

Programul Operațional Competitivitate 2014-2020

Cod apel de proiecte: POC/163/1/3/Stimularea cererii întreprinderilor pentru inovare prin proiecte CDI derulate de întreprinderi individual sau în parteneriat cu institute de CD și universități, în scopul inovării de procese și de produse în sectoarele economice care prezintă potențial de creștere

Beneficiar: CLIMAROL PREST SRL și UNIVERSITATEA DIN ORADEA în calitate de partener

Titlul proiectului: "Sistem inovativ de valorificare a energiei din biomasa cu eficiență ridicată - SIVEBER",

Cod proiect: SMIS 2014+: 123392



Evaluarea funcționalității în exploatare a trei prototipuri de laborator realizate cu scopul transformării biomasei în energie termică

prof. dr. ing. habil. Gabriel BENDEA, gbendea@uoradea.ro

prof. dr. ing. habil. Constantin BUNGAU, bungau@uoradea.ro

prof. dr. ing. Marcel ROSCA, mrosca@uoradea.ro

ș.l. dr. ing. Daniel ALBUT-DANA, dalbut@uoradea.ro

ș.l. dr. ing. Alin BLAGA, cblaga@uoradea.ro

ș.l. dr. ing. Vasile MOLDOVAN, moldovan@uoradea.ro

ș.l. dr. ing. Nicolae RANCOV, nrancov@uoradea.ro

CUPRINS

| | |
|---|----|
| Capitolul I Proiectarea și realizarea instalației termo-hidraulice pentru preluarea energiei termice | 3 |
| 1.1 Scopul instalației | 3 |
| 1.2 Descrierea consumatorilor | 4 |
| 1.2.1 Consumatorul C1 | 4 |
| 1.2.1 Consumatorul C2 | 6 |
| 1.2.1 Consumatorul C3 | 8 |
| Capitolul II Prototipuri pentru valorificarea biomasei la scară de laborator | 11 |
| 2.1 Descrierea prototipurilor | 11 |
| Capitolul III Analiza în exploatare a prototipurilor de laborator | 27 |
| 3.1 Transportul și asamblarea | 27 |
| 3.2 Recepția și punerea în funcțiune | 28 |
| 3.3 Probe în regim tranzitoriu ale prototipurile de laborator | 28 |
| 3.4 Funcționarea instalațiilor prototip la putere minimă | 31 |
| 3.5 Funcționarea instalațiilor prototip la putere maximă | 31 |
| 3.6 Managementul regimurilor de avarie | 32 |
| 3.7 Analiza flexibilității prototipurilor privind natura combustibililor | 34 |
| 3.8 Bilanțul energetic | 35 |
| 3.9 Monitorizarea pierderilor de căldură | 43 |
| Capitolul IV Concluzii | 47 |
| BIBLIOGRAFIE | 51 |

CAPITOLUL I

PROIECTAREA ȘI REALIZAREA INSTALAȚIEI

TERMO-HIDRAULICE PENTRU PRELUAREA

ENERGIEI TERMICE

1.1 Scopul instalației

În urma construirii, analizei și validării subsistemelor care compun instalația de ansamblu de valorificare a biomasei, mai exact transformarea diferitelor tipuri de biomasă în energie termică, în cadrul proiectului SIVEBER s-au realizat trei prototipuri de laborator, denumite în continuare P1, P2 și P3. Pentru a fi creat un complex de scenarii într-o funcționare comercială, aceste trei prototipuri au fost realizate la valori diferite de putere P1 la 35 kW, P2 la 60 kW și P3 la 100 kW energie termică și cu subsisteme constructive diversificate permițând astfel realizarea de scenarii complexe și limită în funcționare.

Pentru crearea de scenarii de funcționare s-a impus proiectarea unor modele de consumatori de energie termică s-a realizat un laborator de probe termohidraulice care are posibilitatea de preluare a energiei termice în scenarii multiple.

Instalația termohidraulică proiectată și realizată, permite analiza fluxului hidraulic în fluide termice. Instalația permite studiul pe trei componente principale: termodinamică, mecanica fluidelor și transferul de căldură, interconectate între ele. În cadrul analizei termodinamice, se presupune că toate stările definite în sistem sunt în echilibru termodinamic. Fiecare stare trebuie să atingă un echilibru mecanic, termic și de fază, iar modificările macroscopice în raport cu timpul trebuie să fie minime. Pentru analiza acestui sistem, se aplică principiile primei și celei de-a doua legi ale termodinamicii. În cazul analizei celor trei prototipuri, interesează injecția de energie termică unde pot fi urmărite temperaturile la ieșirea și intrarea în cazan, vitezele de curgere ale fluidului prin interiorul schimbătorului de căldură, tipurile de curgere (staționar, laminar, tranzitoriu, turbulent), schimburile de fază dacă este cazul și transferul termic de la gazele de ardere către fluidul de lucru.

Temperatura joacă un rol esențial în analiza sistemului termohidraulic. Proprietățile materialelor, cum ar fi densitatea, conductibilitatea termică, vâscozitatea și căldura specifică, depind de temperatură. Variațiile semnificative ale temperaturii induc regimuri diferite în sistem. În cazul materialelor solide, ecuația calorimetriei va fi utilizată pentru a calcula distribuția temperaturii în interiorul materialului, ținând cont de geometria sa.

Cu privire la rolul subsistemului de protecție și siguranță, se poate preciza că, trebuie să satisfacă toate cerințele referitoare la funcționarea în condiții de siguranță al sistemului proiectat.

Elementele din cadrul acestui subsistem pot fi clasificate după mai multe criterii, cum ar fi mărimile de comandă (*temperatură, presiune, intensitatea luminoasă*) sau nivelul la care acționează elementele de siguranță.

Din cadrul subsistemului de protecție și siguranță ar putea face parte:

- supape de siguranță;
- nivelostate;
- presostate;
- tub riflat de alimentare;
- termostate de siguranță;
- senzori de temperatură;
- senzori lambda.

Membrii echipelor au decis să împartă componentele din cadrul acestui subsistem pe două niveluri:

- Nivelul 1 - nivelul de bază, care cuprinde termostatele de siguranță respectiv senzorii de temperatură și prin intermediul programului software de conducere și control va modifica parametrii arderii sau va opri sistemul în cazul în care se impune;
- Nivelul 2 – cuprinde totalitatea componentelor care vor interveni în cazul în care componentele din cadrul nivelului 1 nu funcționează din diverse motive (*de exemplu lipsa tensiunii de alimentare ca urmare a unei întreruperi de energie electrică*).

Componentele subsistemului de siguranță din categoria ”nivel 1”, sunt în principiu acele componente ale căror funcționare implică prezența energiei electrice și celelalte componente se consideră a fi cele de ”nivel 2”.

1.2 Descrierea consumatorilor

Pentru o largă și complexă analiză într-o viitoare funcționare de uz comercial, fiecărui prototip i s-a proiectat și realizat câte un model de consumator astfel rezultând trei sisteme ce au caracteristici diferite în exploatare, realizându-se inclusiv scenarii de funcționare hibrid în producere de energie termică prin integrarea în sistemul de injecție și alte surse de căldură cum ar fi cazan cu gaz convențional, cazan cu gaz în condensatie, cazan cu lemne și cazan cu cărbune. De asemenea, s-au realizat geometrii diferite de funcționare în ceea ce privește funcționare cu acumulare de energie termică sau injecție directă. Acumularea s-a realizat prin interconectarea acumulatorilor atât în serie cât și în paralel. Prototipului P1 i s-a atribuit instalația de simulare a consumatorului - C1, prototipului P2 instalația C2 și prototipului P3 instalația C3.

1.2.1 Consumatorul C1

Consumatorul C1 a fost atribuit prototipului P1 cu scopul de a se modela funcționarea în diverse scenarii de exploatare a prototipului P1.

Sistemul P1 – C1 este compus dintr-o instalație de încălzire hibridă, care utilizează atât gazul prin intermediul a două centrale pe gaz, una în condensatie și una convențională, respectiv prototipul P1 ce are biomasa ca și sursă de energie, oferind o flexibilitate în funcție de cerințele specifice ale utilizatorului. Principalele componente ale sistemului sunt: rezervorul de biomasă, prototipul P1, sistemele de protecție monitorizare și control, pompele de recirculare, vanele de amestec și de izolare, butelia de egalizare, vasul de expansiune, instalația de încălzire și instalația de preparare a apei calde menajere

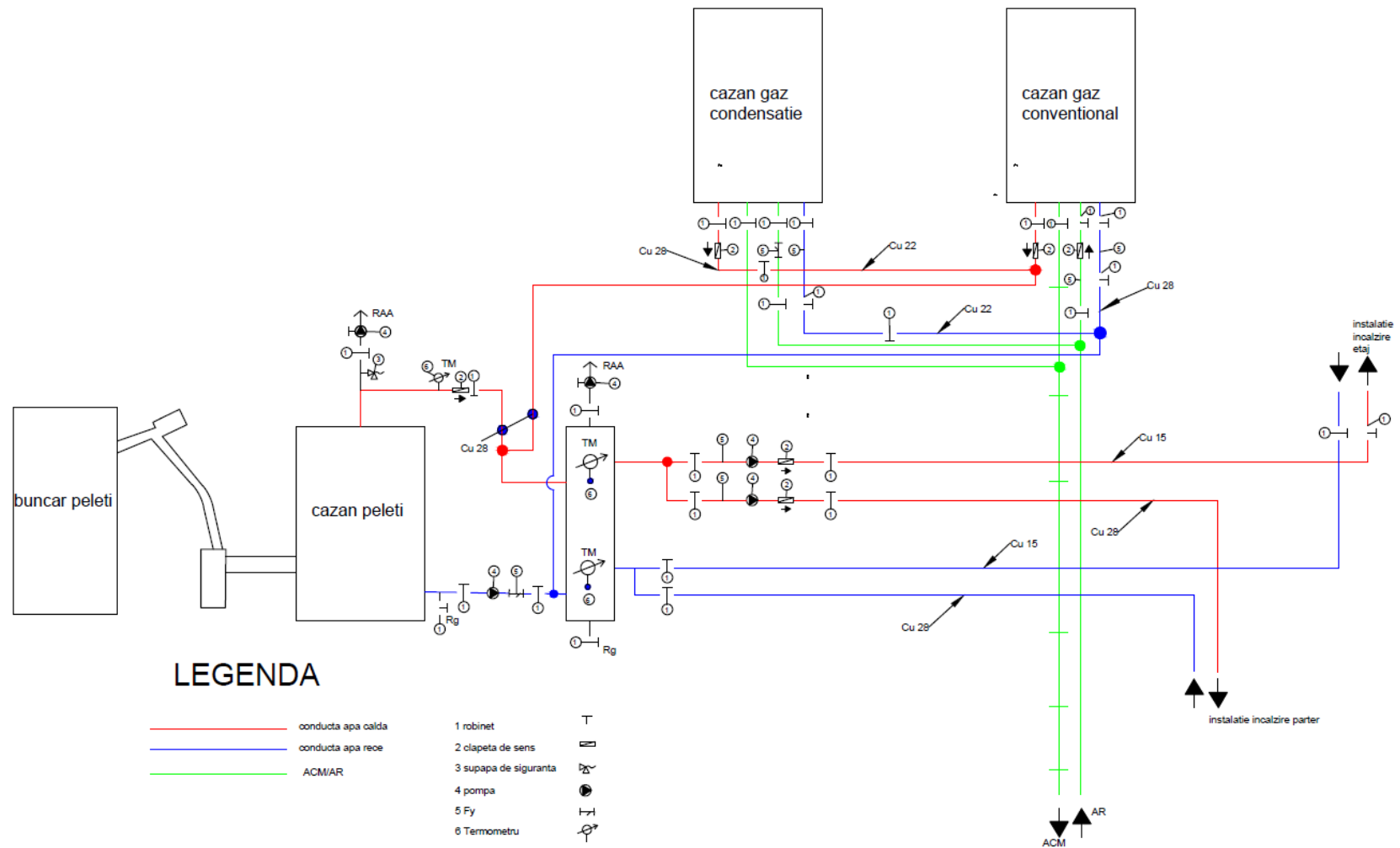


Fig. 1.1 Schema termo-hidraulică a consumatorului C1



Fig. 1.2 Activități de cercetare și analiză în cadrul consumatorului C1

Consumatorul C1 este o clădire administrativă cu o sarcină termică de circa 50 kW, sarcină determinată atât de pierderile termice cât și de regimurile intermitente de funcționare pe cicluri de 24 de ore, respectiv cicluri săptămânale. Toate aceste caracteristici specifice au permis încercări multiple ale prototipului P1 care a fost dimensionat pentru o putere termică livrată de 35 kW.

1.2.1 Consumatorul C2

Consumatorul C2 a fost atribuit prototipului P2 pentru modelări succesive în funcționare ale prototipului P2.

Ansamblu P2 – C2 este compus dintr-o instalație de încălzire hibridă, formată din două centrale cu combustibil solid, un cazan clasic, care permite arderea lemnului sau a cărbunelui și prototipul P2 care are biomasa ca și sursă de energie. Acest al doilea sistem a permis monitorizarea și simularea de scenarii al prototipului P2 cu o capacitate termică de 60 kW. Principalele componente ale sistemului sunt: rezervorul de biomasă, prototipul P2, sistemele de protecție monitorizare și control, pompele de recirculare, vanele de amestec și de izolare, butelia de egalizare, vasul de expansiune, instalația de încălzire și instalația de preparare a apei calde menajere.

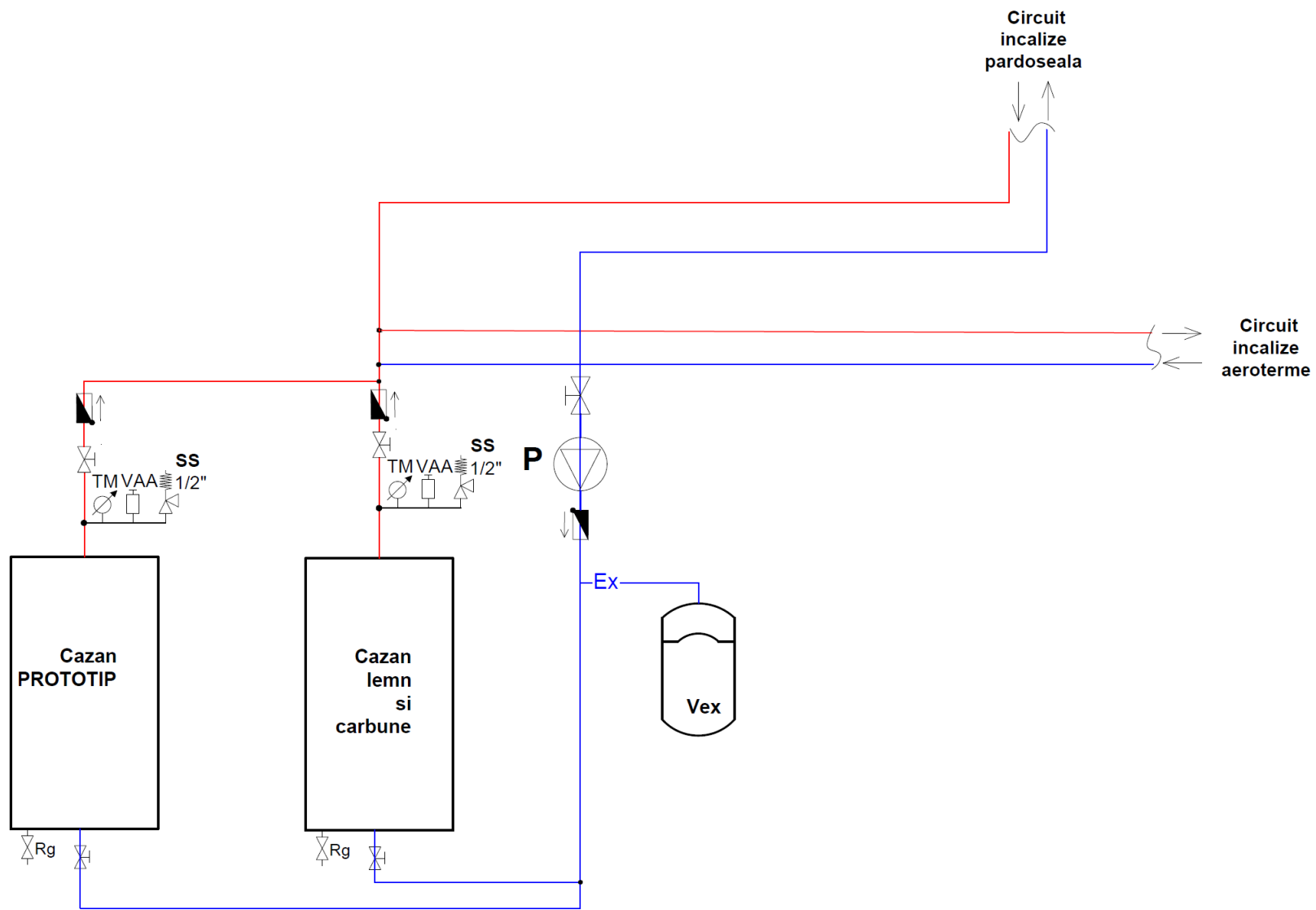


Fig. 1.3 Schema termo-hidraulică a consumatorului C2



Fig. 1.4 Activități de cercetare și analiză în cadrul consumatorului C2

Consumatorul C 2 este o hală de producție compusă din ateliere de prelucrare mecanică și producție, încălzite prin sistem de convecție forțată, realizată de aeroterme și o zonă de spații sanitare respectiv birouri cu activități economice și de proiectare cu circuite de încălzire în pardosea, cu o sarcină termică de circa 200 kW, sarcină necesară pentru a satisface temperaturile de operare atât în zona de producție cât și în cea administrativă și de proiectare. Aceste caracteristici specifice dictate de consumatorul prezentat au facilitat posibilitatea de încercări variate ale prototipului P2 care a fost dimensionat pentru o putere termică livrată de 60 kW.

1.2.1 Consumatorul C3

Consumatorul C3 a fost atribuit prototipului P3 pentru a se analiza funcționarea în diverse scenarii de exploatare a prototipului P3.

Sistemul P3 – C3 este compus dintr-o instalație de încălzire cu stocare de energie termică prin intermediul a 4 stocatoare de câte 500 de litri fiecare interconectate într-o schemă hidraulică serie-paralel. Din stocatoarele de energie termică, prin intermediul buteliei de egalizare, căldura poate fi distribuită către o seră, o clădire administrativă și de laboratoare. Sarcina termică a consumatorului este de circa 250 kW din care necesarul de căldură al serei este de aproximativ 150 kW. Sarcina termică solicitată de seră a permis realizarea de încercări multiple ale prototipului P3 care a fost proiectat și construit pentru o putere termică de 100 kW. Principalele componente ale sistemului sunt: rezervorul de biomasă compus din trei zone de stocare una cu un volum de circa 12 metri cubi și două buncăre metalice însumând circa 1,5 metri cubi, prototipul P3, sistemele de protecție monitorizare și control, pompele de recirculare, vanele de amestec și de izolare, butelia de egalizare, vasele de expansiune, sistemul de stocare de 2000 de litri și instalația de încălzire într-un circuit cu calorifere clasice din tablă.

