



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



## **ARTICOL DEDICAT ACTIVITĂȚILOR REALIZATE PE BAZA RAPORTULUI DE CERCETARE NR. 3**



## ECHIPA DE ELABORARE:

Nr. crt.	Numele și prenumele	Funcția în cadrul proiectului	Semnătura
1.	Bendea Gabriel	Manager tehnic de proiect	
2.	Bungău Constantin	Expert tehnologii mecanice	
3.	Roșca Marcel	Expert termotehnică	
4.	Albuț-Dana Daniel	Expert electrotehnică	
5.	Blaga Alin	Expert biomasă	
6.	Moldovan Vasile	Expert tehnologia materialelor	
7.	Rancov Nicolae	Expert diagnoză și măsurări	

## CUPRINS

1	ARTICOL DEDICAT ACTIVITĂȚILOR REALIZATE PE BAZA RAPORTULUI DE CERCETARE NR. 3 .....	4
1.1	Introducere.....	4
1.2	Subsistemul de protecție și siguranță .....	4
1.3	Subsistemul modul de intrări .....	7
1.4	Subsistemul de achiziții de date.....	9
1.5	Subsistemul modul de comandă .....	15
1.6	Software-ul de automatizare.....	21
1.7	Aplicația mobil .....	24
1.8	Alimentarea cu combustibil.....	24
1.9	Alimentarea cu aer .....	26
1.10	Aprinderea combustibilului .....	28
1.11	Arzătorul.....	29
1.12	Analiza și monitorizare a gazelor arse .....	31

# **ARTICOL DEDICAT ACTIVITĂȚILOR REALIZATE PE BAZA RAPORTULUI DE CERCETARE NR. 3**

## **1.1 Introducere**

În urma activităților de cercetare industrială și celor de dezvoltare și proiectarea de părți componente pentru sistemul pilot SIVEBER, membrii echipei de cercetare din cadrul Universității au elaborat raportul 3 intitulat ” RAPORT DE ANALIZĂ DE COMPONENTE privind dezvoltarea și proiectarea de părți componente pentru sistemul S.I.V.E.B.E.R”, în care au fost prezentate cele 11 seturi de subsisteme/componente dezvoltate și proiectate pentru sistemul SIVEBER, respectiv, au fost prezentate rolul subsistemelor vizate, variantele proiectate și dezvoltate, componentele și descrierile funcționale. Subsistemele vizate au fost:

1. subsistemul de protecție și siguranță;
2. modulul de intrări;
3. subsistemul de achiziții de date;
4. modulul de comandă;
5. software-ul de automatizare;
6. aplicația mobilă pentru comanda și monitorizarea sistemului;
7. subsistemul de alimentare cu combustibil;
8. subsistemul de alimentare cu aer;
9. subsistemul de aprindere a combustibilului;
10. subsistemul arzător;
11. subsistemul de analiză și monitorizare a gazelor de ardere.

Totodată au fost prezentate și descrise testele și încercările efectuate de către membrii echipei în cadrul activității de cercetare industrială, parametrii modificați și îmbunătățiți pentru componentele subsistemelor, respectiv soluției optime alese.

În acest articol dedicat se vor sintetiza activitățile și rezultatele obținute materializate în elaborarea sistemului pilot.

## **1.2 Subsistemul de protecție și siguranță**

**Subsistemul de protecție și siguranță** (1) proiectat în cadrul activității 3, satisface toate cerințele cu privire la funcționarea în condiții de siguranță al sistemului proiectat. Varianta proiectată și dezvoltată din cadrul acestui subsistem cuprinde elemente care au fost clasificate după mai multe criterii, una dintre fiind nivelul la care acționează elementul de siguranță. Astfel, componentele subsistemului de siguranță din categoria ”nivel 1”, au fost acele componente ale căror funcționare implică prezența energiei electrice și celelalte componente sau considerat a fi cele de ”nivel 2”.

Membrii echipei au plecat de la schema de principiu elaborată pentru sistemul SIVEBER proiectat și au testat mai multe configurații de elemente componente pentru acest subsistem.

Pentru componenta care intervine în cazul unor eventuale *supraîncălzirii ale apei din corpul cazanului* și care oprește funcționarea completă a sistemului prin întreruperea alimentării cu energie electrică, a fost ales un model de termostat de siguranță care permite resetarea numai prin apăsarea butonului de resetare.

Termostatul care s-a ales (Figura 1.1) este unul capilar, cu o sondă de expansiune lichidă, unipolar, cu limitator de temperatură de siguranță cu resetare manuală. Este potrivit pentru sisteme de încălzire în care nu trebuie depășită o temperatură maximă presetată.



Figura 1.1 – Termostatul de siguranță cu capilar ales [14]

O altă componentă din cadrul subsistemului de siguranță a fost ”*termostatul de siguranță împotriva arderii inverse*”, care are rolul de a împiedica propagarea inversă a flăcării pe tubul de alimentare, întrerupând circuitul electric de alimentare cu combustibil.. Varianta testată și validată a fost modelul tip pastilă, cu bimetal (Figura 1.2).



Figura 1.2 – Termostatul de siguranță împotriva arderii inverse [1]

Termostatul testat și validat lucrează la 70 [°C], este cu contact normal închis, iar tensiunea de lucru maximă este de 250 [V] și poate întrerupe un curent maxim de 10 [A].

Un element pasiv considerat tot pentru prevenirea arderii inverse, pe lângă termostatul de tip pastilă a fost tubul de plastic care conectează buncărul cu arzătorul, care este un tub riflă special (1÷1.5 m, diametrul de 65mm) confecționat dintr-un poliester-poliuretă, cu rolul de a se topi în cazul unei temperaturi în exces prea mari, astfel încât să se rupă legătura între alimentarea cu combustibil și arzătorul utilizat.



Figura 1.3 – Tub riflă flexibil împotriva arderii inverse

Temperatura lucru este în intervalul – 40 [°C] + 90 [°C], astfel, în situația unei arderi inverse accidentale, în condițiile în care termostatul de siguranță ”nu a lucrat”, prin topirea tubului se oprește alimentarea cu combustibil.

În urma testelor, ca măsură suplimentară de siguranță a fost inclus încă un element, un termocuplul pentru urmărirea temperaturii gazelor de ardere. Pentru alegerea termocuplei potrivite au fost comparate mai multe tipuri și în final, pentru sistemul SIVEBER prototip, a fost recomandat să se utilizeze *termocuplă de tip K* (Figura 1.4). Având în vedere modulul de comandă utilizat, s-a recomandat utilizarea unei termocuple de tip K împreună cu un convertor analog-digital (ADC) de 12 biți. MAX6675.

