system e a North Japanese case study*. *Energy* 95, 155e174. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.057>
14. Basu, P., *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*, Academic Press, Burlington (2010)

15. Beloselsky B.S., Baryshev V.I., *Low-grade energy fuels*, Moscow: Energoatomizdat, 1989 [in Russian]
16. Berkovic Subic, M., Rauch, M., Dovic, D., Andrassy, M., *Primary energy consumption of the dwelling with solar hot water system and biomass boiler*, Energy Convers. Manag. 2014, 87, 1151e1161. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.063>
17. Bernal M.P., Paredes C., Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J., *Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes*, Bioresour. Technol. 63 (1998) 91–99
18. Bilgen, S., Keles, S., Sarikaya, I., Kaygusuz, K., *A perspective for potential and technology of bioenergy in Turkey: present case and future view*, Renew. Sustain. Energy Rev. 48, 2015, 228e239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.096>
19. Bioenergy Europe – *Statistical report 2018*, <https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html>
20. Bioenergy Europe *Statistical report 2019*, <https://platformduurzamebiobrandstoffen.nl/infotheek/bioenergy-europe-statistical-report-2019/>
21. Bioenergy Europe. *Statistical Report Pellets*; Bioenergy Europe: Brussels, Belgium, 2020
22. Bollmann, M.; Bosch, T.; Colijn, F.; Ebinghaus, R.; Froese, R.; Guessow, K.; Khalilian, S.; Krastel, S.; Koertzing, 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.
23. Bosmans, A., Vanderreydt, I., Geysen, D., Helsen, L., *The crucial role of waste-to-energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review*. J. Clean. Prod. 55, 10–23 (2013)
24. Bougnom B.P., Knapp B.A., Elhottová D., Koubová A., Etoa F.X., Insam H., *Designer compost with biomass ashes for ameliorating acid tropical soils: effects on the soil microbiota*, Appl. Soil Ecol. 45 (2010) 319–324.
25. Bouriaud O., Don A., Jan ssens I. A., Marin G. and Schulze E.-D, *Effects of forest management on biomass stocks in Romanian beech forests*, Forest Ecosystems, 2019, 6:19 <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0180-4>
26. Bozell J.J., Black S.K., Myers M. Cahill D., Miler W.P., Park S., *Solvent fractionation fo renewable woody feedstocks: organoslv generation of biorefinery process streams for the production of biobased chemicals*, Biomass Bioenergy 2011;35(10): 4197–208, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.07.006>.
27. Braga I., Frosin D., Ghincioiu N., *Tehnologii de utilizare energetică a biomasei lemnoase. Conferința națională știința și ingineria lemnului în mileniul III*, Brașov, 20-21 Noiembrie 2003, pp. 386
28. Branca, C., Di Blasi, C., *Combustion kinetics of secondary biomass chars in the kinetic régime*, Energy Fuels 24, 5741–5750, 2010, <https://doi.org/10.1021/ef100952x>

29. 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
30. Brown T.W., Bischof-Niemz T., Blok K., Breyer C., Lund H., Mathiesen B.V., *Response to 'Burden of proof: a comprehensive review of the feasibility of 100% renewable electricity systems'*, *Renew Sustain Energy Rev* 2018;92:834–47. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.113>
31. Buekens, A., Huang, H., *Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes*. *Resour. Conserv. Recycl.* 23, 163–181 (1998), *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 23, Issue 3, August 1998, Pages 163-181
32. Canadell J.G., Schulze E.D., Global potential of biospheric carbon management for climate mitigation, *Nat Commun* 2014, 5
33. Garcia C. A., Hora G., State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries, *Waste Management* 70 (2017) 189–197
34. Carpio, M., Zamorano, M., Costa, M., *Impact of using biomass boilers on the energy rating and CO2 emissions of Iberian Peninsula residential buildings*, *Energy Build.* 66, 732e744, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.079>.
35. Chapman, S. J. (2015). *MATLAB programming for engineers*. Nelson Education.
36. Cheng, J. *Biomass to Renewable Energy Processes*, Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA, 2017, *Agronomy* 2022, 12, 424 12 of 13
37. *Climate Analytics. Implications of the Paris agreement for coal use in the power sector*; 2016, p. 42, http://climateanalytics.org/files/climateanalyticscoalreport_nov2016_1.pdf .
38. Consonni, S., Viganò, F., Waste gasification vs. conventional waste-to-energy: a comparative evaluation of two commercial technologies, *Waste Manag.* 32, 653–666 (2012)
39. Smółka-Danielowska D., Marila Jabłońska M., *Chemical and mineral composition of ashes from wood biomass combustion in domestic wood-fired furnaces*, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022, 19:5359–5372 <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03506-9>
40. De Greef, J., Villani, K., Goethals, J., Van Belle, H., Vandecasteele, C., *Optimising energy recovery and use of chemicals, resources and materials in modern waste-to-energy plants*, *Waste Manag.* 33, 2013, 2416–2424
41. Demeyer, A., Voundi Nkana, J.C., Verloo, M.G., Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview, *Bioresour. Technol.* 77 (3), 287e295, 2001
42. Demirbas A., *Combustion characteristics of different biomass fuels*, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 30, Issue 2, 2004, Pages 219-230. <https://doi.org/10.1016/j.pecc.2003.10.004>
43. 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)

44. Douglas R.O. Morrison – *World energy and climate in the next century*, Nuclear Energy, pp. 46-54 (1999), https://doi.org/10.1142/9789812813121_0003
45. Duran, J. Sands, Powders, and Grains, *An Introduction to the Physics of Granular Materials*, Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2012
46. EC. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – *A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, European Commission, Brussels, European Union; 2011. <http://doi.org/10.1002/jsc.572>
47. 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
48. EUROSERV'ER, 2015. *Solid Biomass Barometer December 2015*, Available at: <http://www.euroserv-er.org/pdf/solid-biomass-barometer-2015-en/> (Accessed October 10 2018).
49. European Commission, 2014a. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: Energy Efficiency and its Contribution to Energy Security and the 2030 Framework for Climate and Energy Policy. COM (2014), vol. 520. Available at: http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_eec_communication_adopted_0.pdf (Accessed October 10 2016)
50. European Commission, 2014b. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: a Policy Framework for Climate and Energy in the Period from 2020 to 2030. COM (2014), vol. Available at: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=EN> (Accessed October 10 2018)
51. European Commission, 2016a. 2030 Energy Strategy. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy> (Accessed November 17 2016)
52. European Commission. *A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection between Economy, Society and the Environment*. Updated Bioeconomy Strategy; Directorate-General for Research and Innovation: Luxembourg, 2018
53. Evans I., Jackson L., *Rocket Mass Heaters*, 3rd Edition Paperback, February 1, Editura COB COTTAGE CO, 2014
54. Fernández-Delgado Juárez M., Gómez-Brandón M., Insam H., Merging two waste streams, wood ash and biowaste, results in improved composting process and end products, *Sci. Total Environ.* 511 (2015) 91–100

55. Filip D., Centrala Termică, brevet 134453 A0
56. García R et al. *Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data*, *Fuel* (2013), 117, 1130-1138. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.048>
57. García, R., Pizarro, C., Lavín, A., & Bueno, J. (2014), *Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data*, *Fuel*, 117, 1139-1147, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.049>
58. Gozzil F., Della Ventura G., Marcelli A., Lucci F., *Current Status of Particulate Matter Pollution in Europe and Future Perspectives: a Review JMES* (Journal of Materials and Environmental Science), 2017 Volume 8, Issue 6, Page 1901–1909, ISSN: 2028–2508
59. 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>]
60. Hardy, T. *Combustion and fuels – tutorial*, 2011, Preluat pe 09 10, 2017, de pe http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/combustion_mpe/combustion_mpe_tutorials.pdf
61. Haug R.T., *The Practical Handbook of Composting Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA, 1993
62. Heard B.P., Brook BW, Wigley TML, Bradshaw CJA, *Burden of proof: a comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems*, *Renew Sustain Energy Rev* 2017;76:1122–33. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.114>
63. Hendricks, A.M., Wagner, J.E., Volk, T.A., Newman, D.H., Brown, T.R., 2016b, *A cost effective evaluation of biomass district heating in rural communities*, *Appl. Energy* 162, 561e569. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.106>
64. Hendricks, A.M., Wagner, J.E., Volk, T.A., Newman, D.H., 2016a. Regional economic impacts of biomass district heating in rural New York. *Biomass Bioenergy* 88, 1e9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.008>.
65. Hindsgaul, C., *Thermal Gasification vs Combustion of MSW*, 2nd International VDI Conference, Energy and materials from waste, Amsterdam, 2014
66. Horbaniuc, B., & Dumitraşcu, G., *Procese de ardere*, Iaşi: Editura POLITEHNIUM, 2008
67. Hornet A., Hornet I., Arzător gravitațional și procedeu de ardere a biomasei sub forma de pelete, brevet 123389 B1
68. 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;
69. Huesemann, M.H. The limits of technological solutions to sustainable development. *Clean. Technol. Environ. Policy* 2003, 5, 21–34
70. IEA. Key world energy statistics. Paris: International Energy Agency; 2017. p. 95

71. 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).
72. IHME, 2016. (Institute for Health Metrics and Evaluation). GBD Compare 2016. Seattle, WA: IHME, University of Washington, (<http://vizhub.healthdata.org/gbdcompare>), (Accessed on 24 February 2018).
73. 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>
74. IPCC. Pachauri RK, Meyer LA, editors, Climate change 2014: synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland: Cambridge University Press; 2014. p. 151
75. Jădăneanț, M., Ionel, I., Stoian, F., Pop, G., Lelea, D., Stoica, V., & Negoitescu, A., *Termotehnică și mașini termice în experimente*, Timișoara: Editura Politehnica, 2001
76. Jenkins, B.M., Baxter, L.L., Miles, T.R., *Combustion properties of biomass. Fuel Process*, 1998, Technol. 54 (1), 17e46
77. 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
78. Kattan, P., Ruble, I., *An economic assessment of four different boilers for residential heating in Lebanon*, Energy Build. 50, 2012, 282e289. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.057>
79. Katznelson B.D., Korchunov Y.N., Liverovskii A.A., Pomerantsev V.V., Syrkina K.D., Tishchenko D.V., Tsatsuka E.M., *Layered methods of energy-chemical use of fuel*, Leningrad: Gosenergoizdat; 1962 [în Rusă]
80. 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>
81. Kazmerski L. - *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Volume 12, Elsevier, ISSN: 1364-0321, 2008
82. Keppel, S.: <http://www.keppelseghers.com/> (2015) Accessed 20 Sept 2016
83. Kolotushkin V.I., *Spravocnaja knizhka torfjanika* [Reference book of peatbogs], Moscow: Nedra; 1973 [în Rusă]
84. Kuba T., Tschöll A., Partl C., Meyer K., Insam H., *Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance*, Agric. Ecosyst. Environ. 127 (2008) 43–49
85. Koivula N., Rääkkönen T., Urpilainen S., Ranta J., Hänninen K., *Ash in composting of source-separated catering waste*, Bioresour. Technol. 93 (2004) 291–299