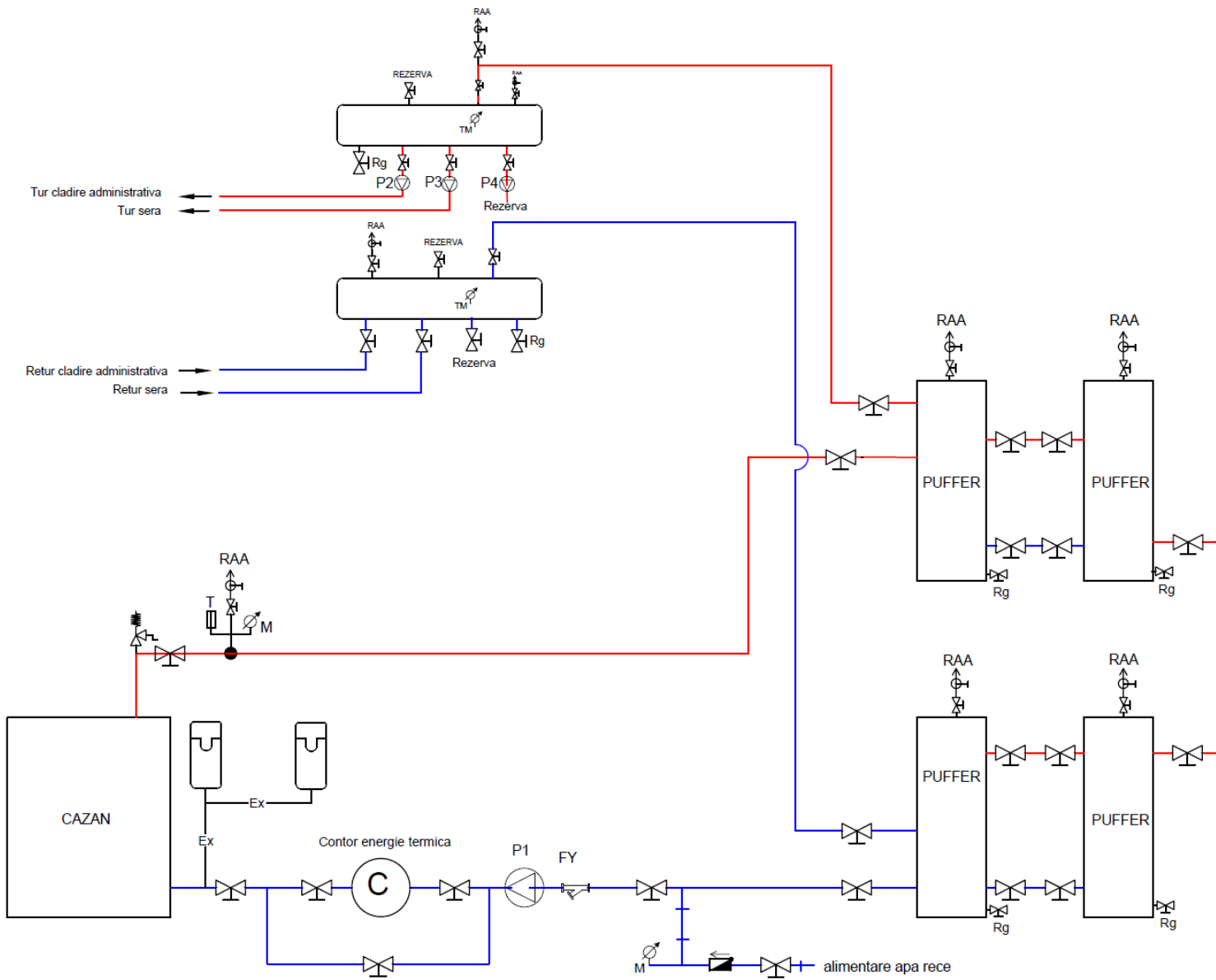


Fig. 1.5 Schema termo-hidraulică a consumatorului C3

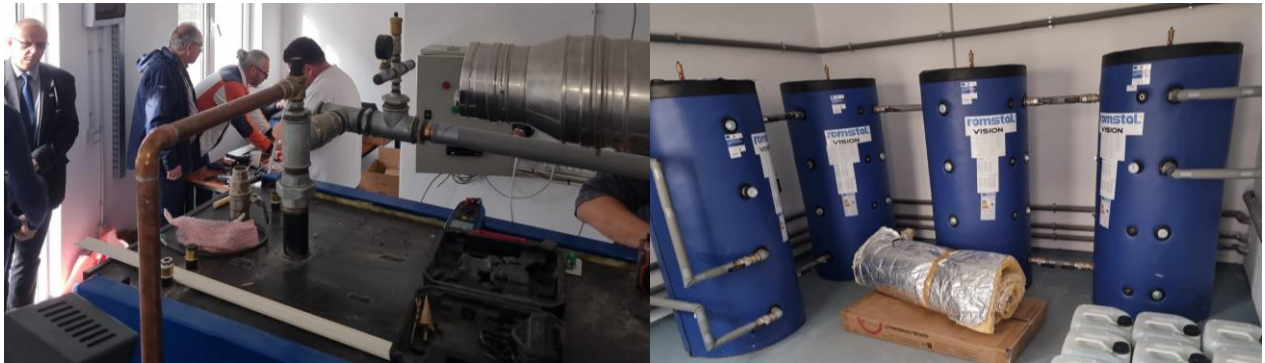


Fig. 1.6 Activități de cercetare și analiză în cadrul consumatorului C3

Consumatorul C3 este o seră de cercetare cu o sarcină termică de circa 150 kW, sarcină determinată atât de pierderile termice necesare ventilării cât și de neetanșeitățile la rosturi dar mai ales de suprafața vitrată care este în procent de 90 la sută din întreaga construcție . Caracteristicile termice care definesc sera au permis încercări variate ale prototipului P3 care a fost dimensionat pentru o putere termică livrată de 100 kW.

CAPITOLUL II

PROTIPURI PENTRU VALORIFICAREA BIOMASEI LA SCARĂ DE LABORATOR

2.1 Descrierea prototipurilor

Cele trei prototipuri de laborator analizate și testate, au o structură similară, diferențele dintre ele fiind determinate de puterea schimbătoarelor de căldură și puterea arzătoarelor. De asemenea, s-au creat arzătoare diferite pentru fiecare prototip, cu ajutorul cărora s-au realizat teste succesive de ardere a diferitelor tipuri de biomasă și diverse scenarii de ardere ale aceleași biomase. Instalația de producere a energiei termice din biomasă poate fi împărțită în cinci subsisteme principale. Cele cinci subsisteme ale instalației sunt interconectate astfel încât să formeze instalația cu capacitatea de a transforma biomasa în energie termică prin procese complexe de oxidare obținând energia termică utilizată în scopuri de încălzire și preparare de apă caldă menajeră cu eficiență ridicată.

În fig. 2.1 sunt prezentate elementele principale care compun prototipurile de laborator:

- 1.1 Buncărul de peleți
- 1.2 Racordul elastic de conectare buncăr-cazan
- 1.3 Șneclul transportor de peleți
- 1.4 Priză de alimentare arzător cu peleți
- 2.1 Placă inferioară schimbător de căldură
- 2.2 Placă laterală schimbător de căldură
- 2.4 Ușa inferioară și superioară de vizitare-curățare arzător-schimbător
- 2.5 Ramă de etanșare uși arzător
- 3.1 Element director curgere gaze de ardere
- 3.2. Registru țevi curgere fluid de lucru
- 4.1 Manta interioară laterală cazan
- 4.2 Manta interioară superioară cazan
- 4.3 Manta interioară spate cazan
- 5.1 Ventilator exhaustare gaze arse
- 6.1 Colector evacuare gaze arse
- 7.1 Tava colectare cenușă
- 8.1 Manta exterioară frontală
- 8.2 Manta exterioară laterala
- 8.3 Manta exterioară spate

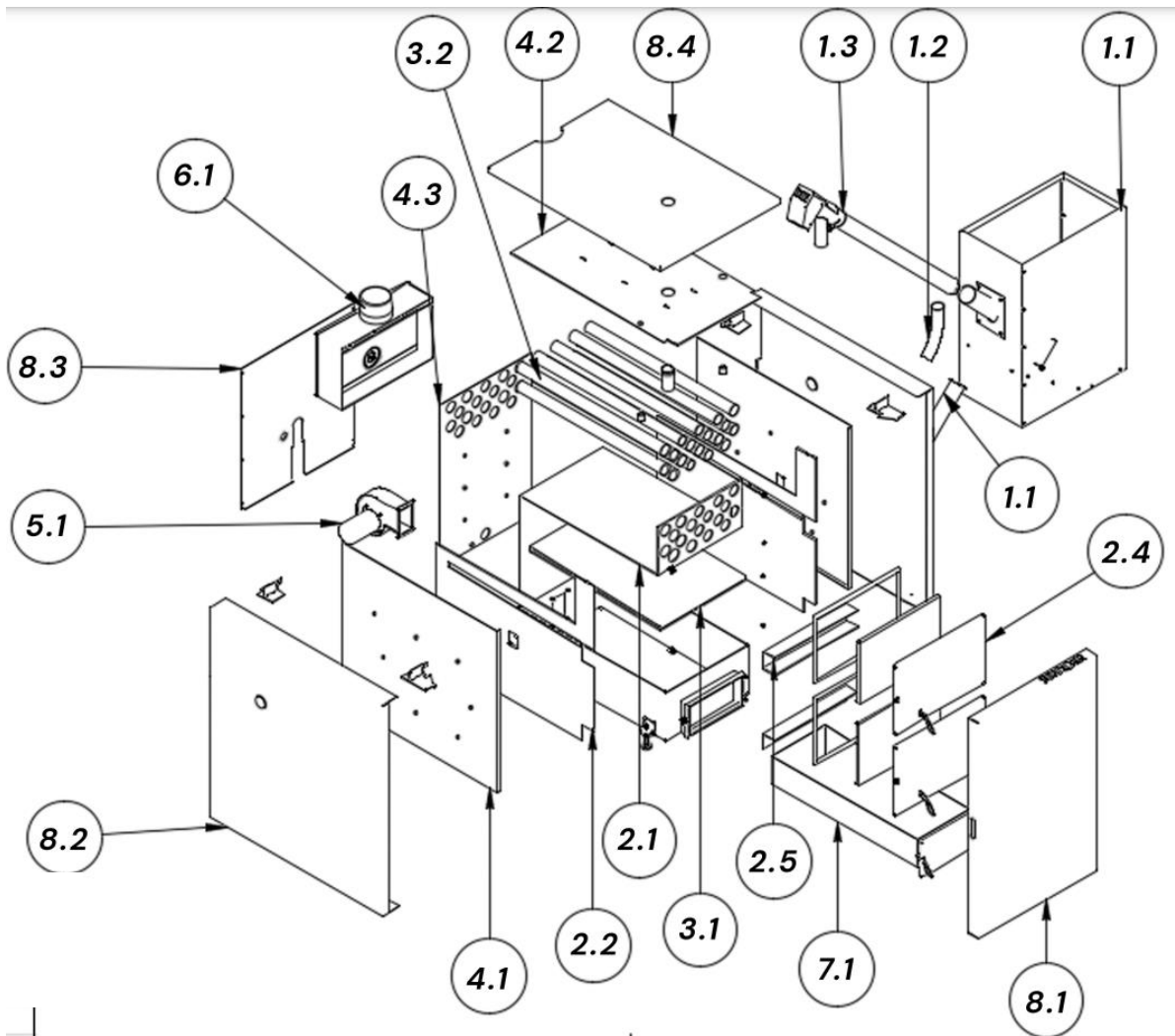
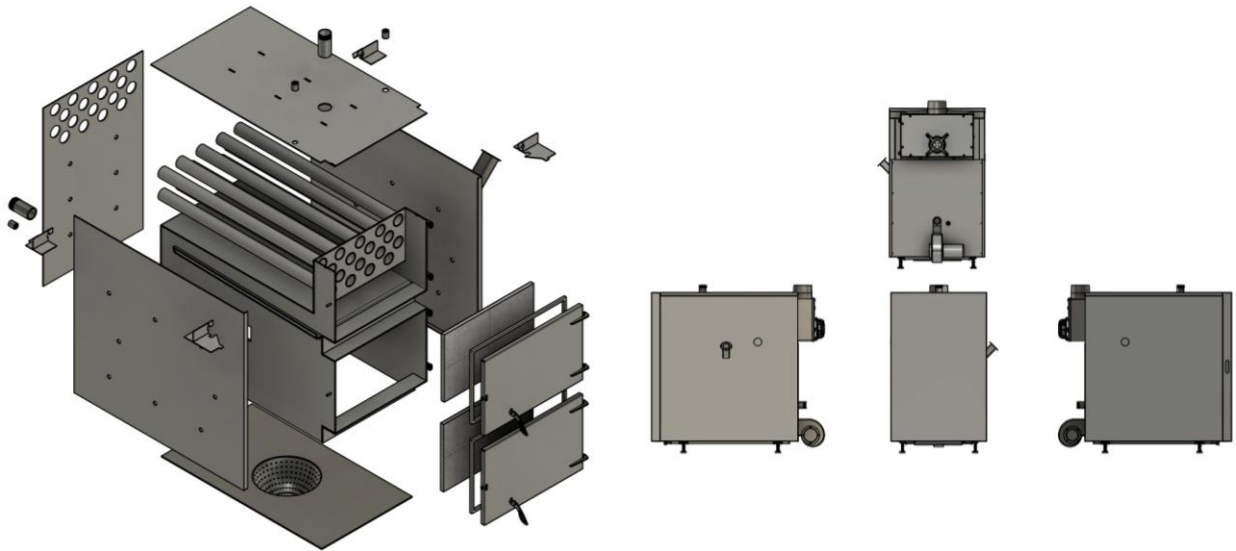


Fig. 2.1 Principalele elemente ale prototipurilor

În construcția de ansamblu ale celor trei prototipuri sunt integrate elemente care permit admisia de combustibil, controlul și reglajul procesului de ardere, vehicularea fluidului de lucru, evacuarea gazelor de ardere și alte elemente principale și secundare care sunt descrise pe scurt în cele ce urmează și care permit funcționalitatea în procesul de producere a energie termice în întregul complex al instalației prototip-consumator atribuit.

Corpul cazan reprezintă componenta esențială a instalație, înglobând toate celelalte componente ale cazanului (în afara celei de alimentare și automatizare), asigurând o funcționare complexă și eficientă. Corpul cazanului este fabricat din oțel de înaltă calitate (P265GH), rezistent la temperaturi înalte și la presiuni specifice procesului, asigurând durabilitatea și longevitatea sistemului.

Ușile cazanului sunt două elemente mobile realizate pentru a avea acces atât la nivelul focarului cât și la nivelul schimbătorului de căldură. Ușile au fost proiectate și dimensionate având ca și date de intrare scenariile de acces pentru monitorizare, mentenanță, curățare și eventuale intervenții de reparații, respectiv de înlocuire a pieselor consumabile. Construcția elementelor care realizează mobilitatea au în vedere atât variațiile termice cât și depunerile de particule solide puternic aderente, creând în acest sens piese ce permit reglaje și toleranțe specifice.

Camera de ardere în care are loc procesul efectiv de oxidare, prin amestecul cât mai intim posibil dintre combustibil și oxigenul necesar arderii. Dimensiunile și geometria rezultată permite arderea combustibilului cu o eficiență ridicată precum și posibilitatea de separare a elementelor necombustibile care nu intră în procesul de ardere. Tot acest element, separă produsele arderii evacuând către un colector temporar elementele solide și direcționând către schimbătorul de căldură gazele de ardere

Schimbătorului de căldură permite preluarea energiei termice care se obține prin arderea biomasei. Elementele de intrare pentru proiectarea schimbătorului de căldură au fost temperaturile obținute la nivelul gazelor de ardere, debitele minime și maxime ale gazelor de ardere vehiculate în cazan, vitezele și regimurilor de curgere, respectiv caracteristicile termodinamice ale acestora. În procesul de evacuare a gazelor de ardere către coșul de fum este interpus schimbătorul de căldură care prin geometria sa caracterizată de șicane succesive și căi de curgere circulare multiple, creează suprafața necesară de schimb de căldură în concordanță cu vitezele de curgere, astfel încât să poată fi absorbită energia termică în procent maxim, până în apropierea atingerii punctului de rouă. Fluidul de lucru care transportă energia termică către utilizator parcurge schimbătorul de căldură în contracurent, intrând în contact termic cu gazele de ardere de la care preia căldura obținută la nivelul arzătorului. De asemenea, la nivelul accesului în schimbătorul de căldură este prevăzută soluția de amestec care permite controlul temperaturilor fluidului de lucru în interiorul sistemului, pentru o minimizare a intervalelor de dilatare și o menținere a parametrilor termodinamici la valori care să reducă posibilitățile de apariție locală sau globalizată a punctului de rouă.

Disponerea schimbătorului de căldură este astfel realizată încât să permită și să faciliteze procesul periodic necesar de curățare și îndepărtare a elementelor solide care precipită, sau se depun gravitațional și electrostatic la nivelul pereților de transfer termic, cu scopul de a menține performanțele cazanului în procesul de funcționare la nivelul valorilor proiectate.

Colectorul de fum s-a realizat cu scopul însumării căilor parțiale de fum pentru evacuarea gazelor și stabilirea unei curgeri unidirecționale ale gazelor de ardere către coșul de fum. Colectorul de fum este dimensionat fizic astfel încât să permită separarea și colectarea temporară a particulelor solide aflate în suspensie astfel încât acestea să ajungă în cantități minime posibile în atmosferă. Prin modificarea regimului de curgere a gazelor de ardere, la nivelul colectorului de fum se realizează o separare gravitațională a particulelor solide de cenușă

aflate în suspensie față de fumul care este evacuat în atmosferă. Colectorul se continuă cu pâlnia de fum, care permite realizarea racordului cu sistemul de evacuare aflat la adresa beneficiarului.

Mantaua izolată a cazanului Pentru protecția termică și protecția mecanică în procesele de manipulare și exploatare, s-a creat un strat de izolație termică din vată bazaltică la nivelul cazanului care este protejată mecanic de o manta din tabla. Întregul sistem de izolație termică și protecție metalică este proiectat demontabil, pentru a permite un transport ușor al echipamentului și de asemenea simplificarea proceselor de manipulare încărcare, descărcare și poziționarea la adresa beneficiarului. Muchiile mantalei sunt prelucrate pentru a nu avea părți ascuțite și a nu provoca accidente iar tabla va fi vopsită într-o culoare care să ofere un design comercial atractiv.

Arzătorul este elementul cel mai important în funcționarea cazanului cu peleți. Acesta este dispozitivul responsabil cu arderea peletilor pentru a produce energie termică .

Arzătorul are rolul de a permite oxidarea peletilor într-un mod eficient și controlat cu scopul de a realiza o ardere cât mai completă. Aceasta presupune furnizarea de oxigen în cantitatea corectă în zona de ardere a peletilor și menținerea unei temperaturi adecvate pentru a asigura o ardere cât mai completă și curată. Un arzător bine proiectat și reglat poate maximiza randamentul termic și reduce emisiile de poluanți. Arzătorul este echipat cu un sistem de control automat care monitorizează și reglează permanent procesul de ardere. Aceste sisteme include o serie de senzori pentru a măsura temperatura, presiunea și cantitatea de oxigen în timp real, astfel încât să se asigure o ardere optimă și să se evite condițiile nedorite, cum ar fi flacăra instabilă sau fumul negru.

Arzătorul este conectat la sistemul de alimentare cu peleți, care aduce peletii din buncăr către zona de ardere. Arzătorul trebuie curățat și întreținut periodic pentru a asigura o funcționare eficientă și sigură. Depunerile de cenușă și zgură rezultate din arderea peletilor trebuie eliminate în mod regulat, iar componentele arzătorului, cum ar fi duzele și filtrele, trebuie verificate și curățate pentru a preveni obstrucții și disfuncționalități.

Rolul arzătorului într-un cazan cu peleți este crucial pentru obținerea unui sistem de încălzire eficient, ecologic și sigur. Prin arderea controlată și eficientă a peletilor, arzătorul asigură o producție de energie constantă și minimizarea impactului asupra mediului înconjurător. Arderea este un proces chimic complex, în care peletii sunt supuși unei reacții exoterme de oxidare în prezența oxigenului, generând căldură și produse reziduale, cum ar fi dioxidul de carbon și cenușa.