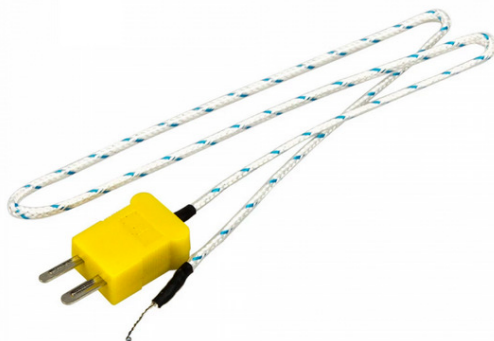


Figura 1.4 – Termocuplă de tip K [20]

Pentru detectarea și supravegherea flăcării au fost considerate mai multe variante inițial. În urma testelor pentru monitorizarea intensității luminoase din focar, s-au urmărit atât alegerea tipului de fotorezistență cât și poziționare optimă pentru a avea valori cât mai bune ale intensității luminoase, în condițiile unor temperaturi nominale acceptabile.



Figura 1.5 – Teste pentru identificarea poziției optime pentru fotorezistență

Pentru sistemul pilot, senzorul de flacără se montează pe arzător, în camera de distribuție a aerului comburant, în vecinătatea focarului, locul unde are loc aprinderea și arderea peletilor, și este de tipul QRB1.

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*).

### 1.3 Subsistemul modul de intrări

Soluția adoptată pentru *subsistemul modul de intrări* (2), are la bază placa de dezvoltare Raspberry Pi, cu mai multe componente adiționale. 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). La alegerea soluției pentru sistemul pilot, s-a avut în vedere în primul rând faptul că echiparea hardware a unei astfel de plăci permite utilizarea pentru monitorizare în timp real, totodată dispune de viteze de calcul mai mari, fără saturarea sau blocarea procesorului. Echiparea bună ale acestor plăci (Wi-Fi, ethernet, port GPIO, module memorie suplimentară...etc) duc la costuri de investiții mai reduse, pentru a obține aceleași performanțe tehnice care se pot obține cu PLC uri sau alte plăci de dezvoltare.

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.

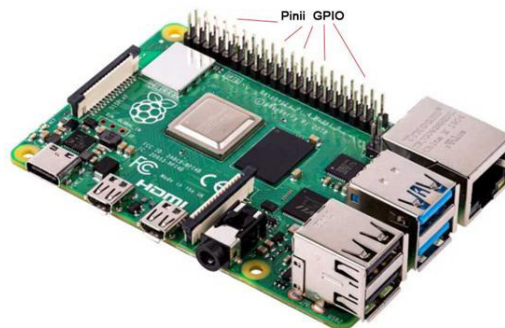


Figura 1.6 – Port GPIO la Raspberry Pi 4 [8]

Pini sau intrările/ieșirile GPIO-urile permit conectarea la nivel hardware, direct cu ajutorul unui calculator (microprocesorul Raspberry Pi). Această funcție permite utilizarea plăcilor de dezvoltare (Raspberry Pi 4) în aplicații de automatizare de uz comun sau chiar industrial ca de exemplu împreună cu senzori, diode, afișaje și module System-on-Chip, controlul de la distanță al dispozitivelor conectate, transmiterea de date contextuale sau definirea conținutului pentru pachete de date Bluetooth personalizate.

Semnificația pinilor este prezentată în *Figura 1.7*.

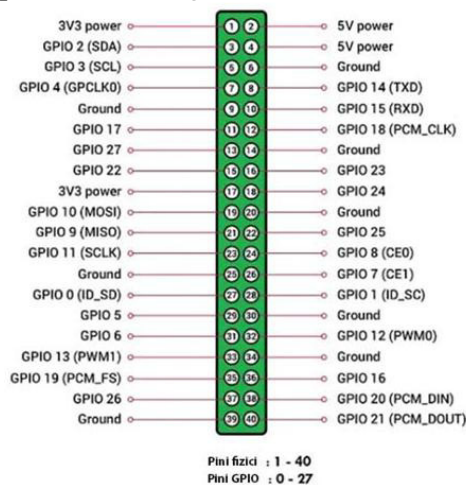
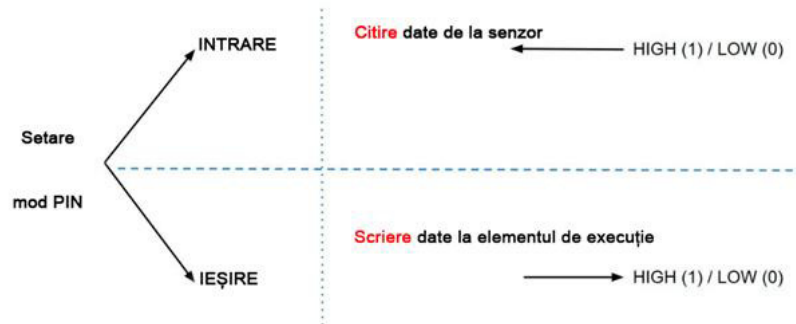


Figura 1.7 – Configurație pini port GPIO [8]



Inițial trebuie să se aleagă dacă se dorește utilizarea acestora (pinilor) ca intrare sau ca ieșire. Dacă se configurează un canal GPIO ca intrare se va putea citi o valoare de la acesta: HIGH sau LOW (1 sau 0). Dacă se configurează un pin GPIO ca și ieșire se va putea scrie o valoare la acesta, HIGH sau LOW *Figura 1.8*.



*Figura 1.8 – Setarea modului de lucru al pinului GPIO*

Pentru a evidenția funcțiile canalelor/pinilor de la portul GPIO al Raspberry Pi, în *Figura 1.9* aceștia sunt în culori.