86. Kurola J.M., Arnold M., Kontro M.H., Talves M., Romantschuk M., *Wood ash for application in municipal biowaste composting*, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 5214–5220
87. Kwon, E., Westby, K. J., Castaldi, M. J.: *Transforming municipal solid waste (MSW) into fuel via the gasification/pyrolysis process*, 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference (pp. 53–60). American Society of Mechanical Engineers (2010), Orlando, Florida, Material science, DOI:10.1115/NAWTEC18-3559, Corpus ID: 28266543
88. Lelea D. Cioablă A. E., *Metode Numerice în Ingineria Mecanică*, Editura Politehnica, ISBN 978-606-35-0350-4, 2019
89. Lelea D., *Intensificarea transferului de căldură la curgerea fluidelor viscoase prin tuburi cu generatori de turbulență*, Teza de doctorat, Universitatea Politehnica Timisoara, 1996.
90. 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>
91. Lundström, L., Wallin, F., *Heat demand profiles of energy conservation measures in buildings and their impact on a district heating system*, *Appl. Energy* 161, 2016., 290e299. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.024>
92. Lusardi, M. R., Kohn, M., Themelis, N. J., Castaldi, M. J.: *Technical assessment of the CLEERGAS moving grate-based process for energy generation from municipal solid waste*, *Waste Manag. Res.* 32, 772–781 (2014), <https://doi.org/10.1177/0734242X14543813>
93. Mădărășan, T., *Termodinamica Tehnică*, UTPress 2001
94. Madlener, R., *Innovation diffusion, public policy, and local initiative: the case of wood-fuelled district heating systems in Austria*, *Energy Pol.* 35, 2007, 1992e2008. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.06.010>
95. Madlener, R., Koller, M., *Economic and CO2 mitigation impacts of promoting biomass heating systems: an input-output study for Vorarlberg, Austria*, *Energy Pol.* 35, 2007, 6021e6035 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.023>.
96. 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
97. Maris, S., *Contribuții la optimizarea proceselor de fabricare a peleișilor și brichetelor folosind elemente de inteligență artificială, statistică și cercetări operaționale*, Teză doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2022
98. MARTIN plants and technologies, *Solutions for the recovery of energy and materials from waste*, <http://www.martingmbh.de>
99. MathWorks, 2017, Preluat de pe Matlab Programming: https://in.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/matlab_prog.pdf
100. Meinschmidt, P., Mauruschat, D., Briesemeister, R., 2015. Altholz-situation in Europa und Deutschland. *Chemie Ing. Tech.* n/a-n/a. 10.1002/cite.201500023.

101. Metianu A., Generatorul de abur cu ardere catalitica Traian Vuia, Editura Tehnica, 1957
102. Michopoulos, A., Skoulou, V., Voulgari, V., Tsikaloudaki, A., Kyriakis, N.A., *The exploitation of biomass for building space heating in Greece: energy, environmental and economic considerations*, Energy Convers. Manag. 78, 2014, 276e285. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.055>.
103. 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
104. Mihăescu L. ș. a., *Cazane de abur și apă fierbinte*, Ed. PERFECT în colaborare cu Ed. Printech, București, 2007, ISBN 978 – 973 – 7984 – 32 – 6.
105. Mohee R., Mudhoo A., Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix, Powder Technol. 155 (2005) 92–99.
106. Moret, S., Peduzzi, E., Gerber, L., Marechal, F., *Integration of deep geothermal energy and woody biomass conversion pathways in urban systems*, Energy Convers. Manag. 129, 2016, 305e318. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.079>.
107. 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
108. 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>
109. Mursito A.T., Hirajima T., Sasaki K., Upgrading and dewatering of raw tropical peat by hydrothermal treatment. Fuel 2010;89:635–41. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.07.004>.
110. Năstasea G., Șerban A., Năstasea A. F., Dragomira G., Brezeanu A. I., *Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania*, Atmospheric Environment 184 (2018) 292–303
111. Nedderman, R. *Statics and Kinematics of Granular Materials*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1992.
112. **Nenu P. F.**, Dungan L. I., Cioablă A. E., Rusu G., Bandur G. N., Dumitrel A. G., Pode V., *BIOMASS ANALYSIS FOR COMBUSTION APPLICATIONS – CASE STUDY SCENARIOS*, STUDIA UBB CHEMIA, LXIII, 3, 2018 (p. 7-20) DOI:10.24193/subbchem.2018.3.01
113. **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
114. **Nenu P. F.**, Dungan L. I., Cioabla Ad. E., *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

115. **Nenu P.-F.**, Dungan L.-I., Cernescu L., Slavici T., *Energetic and economic considerations on thermal regime effectiveness in a greenhouse*, Actual Tasks in Agricultural Engineering (Proceedings of the 46 th International Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering" 27th February – 1 st March 2018, Opatija, Croatia), pp. 1-11
116. Caravaggio N., Caravella S., Ishizaka A., Resce G., *Beyond CO2: A multi-criteria analysis of air pollution in Europe*, Journal of Cleaner Production 219 (2019) 576e586
117. Niculicea S., Centrală termică pe combustibil solid, brevet 133520 A2
118. Nzihou, A., Flamant, G., Stanmore, B., Synthetic fuels from biomass using concentrated solar energy: a review, *Energy* 42(1), 121–131 (2012)
119. NT Technical Report 613, 2008. Guideline for Classification of Ash from Solid Biofuels and Peat Utilized for Recycling and Fertilizing in Forestry and Agriculture. Nordic Innovation Centre, Oslo, Norway, p.34.http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/06_Publications/GUIDELINE_FOR_CLASSIFICATION_OF_ASH.pdf.
120. Okmanis, M., Lazdin, a, D., Lazdin, S, A., *The composition and use value of tree biomass ash*, Rural Sustain. Res. 34 (329), 32e37, 2015
121. Omil, B., Sanchez-Rodríguez, F., Merino, A., *Effects of ash applications on soil status, nutrition, and growth of pinus radiata D. Don plantations*. In: Insam, H., Knapp, B.A. (Eds.), *Recycling of Biomass Ashes*. Springer, Berlin, Germany, pp. 69e86, 2011
122. Pănoiu N., *Cazane de abur*, E.D.P., București, 1982
123. Pănoiu N., ș.a., *Instalații de ardere a combustibililor solizi*, Ed. Tehnică, București, 1985.
124. 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
125. Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., Montanarella, L., Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network, *J Environ Public Health* 2013, 11.
126. Pantazescu S., Centrală termică țărănească pentru sere, brevet 133992 A2
127. 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>
128. Paredes-Sanchez, J.P., Lopez-Ochoa, L.M., Lopez-Gonzalez, L.M., Xiberta-Bernat, J., *Bioenergy for district bioheating system (DBS) from eucalyptus residues in a european coal-producing region*, *Energy Convers. Manag.* 126, 960e970. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.084>
129. Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York, 1980
130. Pels, J.R., de Nie, D.S., Kiel, J.H., *Utilization of ashes from biomass combustion and gasification*, In: Proceedings of the 14th European Biomass Conference &

- Exhibition. Paris, France, 2005
<https://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/rx05182.pdf>
131. Pivato A., Raga R., Vanin S., Rossi M., Assessment of compost quality for its environmentally safe use by means of an ecotoxicological test on a soil organism, *J. Mater. Cycles Waste* 16 (4) (2014) 763–774
 132. Pňakovič L. and Ladislav D., *Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks*, *Bioresources*, 2015, DOI: 10.15376/biores.10.3.5563-5572, <https://www.researchgate.net/publication/282470812>
 133. Pokrývková J., Luboš J., *Development of Emission to Air in Central Europe*, *Journal of Ecological Engineering*, Volume 20, Issue 2, February 2019, pages 51–57, <https://doi.org/10.12911/22998993/94955>
 134. Pradhan, P.; Mahajani, S.M.; Arora, A., *Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review*, *Fuel Process. Technol.* 2018, 181, 215–232, DOI:10.1016/J.FUPROC.2018.09.021
 135. Qin, J., Hovmand, M.F., Ekelund, F., Rønn, R., Christensen, S., Groot, G.A.d., Mortensen, L.H., Skov, S., Krogh, P.H., *Wood ash application increases pH but does not harm the soil mesofauna*, *Environ. Pollut.* 224, 581e589, 2017
 136. Reuter, H.I., Lado, L.R., Hengl, T., Montanarella, L., *Continental-scale digital soil mapping using European soil profile data: soil pH*, *Hambg. Beitr. Phys. Geogr. Landsch.* 19, 91e102, 2008
 137. Rogelj J., Luderer G., Pietzcker R.C., Kriegler E., Schaeffer M., Krey V., et al., *Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5C*, *Nat Clim Change* 2015;5:519
 138. 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)
 139. Scarlat N., Dallemand J.F., Monforti-Ferrario F., Nita V., *The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: policies and facts*, *Environ Dev* 2015;15:3–34
 140. 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>.
 141. Scarlat N., Dallemand J.F., Monforti-Ferrario F., Banja M., *Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports*, *Renew Sustain Energy Rev* 2015;51:969–85
 142. Schiemenz, K., Eichler-Löbermann, B., *Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops*. *Nutrient Cycl, Agroecosyst.* 87 (3), 471e482, 2010,