Rolul arzătorului constă în a furniza condițiile optime pentru această reacție de ardere. În primul rând, arzătorului trebuie să i se ofere o sursă adecvată de aer sau oxigen pentru a susține arderea. Acest lucru se realizează prin intermediul sistemului de alimentare cu aer și prin reglarea fluxului de aer în zona de ardere. Cantitatea de aer disponibilă trebuie să fie suficientă pentru a asigura o ardere completă și curată a peletilor, evitând formarea de produse de ardere nedorite, cum ar fi monoxidul de carbon sau compuși organici volatili.

În al doilea rând, arzătorul trebuie să mențină o temperatură adecvată în zona de ardere. Aceasta se realizează prin gestionarea eficientă a cantității de peleți furnizați și a vitezei de ardere. Un control precis al alimentării cu peleți este esențial pentru a menține o flacăra stabilă și o temperatură optimă de ardere. De asemenea, arzătorul trebuie echipat cu sisteme de izolare termică sau schimbătoare de căldură pentru a maximiza transferul de căldură către apa sau agentul termic din cazan. Pe măsură ce peletii ard, cenușa rezultată trebuie îndepărtată în mod regulat pentru a preveni acumularea și blocarea arzătorului. Acest lucru impune sisteme automate de curățare sau procese manuale de curățare, în funcție de cerințele specifice ale cazanului. Arzătorul este, de asemenea, conectat la un sistem de control și monitorizare care reglează și supraveghează parametrii de ardere, cum ar fi temperatura, presiunea și fluxul de aer. Aceste date sunt utilizate pentru a optimiza performanța arzătorului și pentru a asigura o funcționare eficientă și sigură a întregului sistem de încălzire

Proiectarea corespunzătoare a arzătorului și reglarea optimă a acestuia pot avea un impact semnificativ asupra eficienței energetice a cazanului și pot reduce în mod considerabil emisiile de gaze cu efect de seră și poluanții atmosferici. În plus, o eficientizare ridicată este determinată de arderea stratificată și controlul procesului de ardere. Arderea stratificată implică introducerea aerului primar și secundar în zone distincte ale arzătorului, pentru a obține o ardere mai eficientă și o reducere a emisiilor. Controlul procesului de ardere utilizează algoritmi avansați pentru a regla automat alimentarea cu peleți și cantitatea de aer, în funcție de cerințele de încălzire și condițiile de funcționare, asigurând astfel un nivel optim de performanță și eficiență.

Un alt aspect important este integrarea arzătorului cu sistemul general de cazan și distribuție a căldurii. Arzătorul trebuie să fie compatibil cu cazanul și sistemul de distribuție, astfel încât să poată livra căldură în mod eficient și să se sincronizeze cu cerințele de încălzire ale locuinței sau clădirii.

Admisia de peleți către focar are loc prin intermediul prizei de peleți proiectate și executate, transportate în prealabil din rezervorul de stocare a peletilor, unde este depozitată biomasa. Sistemul de alimentare este echipat cu un motor și un șnec gestionate de unitatea de control pentru a regla cantitatea de peleți furnizată în funcție de cerințele de ardere și de parametrii setați de utilizator.

Camera de ardere este sub forma unui cilindru. Ea este concepută pentru a asigura o distribuție uniformă a aerului de combustie și a peletilor, pentru a obține o ardere eficientă și controlată. Camera de ardere este izolată termic față de mediul ambiant, pentru a minimiza pierderile de căldură și pentru a asigura o temperatură optimă de ardere.

Răscolitorul este un element dinamic în focarul cu răscolire pe peleți și are rolul de a amesteca și răscoli peletii în camera de ardere. Acest mecanism ajută la distribuirea uniformă a căldurii și a aerului de combustie, asigurând astfel o ardere completă și eficientă a peletilor. Răscolitorul este acționat de motorul electric și are mișcări continue și lente de tip rotativ. Subsistemul în ansamblu este controlat reglat și monitorizat de către modulul de comandă pentru a asigura o funcționare eficientă și sigură a sistemului. Acesta culege date și informații prin intermediul senzorilor de temperatură din camera de ardere, monitorizează debitului de aer și a presiunii, precum și un controler care primește datele de la senzori și ajustează automat alimentarea cu peleți și aerul de combustie pentru a menține parametrii permanent optimizați.

Focarul include sistemul de aprindere utilizat pentru a iniția arderea peletilor în camera de ardere. Pentru o ardere eficientă a peletilor, este necesar un flux adecvat de aer de combustie în camera de ardere. Aerul provenit de la ventilator este admis în funcție de cerințele de ardere și prin intermediul unui senzor de debit poate controla și regla cantitatea de aer furnizată în timp real. Asigurarea unei cantități corecte de aer de combustie este esențială pentru a obține o ardere eficientă și o emisie redusă de substanțe poluante. Pe măsură ce peletii ard, se formează cenușă și reziduuri care trebuie eliminate pentru a menține performanța și eficiența focarului.

Panoul de control și sisteme de monitorizare permite operatorului să monitorizeze și să regleze setările sistemului crescând performanța focarului și permite a identificarea eventualelor defecțiuni sau probleme potențiale. Aceste elemente componente și sisteme funcționează într-un mod integrat pentru a asigura o ardere eficientă și sigură a peletilor într-un focar cu răscolire. Prin intermediul rezervorului de stocare a peletilor și a sistemului de alimentare cu peleți, combustibilul este livrat în camera de ardere.

Arderea are loc la nivelul cilindrului rotativi prevăzuți cu orificii pentru admisia aerului necesar arderii amplasați în partea inferioară a camerei de ardere și susțin totodată peletii în timpul procesului de ardere. Acestea sunt fabricați din oțel rezistent la temperaturi înalte și sunt antrenați de mecanismul de răscolire pentru a asigura o distribuție uniformă a peletilor și o ardere completă.

Sistemul de răscolire este responsabil de amestecarea și mișcarea peletilor în camerele de ardere. Tamburii se rotesc pentru a răscoli peletii și a asigura o ardere uniformă și un amestec

cat mai intim dintre aerul necesar ardeii și combustibil. După arderea peleiilor, gazele de ardere rezultate trebuie evacuate în mod corespunzător, fapt ce se realizează la capătul arzătorului prin intermediul căilor de evacuare care conduc gazele de ardere către coșul de fum. În traiectoria gazelor de ardere este interpus în formă de șicane repetate **schimbătorul de căldură** care înainte de evacuarea gazelor preia căldura și o transferă fluidul de lucru cu rol de transfer a energiei termice către utilizator. Gazele sunt conduse într-un **coș de fum** calibrat pentru debitele evacuate și care permite evacuarea în afara clădirii. Gazele rezultate în urma arderii peleiilor trebuie evacuate în mod eficient și sigur. Este important ca acest sistem să fie proiectat corespunzător și să respecte normele de siguranță pentru a preveni acumularea de gaze toxice în interior.

Pentru a reduce impactul asupra mediului înconjurător, focarul trebuie să gestioneze judicios emisiile nocive. Acest sistem include o monitorizare permanentă a compoziției gazelor de ardere și substanțelor nocive din gazele de ardere înainte de a fi evacuate în atmosferă. Aceasta contribuie la reducerea poluării și a emisiilor dăunătoare pentru sănătatea umană și mediul înconjurător. Deoarece arderea peleiilor poate produce monoxid de carbon, un gaz toxic și înodor, camera tehnică unde se amplasează un sistem de ardere a biomasei se justifică a fi echipată cu un sistem de detectare a scurgerilor de monoxid de carbon. Se utilizează senzori dedicați pentru a monitoriza nivelul de monoxid de carbon din încăperea și poate declanșa alarme sonore și vizuale în cazul depistării unei scurgeri periculoase. Aceasta asigură siguranța și protecția utilizatorilor împotriva expunerii la monoxid de carbon.

Cenușa rezultată în urma arderii peleiilor trebuie gestionată corespunzător. Focarul este dotat cu un sistem de gestionare a cenușii care include o **tăviță de cenușă** sau un recipient separat pentru colectarea și evacuarea cenușii. Acest sistem are un sertar accesibil ușor pentru a permite utilizatorului să îndepărteze și să golească cenușa într-un mod convenabil și curat.

Pentru a minimiza pierderile de căldură și a maximiza eficiența energetică, focarul cu răscolire pe peleiți poate fi tapetat cu materiale izolante termice și materiale refractare rezistente la temperaturi înalte. Aceste materiale sunt proiectate să reducă transferul de căldură către mediul înconjurător și să păstreze căldura în interiorul focarului.

Pe lângă componentele tehnice, focarul este conceput cu un design ergonomic și estetic. Acest lucru include caracteristici precum uși de vizitare sau panouri de acces ușor la componente, mânere ergonomice pentru manipulare și reglare, eventuală posibilitate de iluminare interioară pentru vizibilitate și aspect estetic plăcut, astfel încât să se încadreze în designul modern al centralelor pe biomasă.

În ansamblu, aceste elemente componente și sisteme lucrează împreună pentru a oferi un proces de ardere eficient, sigur și controlat într-un focar cu răscolire. Aceasta asigură obținerea unei încălziri eficiente și a unei utilizări optime a peleiilor de biomasă ca sursă de combustibil.

Subsistemul de alimentare cu combustibilul este un ansamblu complex, format dintr-un rezervor (buncăr) de combustibil care are drept scop stocarea peleiilor în general pentru un ciclu de 24 de ore. Rezervorul este realizat din tablă, sudată într-o formă conică, astfel încât peleiții să poată fi colectați de către sistemul de alimentare și conduși în arzătorul cazanului. Transportul peleiilor se realizează prin intermediul unui melc, amplasat într-o conductă cu rol de ghidaj, cele două componente formează împreună șnecul care conduce peleiții în tubul flexibil amplasat în partea superioară a arzătorului, de unde aceștia cad gravitațional în patul de ardere. Dozajul cantitativ al peleiilor care alimentează focarul este controlat și monitorizat de către sistemul de automatizare astfel încât să existe o corelare continuă între puterea cerută de către sistemul de încălzire și puterea cazanului.

Dozajul peleiilor se realizează prin intermediul unui motor cu reductor ce are rolul de a antrena șnecul, iar reglajul efectiv al debitelor de peleiți injectați în sistemul de ardere se realizează în urma unei programări prestabilite prin temporizarea motorului electric.

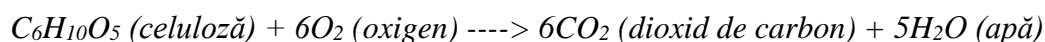
Senzorii de nivel ai subsistemului de alimentare cu combustibil, sunt elemente componente ale instalației care îndeplinesc rolul de a menține pe tot parcursul funcționării

instalației cantității rezerve de peleți necesare arderii în interiorul focarului. Cei doi senzori sunt montați în buncărul de peleți ai centralei, senzorul inferior activează șnecul de umplere din depozitul de peleți a rezervorului, asigurând cicluri regulate către punctul de prelevare a șnecului de alimentare a cazanului, iar senzorul superior dezactivează funcționarea șnecului. În cazul în care nu există posibilitatea de a fi conectat buncărul la un depozit învecinat de peleți, senzorul inferior prin intermediul aplicației mobile va transmite un mesaj text prin intermediul softului de control către utilizator în scopul umplerii manuale a buncărului.

Subsistemul de alimentare cu aer asigură și reglează cantitatea de aer necesară unei arderi cât mai complete posibil.

Procesul de ardere a peletilor implică eliberarea de energie termică prin reacții chimice de oxidare în prezența oxigenului din aer. Pentru a obține o ardere eficientă și completă, este esențial să se calculeze cantitatea adecvată de aer necesară în acest proces. Primul pas în calculul cantității de aer este determinarea compoziției chimice a peletilor. Peleții sunt în general compuși din materiale organice precum lemnul și pot conține un amestec de substanțe precum celuloza, lignina, apă și alte componente volatile. Compoziția exactă poate varia în funcție de tipul de peleți și procesul de fabricație. În continuare, calculul cantității de aer se bazează pe principiul de stoichiometrie chimică, care se referă la relațiile cantitative dintre reactanți și produși într-o reacție chimică. În procesul de ardere a peletilor, principalul compus combustibil este celuloza, care este alcătuită din carbon, hidrogen și oxigen.

Procesul de ardere a celulozei poate fi reprezentat printr-o reacție chimică simplificată:



Din ecuația de reacție, se poate observa că pentru fiecare moleculă de celuloză arsă, sunt necesare 6 molecule de oxigen. Prin urmare, raportul stoichiometric între celuloză și oxigen este de 1:6.

Pentru a calcula cantitatea de aer necesară în procesul de ardere, trebuie să se determine cantitatea de celuloză conținută în peleți și să se înmulțească cu raportul stoichiometric. Aceasta se poate face cunoscând compoziția chimică a peletilor și utilizând masele atomice ale elementelor implicate.

De exemplu, să presupunem că peleții conțin 100 de grame de celuloză. Pe baza raportului stoichiometric, vom avea nevoie de:

$$100 \text{ g celuloză} * (6 \text{ mol oxigen} / 1 \text{ mol celuloză}) * (32 \text{ g oxigen} / 1 \text{ mol oxigen}) = 1920 \text{ g oxigen}$$

Acesta este volumul teoretic de aer necesar în procesul de ardere a 100 de grame de celuloză. Cu toate acestea, trebuie avut în vedere că aerul atmosferic conține aproximativ 21% oxigen, restul fiind compus în principal din azot și alte gaze. Prin urmare, cantitatea reală de aer necesar va fi mai mare decât volumul de oxigen calculat mai devreme, pentru a compensa diluția cu azot și alte gaze.

În concluzie, calculul cantității de aer necesar în procesul de ardere a peletilor este determinat de compoziția chimică a acestora.

Odată determinată cantitatea de oxigen necesară în procesul de ardere a peletilor, se poate calcula cantitatea reală de aer necesară prin ajustarea volumului de oxigen cu conținutul de oxigen din aerul atmosferic.

Aerul atmosferic este compus în principal din aproximativ 21% oxigen, 78% azot și aproximativ 1% alte gaze, cum ar fi argonul, dioxidul de carbon și vaporii de apă. Prin urmare, pentru a determina cantitatea reală de aer necesară, se utilizează fracțiunea molară de oxigen din aerul atmosferic, care este de aproximativ 0,21. Utilizând cantitatea calculată anterior de 1920 g de oxigen necesar, putem calcula cantitatea de aer necesară în funcție de fracțiunea molară de oxigen din aerul atmosferic:

$$\text{Cantitatea de aer} = \text{Cantitatea de oxigen necesară} / \text{Fracțiunea molară de oxigen din aerul atmosferic.}$$

$$\text{Cantitatea de aer} = 1920 \text{ g} / 0,21 \approx 9142 \text{ g}$$

Astfel, în acest exemplu, aproximativ 9142 de grame de aer (sau 9,142 kg) ar fi necesare pentru a susține arderea completă a 100 de grame de celuloză conținute în peleți.

Pentru alegerea primelor ventilatoare luate în analiză s-a făcut un calcul simplificat neglijându-se alți factori care pot influența necesarul real de aer în arderea peletilor, precum umiditatea peletilor, eficiența sistemului de ardere și alte condiții specifice fiecărui caz în parte. De asemenea, pentru o ardere eficientă, este important să se asigure o alimentare adecvată a aerului în timpul procesului de ardere, pentru a evita deficiențe de oxigen și potențiale emisii poluante.

Este important de menționat că determinarea cantității de aer necesar în procesul de ardere a peletilor nu se limitează doar la aportul de oxigen. De asemenea, trebuie să se ia în considerare și alți factori pentru a asigura o ardere eficientă și completă. Unul dintre acești factori este raportul aer-combustibil (RAC), care reprezintă raportul dintre cantitatea de aer furnizată și cantitatea de combustibil. Raportul aer-combustibil este esențial pentru a menține o ardere optimă și pentru a evita formarea excesivă de emisii poluante, cum ar fi monoxidul de carbon (CO) și hidrocarburile nearse complet. Raportul aer-combustibil poate varia în funcție de tipul de peleți și de sistemul de ardere utilizat. De obicei, se ține seama de două tipuri principale de rapoarte aer-combustibil: raportul stoichiometric și raportul excesului de aer.

Raportul stoichiometric reprezintă raportul teoretic ideal între cantitatea de aer necesară și cantitatea de combustibil pentru o ardere completă. Acesta este determinat pe baza compoziției chimice a combustibilului și ecuației de reacție chimică, similar cu calculul cantității de oxigen. Totuși, pentru o ardere completă, se poate aplica un raport de exces de aer, care depășește raportul stoichiometric.

Raportul excesului de aer se referă la cantitatea de aer furnizată în plus față de cantitatea teoretică necesară. Acesta este adesea utilizat pentru a asigura o ardere completă, pentru a se compensa variațiile în compoziția combustibilului și pentru a asigura amestecarea adecvată a aerului și combustibilului. Un raport de exces de aer prea mic poate duce la o ardere incompletă și formarea de emisii nocive, în timp ce un raport de exces de aer prea mare poate duce la pierderi de eficiență și la creșterea emisiilor de dioxid de azot (NO_x).

Determinarea raportului excesului de aer optim necesar în arderea peletilor a fost realizată prin procese experimentale succesive și au fost aduse optimizări în reglajul sistemului de ardere utilizat. Parametrii precum debitul de aer, geometria și designul camerei de ardere, modul de introducere a aerului și reglajul sistemului pot influența raportul de exces de aer. În concluzie, calculul cantității de aer necesar în arderea peletilor implică nu numai determinarea cantității de oxigen necesară, ci și evaluarea raportului aer-combustibil adecvat, inclusiv raportul stoichiometric și raportul de exces de aer. Aceste calcule și optimizări sunt esențiale pentru a asigura o ardere eficientă.

Subsistemul de aprindere a combustibilului Acest subsistem este construit pentru a asigura în mod automat și controlat pornirea procesului de ardere a peletilor din interiorul camerei de ardere a arzătorului la punerea în funcțiune a instalației și ori de câte ori este necesar.

Aprinderea peletilor într-un arzător se realizează prin intermediul unei bujii de aprindere, care generează o energie termică suficientă pentru a aduce temperatura peletilor la o valoare egală cu temperatura de aprindere.

Primul pas în procesul de pornire a arderii este alimentarea arzătorului cu o cantitate prestabilită de peleți într-un mod adecvat rezultat în urma modelărilor matematice și încercărilor experimentale. Apoi se face o verificare dacă focarul este umplut suficient prin intermediul sistemului de control al aprinderii, care comunică cu modulul electronic și cu senzor de aprindere. Acesta controlează momentul aprinderii și se asigură că bujia este activată în momentul potrivit.

În cadrul arzătorului, bujia de aprindere este amplasată într-o poziție optimă în apropierea zonei combustibil. S-a ales o bujie specială concepută pentru aprinderea peletilor și care are capacitatea de a realiza această funcție într-un număr foarte mare de cicluri.

După verificarea îndeplinirii condițiilor pentru pornirea ciclului de aprindere, modulul electronic trimite un semnal către bujie pentru a genera o descărcare electrică în zona de combustie. Această descărcare electrică produce un arc electric de intensitate ridicată care reușește să ridice temperatura unei cantități mici de combustibil la valoarea temperaturi de aprindere. Arcul electric generat de bujie aprinde peletii din jurul său care apoi susțin temperatura ridicată și încălzesc din propria energie peletii din proximitate, iar ventilatorul printr-o turație redusă controlată injectează oxigen. Este important ca turația ventilatorului, să fie monitorizată și controlată pe toată perioada procesului de aprindere, deoarece un volum prea mare de aer, conduce la răcirea combustibilului și scăderea sub prag a temperaturii de ardere, deci stingerea și oprirea procesului de oxidare iar o ventilație redusă blochează procesul de aprindere din lipsa oxigenului necesar întreținerii arderii. Combustibilul se aprinde și începe să ardă în zona de grătar a arzătorului.