Funcții alternative						Funcții alternative
	3.3V PWR	1			2	5V PWR
I2C1 SDA	GPIO 2	3			4	5V PWR
I2C1 SCL	GPIO 3	5			6	GND
	GPIO 4	7			8	UART0 TX
	GND	9			10	UART0 RX
	GPIO 17	11			12	GPIO 18
	GPIO 27	13			14	GND
	GPIO 22	15			16	GPIO 23
	3.3V PWR	17			18	GPIO 24
SPI0 MOSI	GPIO 10	19			20	GND
SPI0 MISO	GPIO 9	21			22	GPIO 25
SPI0 SCLK	GPIO 11	23			24	GPIO 8
	GND	25			26	GPIO 7
	Reserved	27			28	Reserved
	GPIO 5	29			30	GND
	GPIO 6	31			32	GPIO 12
	GPIO 13	33			34	GND
SPI1 MISO	GPIO 19	35			36	GPIO 16
	GPIO 26	37			38	GPIO 20
	GND	39			40	GPIO 21
						SPI0 CS0
						SPI0 CS1
						SPI1 CS0
						SPI1 MOSI
						SPI1 SCLK

*Figura 1.9 – Configurație pini port GPIO [8]*

Pentru comunicarea cu placa de dezvoltare Raspberry Pi, prin intermediul canalelor GPIO, se pot utiliza unele protocoale hardware. Prin intermediul acestor protocoale se pot transmite mult mai multe informații decât prin programarea individuală a canalelor GPIO configurați ca și canale/pini digitali.

În *Figura 1.9* sunt date două coloane de pentru funcții alternative unde sunt specificate protocoalele specifice la care se referă.

Prin urmare putem considera că un canal GPIO poate fi utilizat și ca pin/canal digital dar și ca un canal în cadrul unui protocol hardware. Pentru placa Raspberry Pi sunt disponibile 3 tipuri de protocoale:

- Protocolul UART - este un protocol de comunicare multi-master. Acest protocol este utilizat mai ales pentru comunicarea între mai multe plăci de dezvoltare sau componente;
- Protocolul I2C - este un protocol de magistrală de tip master-slave utilizat mai ales la citirea datelor de la senzori și acționarea unor elemente de acționare (relee);



- Protocolul SPI - este tot un protocol de tip master-slave. Implementarea lui necesită utilizarea mai multor canale decât I<sup>2</sup>C și permite viteze de comunicare mai mari.

Pentru accesul ușor la pinii portului GPIO al plăcii de dezvoltare Raspberry Pi, în cazul sistemului pilot s-a utilizat un modul de interfațare de Allen Bradley Interface Module 40-Point SLC500 1492-IFM40. El permite accesul ușor la pinii specifici portului GPIO fiind practic o placă cu borne la care într-o parte se conectează portul GPIO iar pe cealaltă parte se conectează, în borne, conductoarele de legătură cu elementele de execuție și senzorii din cadrul sistemului SIVEBER-prototip. Acest modul nu are un rol activ în funcționarea sistemului SIVEBER ci doar permite un acces mai ușor la pinii portului GPIO al plăcii Raspberry Pi. Această placă poate fi la rândul ei montată pe o șină (*Figura 1.10*).

Placa cu borne este conectată la portul GPIO al plăcii Raspberry Pi prin intermediul prin panglică flexibilă de tip Molex Premo-Flex(FFC) așa cum se prezintă în *Figura 1.11*.



*Figura 1.10 – Placa cu borne SLC500 1491-IFM40*



*Figura 1.11 – Conexiune placa cu borne - Raspberry Pi*

Soluția adoptată derivă din însăși alegerea făcută pentru subsistemele conexe, cum ar fi: modulul de comandă și sistemul de achiziții de date, care practic au la bază placa de dezvoltare Raspberry Pi.

#### 1.4 Subsistemul de achiziții de date

**Subsistemul de achiziții de date** (3) proiectat și validate 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 figura de mai jos (Figura 1.12):

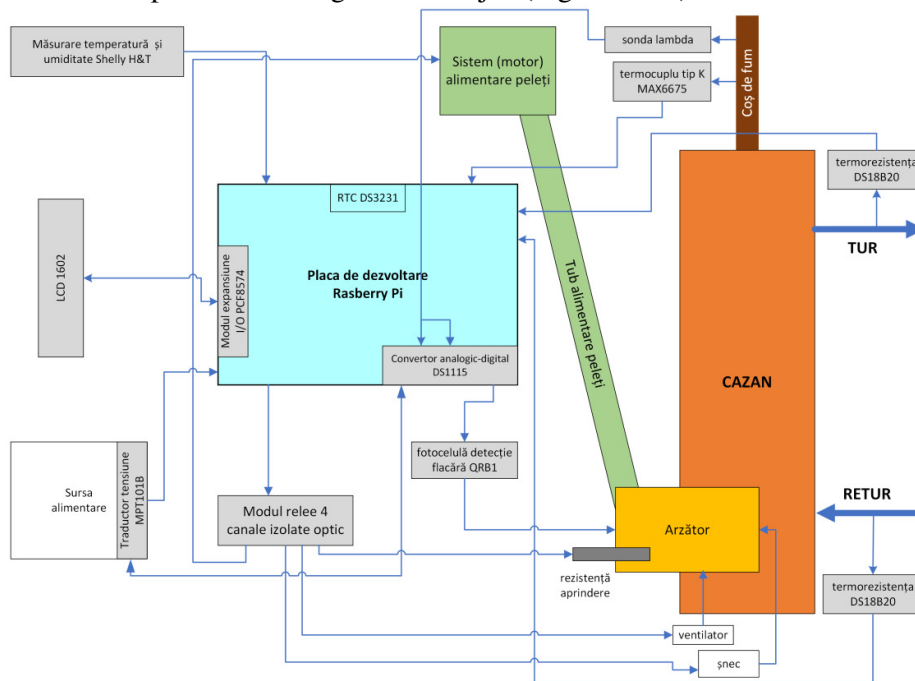


Figura 1.12 – Schema bloc generală cu senzori

Senzorii utilizați în structura sistemului pilot 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 [19].

MAX6675 poate fi folosit împreună cu un microcontroler extern ( $\mu$ C) sau PLC sau alt dispozitiv similar în aplicații de monitorizare a temperaturii sau de control al proceselor ce implică măsurarea temperaturii.

Convertorul analogic component poate sesiza diferențe de temperaturi (rezoluție) de cel puțin 0,25 °C, permite citiri de temperaturi de până la +1024 °C și prezintă o precizie de termocuplu de 8 LSB pentru temperaturi cuprinse între 0 °C și +700 °C(ceea ce se traduce printr-o precizie de +/- 2 °C).



Figura 1.13 – Termocuplu de tip K cu convertorul MAX6675 [20]

În Figura 1.13 este prezentat termocuplul propriu-zis și convertorul. MAX6675 include componente hardware care transformă semnalul electric al termocuplului într-o tensiune compatibilă cu canalele de intrare ale convertorului.

*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.



Figura 1.14 – Senzor de temperatură bazat pe DS18B20 [20]

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.

DS18B20 poate fi alimentat direct de la linia de date („putere parazită”), eliminând necesitatea unei surse externe de alimentare.