143. Schönnenbeck C., Trouvé G., Valente M., Garra P., Brillhac J.F., *Combustion tests of grape marc in a multi-fuel domestic boiler*, *Fuel* 2016;180:324–31. [https://doi.org/ 10.1016/j.fuel.2016.04.034](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.034)
144. Slade R., Bauen A, Gross R., *Global bioenergy resources*, *Nat Clim Change* 2014;4:99–105
145. Spirchez Gh., Lunguleasa A., Biomasa lemnoasă, o sursă importantă de energie regenerabilă, *Buletinul AGIR nr. 1/2016*
146. Statgraphics, 2009, Preluat de pe Regression analysis: <https://www.statgraphics.com/regression-analysis>
147. Statgraphics, 2016, *Statgraphics Centurion Overview*. Preluat pe 10 09, 2016, de pe http://www.statlets.com/statgraphics_centurion.htm
148. Stephen, J.D., Mabee, W.E., Pribowo, A., Pledger, S., Hart, R., Tallio, S., Bull, G.Q., *Biomass for residential and commercial heating in a remote Canadian aboriginal community*, *Renew. Energy* 86, 563e575, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.048>.
149. Stolarski, M.J., Krzy_zaniak, M., Warminski, K., Snieg, M., *Energy, economic and environmental assessment of heating a family house with biomass*, *Energy Build.* 66, 395e404, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.050>
150. Tenchea A., Contribuții privind cercetarea arderii în strat fluidizat a biomasei, Teza doctorat, Ed. Politehnica, 2008
151. Trif Torda G., Cercetări privind arderea combinată a biomasei cu cărbune, Teza doctorat, Ed. Politehnica, 2008
152. Tsivenkova N.M., Smalygin A.A., *Problems of harvesting wood chips for energy purposes*, *Lesprominform* 2005;31:64–9 [în Rusă]
153. Tugov A.N., Ryabov G.A., Shtegman A.V., Ryzhii I.A., Litun D.S., *All-Russia Thermal Engineering Institute experience in using difficult to burn fuels in the power industry*, *Therm Eng* 2016;63:455–62. <https://doi.org/10.1134/S0040601516070089>.
154. Uchitel' A.D., Kormer M.V., Lyalyuk V.P., Lyakhova I.A., Shmel'tser E.O., Vititnev Y.I., Transportation of coal concentrates at negative ambient temperatures. *Coke Chem* 2013;56:167–72. <https://doi.org/10.3103/S1068364X13050104>.
155. United Nations Environment Programme, *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>).
156. UNFCCC. The Paris agreement; 2017, http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php [accessed November 8, 2017].
157. Ungureanu, C., Pănoiu, N., Zubcu, V., & Ionel, I., *Combustibili. Instalații de ardere. Cazane*, Timisoara: Editura Politehnica 1998
158. Van Caneghem, J., De Greef, J., Alderweireldt, N., *Masterclass on Waste-to-Energy*, ISWA 2015 World Congress, Antwerp (2015)
159. Van Caneghem, J., De Greef, J., Block, C., Vandecasteele, C., NOx reduction in waste incinerators by selective catalytic reduction (SCR) instead of selective

- non catalytic reduction (SNCR) compared from a life cycle perspective: a case study, *J. Clean. Prod.* 112, 4452–4460 (2016)
160. Vassilev S.V., Vassileva C.G., Vassilev V.S., *Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: an overview*, *Fuel* 2015;158:330–50. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.050>.
 161. Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G., 2013b, *An overview of the composition and application of biomass ash. Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges*, *Fuel* 105, 19e39, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>
 162. Verbinnen, B., Billen, P., Van Caneghem, J., Vandecasteele, C., *Recycling of MSWI bottom ash: a review of chemical barriers, engineering applications and treatment technologies*, *Waste Biomass Valoriz.* 8 (5), 1453-1466 (2016). doi:10.1007/s12649-016-9704-0
 163. Vicente, E.D., Alves, C.A., *An overview of particulate emissions from residential biomass combustion*, *Atmos. Res.* 199, 159–185, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.08.027>.
 164. Wang, J., Yang, Y., *Energy, exergy and environmental analysis of a hybrid combined cooling heating and power system utilizing biomass and solar energy*, *Energy Convers. Manag.* 124, 566e577, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.059>
 165. WHO, 2018. (World Health Organization). Air pollution. (<http://www.who.int/airpollution/en/> (Accessed on 27 March 2018))
 166. 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>
 167. ***Manualul inginerului termotehnician, vol.I, E.T., București, 1986.
 168. ***Echipamentul de analiză termogravimetrică Netzsch TG 209 F1 Libra <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermogravimetric-analysis-tga-thermogravimetry-tg/tg-209-f1-libra>
 169. ***Analizor de gaze model TESTO 350 XXL, <https://www.testo.com/ro-RO/search/?text=Analizor+de+gaze+model+TESTO+350+XXL+++>
 170. ***Anemometru cu fir cald TESTO 425, testo 425 termo-anemometru | Tubulaturi de ventilație | Măsurarea vitezei | Mentenanța sistemelor de aer condiționat | Operare, mentenanță și service | Aplicații | Testo România
 171. ***Bomba calorimetrică model IKA C 5000 - <https://www.ika.com/en/Products-Lab-Eq/Calorimeters-Oxygen-Bomb-calorimeter-csp-330/>
 172. ***Codul pentru CloudAPI <https://gitlab.ethernity.cloud/islavici/centrala-cloud-api>
 173. ***Contor termic - https://www.multical.hu/upload/files/MC_66C_Technical_Description_5511-634_GB_Rev_C1.pdf

174. ***Cromatograful cu ioni pentru lichide – model DIONEX ICS -2100
<https://proanalysis.ro/index.php/produse/cromatografe-de-schimb-ionic>
175. ***Cuptor de calcinare model Norbertherm B150 -
<https://www.laboratorium.ro/aparatura-laborator/cuptoare-de-calcinare-en/>
176. ***Echipament de tip LECO AF 700 - <https://www.leco.com/product/af700>
177. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 14774 – Biocombustibili solizi - determinarea conținutului de umiditate;
178. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 14775 - Biocombustibili solizi - determinarea conținutului de cenușă;
179. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 14918 - Biocombustibili solizi - determinarea puterii calorifice;
180. ***CEN (European Committee for Standardization). (January 2010). EN 14961. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 1 – General requirements
181. ***CEN (European Committee for Standardization). (January 2010). EN 14961- 4 Solid Biofuels - Fuel Specifications And Classes - Part 4: Wood Chips For Non-Industrial Use
182. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 15104 – Biocombustibili solizi – determinarea conținutului total de carbon, hidrogen și azot;
183. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 15148 – Biocombustibili solizi – determinarea conținutului de materii volatile;
184. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 15289 - Determinarea conținutului total de sulf și clor
185. ***CEN (European Committee for Standardization), EN 17225-1 - Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 1 – General requirements
186. ***CEN (European Committee for Standardization). (Mai 2014). EN 17225-2. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 2 – Graded wood pellets
187. ***CEN (European Committee for Standardization). (Mai 2014). EN 17225-6. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 6 – Graded non-woody pellets
188. ***Etuva model MEMMERT, <https://www.analiticlaboratory.ro/etuve-cu-convectie-fortata-model-uf/>
189. ****HomeAssistant* [https://www.home-assistant.io],
<https://gitlab.ethernity.cloud/islavici/centrala-homeassistant>
190. ***http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/sec_2011_1565_part2_0.pdf
191. ***<http://www.inashco.com/>
192. ***<https://ec.europa.eu/eurostat>, ITC calculations based on Eurostat statistics.
193. ***Multianalizor model LECO TruSpec CHN -
<https://www.leco.com/product/truspec-micro>
194. ***Presa la cald model Struers – PRONTO PRESS – 10, ProntoPress-10 -
Struers.com, <https://www.struers.com>

195. ***Spectrometru de tip PANalitycal MagiXPro - XRF Analyzers | XRF Spectrometers | Malvern Panalytical
196. ***Termoanemometru cu fir cald - <https://www.testo.com/ro-RO/search/?text=Testo+405i.+Termoanemometru+cu+fir+cald+>
197. ***Termocupla tip K - <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/measuring-temp-using-thermocouples.html>
198. ***Testo 410i. Anemometru cu elice - <https://www.testo.com/ro-RO/testo-410-i/p/0560-1410>
199. ***Testo 605i.Termohigrometru - <https://www.testo.com/ro-RO/search/?text=Testo+605i.Termohigrometru>
200. ***Testo 805i.Termometru cu infraroșu <https://www.testo.com/ro-RO/search/?text=Testo+805i.Termometru+cu+infraro%C8%99u>
201. *** www.zecasin.ro, Cercetări pentru obținerea de biocombustibili,
202. ***<http://lab-usa.us/services-technologies/>
203. ***Revised Thermocouple Reference Tables - <https://br.omega.com/temperature/Z/pdf/z204-206.pdf>

ANEXE

Anexa 1. Standarde pentru peleți și brichete din lemn

Tabelul A1.1. Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz non-industrial

Caracteristica	Unitate de măsură	Enplus A1	Enplus A2	Enplus B
Diametru minim	mm	6	6	6
Diametru maxim	mm	8	8	8
Lungime minim	mm	3,15	3,15	3,15
Lungime maximă	mm	40,4	40,4	40,4
Umiditate max	w-%	10	10	10
Rezistența mecanică minimă	w-%	98	97,5	97,5
Putere calorifică netă	kWh/kg	4,6	4,6	4,6
Putere calorifică netă	MJ/kg	16,56	16,56	16,56
Densitate de vrac minimă	kg/m ³	600	600	600
Densitate de vrac maximă	kg/m ³	750	750	750
Aditivi maxim	w-%	2	2	2
N max	w-%	0,3	0,5	1
S max	w-%	0,04	0,05	0,05
Cl max	w-%	0,02	0,02	0,03
Cenușa max	w-%	0,7	1,2	2
Praf (<3,15mm)	w-%	1	1	1
Praf (<3,15mm)	w-%	0,5	0,5	0,5
Temperatura max	°C	40	40	40
Temperatura de topire a cenușii	°C	1200	1100	1100
Arsenic	mg/kg	1	1	1
Cadmium	mg/kg	0,5	0,5	0,5
Crom	mg/kg	10	10	10
Cupru	mg/kg	10	10	10
Plumb	mg/kg	10	10	10

Mercur	mg/kg	0,1	0,1	0,1
Nichel	mg/kg	10	10	10
Zinc	mg/kg	100	100	100
Materie primă		Trunchiuri fără coajă, Reziduuri lemnoase netratate chimic	Copaci fără rădăcini, Trunchiuri fără coajă, Deșeuri din exploatații forestiere, Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, Plantații și lemn neprelucrat, Produse secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului, Lemn folosit netratat chimic

Tabelul A1.2. Standarde pentru peleți și brichete din lemn pentru uz industrial

Caracteristica	Unitate de măsură	I 1	I 2	I 3
Diametru min	mm	6	6	6
Diametru max	mm	8	10	12
Lungime min	mm	3,15	3,15	3,15
Lungime max	mm	40	40	40
Umiditate max	w-%	10	10	10
Rezistența mecanică min	w-%	97,5	97	96,5
Putere calorifică netă	kWh/kg			
Putere calorifică netă	MJ/kg	16,50	16,50	16,50
Densitate de vrac min	kg/m ³	600	600	600
Densitate de vrac max	kg/m ³			
Aditivi max	w-%	3	3	3
N max	w-%	0,3	0,3	0,6
S max	w-%	0,05	0,05	0,05
Cl max	w-%	0,03	0,05	0,1
Cenușa max	w-%	1	1,5	3
Praf (<3,15mm)	w-%	4	5	6
Praf (<3,15mm)	w-%			

Temperatura max	°C			
Temperatura de topire a cenușii	°C			
Arsenic	mg/kg	2	2	2
Cadmium	mg/kg	1	1	1
Crom	mg/kg	15	15	15
Cupru	mg/kg	20	20	20
Plumb	mg/kg	20	20	20
Mercur	mg/kg	0,1	0,1	0,1
Nichel	mg/kg			
Zinc	mg/kg	200	200	200
Materie primă		Păduri, plantații și lemn neprelucrat, Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, plantații și lemn neprelucrat, Reziduuri lemnoase netratate chimic	Păduri, plantații și lemn neprelucrat, Produse secundare și reziduuri din industria de prelucrare a lemnului, Lemn folosit netratat chimic