După aprinderea inițială, senzorii din arzător monitorizează flacăra și temperatura pentru a se asigura că arderea este continuă eficientă și în condiții de siguranță.

După aprinderea inițială, poate fi necesară ajustarea parametrilor de aprindere pentru a asigura o ardere eficientă și o flacăra stabilă. Aceasta poate include modificarea duratei aprinderii, intensității descărcării electrice sau alte setări specifice arzătorului în funcție de calitatea peletilor sau altor factori externi care influențează procesul de aprindere cum ar fi umiditatea aerului și peletilor, temperatura din arzător tirajul coșului influențat de condițiile meteo etc.

În procesul de aprindere, sistemul de control al arzătorului monitorizează și controlează luminozitatea și temperatura în zona de ardere. Acest lucru asigură un proces de aprindere optimă pentru arderea eficientă a peletilor și menținerea unei flăcări stabile. Sunt monitorizate eventualele aglomerări de peletii în zona de alimentare, care prin intermediul sistemului de protecție detectează și gestionează prin rezolvări independente sau în situațiile în care sistemul nu reușite o autogestionare transmite eroare prin intermediul modulului de comandă și control către utilizator.

Subsistemul are posibilitatea de a ajusta diferiți parametri ai sistemului de aprindere, cum ar fi durata aprinderii, intervalul de timp între aprinderi. Aceste setări pot fi personalizate în funcție de cerințele individuale ale arzătorului și de condițiile de operare și calitatea peletilor.

Pentru a asigura o aprindere mai eficientă și pentru a evita formarea de fum sau deșeuri narse, subsistemul este prevăzut cu posibilitatea de preaprindere. Acest sistem inițiază o mică ardere prealabilă a peletilor înainte de aprinderea completă. Această preaprindere pregătește zona de ardere și facilitează aprinderea peletilor într-un mod mai rapid și mai eficient. În timpul procesului de aprindere, sistemul de injecție a aerului de ardere furnizează oxigenul necesar controlat de sistemul de automatizare astfel încât să fie injectată o cantitate optimă. Dacă oxigenul nu este suficient, procesul de aprindere este viciat până la colaps, colaps determinat de stratul de combustibil ars parțial și care capsulează patul de ardere creând o suprafață incombustibilă în zona de declanșare a arcului electric de către bujie. În situația în care există un volum de aer în exces acesta va conduce la o răcire a combustibilului pregătit pentru aprindere și nu va putea fi atinsă temperatura de oxidare. Optimizarea debitului de oxigen injectat facilitează reacția de ardere și asigură o flacăra mai puternică și mai stabilă pentru aprinderea peletilor. După aprindere, sistemul de automatizare și control continuă să monitorizeze și să moduleze flacăra pentru a asigura o ardere optimă și eficientă. Sistemul de control ajustează în mod automat și continuu alimentarea cu combustibil și aerul de combustie pentru a menține flacăra în parametrii optimi.

Sistemul de aprindere cu bujie din arzător este proiectat să ofere siguranță și protecție împotriva eventualelor situații neprevăzute, cum ar fi arderea inversă sau flăcări sau supraîncălziri accidentale. Acesta este echipat cu senzori și sisteme de siguranță care

monitorizează constant arderea și oferă posibilitatea de a opri automat alimentarea cu combustibil și aer în cazul unei anomalii.

Bujia de aprindere este o componenta principală a sistemului de aprindere, este o componentă consumabilă și poate necesita înlocuire periodică în funcție de uzură sau deteriorare.

Bujia de aprindere este elementul esențial pentru procesul de aprindere și funcționare a acestor centrale. Aceasta are rolul de a genera cantitatea de energie termică pentru a iniția aprinderea peleiților. Bujia de aprindere este fabricată dintr-un material rezistent la temperaturi înalte și pentru a face față condițiilor extreme de temperatură din interiorul camerei de ardere. De asemenea, prezintă o structură specială, cu un electrod central și un inel exterior, care sunt separați printr-un izolator. Procesul de aprindere începe atunci când bujia este alimentată cu o tensiune electrică la comanda sistemului de control al centralei. În momentul trecerii curentului electric prin rezistența bujiei de aprindere, aceasta se încălzește și transferă căldură către peleiți. Această căldură este suficientă pentru a iniția arderea peleiților. După ce peleiții sunt aprinși, rezistența de aprindere este de obicei oprită (*sau redusă la o putere mai mică*), iar arderea continuă prin alimentarea constantă a peleiților și reglarea aerului de combustie.

Bujia de aprindere este proiectată să funcționeze eficient în condiții de temperatură înalte și medii agresive, rezistând uzurii și coroziunii. Este proiectată să funcționeze la o tensiune de 24 de volți pe care o primește de la instalația electrică de alimentare a cazanului prin intermediul modulului de comandă.

Durata de viață a bujiei de aprindere este o caracteristică importantă, deoarece influențează intervalul de înlocuire a acesteia. O bujie de aprindere de calitate superioară trebuie să aibă o durată de viață lungă, rezistând la condițiile extreme de temperatură și oferind un număr mare de cicluri de aprindere. Bujia trebuie să poată funcționa în condiții de temperatură ridicate, care pot ajunge până la câteva sute de grade Celsius în interiorul camerei de ardere. Prin urmare, materialul din care este fabricată bujia este rezistent la temperaturi ridicate și să nu se deterioreze sau să se topească în timpul funcționării. Trebuie să reziste la mediul agresiv din camera de ardere, care poate conține substanțe corozive precum cenușa și substanțele reziduale rezultate în urma arderea peleiților. Astfel, trebuie să fie fabricată dintr-un material rezistent la coroziune sau să fie protejată prin acoperiri speciale pentru a preveni deteriorarea și reducerea performanței în timp. Arzătorul are creat un sistem care permite cuplarea acesteia în scopul amplasării în zona de pornire a arderii. Aceasta este sub formă de șurub, iar dimensiunile sale sunt ajustabile astfel încât să se potrivească în mod corespunzător în spațiul rezervat în camera de ardere.

Un timp de aprindere scurt contribuie la pornirea rapidă și eficientă a centralei pe peleiți, asigurând un proces de aprindere rapid și reducând timpul de așteptare pentru intrarea sistemului într-o funcționare nominală.

Fotorezistența arzătorului de peleiți Procesul de aprindere și de ardere este controlat de către unitatea electronică de control prin senzorul de prezență flăcără, denumit fotorezistența. Dacă senzorul nu sesizează prezența flăcării în timpul funcționării, oprește automat arzătorul.

Cu privire la rolul fotorezistenței în cadrul subsistemului de aprindere, fotorezistența în faza de aprindere, imediat după ce va sesiza lumina va duce la deconectarea bujiei de aprindere cu o ușoară întârziere. Valoarea intensității luminii pentru care se consideră prezența focului (*aprindere reușită*) este un parametru al cărei valori se poate ajusta cu ocazia schimbării tipului de peleiți utilizat (*aprinderi nereușite*) sau cu ocazia reviziilor, dacă se impune datorită îmbătrânirii fotorezistenței (*învelișului protector*).

În timpul procesului de ardere, poate exista acumulare de cenușă sau depuneri pe suprafața fotorezistenței. Fotorezistența trebuie să aibă un timp de răspuns rapid pentru a detecta în mod eficient prezența sau absența flăcării. Acest aspect este esențial pentru a permite controlul și reglarea adecvată a procesului de ardere în centrala cu peleiți.

Teci de măsură și control amplasate în zonele de interes pentru sistemul de comandă, automatizare și control permit integrarea senzorilor de temperatură, presiune, fotocelule, sonda lambda și teci-rezervă pentru eventuale interconectări cu alte surse de căldură în sisteme integrate. Se vor crea teci de măsură și control la nivelul circulațiilor de tur, de retur, gazelor de ardere, sistemului de aprindere, corpul schimbătorului de căldură și arzător.

Termostatul de siguranță care este utilizat împotriva arderii inverse și are rolul de a împiedica propagarea inversă a flăcării pe tubul de alimentare, întrerupând circuitul electric de alimentare cu combustibil. Termostatul de siguranță funcționează pe principiul dilatării termice a unui material. Această schimbare de poziție întrerupe circuitul electric.

Termostatul de siguranță al corpului cazan intervine în cazul unor eventuale supraîncălzirii ale apei din corpul cazanului. Când este atinsă o temperatură superioară setată acesta se activează și oprește alimentarea cu combustibil respectiv a aerului necesar arderii prin întreruperea alimentării cu energie electrică permițând funcționarea doar pompei de recirculare cu scopul de a descărca căldura produsă de inerția termică a amestecului de aer-combustibil regăsit în cazan. Termostatul de siguranță permite resetarea numai în scenariul manual. Complementar, automatizarea arzătorului de peleți trebuie și el resetat (oprit și repornit).

Termocuplul pentru urmărirea temperaturii gazelor de ardere este un dispozitiv, care generează o tensiune termoelectromotoare, proporțională cu temperatura. Acesta poate măsura temperaturi de până la 1.300 de grade Celsius, este rezistentă la coroziune și poate fi utilizată în medii oxidante și reduse. Cu ajutorul acestui element este monitorizată temperatura gazelor de ardere pe baza căreia s-au luat decizii de reglaj în fazele de testare.

Senzorii de temperatură (tur + retur), au un rol esențial în funcționarea eficientă și sigură a prototipurilor de laborator analizate. Acești senzori sunt parte a sistemului de control și monitorizare al cazanului și îndeplinesc mai multe funcții importante. Senzorul de temperatură de la tur măsoară temperatura agentului termic înainte de a intra în sistemul de încălzire. Acesta permite controlul precis al temperaturii în funcție de cerințele de încălzire ale clădirii. Monitorizează diferența de temperatură dintre tur și retur, oferind informații despre eficiența schimbului de căldură în schimbătorul de căldură. O diferență optimă de temperatură poate indica o funcționare eficientă a sistemului. Senzorul de temperatură de la tur contribuie la prevenirea supraîncălzirii, asigurându-se că temperatura apei nu depășește valorile setate. Acest aspect este esențial pentru siguranța sistemului și pentru a evita deteriorarea echipamentului. Prin monitorizarea temperaturii la tur, sistemul poate regla puterea cazanului pentru a se potrivi cerințelor actuale de încălzire. Acest lucru contribuie la economisirea de energie prin adaptarea producției de căldură la necesitățile reale ale clădirii.

Senzorii de temperatură sunt esențiali pentru a asigura că temperatura în interiorul cazanului este adecvată pentru arderea eficientă a peleiților. Temperaturile optime contribuie la obținerea unei ardere complete și reduse a emisiilor poluante. Senzorii de temperatură pot fi utilizați pentru detectarea potențialelor probleme în sistem. Variații neașteptate ale temperaturii pot indica pierderi în sistem sau alte defecțiuni.

Senzorul lambda măsoară raportul dintre cantitatea de oxigen și combustibil în amestecul de gaze rezultat în urma arderii peleiților. Această operațiune oferă informații esențiale despre eficiența combustiei și asigură un amestec adecvat între aer și combustibil. Senzorul Lambda furnizează informații în timp real despre cantitatea de oxigen din gazele rezultate în urma procesului de ardere a peleiților. Acesta este esențial pentru a evalua eficiența combustiei. Un raport optim între oxigen și combustibil indică o ardere eficientă. Bazat pe datele furnizate de senzorul lambda, sistemul de control al cazanului poate ajusta cantitatea de aer furnizată în procesul de ardere. Un amestec corect între aer și combustibil este crucial pentru a

obține o ardere completă și eficientă a peleților. Prin monitorizarea continuă a raportului aer-oxigen, senzorul lambda ajută la menținerea unei eficiențe energetice ridicate. Ajustările corespunzătoare pot fi făcute pentru a evita excesul de aer (care poate duce la pierderi de căldură) sau insuficiența de aer (care poate provoca arderea incompletă și formarea de emisii nedorite). Un control precis al raportului aer-combustibil contribuie la reducerea emisiilor de noxe. Prin asigurarea unei ardere eficiente, senzorul lambda contribuie la minimizarea formării de poluanți. Un amestec incorect sau o ardere incompletă pot duce la acumularea de reziduuri în cazan și la uzura prematură a componentelor. Senzorul Lambda contribuie la prevenirea acestor probleme prin asigurarea unei ardere adecvate și minimizarea riscului de formare a reziduurilor. De asemenea poate fi parte a sistemului de diagnosticare a defecțiunilor. Variații neașteptate în raportul aer-oxigen pot indica probleme în procesul de ardere sau în altă parte a sistemului.

Prin intermediul software-ului de monitorizare și conducere, nivelul 1 de siguranță asigură oprirea sistemului prototip, prin oprirea alimentării cu combustibil și oprirea ventilatorului de insuflare.

În cazul în care elementele din cadrul nivelului 1, nu au lucrat, atunci intervin elementele din cadrul nivelului 2 (*de exemplu, în cazul în care se depășesc anumite valori fie ale presiunii, fie ale temperaturii*).

Prin intermediul elementelor din cadrul sistemului de siguranță de nivelul 2, cum ar fi termostatul tip pastilă sau termostatul de siguranță al cazanului, are loc întreruperea alimentării de energie fără a intercala o logică software. Similar, în cazul în care elementele de siguranță din cadrul celor din nivelul 1 nu au lucrat, anumite elemente de siguranță de nivelul 2 vor interveni, prin reducerea sau echilibrarea presiunii periculoase din instalație, de exemplu (supape de siguranță, vas de expansiune, supape de siguranță), sau prin întreruperea alimentării în mod fizic, prin topirea tubul riflat de exemplu.

Astfel, împotriva arderii inverse, lucrează două elemente, tub riflat special și un termostat de siguranță de tip pastilă, cu bimetal, montat pe tubul de alimentare, întrerupând circuitul electric de alimentare cu combustibil în cazul unei temperaturi mai mari de 70 [°C]. Corpul cazan este prevăzut cu un termostat de siguranță care intervine în cazul unor eventuale supraîncălzirii ale apei din corpul cazanului întrerupând de asemenea alimentarea cu energie electrică. În ambele situații prin utilizarea unor senzori de temperatură digitale se permite măsurarea temperaturilor și astfel în timp real se pot înregistra valorile considerate a fi periculoase, ulterior aceste valori vor putea fi folosite pentru o diagnoză precisă, pentru identificarea cauzelor problemelor apărute.

Un alt parametru important s-a dovedit a fi, pe lângă aspectele legate de eficiență și reducerea noxelor, urmărirea temperaturii gazelor de ardere, unde s-a optat pentru utilizarea termocuplelor de tip K, fiind potrivite gamelor de temperaturi și se pot conecta facil la sistemul comandă. Celelalte componente, cum ar fi senzorii de temperatură, sonda lambda, etc. cu toate că fac parte și din cadrul subsistemului de siguranță vor fi prezentate și descrise în subcapitolele următoare.

Racordul elastic de alimentare peleți conectează buncărul cu arzătorul și este un tub riflat special (1÷1.5 m, diametrul de 65mm) confecționat dintr-un poliester-poliuretan, cu rolul de a se topi în cazul unei temperaturi ridicate, astfel încât să se întrerupă legătura fizică dintre alimentarea cu combustibil și arzătorul utilizat. Temperatura normală de funcționare este în intervalul - 40 [°C] + 90 [°C], astfel, în situația unei arderi inverse accidentale, în condițiile în care termostatul de siguranță nu a lucrat suficient de rapid, prin topirea tubului se oprește alimentarea cu combustibil.

Controlul presiunii apei din instalația de încălzire, supapa de siguranță permite deschiderea unei vane pentru diminuarea presiunii excesive și previne apariția unei creșterii periculoasă a presiunii în sistem.

Vasul de expansiune este recipientul care permite compensarea variațiilor de volum în sistemul de încălzire. Vasele de expansiune absorb și mențin o cantitate adecvată de fluid termic suplimentar generat prin dilatare termică, reducând astfel presiunea excesivă în circuit.

Este important ca circuitele de încălzire să fie echipate cu aceste elemente de siguranță pentru a preveni acumularea presiunii periculoase și pentru a asigura funcționarea corectă și sigură a sistemului. În plus, este recomandat să se respecte normele și reglementările specifice pentru instalațiile de încălzire pentru a asigura un nivel adecvat de siguranță și protecție.

Având în vedere că cele mai multe dintre elementele pentru urmărirea și controlul presiunii apei din instalație fac parte din instalația propriu-zisă de încălzire și nu din sistemul pilot, pentru definirea componentelor din subsistemul de protecție și siguranță au fost considerate doar elementele din componența sistemului pilot (*cazan și arzător*).

Modulul de intrări asigură interconectarea unității centrale a prototipului SIVEBER (placa Raspberry Pi) cu elementele de monitorizare, măsură, semnalizare și comandă ale sistemului - (senzori, relee, aparate de măsură și semnalizare).

Placa Raspberry Pi 4 are un modul/port GPIO cu 40 de pini.

Modulul de intrări GPIO (General Purpose Input/Output - Intrări/Ieșiri de Uz General) este o interfață standard folosită pentru a conecta microcontrolere la alte dispozitive sau circuite electronice.

Subsistemul de achiziții de date este constituit din ansamblul senzorilor ce permit citirea mărimilor de proces (temperaturi, presiuni, poziție, tensiuni, curent și altele similare). Toate aceste mărimi sunt convertite în semnale electrice care sunt transmise spre modulul central al SIVEBER(Raspberry Pi). Aceste elemente asigură inclusiv adaptarea semnalelor electrice la nivelul sau domeniul specific plăcii Raspberry Pi.

Se pot considera ca părți componente ale acestui subsistem și elementele de execuție din proces (relee, întrerupătoare, micro-întrerupătoare și altele similare); comanda, respectiv funcționarea lor este realizată tot pe cale electrică, prin semnale electrice, a căror nivel este asigurat de către adaptoare de semnal.

Elementele componente ale acestui subsistem sunt în conformitate cu schema de principiu a SIVEBER prezentată în fig. 2.2.

Senzorii utilizați în structura sistemului SIVEBER sunt prezentați în continuare:

Termocuplu de tip K cu convertor MAX6675 este constituit dintr-un termocuplu de tip K și un convertor analog-digital (ADC) de 12 biți. MAX6675 conține, de asemenea, un circuit de compensare a joncțiunii(capătului) reci, un controler digital, o interfață compatibilă SPI și logica de control asociată [14]. MAX6675 poate fi folosit împreună cu un microcontroler extern (μC) sau PLC sau alt dispozitiv similar în aplicații de monitorizare a temperaturii sau de control al proceselor ce implică măsurarea temperaturii.

MAX6675 include componente hardware care transformă semnalul electric al termocuplului într-o tensiune compatibilă cu canalele de intrare ale convertorului. Intrările T_+ și T_- se conectează la circuitele interne fapt care conduce la reducerea erorilor de zgomot(măsurare) de la conductoarele termocuplului.

Înainte de a converti tensiunile termoelectrice în valori echivalente ale temperaturii, este necesar să se compenseze diferența dintre partea (joncțiunea) rece a termocuplului (sau temperatura mediului ambiant) și o referința virtuală de 0°C . Pentru un termocuplu de tip K, tensiunea se schimbă cu $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ce aproximează caracteristica termocuplului cu următoarea funcție liniară:

$$V_{\text{OUT}} = (41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}})$$

unde: V_{OUT} este tensiunea de ieșire a termocuplului (μV);

T_{R} este temperatura joncțiunii termocuplului ($^\circ\text{C}$);

T_{AMB} este temperatura mediului ambiant ($^\circ\text{C}$).