Practic fiecare dispozitiv DS18B20 are un cod serial unic pe 64 de biți, fapt ce permite legarea mai multor astfel de dispozitive la aceeași magistrală. Astfel, se poate folosi un singur microprocesor sau PLC pentru controlarea mai multor dispozitive DS18B20 situate pe o suprafață mare.

În cadrul sistemului SIVEBER-prototip există doi senzori de temperatură situate pe circuitul de răcire al cazanului. Unul este montat pe turul circuitului de răcire, cel de-al doilea montat pe circuitul de retur. De remarcat că, datorită simplității sensorului precum și a modului simplu de operare al acestuia poate fi utilizat pentru monitorizarea temperaturii în mai multe puncte de interes din cadrul sistemului SIVEBER fără a produce o încărcare financiară suplimentară semnificativă.

*Senzor extern de temperatură și umiditate (Shelly H&T [23])* 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.



Figura 1.15 – Senzor de temperatură și umiditate Shelly H&T [23]

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 (în etapa actuală) s-a făcut în camera de amplasament al cazanului fiind utilizat exclusiv pentru monitorizarea umidității și a temperaturii aerului din incintă.

*Traductor de tensiune ZMPT101B* este un traductor compact de tensiune monofazată ce se bazează pe un transformator monofazat de tensiune pentru izolare galvanică, mic, de precizie, ideal pentru măsurarea tensiunii alternative. Are o precizie ridicată, util pentru măsurarea tensiunii până la 250 V c.a. Este ușor de folosit și integrat în montaje.



Figura 1.16 – Senzor de tensiune ZMPT101B [20]

Este echipat cu un potențiomtru de reglare ce permite calibrarea intrării pentru convertorul analogic-digital.

Acest senzor este utilizat, în principal, pentru măsurarea tensiunii verifică prezența tensiunii și va fi monitorizat și pentru monitorizarea buclei de siguranță (termostate; presostat și elemente externe de siguranță).

*Convertorul analogic la digital ADS1115* este un modul convertor analogic-digital. Aceasta permite convertirea semnalelor analogice în semnale digitale cu o precizie de până la 16 biți pentru o varietate mare de aplicații.

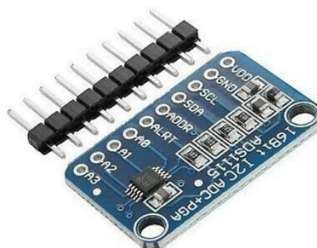


Figura 1.17 – Convertor analogic-digital ADS1115[6]

Acest modul are 4 canale analogice pentru conversie, iar comunicarea cu dispozitivul se face prin interfața I<sup>2</sup>C. Convertor analogic-digital de tip I<sup>2</sup>C ADS1115 este compatibil cu plăcile de dezvoltare de Raspberry Pi.

Acest modul a fost utilizat pentru monitorizarea următoarelor elemente: 1 canal pentru celula fotoelectrică supraveghere flacăra, 1 canal pentru traductorul de tensiune pentru supraveghere tensiune de alimentare MPT101B și 2 canale pentru sonda lambda.

*Modul de Expansiune I/O pentru magistrala I<sup>2</sup>C*, este un modul de expansiune cu circuit integrat PCF8574 [20] și se utilizează de regulă pentru a mări numărul de pini I/O la un microcontroler. Cu cei 2 pini necesari magistralei de comunicație, se poate ajunge la până la 64 pini de I/O cu 8 circuite integrate, acesta fiind numărul maxim de circuite integrate ce pot fi legate pe o singură magistrală.

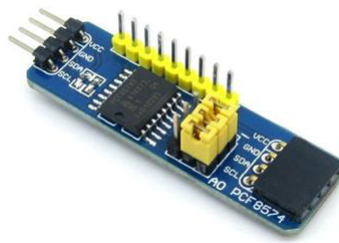


Figura 1.18 – Modul de Expansiune I/O PCF8574 [21]

Este potrivit în aplicațiile unde este nevoie de mulți pini de I/O. În situațiile în care nu este nevoie de putere mare de procesare, nu este rentabilă achiziționarea unui microcalculator cu mulți pini și se pot folosi astfel de circuite de expansiune.

*Modulul RTC DS3231 I<sup>2</sup>C* de precizie utilizat, este un modul Real Time Clock (RTC) extrem de precis, cu un oscilator cu cristal integrat (TCXO) și un cristal. Modulul este compatibil cu diverse tipuri de plăci de dezvoltare ce funcționează împreună cu o baterie CR2032.

Bateria încorporată permite păstrarea timpului chiar dacă alimentarea principală a dispozitivului este întreruptă. Integrarea rezonatorului de cristal îmbunătățește precizia pe termen lung a dispozitivului.

DS3231 este utilizat în domeniul de temperaturi specific activităților comerciale și industriale și este construit în configurație SO cu 16 pini- lățime 0.3 inch.

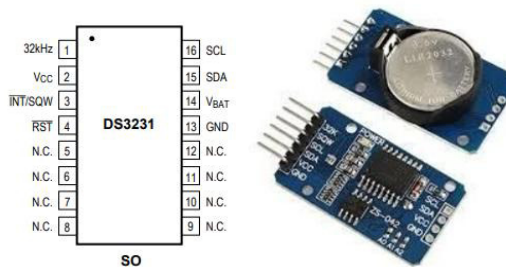


Figura 1.19 – Pini RTC DS3231 [6]

RTC DS3231 reține informațiile cu privire la secunde, minute, ore, zi, lună și an. Data de la sfârșitul unei luni este ajustată automat pentru lunile cu mai puțin de 31 de zile, inclusiv corecțiile pentru anii bisecți. Ceasul poate opera fie în format de 24 de ore, fie în format de 12 ore cu un indicator AM/PM. Circuitul are 2 alarme programabile(timp-data) și o ieșire cu treaptă unitară programabilă. Adresa și datele sunt transferate în serie printr-o magistrală bidirecțională I<sup>2</sup>C.

*Modul relee cu 4 canale de 5V izolate optic*, este o placă de interfațare cu 4 canale de curent mic la 5V, fiecare canal având nevoie de curenți de 15÷20mA. Este echipat cu relee ce lucrează până la tensiuni de 250V c.a. și curenți de până al 10A. Are o interfață standard care poate fi controlată direct de microcontroler. Pentru asigurarea cerințelor de siguranță acest modul este izolat optic față de partea de înaltă tensiune pentru cerințe de siguranță și pentru a preveni bucla de masă atunci când este conectat cu microcontrolerul.