Anexa 2. Autorizație funcționare CET SUD pe biomasă



Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor
 Agenția Națională pentru Protecția Mediului



AUTORIZAȚIE NR. 142/10.06.2021
 PRIVIND EMISIILE DE GAZE CU EFECT DE SERĂ
 PENTRU PERIOADA 2021-2030
 REVIZUITĂ LA DATA DE 22.09.2022

A.1. Date de identificare

A.1.1. Date de identificare ale operatorului (titularului)

Denumirea operatorului (titularului)	Compania Locală de Termoficare COLTERM S.A. Timișoara	
Forma de organizare a societății	Societate comercială	
Nr. de înregistrare în Registrul Comerțului	J35/185/19.01.2004	
Cod Unic de Înregistrare	16063013	
Adresa sediului social	Strada, numărul	Str. Episcop Joseph Lonovici, Nr. 4
	Localitatea	TIMIȘOARA
	Județul	TIMIȘ
	Codul poștal	300092

A.1.2. Date de identificare ale instalației

Denumirea instalației	CET TIMIȘOARA SUD
Activitatea/activitățile principală/principale a/ale instalației	Furnizare de abur și aer condiționat, producție energie electrică
Activitatea/activitățile din anexa nr. 1	Arderea combustibililor în instalații cu putere



AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU PROTECȚIA MEDIULUI
 Splaiul Independenței, nr. 294, Sector 6, București, Cod 060031
 E-mail: office@anpm.ro; Tel. 021.207.11.01; Fax 021.207.13.93

Operator de date cu caracter personal, conform Regulamentului (UE) 2016/679



pag. 1/15

Situția alocării certificatelor de emisii de gaze cu efect de seră în perioada 2021-2030	Alocare inițială*	Din Rezerva pentru instalațiile nou intrate în perioada 2021-2030
		DA

*Alocare realizată în conformitate cu *Regulamentul delegat (UE) 2019/331 AL COMISIEI din 19 decembrie 2018 de stabilire a normelor tranziției pentru întreaga Uniune privind alocarea armonizată și cu titlu gratuit a certificatelor de emisii în temeiul articolului 10a din Directiva 2003/87/CE a Parlamentului European și a Consiliului*

A.1.4. Informații privind emiterea autorizației privind emisiile de gaze cu efect de seră











Autorizație	Data emiterii			Motivul revizuirii
	Ziua	Luna	Anul	
142	10	06	2021	
Revizuire I	22	09	2022	Introducerea unui nou flux de sursă – biomasa (lemn și deșeuri forestiere)
Revizuire II				
Revizuire ...n				

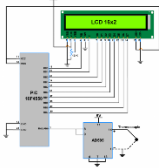

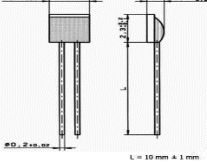






A.2. Durata de valabilitate a autorizației privind emisiile de gaze cu efect de seră






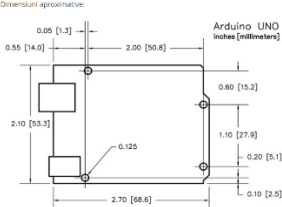




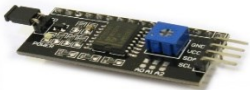
Autorizația privind emisiile de gaze cu efect de seră pentru perioada 2021-2030 este valabilă pentru întreaga perioadă pentru care a fost emisă, atât timp cât activitatea desfășurată de operator în instalație se realizează în conformitate cu autorizația emisă conform prezentei proceduri.

Anexa 3. Componente pentru automatizarea centralei

Nr. crt	Denumire	Descriere
1	Termocupla tip K MAX6675 - Senzor de temperatură ce poate măsura temperaturi înalte cu o rezoluție foarte mică, ce oferă precizie ridicată. Produsul poate lucra împreună cu plăcuțe de Arduino, comunicând pe magistrală SPI. Cu ajutorul termocuplei de tip K, a unei plăcuțe de dezvoltare și a unui LCD se poate construi propriul termometru digital pentru temperaturi înalte	
2	Microîntrerupător SNAP ACTION cu manetă; SPST-NO +SPST-NC	
3	Microîntrerupător, miniatură, pârghie, SPDT 100mA, 30 VDC	
4	Modul senzor Ultrasonic – detector distanta HC-SR04	
5	Buton cu Capac Rotund	
6	Modul periferic, convertor de rezistență digital (RTD), detector de temperatură	

7	Senzor de temperatură RTD PT100/PT1000/ Adafruit PT100 RTD Senzor de amplificare a temperaturii	
8	PT100 PROBE 3.0 X 50mm senzor PT100 clasa B cu plumb izolat PTFE	
9	Sonda, RTD, Pt100, PTFE, 250 mm, 3 mm, oțel inoxidabil	
10	PT100 20X6 2M PROFFUSE	
11	Senzor temperatură; Pt100; 100Ω SCPPT100A APAR	
12	Modulul LCD 2004 afiseaza 4 linii a cate 20 de caractere LCD 2004	
13	Modul I2C pentru LCD 1602 2004 - adaptor ce se monteaza direct pe ecranul LCD	
14	Placa de dezvoltare UNO R3 compatibil Arduino, cu microcontroller ATmega328p	
15	Senzor infrarosu, PIR, pyroelectric, IRA-S210ST01, Murata	
16	Interfața termocuplului cu PIC18F4550	

17	Interfața diagramei	
18	Sonda temperatura, -40/+1000C, termocuplu K, 6x300mm, 20-204007990300.TM, GUENTHER	
19	Sonda temperatura, PT1000, -70...550°C, 12.3x2.1x0.9mm, 2 fire, PT1000-550, PROFUSE	
20	1,5 ° C SENZOR DE TEMPERATURĂ DIGITALĂ EXACTĂ CU INTERFAȚĂ SPI	
21	amplificator de instrumentație complet și compensator de jonctiune rece a termocuplului pe un cip monolitic AD595AQ ANALOG DEVICES	
22	Senzor digital de temperatură cu interfață SPI - TC72 Măsurare	
23	Potențiomtru digital unic / dual cu interfață SPI™	
24	28/40/44-pini Flash performant, îmbunătățit USB Microcontrolere cu tehnologie nanoWatt	
25	programator PICKit 3	

26	Alimentator: de laborator programabil - AX-3005PQ AXIOMET	
27	Rezistoare Asortate Optimus Digital între 10 Ω - 1 M Ω (600 buc) + Termistor, Fotorezistor și LED-uri	
28	Kit Diode Zener	
29	Kit mini potentiometre semi-reglabile 6mm (100 buc)	
30	Modul LCD 1602	
31	Placa de dezvoltare UNO R3 compatibil Arduino	<p>Dimensiuni aproximative:</p>  <p>Arduino UNO Inches [millimeters]</p>
32	Modul termocuplă tip K MAX6675	
33	Microswitch, Miniature, Lever, SPDT, Solder, 100 mA, 30 VDC	
34	Modul periferic, convertor de rezistență la digital (RTD), detectoare de temperatură, ușor de utilizat-MAX31865PMB1 #	
35	Senzor - SCPPT100A APAR	
36	Modul I2C pentru LCD 1602 2004	

Anexa 4. Codul sursă pentru partea de alimentare

```
#include "max6675.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>

Adafruit_MAX31865 thermo = Adafruit_MAX31865(1, 0, 4, 7);
#define RREF 380.0
#define RNOMINAL 100.0

int soPin1 = 4; // SO=Serial Out
int csPin1 = 8; // CS = chip select CS pin
int csPin2 = 2; // CS = chip select CS pin
int sckPin1 = 7; // SCK = Serial Clock pin
int Termostat = 1;
int Bujie = 3;
int PApa = 5;
int Ventilator = 6;
int Peleti = 9;
int niv_peleti = 0;
int buton_sus = A0;
int buton_jos = A1;
int buton_stanga = A2;
int buton_dreapta = A3;
const int trigPin = 12;
const int echoPin = 13;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

MAX6675 k1(sckPin1, csPin1, soPin1); // create instance object of
MAX6675
MAX6675 k2(sckPin1, csPin2, soPin1); // create instance object of
MAX6675
```

```
long duration;
int distance;
int menu=1;
int temp_apa=30;
int last_temp;
float PT;
int flag;
float flag_time;
float old_time;

void setup() {
  thermo.begin(MAX31865_2WIRE);
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();

  pinMode(Bujie, OUTPUT);
  pinMode(Peleti, OUTPUT);
  pinMode(PApa, OUTPUT);
  pinMode(Ventilator, OUTPUT);
  pinMode (trigPin, OUTPUT);
  pinMode (echoPin, INPUT);
  pinMode(buton_sus, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buton_jos, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buton_stanga, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buton_dreapta, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(PApa,HIGH);
  old_time=millis();
  flag_time=millis();
  flag=4;
}

void loop() {
  uint16_t rtd = thermo.readRTD();
```

```
float ratio = rtd;
ratio /= 32768;
PT=thermo.temperature(RNOMINAL, RREF);

digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin,HIGH);
delayMicroseconds (10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin,HIGH);
distance = duration*0.034/2;
butoane();
if(k2.readCelsius()<90)
{
  if(Termostat=1)
  {
    if(k1.readCelsius()<30) //daca nu avem flacara pornim bujia
    {
      digitalWrite(Bujie, LOW); //bujie pornita
    }
    else if(k1.readCelsius()>31)
    {
      digitalWrite(Bujie, HIGH); //Bujie oprita
    }

    Pompa_apa();
    Vent_control();

  }
  else
  {
    digitalWrite(Bujie, HIGH);
    digitalWrite(PApa, HIGH);
    digitalWrite(Ventilator, HIGH);
  }
}
```

```
    }
    else
    {
        digitalWrite(Bujie, HIGH);
        digitalWrite(PApa, LOW);
        digitalWrite(Ventilator, HIGH);
    }
    if(distance>10)
    {
        digitalWrite(Peleti, LOW);
        niv_peleti=0;
    }
    else
    {
        digitalWrite(Peleti, HIGH);
        niv_peleti=1;
    }
    flag_set();
    lcd_print();
}
void Pompa_apa()
{
    if(flag==1)
    {
        digitalWrite(PApa, LOW);
        if(millis()-old_time>20000UL)
        {
            digitalWrite(PApa,HIGH);
            flag=4;
            flag_time=millis();
        }
    }
    if(flag==2)
    {
        digitalWrite(PApa, LOW);
```



```
if(millis()-old_time>30000UL)
{
    digitalWrite(PApa,HIGH);
    flag=4;
    flag_time=millis();
}
}
if(flag==3)
{
    digitalWrite(PApa, LOW);
    if(temp_apa-PT>5)
    {
        digitalWrite(PApa,HIGH);
        flag=4;
        flag_time=millis();
    }
}
}
```

```
int flag_set()
{
    if(flag==4)
    {
        if(millis()-flag_time>20000UL)
        {
            if(temp_apa-PT>10)
            {
                flag=1;
            }
            if(temp_apa-PT<10)
            {
                if(temp_apa-PT>1)
                {
                    flag=2;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }
    if(temp_apa-PT<1)
    {
        flag=3;
    }
    old_time=millis();
}
}
return flag;
}

void Vent_control()
{
    if(PT-temp_apa>10)
    {
        digitalWrite(Ventilator, HIGH);
    }
    else if(PT-temp_apa<1)
    {
        digitalWrite(Ventilator, LOW);
    }
}

void butoane()
{
    if (analogRead(buton_sus)<900){
        menu++;
        if(menu>2)
            {menu=1;}
        while (analogRead(buton_sus)<900);
        lcd.clear();
    }
    if (analogRead(buton_jos)<900){
        menu--;
        if(menu<1)
```

```
{menu=2;}
while(analogRead(buton_jos)<900);
lcd.clear();
}

if(menu==2)
{
if (analogRead(buton_stanga)<900)
{
temp_apa--;
delay(20);
while (analogRead(buton_stanga)<900);
}
if (analogRead(buton_dreapta)<900)
{
temp_apa++;
delay(20);
while (analogRead(buton_dreapta)<900);
}
}
}

void lcd_print()
{
if(menu==2)
{
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print("Setati Temperatura ");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print("apei in centrala: ");
lcd.setCursor (0,2);
lcd.print(temp_apa);
}
else
{
```

```
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print("INFORMATII GENERALE");
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Temp apa:      ");
    lcd.setCursor (16,1);
    lcd.print(temp_apa);
    lcd.setCursor (19,1);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor (0,2);
    lcd.print("Temp cazan:      ");
    lcd.setCursor (13,2);
    lcd.print(PT);
    lcd.setCursor (19,2);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor (0,3);
    lcd.print("Nivel Pel:      ");
    lcd.setCursor (13,3);
    if(niv_peleti==0)
    {
        lcd.print("LOW");
    }
    else
    {
        lcd.print("HIGH");
    }
}
```