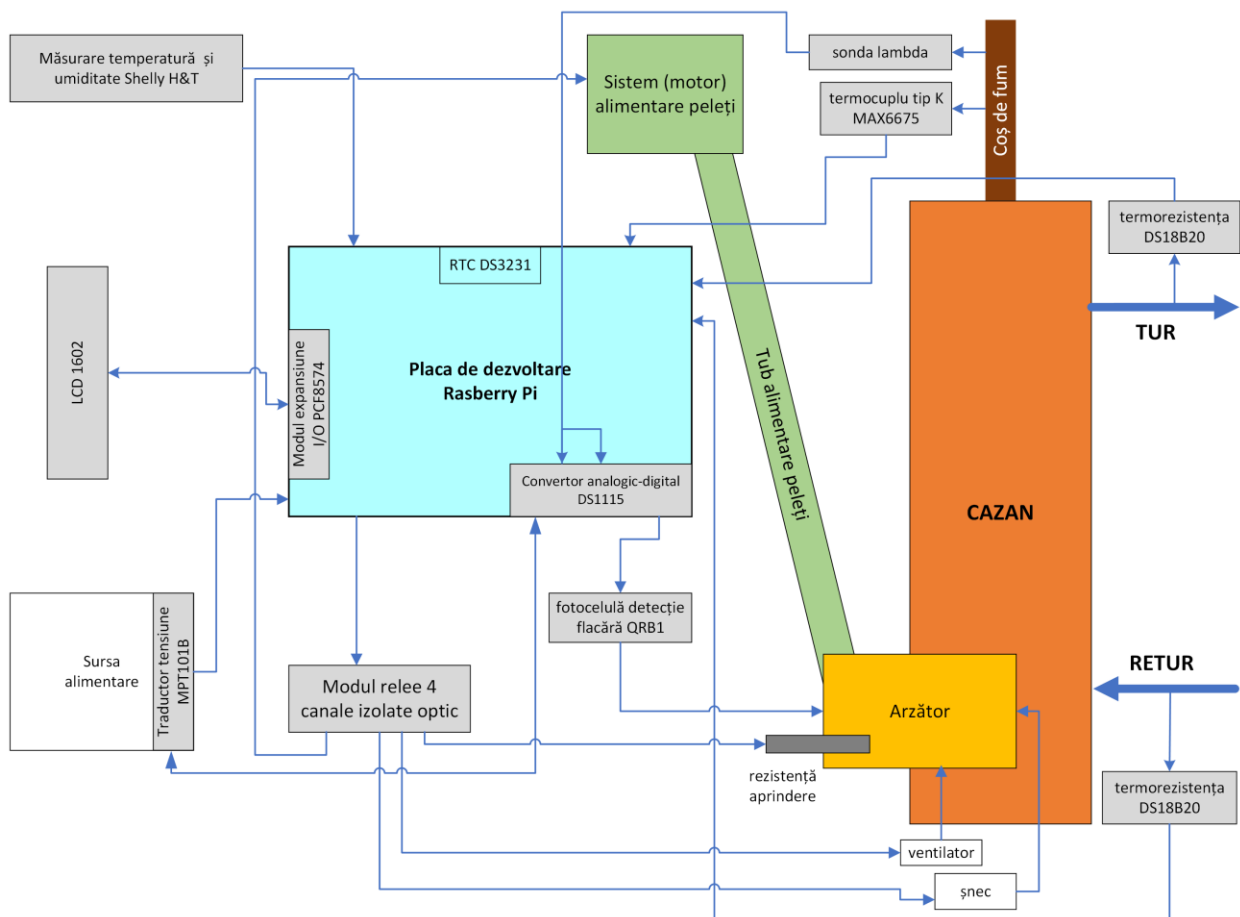


Fig. 2.2 Schema bloc generală cu senzori

Senzor de temperatură digital DS18B20 permite măsurarea temperaturii pe 9 biți până la 12 biți fiind echipat și cu o funcție de alarmă pentru puncte trigger de temperaturi inferioare sau superioare ce pot fi programate de către utilizator.

DS18B20 comunică printr-un protocol serial pe o singură magistrală (1 linie/fir/conductor și conductorul de împământare/masa ca și referință) - tehnologie 1-Wire) cu dispozitivul central ce poate fi un microprocesor, PLC sau microcalculator.

Senzor extern de temperatură și umiditate Shelly H&T [18] este un senzor inteligent de temperatură și umiditate, care poate fi controlat și monitorizat de la distanță printr-un telefon mobil, tabletă, PC sau sistem de automatizare a instalațiilor. Poate funcționa de sine stătător într-o rețea Wi-Fi locală sau poate fi operat și prin servicii de automatizare a instalațiilor în cloud.

Acest senzor poate fi accesat, controlat și monitorizat de la distanță din orice loc în care utilizatorul are conexiune la internet, atâta timp cât dispozitivul este conectat la un router Wi-Fi și la internet. Are o interfață web încorporată, care poate fi utilizată pentru a monitoriza și controla dispozitivul, precum și pentru a-i ajusta setările.

Montarea acestui senzor se va face în camera de amplasament al cazanului fiind utilizat exclusiv pentru monitorizarea umidității și a temperaturii aerului din încălț. Este un senzor utilizat, exclusiv, în interior, neavând protecție suficientă pentru amplasarea în spații exterioare.

Modul de comandă înglobează practic acele componente care au rolul de a comanda elementele de execuție în vederea funcționării optime, conform proiectului sistemului prototip SIVEBER, pe baza logicii de conducere programate. Ca și componentă din acest subsistem fac parte două elemente principale, unul hardware și unul software (software-ul de comandă).

Varianta proiectată și dezvoltată cu privire la partea hardware, are ca și componentă de bază, o placă de dezvoltare Raspberry Pi, acest SBC (Single-board computer) de dimensiuni

foarte mici care încorporează toate componentele necesare funcționării unui calculator (*microprocesorul, memoria, modulul wireless, precum și porturile necesare*) și care a fost personalizat și adaptat cerințelor sistemului.

Pentru descrierea funcțională, trebuie să precizăm că subsistemul de comandă prin intermediul unor relee, optocuploare, circuite PWM, trebuie să asigure mai multe sarcini, cum ar fi :

- comanda ventilatorului (insuflare aer în arzător);
- comanda ventilatorului de exhaustare (extragere gaze de ardere);
- comanda motorului șneac cu reductor de alimentare cu biomasă (peleți);
- comanda motorului de alimentare orizontală (în arzător);
- comanda elementului de aprindere (rezistență, bujie);
- comanda elementului de încălzire al sondei lambda.

Funcționarea presupune de fapt, rularea în mod ciclic a programului implementat, care are la bază organigrama de funcționare elaborată împreună cu liderul de proiect. În funcție de stările intrărilor urmărite, prezentate în subcapitolul ”Modulul de intrări (**Eroare! Fără sursă de referință.**)” și în funcție de starea în care se află sistemul va comanda elementele enumerate anterior.

Principalele mărimi/stare unor elemente urmărite sunt:

- temperatura agentului pe tur (senzor de temperatură DS18B20);
- temperatura agentului pe retur (senzor de temperatură DS18B20);
- temperatura gazelor de ardere (termocuplu de tip K);
- intensitatea luminoasă din focar (fotorezistența QRB1);
- termostat de siguranță antiflacără (KSD 301);
- termostat de supratemperatură (STB);
- termostat de cameră;
- buton de pornire - mod manual;
- senzor hall - ventilator insuflare;
- curent/tensiune celulă Nerst senzor lambda.

Tot în cadrul modulului de comandă trebuie să menționăm că trecerile între etapele de ardere (*treptele de putere*) se realizează conform indicațiilor date de către echipa de cercetare parteneră, în cadrul Raportului 2 , cu privire la sisteme moderne de reglare automată, și anume, a fost implementată o logică PID pentru a comanda elementele prin care se ajustează aerul și cantitatea de combustibil introdus în mod optim.

Software-ul de automatizare asigură realizarea operațiilor următoare:

- citirea sau măsurarea parametrilor de sistem (temperaturi, tensiuni, curenți, presiuni etc.) prin intermediul senzorilor specifici;
- interpretează valorile parametrilor în vederea efectuării ulterioare a diverse operații necesare;
- comandă subsisteme componente ale prototipului SIVEBER în vederea funcționării optime a acestuia;
- asigură stocarea valorilor parametrilor din procese;
- asigură regăsirea datelor stocate și afișarea lor în vederea prezentării vizuale sugestive unui utilizator.

Software-ul de automatizare al sistemului SIVEBER este constituit din mai multe părți componente și anume:

- sistemul de operare Raspberry Pi;
- Node.js;
- biblioteci JavaScript predefinite;
- biblioteci JavaScript personalizate pentru scopuri(procese) specifice;
- Node-RED cu editorul grafic inclus;
- interfața de monitorizare și comandă a prototipului SIVEBER (obținută prin Node-RED).

Toate aceste componente asigură următoarele funcții:

- Monitorizarea mărimile din proces (temperaturi, tensiuni, curenți, presiuni etc) prin intermediul senzorilor;
- Comanda elementelor de execuție din proces(motor ș nec alimentare combustibil, motor de antrenare peleți în zona de ardere, motoare ventilatoare, motoare pompe de apă, rezistența de aprindere etc.);
- Analiza datelor salvate în vederea optimizării proceselor de ardere, evacuare gaze etc.;
- Afișarea datelor și informațiilor într-o manieră intuitivă, pe monitor sau pe ecranul LCD al sistemului;
- Funcționarea automatizată sau cu intervenție umană a sistemului, în condiții optime prestabilite.

Aplicația mobilă pentru comanda și monitorizarea sistemului prototip SIVEBER, îndeplinește mai multe funcții. În primul rând, poate înlocui toate funcțiile unui termostat inteligent, prin utilizarea plăcii de dezvoltare și prin integrarea unui senzor de temperatură și umiditate, de exemplu Shelly H&T [18]. Astfel, aplicația mobilă permite controlul precis al temperaturii într-un sistemul de încălzire și asigură funcții care sunt legate de centrala termică propriu-zisă. Astfel se aduc o serie de funcționalități inteligente și caracteristici inovatoare care îmbunătățesc eficiența și confortul încălzirii într-o locuință.

CAPITOLUL III

ANALIZA ÎN EXPLOATARE A PROTOTIPURILOR DE LABORATOR

Toate cele trei prototipuri (P1, P2, P3,) au fost supuse unui șir complex de scenarii în funcționare. Scenariile de funcționare s-au realizat prin modificări succesive ale sarcinilor termice impuse de consumatorii alocați (C1, C2, C3). Pentru o validare completă a tuturor ansamblurilor, subsistemelor și echipamentelor componente, respectiv funcționarea instalației, echipa de cercetare din cadrul Universității Oradea a stabilit un program de încercări de laborator în funcționarea celor trei perechi prototip-consumator, respectiv monitorizări continue pe diferitele regimuri de funcționare.

3.1 Transportul și asamblarea

Împreună cu liderul de proiect s-a realizat transportul, montarea și instalarea centralei termice, respectiv aprovizionarea cu combustibilii necesari încercărilor de laborator în funcționare.



Fig. 3.1 Etapa de transport și manipulare

În etapa de montare s-au realizat observații și verificări de gabarite, pentru pregătirea prototipului comercial în scopul de a fi construit astfel încât să poată fi manipulat și transportat în condiții facile, fără a fi necesare depășiri de gabarite în procesul de transport. Prototipul este descompus în etapa de manipulare și transport pe subsisteme, care vor fi asamblate la adresa beneficiarilor pentru a avea o manipulare ușoară. În această variantă s-au impus limitări astfel încât, să nu se depășească capacitățile obișnuite de tonaj în procesul de manipulare și transport.



Fig. 3.2 Montarea instalației de ardea a biomasei

Subsistemele componente ale instalației, sunt montate la adresa consumatorului de energie termică, etapă în care s-au realizat observațiile în procesul de interconectare a ale subansamblurilor, respectiv de comunicare între elementele cazanului și softul de monitorizare și control. În această etapă s-a stabilit numărul de persoane necesar procesului de montare a cazanului, normare a muncii pentru montare și instalare, respectiv specializarea și gradul de calificare a membrilor din echipa de montaj.

3.2 Recepția și punerea în funcțiune

În faza de recepție și punere în funcțiune, s-a stabilit procedura de implementare a acestei etape pentru următoarele instalații de tip comercial. După etapa de montare a instalației de ardere a biomasei, producătorul/furnizorul, face verificările de bună execuție și întocmesc un proces verbal de recepție a echipamentelor și manoperei de montaj. Această etapă este urmată de punerea în funcțiune, probele de presiune, probele în scenarii minimale, maximale și tranzitorii și a instructajului de utilizare, mentenanță și administrare a erorilor, adresat utilizatorului. În final împreună cu beneficiarul, se întocmește și semnează procesul verbal de punere în funcțiune a instalației.

3.3 Probe în regim tranzitoriu ale prototipurile de laborator

Pentru toate cele trei prototipuri P1,P2 și P3 s-u realizat probele în regim tranzitoriu. Regimurile tranzitorii pe care le parcurg cazanele pe biomasă de tip SIVEBER sunt întâlnite în procesul de aprindere și stingere a combustibililor utilizați, și trecerea dintr-o treaptă de putere în alta. Toate aceste regimuri tranzitorii sunt determinate de solicitările fluctuante de energie

termică a consumatorilor. S-au realizat scenarii similare cu o funcționare reală prin modificări repetate privind solicitările de energie termică al consumatorilor C1, C2, C3.

a). Procesul de stingere și aprindere

Aprinderea și stingerea peleților în focarul cazanului are o frecvență determinată de variațiile sarcinilor termice ale consumatorului. S-au considerat două situații extreme privind tipologia consumatorilor care determină frecvența proceselor de stingere și aprindere a peleților. Pentru scenariul cel mai defavorabil s-a experimentat funcționarea celor trei consumatori fără acumulatori de energie termică, o temperatură exterioară într-un interval de 8-18 grade Celsius și într-un mod bivalent de funcționare, încălzire - preparare apă caldă menajeră în boiler cu acumulare. Temperaturile exterioare la limita superioară necesarului de încălzire face ca timpul de atingere a parametrilor termici solicitați să fie foarte scurt, fapt ce determină o frecvență crescută ale celor două evenimente, stingere aprindere. De asemenea, în general sarcina termică necesară preparării apei calde menajere a unui consumator este disproporționată, mult mai mică decât necesarul de căldură pentru același consumator, iar timpii parcurși de atingere a valorilor prestabilite sunt scurți.



Fig. 3.3 Aprinderea și stingerea patului de combustibil

În aceste două procese s-au monitorizat analizat și optimizat timpii de derulare a fiecărui proces, compoziția gazelor de ardere, temperatura gazelor, temperaturi ale combustibililor, timpi și temperaturi ale elementului de aprindere, consumuri energetice ale elementului de aprindere. Parametrii care au permis reglarea și optimizarea proceselor de aprindere și stingere.

Optimizările celor două procese s-au realizat prin modificări ale, debitului de combustibil, debit și viteza de curgere a aerului necesar arderii, treptele de putere în funcționare, apropierea parametrilor consumatorului de valorile fixe setate, exhaustare gazelor fierbinți, neetanșeități ale instalației și puterea energetică a elementului furnizor de căldură necesar aprinderii.

b). Modificarea treptelor de putere

Modificarea treptelor de putere a fost realizată prin simulări a regimurilor de funcționare și de solicitare de energie termică a consumatorilor C1, C2 și C3. S-au creat modificări lente și modificări accelerate ale unor puteri superioare fapt ce a produs treceri diferite prin treptele de putere cu viteze scăzute pentru modificările lente respectiv cu viteze ridicate pentru modificările rapide. Într-o modificare lentă a treptelor de putere s-au observat evoluții cvasistatice a parametrilor monitorizați din gazele de ardere care nu creează abateri de luat în calcul a procesului de ardere. În cazul modificărilor accelerate atât în direcția de creștere cât și în cea de scădere a treptelor, procesul de ardere se modifică în mod semnificativ. În procesul de creștere în trepte superioare apar injecții de aer și combustibil în timp scurt și temperatura de aprindere a combustibilului suplimentar are o inerție, fapt care determină o creștere a oxigenului în exces respectiv a excesului de aer și o scădere a randamentului cazanului. Modificarea în sens invers determină în unele faze tranzitorii aer insuficient necesar arderii și părți de combustibil nearse respectiv un nivel ridicat al monoxidului de carbon evacuat în gazele de ardere.



| | Temp [Sec] | [g] | [g/s] |
|-------------------------------|------------|-------|-------|
| Capacitate melc | 360 | 1360 | 3.78 |
| P.Calorica | | | |
| | [MJ/kg] | [kWh] | |
| Peleti | 18 | 5 | |
| CICLUL 1 | | | |
| Dozaj initial | 200 grame | | |
| Timpul dupa care s-a aprins | 3 minute | | |
| Oxigen la pornire Analizor | 21.10% | | |
| Ventilator [Ualim] | 160 Volti | | |
| Plus Dozaj | 200 grame | | |
| Nominal dupa 30 minute | | | |
| Oxigen | 12.40% | | |
| Ventilator [Ualim] | 160 Volti | | |
| Monoxid de Carbon | 194 | | |



Fig. 3.4 Monitorizări și reglaje în procesul de schimbare a treptelor de putere

Pentru optimizarea arderii în cele două regimuri tranzitorii s-au făcut analize și echilibrări dinamice ale amestecului de aer combustibil. Reducerea efectelor negative determinate de trecerea rapidă prin treptele de putere și în sens crescător și în sens descrescător s-a realizat prin echilibrarea injecției de aer și combustibil respectiv defazări de timp în cazul modificării treptelor dintre variația de combustibil și debit de aer.

3.4 Funcționarea instalațiilor prototip la putere minimă

Într-o funcționare comercială apar situații de funcționare la puteri foarte scăzute determinate de condiții meteo, funcționări parțiale ale instalației consumatorului, preparare apă caldă menajeră în afara sezonului de încălzire etc. Pentru a pregăti prototipurile pentru o funcționare la un astfel de scenariu de putere scăzută s-au făcut încercări de coborâre a sarcini termice dictată de consumator până la valori minime acceptate de sistemul de ardere a biomasei. Limitarea sarcini termice este determinată de patul de ardere a căror parametri de temperatură trebuie menținuți peste valoarea temperaturii de aprindere.



Fig. 3.5 Identificarea valorii minime de putere în funcționare

În această etapă s-au parcurs pași pentru a realiza reglajul celor trei prototipuri pentru a permite o funcționare la putere cât mai redusă. În această fază s-a observat o menținere rezonabilă a randamentului cazanului însă până la atingerea valorii minime de putere s-au constatat, datorită reducerii cantității de aer injectat situații de aer insuficient și o ardere imperfectă. Nivelul minim de putere este impus de menținerea temperaturii de ardere a patului de combustibil, menținerea parametrilor gazelor de ardere în limite normale și funcționarea cu un randament ridicat al centralei. Necesitatea funcționării sub valori limită minime, este satisfăcută prin funcționări intermitente și prototipuri integrate în sisteme cu acumulări de energie termică.

3.5 Funcționarea instalațiilor prototip la putere maximă

Pentru funcționări la solicitării maxime ale prototipurilor SIVEBER P1, P2, P3 s-au creat condiții de absorbție de energie termică peste capacitatea maximă de putere a prototipurilor fapt ce a permis funcționarea instalațiilor la valori maxime de putere în intervale de timp predefinite de către echipa de cercetare. În aceste regimuri de funcționare s-au impus injecții de aer și combustibil la valorile maxime posibile și s-au urmărit parametrii chimici și termici ai gazelor de ardere, respectiv capacitatea schimbătoarelor de căldură de absorbție a energiei termice de la gazele de ardere.