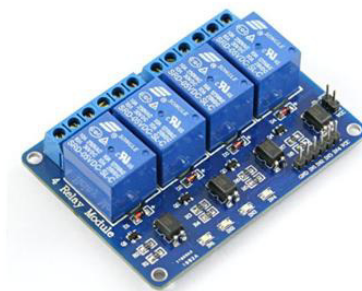


Figura 1.20 – Modul relee cu 4 canale optocuplor ]

Schema de utilizare a circuitului (prezentare pentru unul din cele 4 canale) este dată în Figura 1.21 .

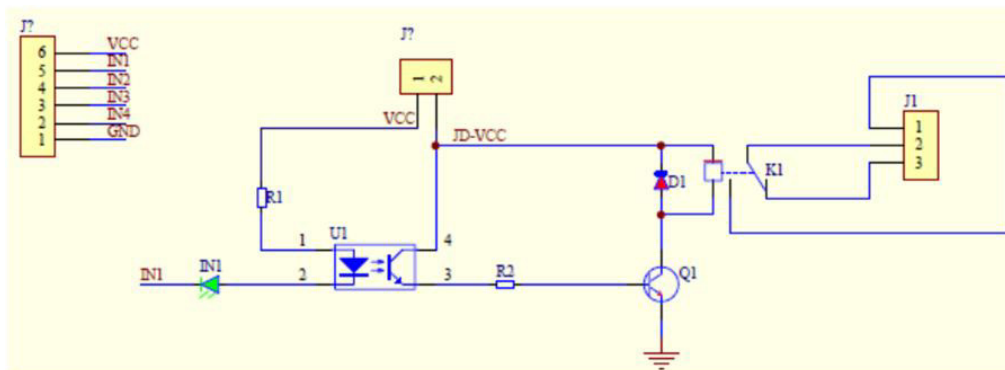


Figura 1.21 – Schema de utilizare a optocuplorului (1 canal)

Aceste relee au fost utilizate în cadrul sistemului pilot SIVEBER, la comanda:

- ventilatorului de aer;
- celor 2 șnecuri(șnec pentru alimentarea cu peleți și motorul pentru rotirea rolor de antrenare a combustibilului în zona de ardere);
- sursa de alimentare a rezistenței de aprindere( de inițiere a arderii).

*Fotorezistența detectoare de flacără* (sau senzor de detectare flacără), așa cum s-a prezentat mai sus, a fost unul de tip QRB care sunt fotorezistențe compacte și se utilizează pentru supravegherea flăcărilor generate de arderea cu flacără galbenă a combustibililor lichizi și nu numai utilizate, de regulă, pentru controlul arzătoarelor;

În cadrul prototipului sistemului SIVEBER, senzorul de flacără a fost montat pe arzător, în camera de distribuție a aerului comburant, în vecinătatea focarului, locul unde are loc aprinderea și arderea peletilor din lemn.

*Modulul LCD 1602 – 2 linii x 16 caractere*, poate fi utilizat pentru diverse ce impun afișarea de informații către exterior. LCD-ul poate fi utilizat și pe întuneric, având iluminare de fundal albastră iar caracterele sunt de culoare albă și contrast ajustabil.

În cadrul prototipului SIVEBER acest afișaj indică starea sistemului(pornit-ON; oprit-OFF) precum și unele temperaturi limită setate în sistem.

Dispozitivul *I/O Expander MCP23008*, ca și utilizare generală, realizează extinderea paralelă I/O pentru magistrala I2C sau SPI oferă 8 biți. Cele două tipuri de dispozitive diferă prin numărul de pini utilizați pentru adrese și prin interfața serială:

- MCP23008 – interfața I2C; trei pini pentru adrese;
- MCP23S08 – interfața SPI; doi pini pentru adrese.

MCP23X08 conține mai multe tipuri de registre pe 8 biți: pentru intrări, pentru ieșiri și pentru selecția polarității. Unitatea centrală a sistemului (Raspberry Pi) poate activa canalele I/O fie ca intrări, fie ca ieșiri prin scrierea corespunzătoare a biților de configurație a I/O. Datele pentru fiecare intrare sau ieșire se păstrează în registrul corespunzător de intrare sau de ieșire. Polaritatea registrului portului de intrare poate fi inversat prin intermediul registrului Polarity Inversion. Toate registrele pot fi citite de către unitatea centrală a sistemului.

Toate elementele componente ale acestui subsistem au fost analizate și validate împreună cu liderul de proiect având în vedere următoarele considerente:

- considerente tehnice – senzorii utilizați se încadrează, din punct de vedere al parametrilor tehnici, în domeniilor corespunzătoare de funcționare (temperaturi, tensiuni, interfața de conectare la unitatea centrală). Funcționarea lor, în cadrul proceselor ce au loc în diferitele zone ale sistemului SIVEBER, se face în concordanță cu domeniile de utilizare specificate în datele tehnice ale acestora;
- considerente financiare – costuri accesibile în comparație cu alte tipuri de senzori similari;
- disponibilitatea pe piață – toți senzorii utilizați și prezența mai sus pot fi achiziționați de pe piață fără restricții, fiind accesibili la o multitudine de operatori comerciali (consacrați sau nu) ce au în domeniul de activitate activități de comercializare a senzorilor pentru procese de monitorizare și automatizare;
- considerente ce țin de specificul etapei actuale din cadrul procesului de îmbunătățire a sistemului prototip SIVEBER. Prototipul SIVEBER poate fi îmbunătățit dar pentru etapa actuală de verificare, testare, identificare a elementelor susceptibile la îmbunătățiri, senzorii utilizați și prezența mai sus asigură monitorizare, comandă, permit ajustări de parametrii din procese precum și îmbunătățiri ale logicii de comandă, măsură, monitorizare etc.

## 1.5 Subsistemul modul de comandă

În cadrul sub-activității 3.1 ”Crearea proiectului pilot pentru sistemul S.I.V.E.B.E.R.”, membrii echipei au definit și *subsistemul „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 componente 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, în principiu 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.