Anexa 5. Codul sursă pentru partea de acționare

```
#define s_cw 2 // stepper dir
#define s_clk 3 // stepper pulse
#define s_en 4 // stepper enable
#define vent 5
#define melc 6
#define ign 8

void setup() {
  pinMode(s_cw, OUTPUT);digitalWrite(s_cw,LOW);
  pinMode(s_clk, OUTPUT);digitalWrite(s_clk,LOW);
  pinMode(s_en, OUTPUT);digitalWrite(s_en,HIGH);
  pinMode(melc, OUTPUT);digitalWrite(melc,LOW);
  pinMode(vent, OUTPUT);digitalWrite(vent,LOW);
  pinMode(ign, OUTPUT);digitalWrite(ign,LOW);
  misc(0,400,300);delay(500);
  aprindere();
}

void misc(int dir, int pasi , int tt){
  if(dir==1){digitalWrite(s_cw,LOW);}else{digitalWrite(s_cw,HIGH);}
  digitalWrite(s_en,LOW);delay(1);
  for (int i=0; i < pasi; i++){
    digitalWrite(s_clk,HIGH);delayMicroseconds(tt);
    digitalWrite(s_clk,LOW);delayMicroseconds(tt);
    // digitalWrite(s_en,HIGH);
  }
}

void aprindere(){
  analogWrite(melc,255);delay(2000);digitalWrite(melc,LOW);
  digitalWrite(vent,HIGH);delay(1000);digitalWrite(ign,HIGH);
  delay(60000);/* if exista flacare? */ digitalWrite(ign,LOW);
}
```

```
    }
    void loop() {

        analogWrite(melc,255);delay(1500);digitalWrite(melc,LOW);delay(100
0);
        misc(1,400,300);delay(1500);misc(0,200,600);delay(25000);misc(0,200
,600);
        //digitalWrite(vent,LOW);
    }
    #include <OneWire.h>
    #include <DallasTemperature.h>
    #define ONE_WIRE_BUS 41
    #define TEMPERATURE_PRECISION 9
    OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
    DallasTemperature sensors(&oneWire);
    DeviceAddress DS18B20_1={0x28, 0x4F, 0x77, 0xCF, 0x00, 0x00,
0x00, 0xD0};
    DeviceAddress DS18B20_2={0x28, 0x47, 0x97, 0xB7, 0x09, 0x00,
0x00, 0x91};
    #define s_cw 2 // stepper dir
    #define s_clk 3 // stepper pulse
    #define s_en 4 // stepper enable
    #define vent 5 // ventilator
    #define melc 6 // melc alimentare
    #define ign 8 // rezistenta aprindere

    #define s_flacara 10 // senzor prezenta flacara
    #define s_temo_apa 11 // senzor temp apa
    #define s_clapeta 12 // senzor initializare clapeta
    #define s_dozare 13 // senzor nivel dozare
    #define s_temp_cos A0// senzor temperatura cos PT100 prin SEN0198

    void setup() {
        pinMode(s_cw, OUTPUT);digitalWrite(s_cw,LOW);
```

```

pinMode(s_clk, OUTPUT);digitalWrite(s_clk,LOW);
pinMode(s_en, OUTPUT);digitalWrite(s_en,HIGH);
pinMode(melc, OUTPUT);digitalWrite(melc,LOW);
pinMode(vent, OUTPUT);digitalWrite(vent,LOW);
pinMode(ign, OUTPUT);digitalWrite(ign,LOW);

pinMode(s_clapeta, INPUT_PULLUP);
pinMode(s_dozare, INPUT_PULLUP);
pinMode(s_clapeta, INPUT_PULLUP);

misc(0,400,300);delay(500);
aprindere();
}
void misc(int dir, int pasi , int tt){
if(dir==1){digitalWrite(s_cw,LOW);}else{digitalWrite(s_cw,HIGH);}
digitalWrite(s_en,LOW);delay(1);
for (int i=0; i < pasi; i++){
digitalWrite(s_clk,HIGH);delayMicroseconds(tt);
digitalWrite(s_clk,LOW);delayMicroseconds(tt);
// digitalWrite(s_en,HIGH);
}
}
void aprindere(){
analogWrite(melc,255);delay(2000);digitalWrite(melc,LOW);
digitalWrite(vent,HIGH);delay(1000);digitalWrite(ign,HIGH);
delay(60000);/* if exista flacare? */ digitalWrite(ign,LOW);
}
void loop() {

analogWrite(melc,255);delay(1500);digitalWrite(melc,LOW);delay(100
0);
misc(1,400,300);delay(1500);misc(0,200,600);delay(25000);misc(0,200
,600);
//digitalWrite(vent,LOW);
}

```

Anexa 6. Lista de materiale necesare realizării prototipurilor centralei efective (fără automatizare și control la distanță)

MATERIALE	U M	Cantitate	Preț/buc	Valoare
CONDUCTA DISTRIBUTOR	buc	217.000	1.725	374.325
POMPA APA	buc	2.000	254.025	508.050
ELECTROZI	kg	2.500	52.652	131.630
TEAVA	buc	411.000	8.587	3,529.257
PC R10	kg	203.520	2.740	557.645
PC R12	kg	53.230	2.740	145.850
OTEL	kg	3,626.767	2.680	9,719.736
OTEL PATRAT	KG	6.760	4.541	30.697
RAC OLANDEZ	buc	2.000	1,059.830	2,119.660
DISC DIA ECO	buc	20.000	17.028	340.560
MUFE DREPTE	buc	16.000	3.018	48.288
COT	buc	70.000	0.574	40.180
DOP COMPRESIUNE	buc	11.000	2.767	30.437
DILUANT		2.000	7.665	15.330
GRUND		3.000	8.240	24.720
BRIDA SPC	buc	2.000	9.680	19.360
AGITATOR	buc	4.000	11.200	44.800
CAPAC CUTIE SPC	buc	2.000	20.160	40.320
REDUCTIE	buc	1.000	26.150	26.150
ROBINET	buc	2.000	16.670	33.340
FURTUN APA	buc	1.000	240.340	240.340
BARA ROTUNDA	m	1.250	67.482	84.353
PROFIL H8	buc	33.000	9.856	325.248
BALAMA	buc	4.000	4.515	18.060
PRIZA SCAME	buc	5.000	20.670	103.350
CABLU	ml	61.000	3.201	195.261
NIPLU	buc	1.000	77.710	77.710
CUTIE CONEXIUNE	buc	2.000	17.330	34.660
VOPSEA	kg	2.000	169.250	338.500
TUB	m	71.000	3.123	221.733
RACORD	buc	2.000	7.145	14.290

MOTOR	buc	1.000	415.940	415.940
SET ROBINETI	buc	2.000	204.735	409.470
CALORIFER	buc	1.000	180.450	180.450
SET PANZA	buc	4.000	28.560	114.240
PLATBANDA		10.000	13.129	131.290
HEIMER SET ROBINET+CAP	buc	3.000	79.107	237.321
GARNITURA	buc	28.000	5.254	147.112
CHEIE COMBINATA	set	5.000	50.000	250.000
SIMERING	buc	3.000	7.120	21.360
INEL	buc	1.000	17.740	17.740
RULETA	buc	1.000	5.550	5.550
PASLA	buc	1.000	96.540	96.540
STATOIL	buc	1.000	160.000	160.000
COLIER	buc	8.000	4.380	35.040
REZISTENTA	buc	1.000	145.000	145.000
TESATURA INOX		20.400	59.000	1,203.600
ECOPUR	buc	1.000	61.850	61.850
BUTELIE	buc	1.000	7.900	7.900
COT SUDABIL	buc	7.000	20.560	143.920
REZERVA CUTER	buc	2.000	2.000	4.000
BURGHIU	buc	5.000	10.654	53.270
EMAIL	buc	1.000	49.170	49.170
PASTA	buc	1.000	3.340	3.340
PX ELECTRIC	buc	1.000	24.110	24.110
SNUR	buc	2.000	20.170	40.340
HASIT	buc	55.000	19.970	1,098.350
RADIATOR	buc	4.000	554.580	2,218.320
CORDFLEX ASPIRARE	buc	5.000	86.800	434.000
Platbanda inox	kg	10	21.77	217.700
Tabla inox	kg	75.000	21.530	1,614.750
Diverse materiale electrice si electronice				5000