Fig. 3.6 Scenarii de funcționare la putere maximă

În această etapă s-au monitorizat și reglat în perioade diferite admisia de peleți respectiv atribuirea aerului necesar arderii. A fost necesar monitorizarea temperaturii patului de ardere pentru a elimina riscul de acumulare de peleți care să nu atingă temperatura de ardere aglomerând astfel arzătorul fapt care în final poate conduce la o blocare completă datorită obturării căilor de admisie a aerului necesar arderii. Arzătorul cu răscolitor în procesul de ardere accelerată permite o uniformizare a temperaturii în întreg patul de ardere caz în care funcționarea la putere maximă este ușor de realizat. În cazul arzătorului calotă, atingerea puterii maxime este realizată prin parcurgeri succesive ale regimurilor tranzitorii de supraalimentări cu aer urmate de subalimentări cu combustibil până când sonda lambda oferă valori acceptabile în compoziții gazelor de ardere. Accelerarea arderii este monitorizată prin urmărirea temperaturii și compoziția gazelor de ardere astfel încât să păstrăm continuitatea, siguranța în funcționare respectiv randamentul instalației. Solicitățile consumatorilor în uz comercial, impun necesitatea funcționării cazanelor la puteri maxime în situații de funcționare neprevăzute prin proiectarea sistemelor de încălzire. Sistemele P1, P2, și P3 permit funcționări în siguranță la puteri maxime pentru perioade nelimitate de timp.

3.6 Managementul regimurilor de avarie

Pentru gestionarea regimurilor de avarie au fost realizate scenarii teoretice de atingere ale acestora, scenarii urmate de provocări practice voluntare controlate, a funcționărilor viciate de factorii externi. S-au realizat verificări ale efectelor determinate de întreruperile bruște de alimentare cu energie electrică, unde au fost controlate și optimizate efectele supraîncălzirii, lipsei comunicării cu interfața de comandă, suprasarcina șnecului dacă se află în procesul de alimentare, acumularea gazelor de ardere în focarul cazanului, creșterea temperaturii și creșterea

presiuni în focar în lipsa exhaustării gazelor de ardere. Efectele cele mai defavorabile în scenariile de avarie sunt determinate de lipsa energiei electrice. Au mai fost analizate și absența combustibilului în buncărul de alimentare, stoparea bruscă a cererii de energie termică din partea consumatorului, defectarea sistemului de alimentare cu aer, lipsa comunicării operatorului cu sistemul de monitorizare, supraaglomerarea voluntară arzătorului cu cenușă, etc.



Fig. 3.7 Analiza regimurilor de avarie

Obiectivul principal urmărit în cazul regimurilor de avarie a fost menținerea parametrilor de siguranță pentru protecția utilizatorului. S-au luat toate măsurile pentru ca parametri de suprapresiuni și supratemperaturi să nu pună în pericol utilizatorii instalației în fază de uz comercial. Al doilea obiectiv a fost realizarea de scenarii și protecții astfel încât în urma aparițiilor unor avarii necontrolate să fie evidențiate și puse în practică metodele de protecție împotriva deteriorării a tuturor elementelor componente ale instalației. Ieșirea din regimul de avarie a sistemului, nu este posibil a fi realizată fără intervenția operatorului. Această obligativitate a fost impusă cu scopul de a fi observat de către factorul uman orice disfuncționalitate și intervenția acestuia pentru a nu exista riscul de perpetuare a unor disfuncționalități datorită apariției eventualelor probleme neprevăzute în faza de cercetare și proiectare care ar putea conduce la deteriorări de componente sau chiar la accidente în exploatarea comercială.

3.7 Analiza flexibilității prototipurilor privind natura combustibililor

Prototipurile P1, P2, și P3 au fost create astfel încât să permită arderea mai multor tipuri de biomasă. Flexibilitatea acestor scenarii este oferită de posibilitate reglărilor continue a aporturilor de combustibil și aer precum și de modificări simplu de realizat a geometriei arzătorului de tip calotă sau modificări de regim de funcționare a arzătoarelor cu răscolire. S-au făcut probe de funcționare cu diverse variante de biomasă și s-au realizat scenarii de ardere astfel încât instalațiile să-și mențină atât capacitatea energetică, cât și parametri termici și chimici în limitele prestabilite. Un mare accent în probele cu tipuri diferite de biomasă a fost pus pe siguranța în funcționare respectiv pe sistemele de protecție care să intervină atunci când capacitatea de reglaj și autoreglaj este depășită.

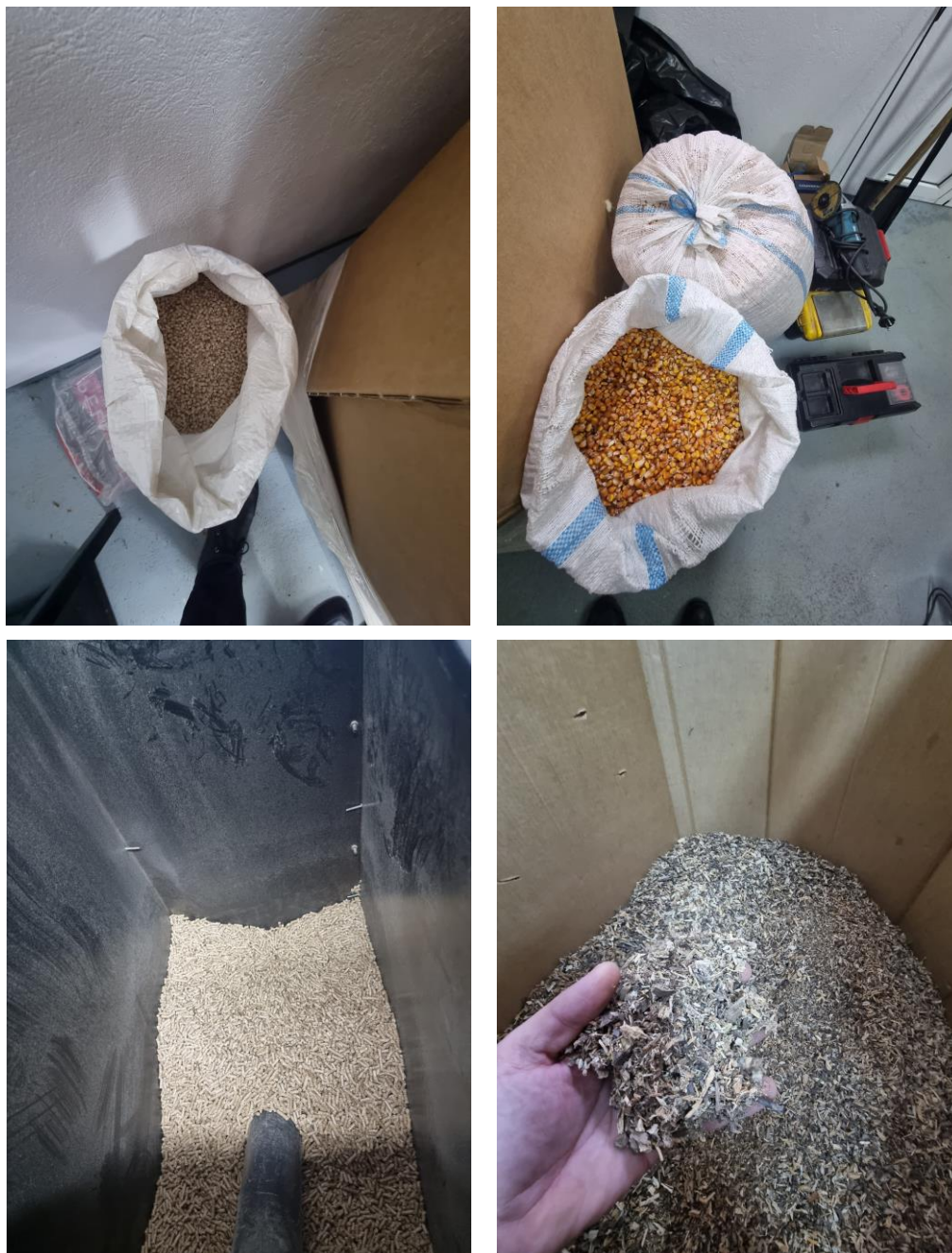


Fig. 3.8 Utilizare diferitelor tipuri de biomasă în procesul de ardere

Monitorizarea continuă a rezultatelor arderii permite reglaje și autoreglaje pe tot parcursul proceselor de ardere. Această facilitate oferă o flexibilitate a prototipurilor studiate de a adapta continuu procesul de ardere permițând schimbul de combustibil fără ca utilizator să intervină în procesele de reglaj. De asemenea parametri controlați din gazele de ardere transmit informații către sistemul de monitorizare și reglaj unde se iau decizii care cresc randamentul focarului și adaptează arderea chiar și pentru un același combustibil care poate suferii schimbări de umiditate sau aspecte de neomogenitate rezultate în urma proceselor de ambalare și producție.

3.8 Bilanțul energetic

Conturul stabilit pentru efectuarea bilanțului energetic este prezentat în fig. 3.9, în care sunt evidențiate punctele de măsură.

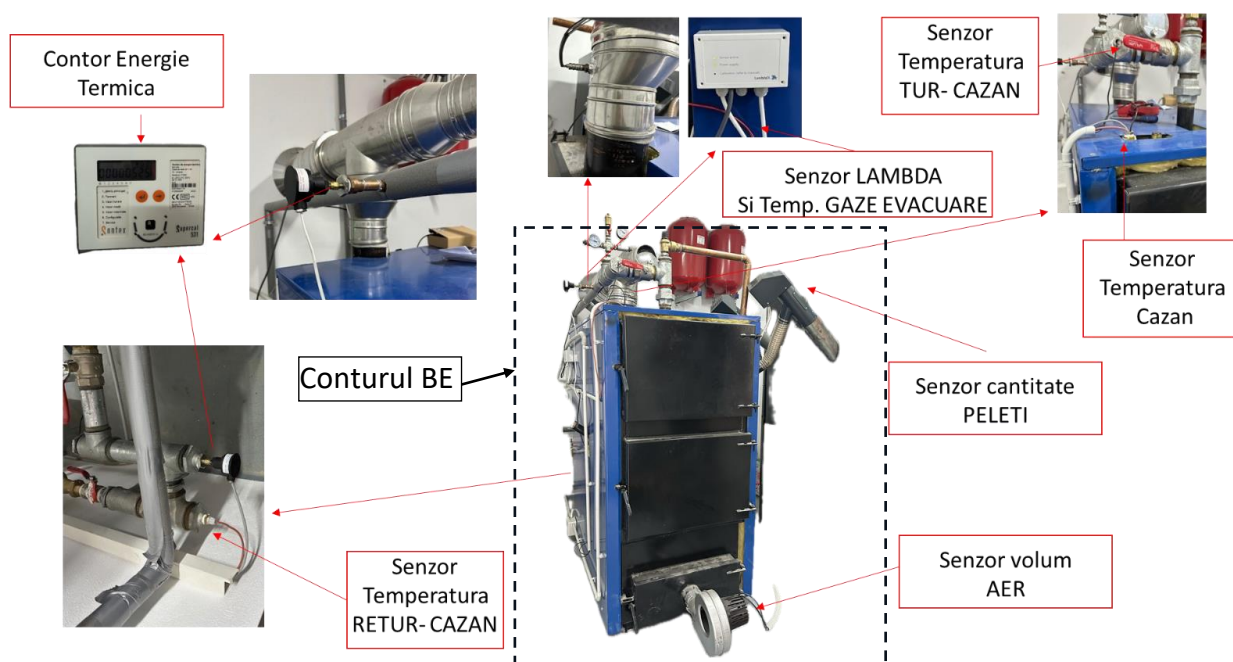


Fig. 3.9 – Conturul pentru AE efectuat

Bilanțul energetic s-a efectuat în conformitate cu ghidul de elaborare și analiză a bilanțurilor energetice, parte integrantă a Ordinului ARCE, nr. 245.

Pe baza măsurătorilor și a caracteristicilor echipamentelor din contur, s-a efectuat bilanțul energetic (BE) real, iar prin identificarea unor măsuri de reducere a pierderilor de energie, s-a elaborat BE optimizat.

Echipamentele incluse în conturul de BE sunt redată în fig. 3.10.

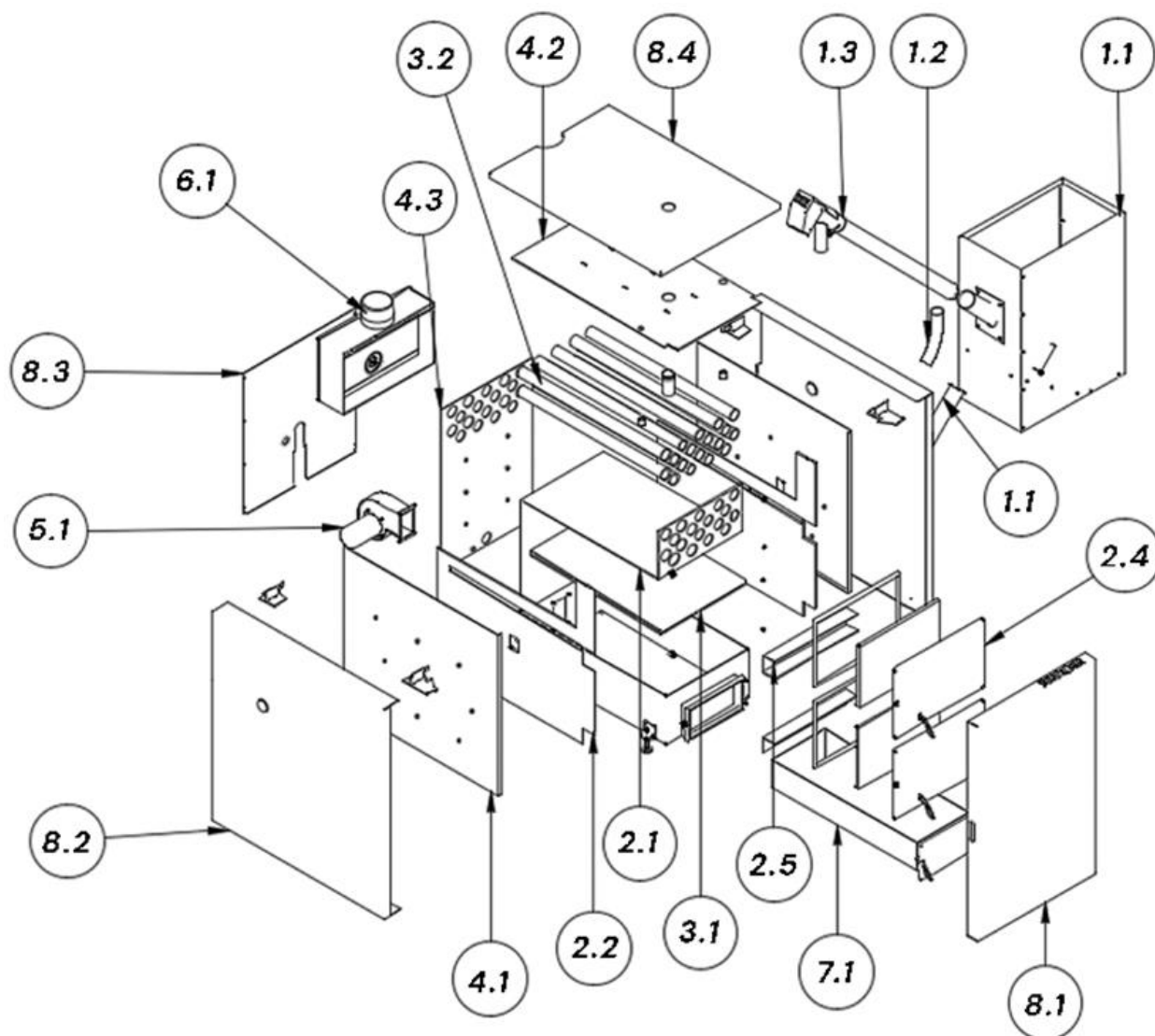


Fig. 3.10 – Echipamentele din cadrul conturului de BE efectuat

1. Subsistem alimentare combustibil: 1.1. Rezervor peleți; 1.2. Reducție alimentator peleți (tub flexibil); 1.3. Alimentator peleți cazan (șnec); 2. Focar: 2.1. Focar superior și posterior; 2.2. Lateral focar; 2.3. Arzător tip calotă; 2.4. Ușă superioară și inferioară; 2.5. Ramă ușă; 3. Schimbător căldură: 3.1. Schimbător căldură 1; 3.2. Schimbător căldură 2; 3.3. Ușă superioară; 4. Manta apă: 4.1. Manta apă laterală; 4.2. Manta apă superioară; 4.3. Manta apă inferioară; 4.4. Racord tur și retur; 5. Sistem de alimentare cu aer: 5.1. Ventilator cutie cenușă; 6. Evacuare gaze de ardere: 6.1. Cutie fum; 6.2. Ventilator exhaustor; 7. Sistem evacuare cenușă: 7.1. Cutie cenușă; 8. Manta decorativă și izolație: 8.1. Manta laterale; 8.2 Manta posterior; 8.3 Manta superior.

Unitatea de referință asociată BE este o oră normală de funcționare medie. Consumul de energie pentru ora medie s-a determinat pe baza înregistrărilor efectuate.

Aparatura de măsură

Aparatele și echipamentele de măsură utilizate pentru efectuarea măsurătorilor sunt integrate într-un sistem de monitorizare capabil să măsoare, monitorizeze și să afișeze în timp real parametrii de funcționare ai centralei și să transmită mesaje de avertizare în cazul în care parametrii depășesc valorile setate.

Sistemul de monitorizare este alcătuit din:

1. Tabloul de monitorizare:
 - Controlere programabile Technische alternative tip UVR610k – 2 buc;
 - Monitor tactil de tip CANMTx2 – 1 buc;
2. Senzori de temperatură tip KTY – 4 buc., cu următoarele caracteristici:
 - Semiconductor 2000 Ω / 25 $^{\circ}\text{C}$;
 - Temperatura minimă – 0 $^{\circ}\text{C}$;
 - Temperatura maximă – 150 $^{\circ}\text{C}$;
 - Temperatură maximă de scurtă durată – 180 $^{\circ}\text{C}$;
 - Capac senzor – 6X20 mm;
 - Măsoară temperatura tur, retur, cazan și mediu ambiant;
3. Sondă lambda tip 01/LAMBDA-DL cu caracteristicile:
 - Dimensiune carcasă modul electronic – 126,8 X 76,5 X 45,5 mm;
 - Clasa de protecție modul electronic – IP 20;
 - Temperatură funcționare modul electronic – 0 ÷ 45 $^{\circ}\text{C}$;
 - Încălzitor cu senzor – 8W;
 - Temperatura maximă de funcționare – 300 $^{\circ}\text{C}$;
 - Lungime cablu sondă – 130 cm;
 - Siguranță protecție – 0,63 A;
 - Intrare suplimentară pentru termocuplu tip K până la 1200 $^{\circ}\text{C}$;
4. Contor de energie termică tip FGH Supercal 531 – 1 buc. cu următoarele caracteristici:
 - Calculator de energie termică;
 - Integrare ușoară în orice sistem, funcție tarif, funcție de data logger, date de transfer universale sau conexiune la sistemele de proces;
 - Traductoare de debit mecanice, magnetic-inductive, ultrasonice sau cu jet oscilant având un debit nominal maxim de 10.000 m³/h;
 - Afișaj LCD cu următoarele meniuri:
 - meniul principal;
 - datele de referință;
 - 15 valori lunare;
 - 32 valori medii;
 - 32 valori maxime;
 - Configurări;
 - informații service;
 - nivelul de verificare și parametrizare;
 - Interfață optică, RS-232, MBus sau modem;
 - Intrări suplimentare de impulsuri pentru conectarea de contoare de apa caldă, apa rece, contoare de gaz, combustibil și contoare de electricitate;
 - Alimentare cu energie electrică de la rețea sau baterie;
 - EEPROM pentru reglări de comunicare în varianta standard presetat pentru orice model de comunicare;
 - Măsurarea la fiecare 3 sec a temperaturilor de tur și retur;
 - Sonde de temperatura Pt500;
5. Contor de energie electrică
 - Tip - trei faze;
 - Alimentare - 3 x 230V / 400V ~, 50 / 60Hz;
 - Curent de bază - 5A;
 - Curent maxim (I_{max}) - 80A;
 - Curent minim - 0,25A;
 - Frecvența impulsului - 800 imp / kWh;
 - Clasa de precizie de măsurare – B;

- Display - 6 + 2;
- Ieșire impuls – da;
- Numărul de module - 4.5;
- Clasa de protecție: IP51;
- Dimensiuni (lățime x înălțime x adâncime [mm]): 76 X 116,5 X 65.