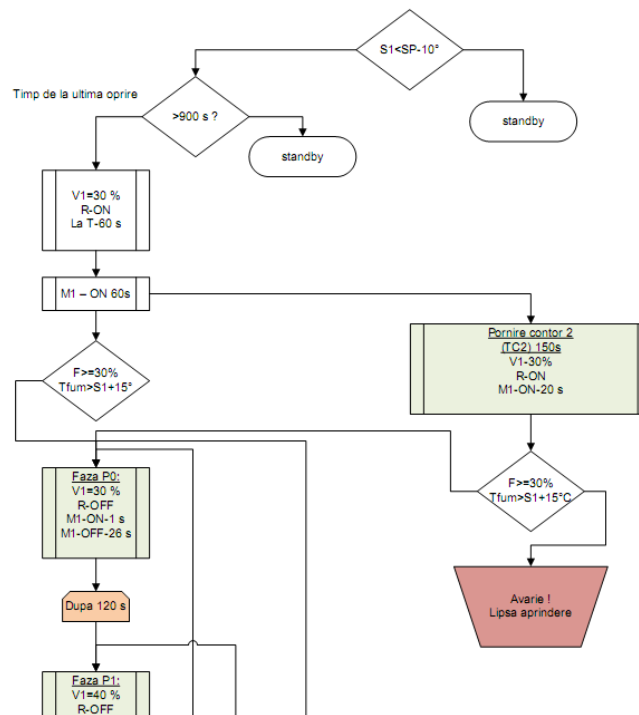


Figura 1.22 – Fragment din organigrama de comandă elaborată

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 șneccu 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” 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.

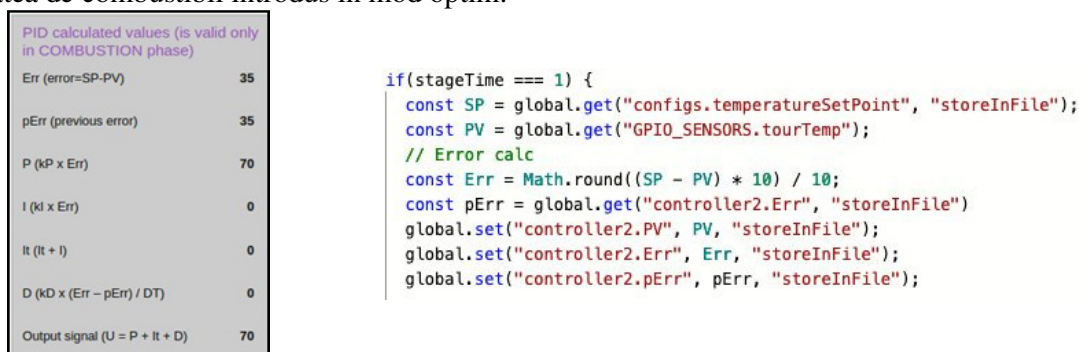


Figura 1.23 – Parametrii PID și secvență de cod din cadrul sistemului pilot

În cadrul Activității 3 / Sub-activitatea 3.1 ("Dezvoltare experimentală pentru sistemul S.I.V.E.B.E.R. cu diseminarea rezultatelor/ Crearea proiectului pilot pentru sistemul S.I.V.E.B.E.R."), au fost efectuate mai multe teste, încercări și măsurile măsurate au fost interpretate de fiecare dată.

Comanda ventilatorului principal, cel de insuflare de aer principal și secundar în arzător, se realizează pe baza logicii implementate în funcție de starea în care se află sistemul, respectiv în funcție de treapta de putere în cazul stării de funcționare.

Cu ocazia testelor efectuate cu diferite ventilatoare, urmărind parametrii de interes (*temperatura gaze arse, noxe, energia produsă, etc.* ) au fost testate și variantele de comandă ale acestor ventilatoare.

Cu privire la alimentarea sistemului cu combustibil, testarea părții de comandă s-a realizat prin ajustarea și optimizarea timpilor de acționare și repaus în condițiile maximizării energiei termice rezultate prin arderea combustibilului urmărind ca valorile noxelor să fie în conformitate cu normativele actuale.

În ceea ce privește comanda motorului de alimentare orizontală cele mai relevante teste pe lângă cele care urmăreau comportarea mecanică ai cilindrilor acționați de către ansamblul motor reductor, au fost cele de urmărire și analiză a gazelor de ardere. S-au constatat îmbunătățiri substanțiale ale arderii în cazul unei combustii cu un pat răscolit prin rotirea celor doi cilindri.

Testele pentru alegerea unei aprinderi optime, din perspectiva comenzii elementului de aprindere a însemnat determinarea timpilor de activare/dezactivare în coroborare cu diferite turații optime ale ventilatorului principal. În cadrul acestor teste au fost folosite diferite tipuri și dozaje inițiale de combustibil.

În mod similar, au fost realizate mai multe teste în etapa alegerii sondei lambda în funcție de tipul sondei. Pentru varianta cu 5 conectori, de exemplu au fost făcute măsurători cu alimentarea continuă în comparație cu varianta de alimentare în impulsuri al circuitului de încălzire din cadrul sondei. În ambele scenarii, măsurile obținute cu privire la concentrația de oxigen a fost comparată cu valorile înregistrate de analizorul de gaze tip *Testo 330i* [17], aparținând liderului de proiect.

Cu privire la subsistemul de comandă, parametrii au fost optimizați permanent pe durata testelor efectuate prin analiza mărimilor măsurate și înregistrate.

În varianta implementată pe sistemul pilot, parametrii sunt optimi și asigură o valorificare eficientă al biomasei în condiții de siguranță.

În urma întâlnirilor de lucru dintre liderul de proiect și membrii echipei de cercetare partener, s-a discutat despre posibilitatea implementării unei soluții care permite ajustarea în timp real, în mod automat, ale unor parametrii fără intervenția unui tehnician sau utilizator. În acest scenariu ar fi posibilă o ajustare automată al sistemului la modificarea condițiilor de exploatare față de cele de la punerea în funcțiune, cum ar fi calitatea combustibilului, schimbarea regimului de încălzire etc.

Cu privire la *comanda ventilatorului principal*, după mai multe tipuri de ventilatoare testate, versiunea circuitului de comandă care a fost validat este redat în Figura 1.24.

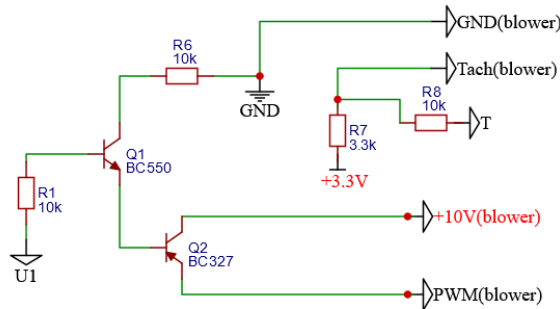


Figura 1.24 – Schema circuitului de comandă al ventilatorului principal

Membrii echipei de cercetare, după o serie de teste în care s-au urmărit parametrii arderii în cazul sistemului prototip testat, au ajuns la concluzia că pentru această gamă de puteri (sub 40 kW) *nu se justifică* utilizarea unui ventilator suplimentar de exhaustare a gazelor de ardere. Tirajul necesar arderii este asigurat de tirajul coșului de fum și ventilatorul de insuflare.