33,975.512

Adaus comercial de 15% care cuprinde și cheltuieli de transport

5096.326833

39,071.83905

3

Anexa 7. Baza de date cu combustibili solizi utilizată în calcule

Nr. crt	Denumire combustibil solid	Umidi-tate [%]	Cenu-șa [%]	Puterea calorifi-că inferi-oară [kJ/kg]	N [%]	C [%]	S [%]	H [%]	O [%]
Combustibili comerciali									
1	Brichete	5,84	0,08	18498	1,24	46,74	0,1	6,39	45,52
2	Așchii de crengi de stejar	11,1	7,4	17181	0,76	45,65	1,99	5,75	45,84
3	Pelete din frunze de pin și pin	8,2	3,2	18147	0,4	42,26	0,27	4,81	52,27
4	Așchii de pin	10,25	0,6	19427	0,09	48,15	0,28	5,59	45,9
5	Conuri de pin	9,14	1,3	18633	0,27	47,65	0,44	5,43	46,21
6	Coajă de semințe de pin	8,33	2,7	18893	0,31	47,91	0,6	4,9	46,28
7	Pelete de pin	6,75	1,3	18840	0,28	46,83	0,31	5,3	47,28
8	Conuri de pin	23,1	3,5	16440	0,29	42,22	0,84	5,06	51,59
9	Rumeguș	11,3	1,6	18016	0,53	45,34	1,07	6,02	47,05
10	Pelete de paie (iarbă)	7,3	9,8	16584	0,56	47,89	0,17	5,51	45,87
11	Cărbune vegetal	5,29	5,9	29712	0,65	79,34	0,3	2,74	16,97
12	Chipsuri de muguri de viță de vie	22	9,7	14631	0,61	40,15	0,31	5,02	53,91
13	Așchii de lemn	25,6	1,5	15162	0,13	42,2	0,27	5,51	51,88
14	Pelete de lemn	7,7	1,3	18218	0,6	46,79	0,32	6,13	46,15
15	Pelete de lemn 1*	9,59	2,29	17825	0,11	43,577	0,013	6,21	43,79
16	Pelete de lemn 2**	7,96	0,23	17725	0,08	35,063	0,326	6,08	43,01
17	Pin tulpină fără coajă	41,4	0,32	18604	0,1	49,9	0,005	6,53	43,47
18	Amestec rășinoase	24,2	0,32	19382	0,14	51,2	0,005	6,13	42,53
19	Brad tulpină fără scoarță	24,21	0,31	17799	0,14	51,2	0,005	6,13	42,53
20	Fag fără coajă	16,6	0,74	17677	0,19	49,8	0,005	6,32	43,69
21	Stejar tulpină fără coajă	7,7	0,34	19301	0,13	49,3	0,006	6,31	44,25
22	Carpen	23,2	13,1	16278	1,3	48,2	0,1	5,9	44,5
Deșeuri industriale									
23	Paie de orz	9,8	6,1	17369	1,64	40,69	0,23	6,95	50,5
24	Coji de fasole	9,99	8	15114	0,66	39,66	0,31	5,38	53,98
25	Așchii deșeuri de construcții	7,9	0,8	18279	0,08	47,26	0,17	6,45	46,04
26	Sâmbure de cireș	7,57	0,87	19069	0,43	48,57	0,19	6,21	44,6
27	Coajă de castan	24,4	3,9	14310	0,42	42,31	0,33	5,17	51,77

28	Știulete de porumb	7	2,4	17692	0,22	44,78	0,21	6,02	48,77
29	Deșeuri de viță de vie	11,16	13,3	16467	1,35	35,74	0,3	5,95	56,67
30	Coajă de alune	8,74	2,2	18872	0,27	47,8	0,16	6,14	45,64
31	Sâmburi de nectarine	8,2	1,1	19560	0,5	48,57	0,23	6,22	44,48
32	Coji de mazăre	11,8	4,5	15464	1,24	39,62	1,82	6,54	50,78
33	Deșeuri de plante de mazăre	8,7	5,8	17351	0,9	44,06	0,39	4,73	49,91
34	Sâmburi de piersici	8,55	0,5	19590	3,94	40,72	0,3	6,96	48,07
35	Deșeuri de plante de ardei	7,94	22,9	13656	3,66	36,56	0,83	5,27	53,67
36	Sâmburi de prune	9,13	1,8	19136	0,87	48,22	0,17	6,6	44,14
37	Deșeuri de plante de cartofi	9,9	15,8	15070	1,13	38,33	0,44	5,07	55,03
38	Coji de orez	7,27	13,7	15899	0,21	26,69	0,17	2,88	70,05
39	Paie de secară	8,7	3,2	17113	1,16	40,18	0,32	6,85	51,48
40	Coji de semințe de floarea soarelui	8,2	1,9	17998	0,38	45,33	0,24	5,91	48,14
41	Deșeuri de plante de roșii	10,2	16,2	14154	1,19	36,63	1,48	0,68	60,01
42	Deșeuri de muguri de viță de vie	31,4	4,1	13292	0,63	35,6	0,24	5,61	58,91
43	Coaja de nucă	8,7	2,3	18378	0,22	46,97	0,1	6,27	46,44
44	Paie de grâu	7,7	5,3	17344	1,18	45,58	0,59	6,04	46,6
45	Rumeguș de lemn	9,2	0,6	18207	0,12	45,97	0,24	5,13	48,53
46	Câneapă românească tulpini	15,5	2,87	17940	0,45	48,3	0,008	5,4	45,84
Deșeuri forestiere									
47	Ghinda de stejar american	9,92	3,2	17372	0,6	44,68	0,18	5,98	48,55
48	Scoarță de plop negru	9,8	8	17406	0,42	43,25	0,34	6,33	49,66
49	Lemn de plop negru	7,18	1,5	18392	0,18	46,19	0,56	5,7	47,36
50	Așchii de castan	9,83	1,3	17485	0,23	45,3	0,17	6,1	48,2
51	Talaj de castan	8,35	0,4	17616	0,12	45,88	0,27	5	48,73
52	Așchii de alune și arin	9,5	5	18522	0,4	45,47	0,2	5,94	47,99
53	Castan sălbatic - coaja de fruct (cu ghimpi)	9,2	5,4	17165	0,45	53,38	0,23	7,16	38,77
54	Ghinda de stejar	11,9	2,6	16165	0,8	41,84	0,25	6,82	50,28
55	Crengi de stejar	9,8	4,3	17592	0,73	37,89	0,21	5,94	55,23
56	Așchii de pin și eucalipt	13,4	3,6	16987	1,59	45,9	0,19	6,3	46,03
57	Talaj de pin	9,2	0,8	19793	0,07	48,67	0,26	5,08	45,92
Deșeuri forestiere-frunze									

58	Frunze de măr	9,3	112	17510	1,61	44,45	0,23	6,15	47,56
59	Frunze de plop negru	9,4	7,8	18165	1,03	58,3	0,35	8,41	31,92
60	Frunze de cireș	10,4	7,4	17734	1,49	45,52	0,19	6,25	46,55
61	Frunze de castan	8,2	4,9	18757	2,21	47,82	0,27	6,24	43,46
62	Frunze de alun	9,1	8	17870	2,05	45,14	0,31	6,79	45,71
63	Frunze de stejar	9,1	3,8	18312	3,04	46,9	0,38	5,47	44,2
64	Frunze de piersic	7,44	10,2	18336	2,03	59,59	0,77	9,76	27,86
Deșeuri forestiere-ramuri									
65	Ramuri de măr	7,7	5	17821	0,81	46,24	0,39	11,5 5	41,01
66	Ramuri de plop negru	8,4	4	18411	0,33	45,62	0,59	0,03	53,43
67	Ramuri de cireș	7,7	4,4	19361	0,52	46,42	0,17	6,21	46,68
68	Ramuri de viță de vie	10,4	7,6	16818	0,76	45	0,46	6,95	46,83
69	Ramuri de castan	8,8	6,9	17469	1,05	43,71	0,43	6,27	48,54
70	Ramuri de stejar	8,2	4,2	17717	2,87	48,26	0,33	6,28	42,26
Culturi energetice									
72	Iarba elefantului	7,53	9,6	18072	0,1	47,09	0,1	6,3	46,42
73	Raigras (iarbă de secară)	16,5	8,8	17000	1,34	46,1	0,14	5,6	38,1
74	Rapiță boabe/turtă	26,5	4,6	10000	3,94	60,5	0,1	7,2	23,8
75	Rapiță tulpini	17,1	6,2	17064	0,84	47,1	0,27	5,9	40
76	Orz și măzăriche	7,8	7,33	16661	0,92	41,69	0,29	5,82	51,27
77	Sorg	6,1	17	11872	0,73	40,79	0,23	4,38	53,87
78	Triticale	9,8	6,2	16645	1,23	42,14	0,76	5,8	50,07
79	Topinambur	11,3	5,94	16903	1,46	45,6	0,117	5,59	47,23
80	Salcie energetică	7,91	2,34	18307	0,65	44,6	0,064	6,36	48,33
Cereale									
81	Boabele de orz	9,9	3	16519	1,79	41,59	0,35	6,08	50,18
82	Boabele de porumb	11,1	2,1	16429	1,17	40,96	0,23	6,92	50,71
83	Tărâțe de ovăz	9,9	4,15	18058	2,17	44,01	0,29	7,17	46,36
84	Boabele de secară	10,76	1,8	16141	1,2	41,11	0,21	6,76	50,72
85	Boabele de soia	10,9	4,8	16711	1,16	44,42	0,24	6,33	47,86
86	Boabele de grâu	10,3	2,8	16325	0,24	49,22	0,26	6,52	43,76

* Pelete de lemn 1 - 70%stejar și

30%brad

** Pelete de lemn 2 - 70%brad și

30%molid

Anexa 8. Buletinele de analiză pentru materia primă utilizată în procesul de ardere

COLTERM SA
Str. Episcop Joseph Lonovici nr. 4 - 300092 - TIMISOARA

Fișă determinare umiditate (imbabiție, higroscopică), cenușă

Nr. / Data : *PELETI BESCITIN LA CULOARE*
Sort cărbune :
Proces verbal nr. :
Aviz expedite :

Tava nr.:	Ora:
Tava goală (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)

Umiditate de imbabiție, W, (%): *5,35%*

Masa proba luată în lucru (g)	Fiola nr.:	Fiola nr.:
Fiola uscată în etuva (g)	<i>1,02318</i>	<i>1,0280</i>
Fiola proba (g)	<i>20,6967</i>	<i>20,2128</i>
Fiola proba uscată în etuva (g)	<i>21,6967</i>	<i>21,2128</i>

Umiditate higroscopică, W_h, (%): *2,35%* *2,34%* *2,35%*

Masa proba luată în lucru (g)	Nacela nr.:	Nacela nr.:
Nacela calcinată în cuptor (g)	<i>1,10035</i>	
Nacela proba (g)	<i>13,2616</i>	
Nacela proba calcinată în cuptor (g)	<i>14,0237</i>	
	<i>13,2667</i>	