Modelul matematic pentru bilanțul energetic

Pentru conturul de bilanț al sistemului pilot SIVEBER, prototip comercial, prezentat mai sus, ecuația de bilanț energetic este:

$$Q_{comb} + W_{EE} = W_{ET} + \Delta Q_{ga} + \Delta Q_t \quad (1)$$

care conține următorii termeni:

1. Q_{comb} [kWh] – căldura introdusă în conturul de bilanț cu combustibilul:

$$Q_{comb} = m_{comb} \cdot H_{comb} \quad (2)$$

unde:

m_{comb} [kg] – masa de combustibil introdusă în focarul cazanului;

H_{comb} [kWh/kg] – puterea calorică a combustibilului.

2. W_{EE} [kWh] – consumul de energie electrică al sistemului pilot SIVEBER; este indicat de contorul de energie electrică.
3. W_{ET} [kWh] – energia termică produsă de sistemului pilot SIVEBER; este măsurată cu contorul de energie termică.
4. ΔQ_{ga} [kWh] – pierderea de căldură cu gazele de ardere:

$$\Delta Q_{ga} = m_{ga} \cdot c_{ga} \cdot (t_{ga} - t_{aer}) / 3600 \quad (3)$$

unde:

m_{ga} [kg] – cantitatea de gaze de ardere (masa) evacuată din cazan;

c_{ga} [kJ/kg·grd] – capacitatea termică masică a gazelor de ardere;

t_{ga} [°C] – temperatura gazelor de ardere la ieșirea din cazan;

t_{aer} [°C] – temperatura aerului la intrarea în cazan.

5. ΔQ_t [kWh] – pierderea de căldură la nivelul sistemului pilot SIVEBER prin pereții cazanului, uși, cenușă etc.

Bilanțuri energetice

Am realizat bilanțul energetic al sistemului pilot SIVEBER, prototipul comercial, pentru mai multe regimuri de funcționare, caracterizate prin valori diferite ale puterii termice produse de acesta. Bilanțul energetic s-a realizat pe conturul de bilanț prezentat anterior, utilizând aparatura de măsură descrisă.

Valorile măsurate experimental au fost introduse în modelului matematic al bilanțului energetic și am obținut rezultatele prezentate în cele ce urmează.

Monitorizarea din 17.11.2023

Monitorizarea din 17.11.2023 a urmărit realizarea unui bilanț energetic pentru prototipul comercial SIVEBER, analizând funcționarea acestuia pe o durată de analiză de 1 h, în următoarele condiții de funcționare:

- combustibilul utilizat este reprezentat de peleți din lemn (70% fag și 30% brad), cu o putere calorifică de 4,6 kWh/kg;
- alimentarea cu combustibil se asigură ciclic, cu o perioadă de alimentare de 7 s, urmată de o pauză de 13 s, la un debit masic de combustibil de 8,23 g/s, ceea ce înseamnă 10,37 kg/h;
- pompa de circulație asigură un debit constant al apei în circuitul consumatorului de 3,323 m³/h.

Valorile măsurate sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 – Mărimile măsurate la monitorizarea din 17.11.2023

| Nr. crt. | Ora | Min | Contor ET | t_{tur} | t_{retur} | $P_{termică}$ | Debit gaze ard. | t_{ga} | t_{aer} | O ₂ în gaze | Contor EE |
|----------|-----|-----|-----------|-----------|-------------|---------------|---------------------|----------|-----------|------------------------|-----------|
| | | | [GJ] | [°C] | [°C] | [kW] | [m ³ /h] | [°C] | [°C] | [%] | [kWh] |
| 1 | 17 | 0 | 1,939 | 64,3 | 53,8 | 40,1 | 116 | 136 | 20,7 | 12,7 | 20,02 |
| 2 | 17 | 10 | 1,957 | 64,8 | 54,6 | 38,32 | 153 | 143,7 | 21,1 | 13,3 | 20,07 |
| 3 | 17 | 20 | 1,977 | 65 | 56,1 | 35,44 | 150 | 123,4 | 20,4 | 13,3 | 20,12 |
| 4 | 17 | 30 | 1,999 | 66 | 57,1 | 34,61 | 105 | 120,5 | 20,8 | 13,4 | 20,17 |
| 5 | 17 | 40 | 2,02 | 67 | 57,9 | 33,58 | 95 | 121 | 21,5 | 12,6 | 20,22 |
| 6 | 17 | 50 | 2,041 | 67,9 | 59,1 | 33,29 | 94 | 122 | 22 | 12 | 20,27 |
| 7 | 18 | 0 | 2,062 | 69 | 59,2 | 36,69 | 99,4 | 122,8 | 22,1 | 11,3 | 20,32 |

Aplicând modelul matematic al bilanțului energetic, am obținut pentru mărimile caracteristice, valorile prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2 – Mărimile calculate la monitorizarea din 17.11.2023

| Nr. crt. | De la | Până la | m_{comb} | Q_{comb} | W_{EE} | W_{ET} | Debit gaze | m_{ga} | ΔQ_{ga} | ΔQ_t |
|--------------|-------|---------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
| | | | [kg] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kg/h] | [kg] | [kWh] | [kWh] |
| 1 | 17:00 | 17:10 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 5,00 | 161,40 | 26,90 | 0,867 | 2,133 |
| 2 | 17:10 | 17:20 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 5,56 | 181,80 | 30,30 | 1,038 | 1,407 |
| 3 | 17:20 | 17:30 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 6,11 | 153,00 | 25,50 | 0,734 | 1,155 |
| 4 | 17:30 | 17:40 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 5,83 | 120,00 | 20,00 | 0,557 | 1,610 |
| 5 | 17:40 | 17:50 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 5,83 | 113,40 | 18,90 | 0,526 | 1,641 |
| 6 | 17:50 | 18:00 | 1,728 | 7,950 | 0,05 | 5,83 | 116,04 | 19,34 | 0,540 | 1,626 |
| TOTAL | | | 10,370 | 47,701 | 0,30 | 34,17 | 845,64 | 140,94 | 4,262 | 9,572 |

Parametrii bilanțului energetic al prototipului comercial SIVEBER, în condițiile de funcționare menționate anterior, obținut la monitorizarea din 17.11.2023, sunt prezentați sintetic în tabelul 3.

Tabelul 3 – Parametrii bilanțului energetic obținuți la monitorizarea din 17.11.2023

| Parametrul | [kWh] | [MJ] | [%] |
|-----------------------------------|--------|---------|-------|
| Energia intrată, din care: | 48,001 | 172,804 | 100 |
| Q_{comb} | 47,701 | 171,724 | 99,38 |
| W_{EE} | 0,300 | 1,080 | 0,62 |
| Energia ieșită, din care: | 48,001 | 172,804 | 100 |
| W_{ET} | 34,17 | 123,000 | 71,18 |
| ΔQ_{ga} | 4,262 | 15,343 | 8,88 |
| ΔQ_{t} | 9,572 | 34,461 | 19,94 |

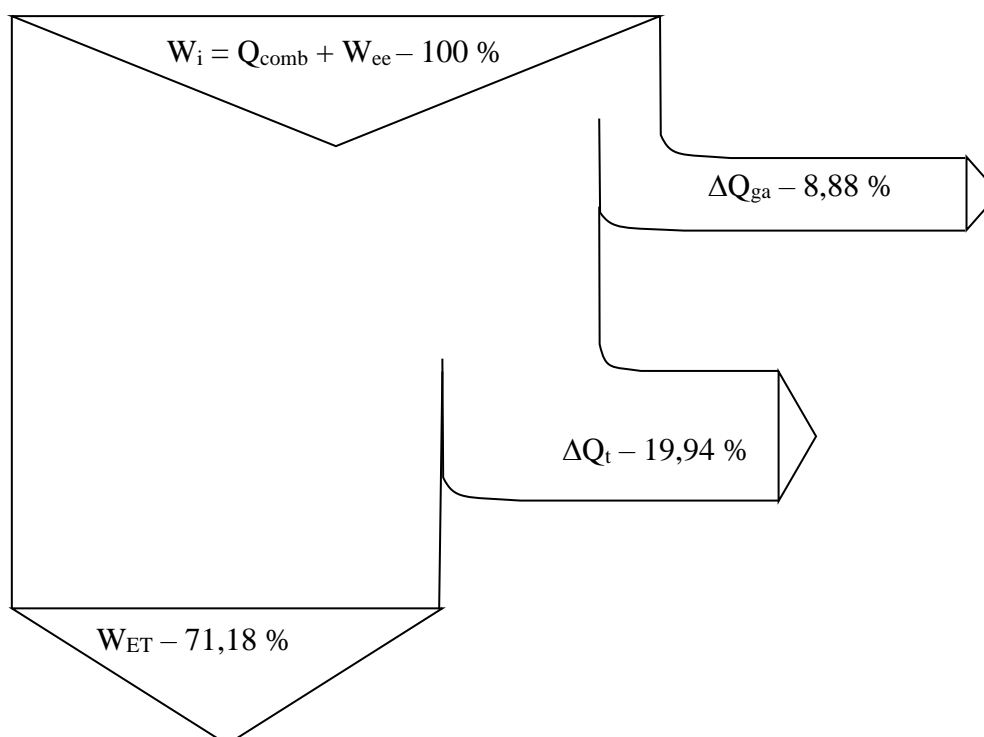


Fig. 3.11 – Diagrama Sankey pentru bilanțul energetic realizat la monitorizarea din 17.11.2023

Pe baza diagramei Sankey din fig. 3, ridicată pentru monitorizarea din 17.11.2023, prototipul comercial SIVEBER, funcționând în condițiile precizate, a realizat un randament de 71,18%. Pierderile de căldură cu gazele de ardere au reprezentat 8,88%, iar pierderile termice ale cazanului prin pereți și prin uși au fost de 19,94%.

Monitorizarea din 20.11.2023

Bilanțul energetic pentru prototipul comercial SIVEBER, întocmit pe baza monitorizării din 20.11.2023, a fost realizat în condiții similare de funcționare ca și în cazul monitorizării din 17.11.2023, cu deosebirea că alimentarea cu combustibil și debitul pompei de circulație au fost variabile, la valorile stabilite de sistemul de automatizare al SIVEBER.

Valorile măsurate sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4 – Mărimile măsurate la monitorizarea din 20.11.2023

| Nr. crt. | Ora | Min | Contor ET | t_{tur} | t_{retur} | $P_{termică}$ | Debit gaze ard. | t_{ga} | t_{aer} | O ₂ în gaze | $m_{tot\ comb}$ | Contor EE |
|----------|-----|-----|-----------|-----------|-------------|---------------|---------------------|----------|-----------|------------------------|-----------------|-----------|
| | | | [GJ] | [°C] | [°C] | [kW] | [m ³ /h] | [°C] | [°C] | [%] | [kg] | [kWh] |
| 1 | 13 | 0 | 2,429 | 46,0 | 32,4 | 49,460 | 150 | 146 | 20,0 | 11,6 | 0 | 31,07 |
| 2 | 13 | 10 | 2,458 | 47,5 | 35,1 | 45,776 | 135 | 140,7 | 20,6 | 10,4 | 2,501 | 31,13 |
| 3 | 13 | 20 | 2,487 | 49,4 | 33,6 | 56,365 | 135 | 140 | 20,1 | 9,5 | 4,938 | 31,19 |
| 4 | 13 | 30 | 2,518 | 47,9 | 36 | 44,004 | 135 | 140 | 20 | 10,5 | 7,341 | 31,24 |
| 5 | 13 | 40 | 2,544 | 53,1 | 39,8 | 46,554 | 150 | 148,3 | 20,6 | 8,9 | 10,032 | 31,29 |
| 6 | 13 | 50 | 2,577 | 56,7 | 42,1 | 53,155 | 135 | 148,8 | 20,6 | 9 | 12,781 | 31,35 |
| 7 | 14 | 0 | 2,608 | 58,2 | 43,4 | 52,833 | 130 | 147,6 | 21,5 | 8,7 | 15,470 | 31,4 |

Mărimile caracteristice ale bilanțului energetic le-am obținut pe baza modelului matematic prezentat. Valorile obținute sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5 – Mărimile calculate la monitorizarea din 20.11.2023

| Nr. crt. | De la | Până la | m_{comb} | Q_{comb} | W_{EE} | W_{ET} | Debit gaze | m_{ga} | ΔQ_{ga} | ΔQ_t |
|--------------|-------|---------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| | | | [kg] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kg/h] | [kg] | [kWh] | [kWh] |
| 1 | 13:00 | 13:10 | 2,501 | 11,505 | 0,06 | 8,06 | 171,00 | 28,50 | 1,003 | 2,506 |
| 2 | 13:10 | 13:20 | 2,437 | 11,210 | 0,06 | 8,06 | 162,00 | 27,00 | 0,906 | 2,308 |
| 3 | 13:20 | 13:30 | 2,403 | 11,054 | 0,05 | 8,61 | 162,00 | 27,00 | 0,905 | 1,588 |
| 4 | 13:30 | 13:40 | 2,691 | 12,379 | 0,05 | 7,22 | 171,00 | 28,50 | 0,956 | 4,251 |
| 5 | 13:40 | 13:50 | 2,749 | 12,645 | 0,06 | 9,17 | 171,00 | 28,50 | 1,017 | 2,522 |
| 6 | 13:50 | 14:00 | 2,689 | 12,369 | 0,05 | 8,61 | 159,00 | 26,50 | 0,949 | 2,859 |
| TOTAL | | | 15,470 | 71,162 | 0,33 | 49,72 | 996,00 | 166,00 | 5,736 | 16,033 |

La monitorizarea din 20.11.2023 am obținut pentru parametrii bilanțului energetic al prototipului comercial SIVEBER valorile indicate sintetic în tabelul 6.

Tabelul 6 – Parametrii bilanțului energetic obținuți la monitorizarea din 20.11.2023

| Parametrul | [kWh] | [MJ] | [%] |
|-----------------------------------|--------|---------|-------|
| Energia intrată, din care: | 71,492 | 257,371 | 100 |
| Q_{comb} | 71,162 | 256,183 | 99,54 |
| W_{EE} | 0,330 | 1,188 | 0,46 |
| Energia ieșită, din care: | 71,492 | 257,371 | 100 |
| W_{ET} | 49,72 | 179,000 | 69,55 |
| ΔQ_{ga} | 5,736 | 20,651 | 8,02 |
| ΔQ_t | 16,033 | 57,720 | 22,43 |

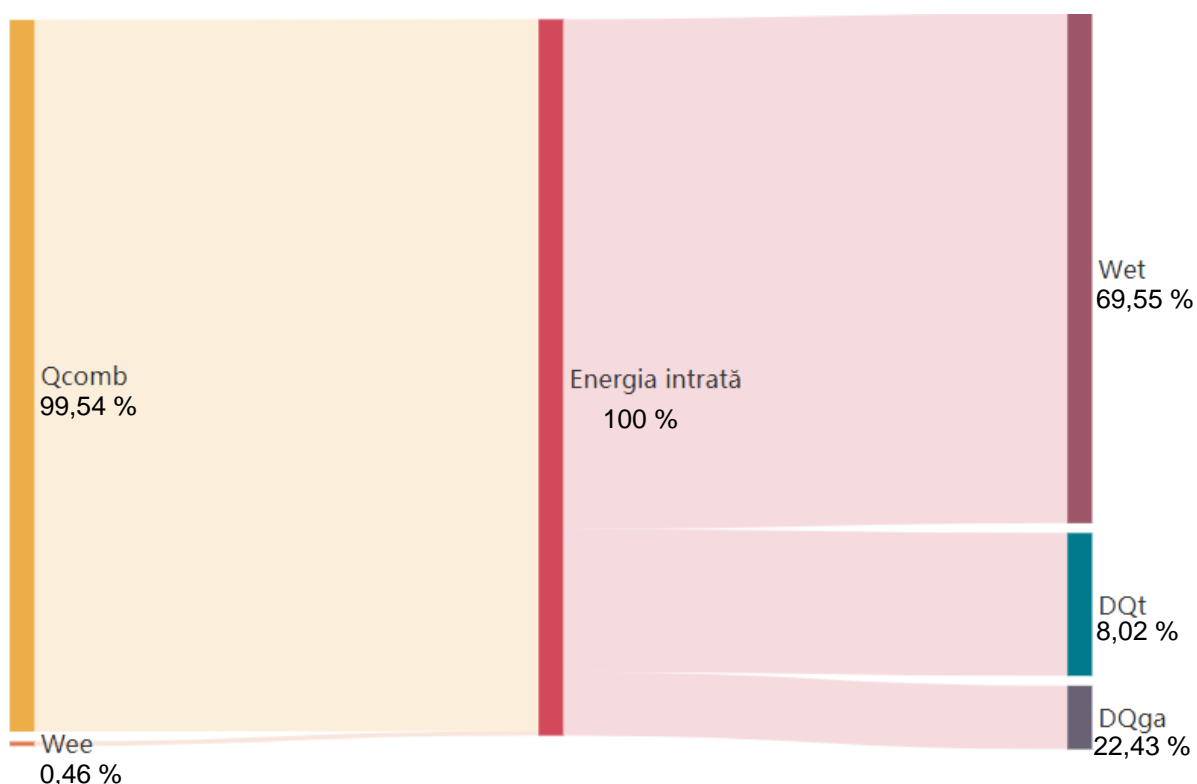


Fig. 3.12 – Diagrama Sankey pentru bilanțul energetic realizat la monitorizarea din 20.11.2023

În concluzie, prototipul comercial SIVEBER, funcționând în condițiile precizate, a realizat, la monitorizarea din 20.11.2023, un randament de 69,55%. Pierderile de căldură cu gazele de ardere au reprezentat 8,02%, iar pierderile termice ale cazanului prin pereți și prin uși au fost de 22,43%.

3.9 Monitorizarea pierderilor de căldură

Prezentarea metodei de monitorizare

Bilanțul energetic al prototipului comercial pentru SIVEBER a evidențiat faptul că randamentul prototipului este în cea mai mare măsură influențat de nivelul relativ ridicat al pierderilor de căldură la nivelul cazanului (prin pereții cazanului și prin ușile acestuia).

În consecință, se impune o monitorizare a acestor pierderi, în sensul identificării zonelor cazanului prin care acesta pierde, cu predilecție, căldură.

Pentru aceasta, am hotărât să folosim o cameră externă cu termoviziune, de tip Topdon TC002 (<https://www.topdon.com/products/TC002>).



Fig. 3.13 - Camera de termoviziune TC002 pentru smartphone-uri

Camera de termoviziune TC002 pentru smartphone-uri oferă o precizie de top pentru detectarea temperaturii și inspecția izolației termice. Are o rezoluție ultra-înaltă și oferă imagini termice clare și detaliate. Camera de termoviziune prezintă o gamă de detecție a temperaturii de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ cu o precizie de $0,1^{\circ}\text{C}$. Având un consum relativ redus de energie de 0,35 W, camera poate fi folosită pentru perioade lungi de timp. Camera TC002 poate fi utilizată pentru o gamă relativ largă de temperaturi de la -20°C la 550°C , permițând citiri sigure de temperatură de la distanță.