Cu privire la comanda *motorului șnec de alimentare cu combustibil (fuel pulley)*, varianta validată a fost varianta prevăzută cu reductor, având în vedere că s-a ajuns la concluzia că motorul sau ansamblul motor-reductor trebuie să fie caracterizat prin viteză relativ mică ( $2\div 6$  rpm) dar de un cuplu ridicat ( $>30$  Nm). În funcție de sarcina termică necesară, debitul de combustibil poate fi crescut sau scăzut prin acționarea motorului, reglând în acest fel debitul de combustibil cu care este alimentat arzătorul, iar pentru sistemul analizat echipa a constatat că variație este una liniară, așa cum este redată în Figura 1.25.

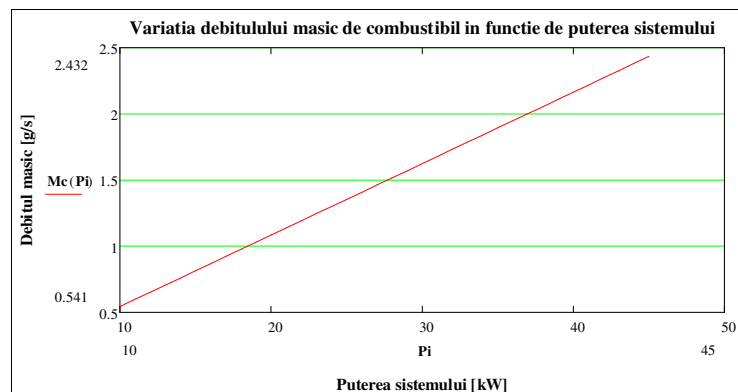


Figura 1.25 – Variația debitului masic în funcție de puterea sistemului

Prin urmare, a fost validată comanda alimentării cu combustibil, prin intermediul ansamblului motor-reductor și s-a convenit ca să se facă prin impulsuri de diferite durate, de

exemplu (Figura 1.26) între 3 ÷ 10 [s] pentru un scenariu de funcționare din cadrul testelor efectuate.

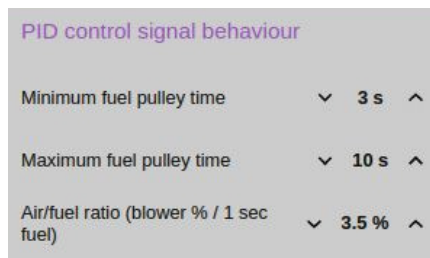


Figura 1.26 – Parametrii limită pentru comanda alimentării cu combustibil

Menționăm că aceste valori reprezintă parametrii de configurație și prin natura conceptului proiectului SIVEBER acestea se pot ajusta foarte facil.

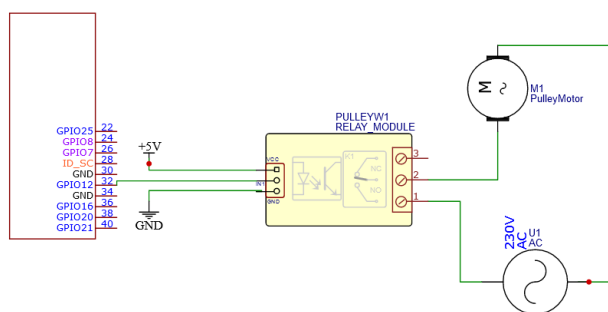


Figura 1.27 – Secvență din schema circuitului de comandă al șnecului principal

Comanda se realizează prin portul GPIO12 al plăcii principale și este trecută printr-un releu de 5V izolat optic, care pe partea de contacte lucrează până la tensiunea de 250V c.a. și curenți de până al 10A.

Cu privire la *comanda motorului de alimentare orizontală* (secondary pulley), în urma testelor s-a formulat concluzia, în vederea fixării limitelor de viteză și durată de funcționare-repaus. că prin agitărea continuă al patului de ardere din focar, parametrii arderii sunt superiori față de parametrii când tijele orizontale sunt în repaus.

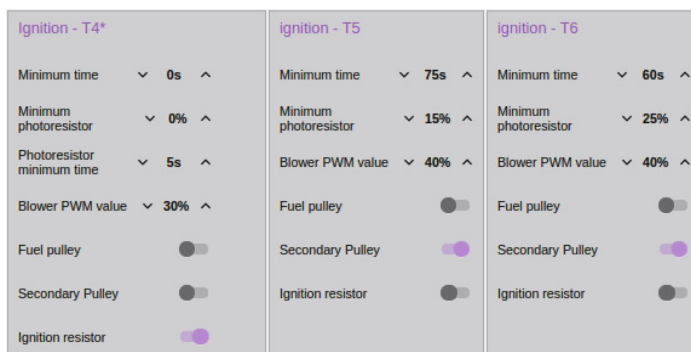


Figura 1.28 – Stări active și inactive ale alimentării orizontale

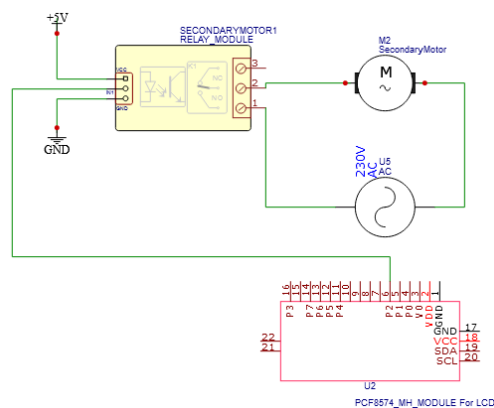


Figura 1.29 – Schema circuitului de comandă al șnecului orizontal

Varianta validată de către echipa de cercetare, constă în comanda unui motor cu reductor, similar cu cel utilizat la sistemul de alimentare (din rațiuni de cost și mentenanță) activat continuu în funcție de treapta de putere aferentă unui regim de funcționare. Este însă posibilă și funcționarea intermitentă temporizată pe durata aprinderii și pe durata imediat după încheierea unui ciclu de ardere (Figura 1.28).