Cenușă, A^{*}, (%): *0,23* *0,23%*

Umiditate totală, W_t, (%): *7,96%*

Cenușă anhidră, A^{an}, (%): *0,235*

Formate Chemic Desulfurare: *DN = 3120,60 kg* Laborant: *dm*

cod FPO-30-03, rev.0

COLTERM SA
Str. Episcop Joseph Lonovici nr. 4 - 300092 - TIMISOARA

Fișă determinare umiditate (imbabiție, higroscopică), cenușă

Nr. / Data : *PELETI INKSI LA CULOARE*
Sort cărbune :
Proces verbal nr. :
Aviz expedite :

Tava nr.:	Ora:
Tava goală (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)
Tava proba uscată la etuva (g)	Tava proba uscată la etuva (g)

Umiditate de imbabiție, W, (%): *7,31%*

Masa proba luată în lucru (g)	Fiola nr.:	Fiola nr.:
Fiola uscată în etuva (g)	<i>1,0199</i>	<i>1,0407</i>
Fiola proba (g)	<i>20,0945</i>	<i>21,9140</i>
Fiola proba uscată în etuva (g)	<i>21,1145</i>	<i>22,9542</i>

Umiditate higroscopică, W_h, (%): *2,44%* *2,46%* *2,41%*

Masa proba luată în lucru (g)	Nacela nr.:	Nacela nr.:
Nacela calcinată în cuptor (g)	<i>1,1283</i>	
Nacela proba (g)	<i>10,6781</i>	
Nacela proba calcinată în cuptor (g)	<i>12,8224</i>	
	<i>10,6721</i>	

Cenușă, A^{*}, (%): *2,29* *2,29%*

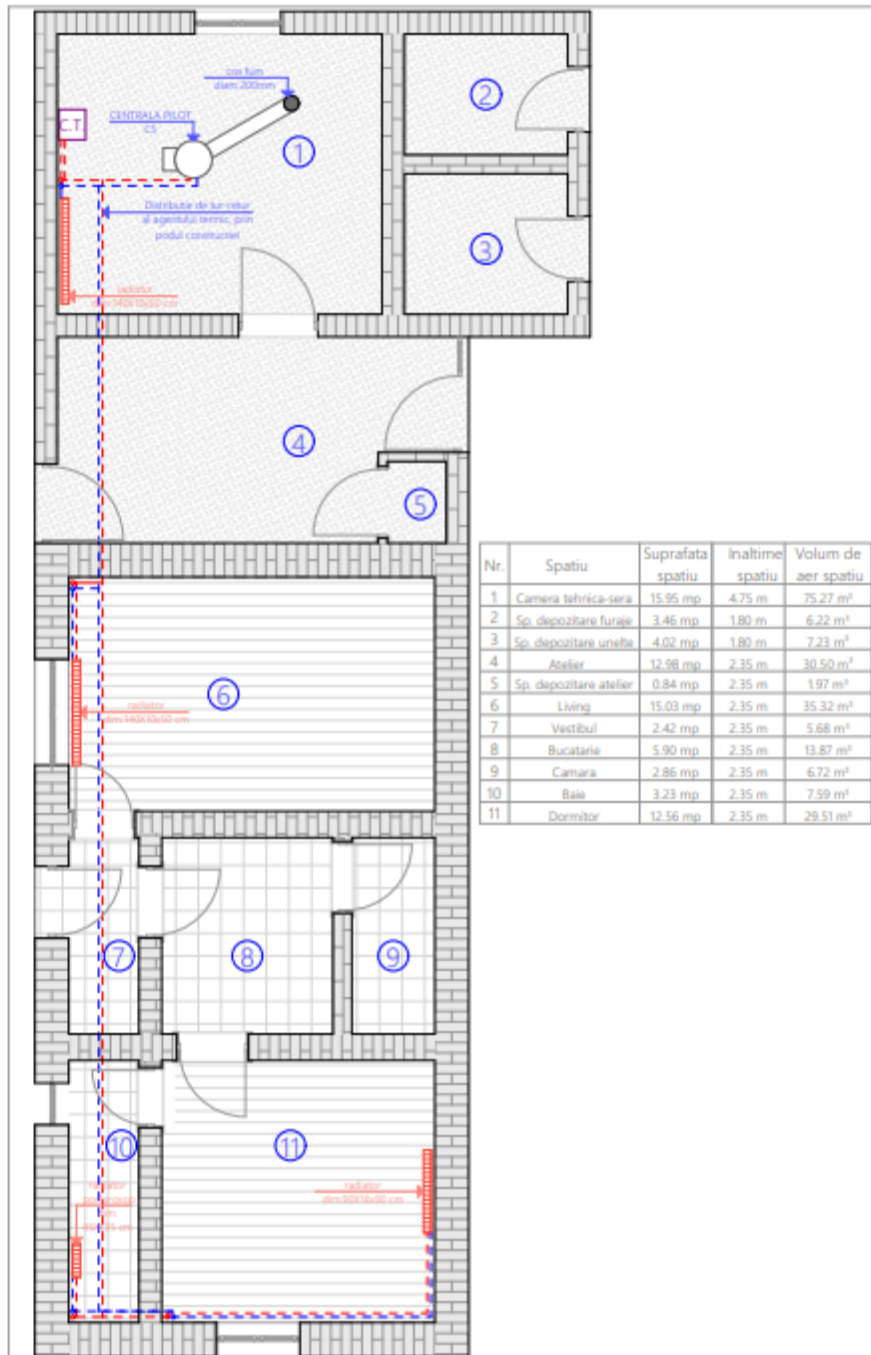
Umiditate totală, W_t, (%): *9,19%*

Cenușă anhidră, A^{an}, (%): *2,34*

Formate Chemic Desulfurare: *DN = 3896,70 kg* Laborant: *dm*

cod FPO-30-03, rev.0

Anexa 9.a. Planul de amplasare al centralei termice pilot (camera tehnică și corpul 1 de clădire)



Anexa 10. Baza de date cu rezultatele măsurătorilor

Tabelul A.10.1. Valorile pentru datele de intrare și ieșire alese

Proba	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
	kW	[%]	m3/h	m3	m3/h	min	[oC]	kW	[%]	[%]	[oC]	[oC]
1	2,93	8,19	1,4	0,0055	0	10	6	0,98	1136,7	0,0943	20,2	
	5,86	8,19	1,4	0,0055	0	20	16,91	2,75	1136,7	0,0943	27,6	
	8,79	8,19	1,4	0,0055	0	30	16,15	2,63	1136,7	0,0943	31,2	
	11,72	8,19	1,4	0,0055	0	40	17,61	2,87	1136,7	0,0943	38,5	
	14,65	8,19	1,4	0,0055	0	50	19,23	3,13	1136,7	0,0943	41,5	
	17,58	8,19	1,4	0,0055	0	60	20,37	3,32	1136,7	0,0943	48,1	
	20,51	8,19	1,4	0,0055	0	70	10,84	1,76	1136,7	0,0943	45,5	
	23,44	8,19	1,4	0,0055	0	80	14,2	2,31	1136,7	0,0943	60,1	
	26,37	8,19	1,4	0,0055	0	90	18,46	3,01	1136,7	0,0943	59,3	
	29,30	8,19	1,4	0,0055	0	100	19,68	3,20	1136,7	0,0943	63,3	
	32,23	8,19	1,4	0,0055	0	110	18,76	3,05	1136,7	0,0943	63,4	
	35,16	8,19	1,4	0,0055	0	120	18,66	3,04	1136,7	0,0943	67,4	
	38,09	8,19	1,4	0,0055	0	130	18,47	3,01	1136,7	0,0943	67,1	
	41,02	8,19	1,4	0,0055	0	140	17,2	2,80	1136,7	0,0943	65,3	
	43,95	8,19	1,4	0,0055	0	150	14,78	2,41	1136,7	0,0943	67,3	
46,88	8,19	1,4	0,0055	0	160	12,11	1,97	1136,7	0,0943	64,3		
49,81	8,19	1,4	0,0055	0	170	11,86	1,93	1136,7	0,0943	63,5		
2	2,71	9,59	1,4	0,0055	120	10	12,5	2,04	660,5	0,2898	22,7	
	5,43	9,59	1,4	0,0055	120	20	13,38	2,18	660,5	0,2898	30,2	
	8,14	9,59	1,4	0,0055	120	30	12,94	2,11	660,5	0,2898	36,1	
	10,86	9,59	1,4	0,0055	120	40	12,46	2,03	660,5	0,2898	39,8	
	13,57	9,59	1,4	0,0055	120	50	17,78	2,89	660,5	0,2898	42,2	
	16,28	9,59	1,4	0,0055	120	60	21,65	3,53	660,5	0,2898	55,6	
	19,00	9,59	1,4	0,0055	120	70	14,36	2,34	660,5	0,2898	61,6	
	21,71	9,59	1,4	0,0055	120	80	6,18	1,01	660,5	0,2898	48,5	
	24,43	9,59	1,4	0,0055	120	90	6,91	1,13	660,5	0,2898	47,2	
	27,14	9,59	1,4	0,0055	120	100	10,7	1,74	660,5	0,2898	63,8	
	29,85	9,59	1,4	0,0055	120	110	9,38	1,53	660,5	0,2898	46,7	
	32,57	9,59	1,4	0,0055	120	120	9,88	1,61	660,5	0,2898	53,6	
	35,28	9,59	1,4	0,0055	120	130	22,3	3,63	660,5	0,2898	58,6	