Toate aceste caracteristici ne-au determinat să utilizăm camera de termoviziune Topdon TC002 în monitorizarea pierderilor de căldură ale prototipului comercial SIVEBER.

Rezultatele monitorizării

Monitorizarea pierderilor de căldură am realizat-o într-un regim staționar de funcționare al prototipului comercial, la o sarcină termică de 40 kW. Cu ajutorul camerei de termoviziune am înregistrat imagini ale cazanului, pe toate suprafețele acestuia, identificând, pe fiecare suprafață, zonele fierbinți prin care pierderile de căldură au valori mari. În fig. 3.14 ÷ fig. 3.20 prezentăm câteva din imaginile realizate în procesul de monitorizare.



Fig. 3.14 – Cazanul în ansamblu

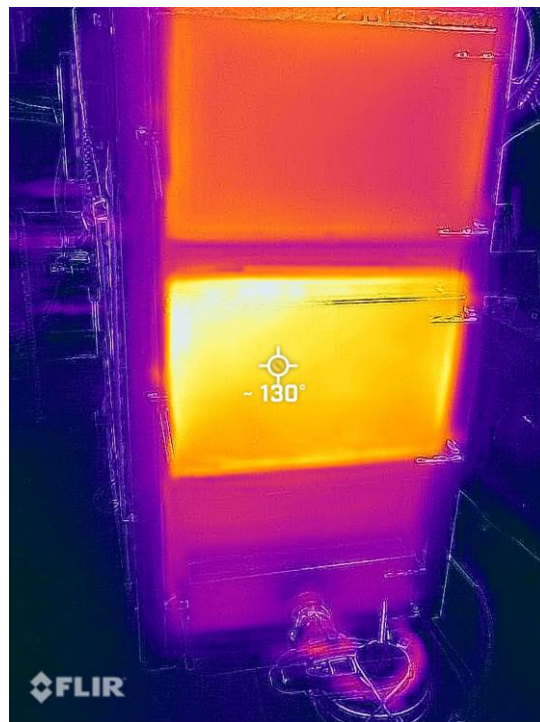


Fig. 3.15 – Ușa inferioară a cazanului



Fig. 3.16 – Ușa superioară a cazanului



Fig. 3.17 – Suprafața laterală dreapta a cazanului



Fig. 3.18 – Suprafața laterală stânga a cazanului



Fig. 3.19 – Suprafața din spate a cazanului



Fig. 3.20 – Traseul gazelor de ardere ale cazanului

Prin această monitorizare am stabilit zonele critice prin care cazanul pierde, cu predilecție, căldură. Presentăm mai jos aceste zone în ordine descrescătoare a temperaturilor măsurate:

- ușa inferioară - temperatura măsurată 130 °C (fig. 3.15);
- traseul gazelor de ardere; 94,9 °C (fig. 3. 20);

- ușa superioară; 74,2 °C (fig. 3.17);
- zona de evacuare a gazelor de ardere, în spatele cazanului; 70,7 °C (fig. 3.19);
- vizorul pentru flacără (suprafața laterală stânga a cazanului); 52,5 °C (fig. 3.18);
- zona de introducere a combustibilului (suprafața laterală dreapta); 51,1 °C (fig. 3.17).

Pentru a îmbunătăți performanțele prototipului comercial SIVEBER și pentru a crește randamentul acestuia, peste valorile identificate în cadrul bilanțului energetic efectuat, se impune reducerea pierderilor de căldură. Aceasta înseamnă îmbunătățirea izolației termice în zonele menționate mai sus: ușile cazanului și suprafețele laterale în zona vizorului pentru flacără și în zona prin care se introduce combustibilul.

În urma îmbunătățirii izolației, vom relua bilanțul energetic în scopul evaluării performanțelor variantei îmbunătățite a prototipului comercial SIVEBER.

CAPITOLUL IV CONCLUZII

Echipa de cercetare a Universității din Oradea, împreună cu liderul de proiect, au realizat interconectările dintre consumatorii C1, C2, C3 și prototipurile P1, P2, P3, respectiv încercări în funcționare și utilizând instalațiile și echipamentele de măsură și monitorizare au desprins o serie de concluzii și recomandări utile pentru realizarea prototipului comercial.

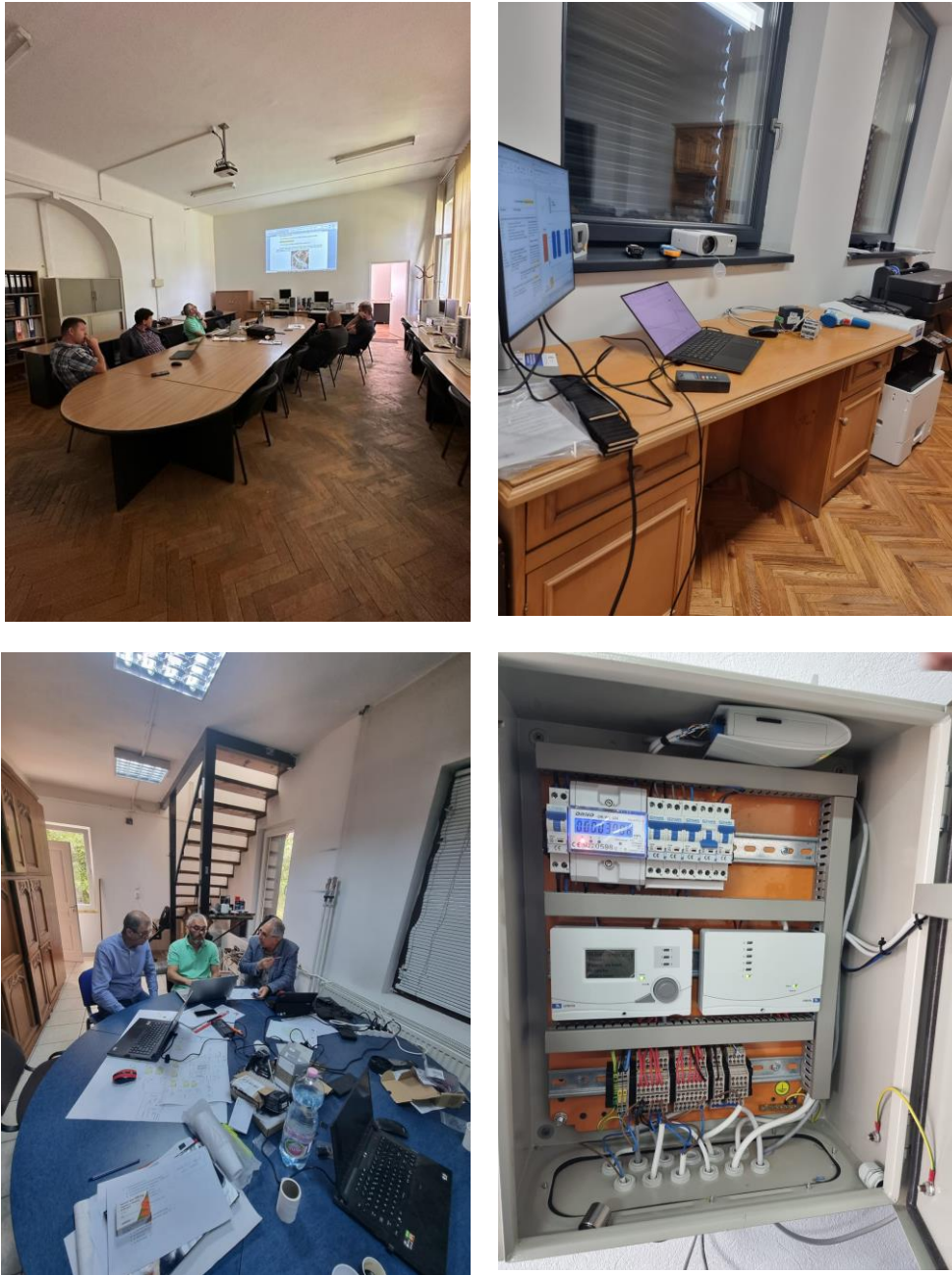


Fig. 4.1 Elaborarea concluziilor și recomandărilor

Cele mai importante concluzii sunt:

1. În urma solicitărilor la limite superioare și inferioare a prototipurilor de laborator P1, P2, și P3, au rezultat instalații funcționale care pot asigura cu energie termică consumatorii arondați C1, C2 și C3. Toate încercările în diverse regimuri de funcționare au contribuit la realizarea de instalații de ardere a biomasei care să răspundă din punct de vedere comportamental unei utilizări de tip comercial.
2. Reglajele finale dintre subsistemele care compun prototipurile au permis atingerea puterilor termice pentru care au fost proiectate și realizate prototipurile de laborator: P1 la 35 kW, P2 la 60 kW și P3 la 100kW.
3. Construcția modulară a prototipurilor, pe subsisteme, permite manipularea transportul și montajul la adresa beneficiarului în condiții normale, fără a fi necesare mașini agabaritice de transport și manipulare sau goluri de uși ieșite din uzul comun. Aceste subsisteme ce intră în asamblarea instalațiilor oferă de asemenea posibilitatea de înlocuiri de ansamble mici în cazul apariției unor defecte cu un minim de costuri.
4. Punerea în funcțiune este simplă și rapidă, memoriul de prezentare al instructajului de utilizare este clar și concis, instalația având capacități multiple de adaptabilitate pe baza software-ului cu care este echipată, acest fapt oferă posibilități de exploatare fără a impune personal calificat în administrarea procesului de încălzire.
5. Procesele tranzitorii de aprindere stingere și schimbare a treptelor de putere sunt scurte și nu influențează în ansamblu randamentul prototipurilor și nici produsele arderilor imperfecte pe parcursul stărilor tranzitorii, nu au un impact important în amprenta gazelor de ardere cu efect poluant.
6. Funcționarea la putere minimă a prototipurilor oferă un schimb de căldură cu fluidul de lucru la un randament ridicat, gazele de ardere fiind evacuate cu temperaturi mici și nu s-a observat prezența punctului de rouă. Puterea de funcționare redusă până la care au putut fi coborâte cele trei prototipuri oferă posibilitatea de a funcționa cu randamente normale și în perioade în care nu este necesară încălzirea, ci doar prepararea de apă caldă menajeră sau pentru funcționări parțiale ale consumatorului alocat.
7. În funcționarea instalației la putere maximă, randamentul cazanului se reduce, fiind necesară o creștere a vitezei de ardere și o supra-injecție de aer și combustibil. Gazele de ardere evacuate la coșul de fum își cresc semnificativ temperatura, iar procesul de ardere are și un exces de oxigen peste nominal și ardere incompletă. Totuși, prototipurile analizate au prezentat o scădere acceptabilă a randamentului într-o funcționare la parametrii maximi, iar aceste etape de funcționare într-o exploatare comercială sunt rare și relativ scurte, dar uneori necesare. O funcționare la putere ridicată a cazanelor permite utilizatorului să reducă costurile cu investiția nefiind necesare completări cu echipamente secundare de încălzire sau alegerea unui cazan cu o treaptă de putere mai mare pentru vârfurile necesare sau accidentale de sarcină.
8. Intrarea în avarie a prototipurilor analizate se întâmplă rar și sistemele de protecție se activează fără erori, protejând astfel atât instalația, cât și consumatorul. Ieșirea din avarie este simplă și rapidă, însă a fost impusă intervenția fizică a factorului uman pentru a preîntâmpina eventualele evenimente neprevăzute în sistemele de protecție sau apariția unor factori externi independenți de instalația monitorizată.
9. Construcția arzătoarelor pentru cele trei prototipuri este de o geometrie simplificată și generalizată, care oferă posibilitatea de ardere a mai multor tipuri de biomasă, transferând reglajele și adaptabilitatea către softul de control care optimizează parametrii arderii pe diferitele tipuri de combustibili.
10. Membrii echipei de cercetare de la Universitatea din Oradea, împreună cu liderul de proiect, au adus, prin modificări și optimizări succesive, în urma procesului de monitorizare și analiză, toate cele trei prototipuri de laborator analizate (P1, P2 și P3) la un nivel de

performanță funcțională care permite o transformare relativ facilă într-o instalație uz comercial.

11. Am realizat monitorizarea prototipului comercial în scopul elaborării bilanțului energetic al acestuia, pentru două regimuri de funcționare, în următoarele condiții de funcționare:

- monitorizarea din 17.11.2023:
 - combustibilul utilizat: de peleți din lemn (70% fag și 30% brad), cu o putere calorifică de 4,6 kWh/kg;
 - alimentarea cu combustibil se asigură ciclic, cu o perioadă de alimentare de 7 s, urmată de o pauză de 13 s, la un debit masic de combustibil de 8,23 g/s, ceea ce înseamnă 10,37 kg/h;
 - pompa de circulație asigură un debit constant al apei în circuitul consumatorului de 3,323 m³/h;
- monitorizarea din 20.11.2023:
 - combustibilul utilizat: de peleți din lemn (70% fag și 30% brad), cu o putere calorifică de 4,6 kWh/kg;
 - alimentarea cu combustibil și debitul pompei de circulație au fost variabile, având valorile stabilite de sistemul de automatizare al SIVEBER.

12. Bilanțul energetic s-a realizat pe conturul de bilanț și utilizând aparatura de măsură prezentate în paragraful 3.8. Valorile măsurate experimental, în timpul monitorizării, au fost introduse în modelul matematic al bilanțului energetic, descris în paragraful 3.8. Monitorizarea funcționării prototipului comercial SIVEBER s-a realizat pe o durată de 1 h.

13. Mărimile măsurate pe perioadele de monitorizare au înregistrat valori în intervalele menționate în tabelul 7.

Tabelul 7 – Intervalele de valori pentru mărimile măsurate pe perioadele de monitorizare

| Monitorizarea | t_{tur} | t_{retur} | $P_{termică}$ | Debit gaze ardere | t_{ga} | t_{aer} | O ₂ în gaze |
|---------------|-------------|-------------|---------------|---------------------|-----------|-------------|------------------------|
| | [°C] | [°C] | [kW] | [m ³ /h] | [°C] | [°C] | [%] |
| 17.11.2023 | 64,8 – 69,0 | 53,8 – 59,2 | 33,3 - 40,1 | 94 - 153 | 120 - 144 | 20,4 – 22,1 | 11,3 – 13,4 |
| 20.11.2023 | 46,0 – 58,2 | 32,4 – 43,4 | 44,0 – 53,1 | 130 - 150 | 140 - 149 | 20,0 – 21,5 | 8,7 – 11,6 |

14. Valorile obținute pentru mărimile calculate, aplicând modelul matematic de bilanț prezentat în paragraful 3.8, specifice celor două monitorizări, sunt prezentate în tabelul 8.

Tabelul 8 –Valorile mărimilor calculate pentru cele două monitorizări

| Monitorizarea | m_{comb} | Q_{comb} | W_{EE} | W_{ET} | Debit gaze | m_{ga} | ΔQ_{ga} | ΔQ_t |
|---------------|------------|------------|----------|----------|------------|----------|-----------------|--------------|
| | [kg] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kg/h] | [kg] | [kWh] | [kWh] |
| 17.11.2023 | 10,370 | 47,701 | 0,30 | 34,17 | 845,64 | 140,94 | 4,262 | 9,572 |
| 20.11.2023 | 15,470 | 71,162 | 0,33 | 49,72 | 996,00 | 166,00 | 5,736 | 16,033 |

15. Parametrii bilanțului energetic al prototipului comercial SIVEBER, obținuți în cadrul celor două monitorizări, sunt prezentați în tabelul 9.

Tabelul 9 – Parametrii bilanțului energetic al prototipului comercial SIVEBER obținuți în cadrul celor două monitorizări

| Monitorizarea | 17.11.2023 | | | 20.11.2023 | | |
|-----------------------------------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| | [kWh] | [MJ] | [%] | [kWh] | [MJ] | [%] |
| Energia intrată, din care: | 48,001 | 172,804 | 100 | 71,492 | 257,371 | 100 |
| Q_{comb} | 47,701 | 171,724 | 99,38 | 71,162 | 256,183 | 99,54 |
| W_{EE} | 0,300 | 1,080 | 0,62 | 0,330 | 1,188 | 0,46 |
| Energia ieșită, din care: | 48,001 | 172,804 | 100 | 71,492 | 257,371 | 100 |
| W_{ET} | 34,17 | 123,000 | 71,18 | 49,72 | 179,000 | 69,55 |
| ΔQ_{ga} | 4,262 | 15,343 | 8,88 | 5,736 | 20,651 | 8,02 |
| ΔQ_t | 9,572 | 34,461 | 19,94 | 16,033 | 57,720 | 22,43 |

16. Randamentul prototipului comercial SIVEBER a avut valoarea de **71,18%**, la monitorizarea din 17.11.2023, și de **69,55%**, la monitorizarea din 20.11.2023. Pierderile de căldură cu gazele de ardere au reprezentat 8,88%, respectiv 8,02%, iar pierderile termice ale cazanului prin pereți și prin uși au fost de 19,94%, respectiv 22,43%. Deci, randamentul prototipului comercial este în cea mai mare măsură influențat de nivelul relativ ridicat al pierderilor de căldură la nivelul cazanului (prin pereții cazanului și prin ușile acestuia). În consecință, pentru optimizarea prototipului comercial se impune identificarea zonelor cazanului prin care acesta pierde, cu predilecție, căldură și luarea unor măsuri specifice pentru reducerea acestor pierderi.

17. În scopul identificării zonelor cu pierderi de căldură ridicate, am realizat o diagnoză tehnică bazată pe termoviziune în infraroșu, utilizând o cameră externă cu termoviziune, de tip Topdon TC002, prezentată în paragraful 2.1. Rezultatele diagnozei utilizând camera de termoviziune sunt prezentate în paragraful 2.2. Monitorizarea a permis identificarea zonelor fierbinți, prin care cazanul pierde, cu predilecție, căldură:

- ușa inferioară - temperatura măsurată 130 °C;
- traseul gazelor de ardere; 94,9 °C;
- ușa superioară; 74,2 °C;
- zona de evacuare a gazelor de ardere, în spatele cazanului; 70,7 °C;
- vizorul pentru flacăra (suprafața laterală stânga a cazanului); 52,5 °C;
- zona de introducere a combustibilului (suprafața laterală dreapta); 51,1 °C.

BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://www.ti.com/>
- [2] <https://datasheetspdf.com/pdf/749068/Sunshine/KSD301/1>
- [3] <https://docs.expo.dev/>
- [4] <https://www.kenta.it/wp-content/uploads/2019/06/k911.pdf>
- [5] https://www.ebmpapst.com/content/dam/ebm-papst/media/catalogs/industries/Catalog_Fans-and-gear-motors-for-solid-fuel-heating-systems_EN.pdf
- [6] <https://www.imit.it/pdf/catalogo/production-range-2023.pdf>
- [7] <https://www.arzatoarepeleti.ro/produs/bujie-cuart-aprindere-peleti/>
- [8] <https://www.controler-e.ro/catalog/accesorii-controlere-72>
- [9] <https://www.honeywell.com/us/en/search?search=eZtrend+QXe&tab=All+Sites>
- [10] http://auto-tehnica.ro/wp-content/uploads/2020/05/04_2020.pdf
- [11] https://www.testo.com/ro-RO/produse/testo_330i
- [12] <https://ro.rsdelivers.com/>
- [13] <https://sid.siemens.com/v/u/28199>
- [14] <https://www.analog.com/en/products/max6675.html>
- [15] <https://ardushop.ro>
- [16] <https://www.icmet.ro/>
- [17] <https://www.analog.com>
- [18] <https://www.shelly.cloud/>
- [19] Roșca M., Blaga, C. A. – Termotehnica, Editura Universitatii din Oradea, 2008
- [20] Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, published by Earthscan in the UK and USA in 2008 ISBN: 978-1-84407-249-1