	38,00	9,59	1,4	0,0055	120	140	25,73	4,19	660,5	0,2898	83,4	
	40,71	9,59	1,4	0,0055	120	150	13,02	2,12	660,5	0,2898	69,5	
	43,42	9,59	1,4	0,0055	120	160	13,05	2,12	660,5	0,2898	68,2	
	46,14	9,59	1,4	0,0055	120	170	13,29	2,16	660,5	0,2898	68,2	
	2,58	7,96	1,5	0,0055	120	10	0,94	0,16	543,67	0,0616	22,1	
	5,17	7,96	1,5	0,0055	120	20	2,17	0,38	543,67	0,0616	29,2	
	7,75	7,96	1,5	0,0055	120	30	3,85	0,67	543,67	0,0616	38,6	
	10,33	7,96	1,5	0,0055	120	40	3,15	0,55	543,67	0,0616	56,7	
	12,91	7,96	1,5	0,0055	120	50	11,28	1,97	543,67	0,0616	61,7	
	15,50	7,96	1,5	0,0055	120	60	15,53	2,71	543,67	0,0616	77,8	
	18,08	7,96	1,5	0,0055	120	70	11,56	2,02	543,67	0,0616	84,7	
	20,66	7,96	1,5	0,0055	120	80	17,96	3,13	543,67	0,0616	87,9	
	23,25	7,96	1,5	0,0055	120	90	12,97	2,26	543,67	0,0616	73,8	
	25,83	7,96	1,5	0,0055	120	100	14,94	2,61	543,67	0,0616	72,5	
	28,41	7,96	1,5	0,0055	120	110	16,23	2,83	543,67	0,0616	72,9	
	30,99	7,96	1,5	0,0055	120	120	16,09	2,81	543,67	0,0616	68,8	
	33,58	7,96	1,5	0,0055	120	130	16,8	2,93	543,67	0,0616	81,9	
	36,16	7,96	1,5	0,0055	120	140	20,58	3,59	543,67	0,0616	78,2	
	38,74	7,96	1,5	0,0055	120	150	13,93	2,43	543,67	0,0616	86,9	
	41,33	7,96	1,5	0,0055	120	160	11,98	2,09	543,67	0,0616	85,1	
3	43,91	7,96	1,5	0,0055	120	170	10,89	1,90	543,67	0,0616	68,9	
	2,05	16,74	1,4	0,0055	0	10	4,7	0,77	747	0,9598	34,5	
	4,10	16,74	1,4	0,0055	0	20	7,6	1,24	747	0,9598	35,8	
	6,15	16,74	1,4	0,0055	0	30	7,7	1,25	747	0,9598	41,8	
	8,20	16,74	1,4	0,0055	0	40	7,61	1,24	747	0,9598	45,3	
	10,25	16,74	1,4	0,0055	0	50	6,33	1,03	747	0,9598	49,1	
	12,30	16,74	1,4	0,0055	0	60	8,11	1,32	747	0,9598	46,8	
	14,36	16,74	1,4	0,0055	0	70	12,51	2,04	747	0,9598	52	
	16,41	16,74	1,4	0,0055	0	80	13,55	2,21	747	0,9598	53,9	
	18,46	16,74	1,4	0,0055	0	90	12,04	1,96	747	0,9598	57,3	
	20,51	16,74	1,4	0,0055	0	100	13,26	2,16	747	0,9598	58,5	
	22,56	16,74	1,4	0,0055	0	110	12,72	2,07	747	0,9598	58,9	
	24,61	16,74	1,4	0,0055	0	120	15,66	2,55	747	0,9598	59,6	
	26,66	16,74	1,4	0,0055	0	130	14,25	2,32	747	0,9598	61,1	
	28,71	16,74	1,4	0,0055	0	140	12,07	1,97	747	0,9598	61,8	
4	30,76	16,74	1,4	0,0055	0	150	12,36	2,01	747	0,9598	62	

230 Nenu Petre-Florine

	32,81	16,74	1,4	0,0055	0	160	13,7	2,23	747	0,9598	61,9	
	34,86	16,74	1,4	0,0055	0	170	11,04	1,80	747	0,9598	61,4	
5	3,64	15,96	2	0,0055	0	10	6,2	1,44	1140,7	0,9671	49	
	7,27	15,96	2	0,0055	0	20	19,01	4,42	1140,7	0,9671	68,7	
	10,91	15,96	2	0,0055	0	30	20,58	4,79	1140,7	0,9671	68,1	
	14,55	15,96	2	0,0055	0	40	13,68	3,18	1140,7	0,9671	67,3	
	18,19	15,96	2	0,0055	0	50	8,81	2,05	1140,7	0,9671	67	
	21,82	15,96	2	0,0055	0	60	8,64	2,01	1140,7	0,9671	67,4	
	25,46	15,96	2	0,0055	0	70	10,79	2,51	1140,7	0,9671	66,1	
	29,10	15,96	2	0,0055	0	80	8,2	1,91	1140,7	0,9671	58,6	
	32,74	15,96	2	0,0055	0	90	11,3	2,63	1140,7	0,9671	64,5	
	36,37	15,96	2	0,0055	0	100	11,68	2,72	1140,7	0,9671	67,3	
	40,01	15,96	2	0,0055	0	110	13,37	3,11	1140,7	0,9671	65,8	
	43,65	15,96	2	0,0055	0	120	8,7	2,02	1140,7	0,9671	63,9	
	47,28	15,96	2	0,0055	0	130	17,36	4,04	1140,7	0,9671	66,9	
	50,92	15,96	2	0,0055	0	140	6,55	1,52	1140,7	0,9671	68,8	
	54,56	15,96	2	0,0055	0	150	10,64	2,47	1140,7	0,9671	67	
	58,20	15,96	2	0,0055	0	160	14,93	3,47	1140,7	0,9671	67,1	
61,83	15,96	2	0,0055	0	170	15,87	3,69	1140,7	0,9671	65,2		
6	2,10	16,74	1	0,015	0	10	4,28	0,50	363,67	1,1653	48,2	488
	4,20	16,74	1	0,015	0	20	18,72	2,18	363,67	1,1653	60,5	540
	6,30	16,74	1	0,015	0	30	23,86	2,77	363,67	1,1653	75,9	710
	8,40	16,74	1	0,015	0	40	20,52	2,39	363,67	1,1653	79,2	680
	10,50	16,74	1	0,015	0	50	18,95	2,20	363,67	1,1653	78,4	760
	12,60	16,74	1	0,015	0	60	14,61	1,70	363,67	1,1653	74,6	680
	14,70	16,74	1	0,015	0	70	14,41	1,68	363,67	1,1653	71,5	580
	16,80	16,74	1	0,015	0	80	16,66	1,94	363,67	1,1653	84	760
	18,90	16,74	1	0,015	0	90	13,51	1,57	363,67	1,1653	83,3	870
	21,00	16,74	1	0,015	0	100	14,85	1,73	363,67	1,1653	81,8	760
	23,10	16,74	1	0,015	0	110	17,15	1,99	363,67	1,1653	84,8	770
	25,20	16,74	1	0,015	0	120	15,44	1,80	363,67	1,1653	83,2	870
	27,30	16,74	1	0,015	0	130	14,88	1,73	363,67	1,1653	76	920
	29,40	16,74	1	0,015	0	140	14,7	1,71	363,67	1,1653	65,8	870
	31,50	16,74	1	0,015	0	150	13,27	1,54	363,67	1,1653	62,6	760
	33,60	16,74	1	0,015	0	160	16,27	1,89	363,67	1,1653	53,2	750
35,70	16,74	1	0,015	0	170	15,84	1,84	363,67	1,1653	49,9	870	

	2,75	17,74	1,8	0,015	0	10	3,22	0,51	785	1,0299	34	500
	5,50	17,74	1,8	0,015	0	20	3,24	0,68	785	1,0299	31,5	550
	8,25	17,74	1,8	0,015	0	30	6,34	1,33	785	1,0299	33,4	620
	11,00	17,74	1,8	0,015	0	40	6,27	1,31	785	1,0299	42,4	630
	13,75	17,74	1,8	0,015	0	50	7,07	1,48	785	1,0299	40,6	730
	16,50	17,74	1,8	0,015	0	60	16,03	3,36	785	1,0299	54,6	750
	19,25	17,74	1,8	0,015	0	70	17,05	3,57	785	1,0299	61,3	730
	22,00	17,74	1,8	0,015	0	80	13,41	2,81	785	1,0299	47,5	570
	24,75	17,74	1,8	0,015	0	90	15,13	3,17	785	1,0299	47,4	660
	27,50	17,74	1,8	0,015	0	100	15,26	3,19	785	1,0299	48,7	710
	30,25	17,74	1,8	0,015	0	110	12,15	2,54	785	1,0299	54,8	720
	33,00	17,74	1,8	0,015	0	120	10,54	2,21	785	1,0299	53,2	820
	35,75	17,74	1,8	0,015	0	130	11,6	2,43	785	1,0299	53,5	870
	38,50	17,74	1,8	0,015	0	140	12,68	2,65	785	1,0299	55,8	870
	41,25	17,74	1,8	0,015	0	150	13,3	2,78	785	1,0299	52,6	710
	44,00	17,74	1,8	0,015	0	160	11,67	2,44	785	1,0299	51,2	700
7	46,74	17,74	1,8	0,015	0	170	11,66	2,44	785	1,0299	50,8	820

Tabelul A.10.2.a. Temperatura și viteza gazelor de ardere

Nr. crt	P1		P2		P3		P4	
	Viteza gazelor m/s	Temperatura gazelor la coș (oC)	Viteza gazelor m/s	Temperatura gazelor la coș (oC)	Viteza gazelor m/s	Temperatura gazelor la coș (oC)	Viteza gazelor m/s	Temperatura gazelor la coș (oC)
1	2,4	20,2	2,4	22,7	1,95	22,1	2,32	34,5
2	2,6	27,6	2,62	30,2	2,07	29,2	2,58	35,8
3	2,91	31,2	2,85	36,1	2,26	38,6	2,75	41,8
4	2,4	28,5	2,86	39,8	3,17	56,7	2,77	45,3
5	2,68	31,5	2,8	42,2	3,44	61,7	2,71	49,1
6	2,69	28,1	2,85	55,6	3,54	77,8	2,79	46,8
7	2,29	25,5	3,26	61,6	3,44	84,7	2,81	52
8	2,5	30,1	2,26	48,5	3,94	87,9	2,89	53,9
9	2,45	29,3	2,16	47,2	2,88	73,8	2,48	57,3
10	3,02	33,3	2,68	63,8	3,15	72,5	2,65	58,5
11	2,55	33,4	2,26	46,7	3,02	72,9	3,51	58,9
12	2,85	37,4	2,95	53,6	3,25	68,8	2,94	59,6
13	2,91	37,1	2,37	58,6	3,86	81,9	2,91	61,1
14	2,25	35,3	3,09	83,4	3,81	78,2	3,57	61,8
15	2,54	37,3	2,72	69,5	3,75	86,9	3,07	62

16	2,51	34,3	2,87	68,2	3,72	85,1	2,87	61,9
17	2,48	33,5	2,76	67,9	3,42	68,9	2,87	61,4

Tabelul A.10.2.b. Temperatura și viteza gazelor de ardere (continuare)

Nr. crt	P5		P6		P7	
	Viteza gazelor m/s	Temperratura gazelor la coș (oC)	Viteza gazelor m/s	Temperratura gazelor la coș (oC)	Viteza gazelor m/s	Temperratura gazelor la coș (oC)
1	2,77	49	2,7	48,2	1,56	34
2	2,9	68,7	2,51	60,5	1,59	31,5
3	2,92	68,1	2,78	75,9	1,6	33,4
4	3,06	67,3	2,61	69,2	1,73	42,4
5	2,75	67	2,62	68,4	1,89	40,6
6	2,98	67,4	2,68	79,6	2,2	54,6
7	3,17	66,1	2,91	71,5	2,25	61,3
8	2,8	58,6	2,76	84	1,69	47,5
9	2,95	64,5	2,52	84,3	1,64	47,4
10	2,75	67,3	2,33	82,4	1,8	48,7
11	2,82	65,8	2,36	80,8	1,98	54,8
12	2,83	63,9	2,16	75,2	2,06	53,2
13	3,24	66,9	1,97	72	1,97	53,5
14	2,86	68,8	2,17	65,8	1,89	55,8
15	2,85	67	2,02	62,6	1,95	52,6
16	3,07	67,1	1,86	53,2	1,86	51,2
17	2,65	65,2	1,93	49,9	1,82	50,8