Schema circuitului de comandă este redată parțial în Figura 1.29, unde se poate observa că prin utilizarea modulului de expansiune cu circuit integrat PCF8574 comanda de la placa principală de dezvoltare, prin portul GPIO2, comandă unul dintre relele dintr-un bloc de 4 rele cu 4 canale de 5V izolate optic, ce lucrează până la tensiunea de 250V c.a. și curenți de până la 10A.

După ce în urma testelor au fost încercate și comparate mai multe *elemente de aprindere*, folosind diverse setări de parametrii (*timp de încălzire, turație ventilator, cantitate inițială de peleți*), a fost ajustată poziția elementului de aprindere, astfel încât, așa cum se poate observa în Tabelul 1.1, timpul de aprindere este sub 5 minute.

Tabelul 1.1 Extras măsurători din 11.05.2023

Date	Time	Tour temp	Boiler temp	Retour temp	Smoke temp	Photoresistor (%)	Fan PWM	Pulley state	Ignition resistor	phase
11/05/2023	07:37:36	19.8	19.8	21.7	18.25	0	10	0	0	ignition
11/05/2023	07:37:41	19.8	19.8	21.7	17.75	0	30	1	1	ignition
11/05/2023	07:37:46	19.8	19.8	21.7	16	0	30	1	1	ignition
11/05/2023	07:38:46	19.8	19.8	21.7	16.25	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:38:46	19.8	19.8	21.7	16.25	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:39:46	19.8	19.8	21.7	15.75	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:40:46	19.8	19.8	21.6	17	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:41:46	19.8	19.8	21.7	17.5	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:42:46	19.8	19.8	21.7	18.5	0	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:42:58	19.8	19.8	21.7	19.75	6	30	1	1	ignition
11/05/2023	07:43:03	19.8	19.8	21.7	20.5	9	30	0	1	ignition
11/05/2023	07:43:34	19.8	19.8	21.8	21.75	14	40	0	0	ignition

Așa cum reiese și din măsurătorile efectuate (Tabelul 1.1) pentru a minimiza timpul de aprindere turația ventilatorului va porni de la 10 %, se menține la 30% cât timp elementul de încălzire este activ și după ce aprinderea s-a realizat, va crește treptat aferent treptei de putere.

În comanda elementului de aprindere joacă un rol important fotorezistența, ce este elementul de intrare ce confirmă dacă aprinderea s-a realizat sau nu. În cadrul testelor au fost încercate mai multe poziții de montare ale fotorezistenței în vederea obținerii unui flux luminos maxim în condițiile de temperatură nominală de funcționare pentru fotorezistență. Poziția

validată a fost cea în care temperatura din zona de amplasare să fie mai mică de 60 °C astfel încât fotorezistența să nu se deterioreze în timp.

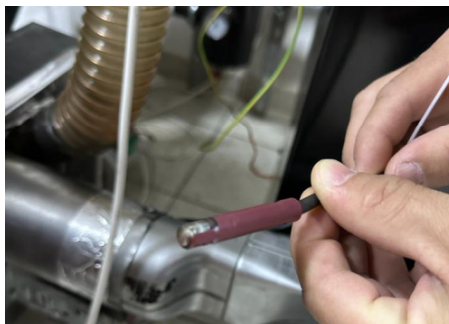


Figura 1.30 – Examinare vizuală - fotorezistență

Ca parte a modului de comanda, *comanda elementului de încălzire din sonda lambda* a fost realizată în diferite moduri, așa cum s-a prezentat în descrierea testelor efectuate. În varianta implementată pe sistemul pilot, alimentarea se face la 12 Vcc, cu mențiunea că rezistența elementului de încălzire are valori între 2-14 [ $\Omega$ ] și astfel curentul absorbit poate atinge valori de până la 8 [A]. Prin urmare elementul de întrerupere SW1 prin care se alimentează circuitul de încălzire a fost ales corespunzător.

Comanda propriu-zisă se trimite de la placa principală prin portul GPIO 20, trecând prin SW1. Redăm în continuare un fragment din circuitul de comandă al elementului de încălzire (Figura 1.31).

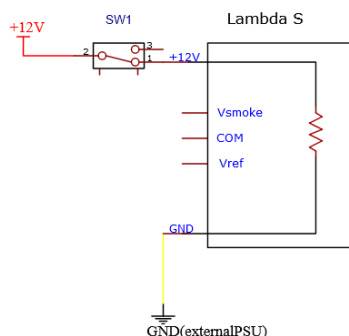


Figura 1.31 – Fragment din circuitul de comandă al elementului de încălzire al sondei lambda

## 1.6 Software-ul de automatizare

Despre *software-ul de automatizare* proiectat și validat, se poate spune că acest subsistem asigură realizarea operațiilor:

- 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.

La baza subsistemului de automatizare stă placa de dezvoltare Raspberry Pi, prezentat anterior.

Pentru a putea interacționa cu sistemul de canale de intrare/ieșire a portului GPIO de unde sau preluat / trimis semnale către elementele de execuție a sistemului SIVEBER sau dinspre senzorii sistemului au existat mai multe opțiuni și posibilități. Pentru a permite dezvoltarea ulterioară a logicii de programare, de comunicare cu senzorii sistemului SIVEBER(temperatură, tensiuni, curenți) și cu elementele de execuție ale sistemului(motoare, ventilatoare) și comanda acestora s-a optat pentru utilizarea Node.js.

```

1  const stageTime = global.get("stageTime");
2
3  if(stageTime === 1) {
4      const SP = global.get("configs.temperatureSetPoint", "storeInFile");
5      const PV = global.get("GPIO_SENSORS.tourTemp");
6      // Error calc
7      const Err = Math.round((SP - PV) * 10) / 10;
8      const pErr = global.get("controller2.Err", "storeInFile")
9      global.set("controller2.PV", PV, "storeInFile");
10     global.set("controller2.Err", Err, "storeInFile");
11     global.set("controller2.pErr", pErr, "storeInFile");
12
13     // Proportional
14     const kP = global.get("controller2.kP", "storeInFile") || 0;
15     const P = Math.round((kP * Err) * 100) / 100;
16     global.set("controller2.P", P, "storeInFile");
17
18     // Integral
19     const DT = global.get("controller2.DT", "storeInFile");
20     const kI = global.get("controller2.kI", "storeInFile") || 0;
21     const I = Math.round((kI * Err) * 100) / 100;
22     let It = global.get("controller2.It", "storeInFile") || 0;
23     It = Math.round((It + I) * 100)/100;
24     global.set("controller2.I", I, "storeInFile");
25     global.set("controller2.It", It, "storeInFile");
26

```

Figura 1.32 – Exemplu funcție JavaScript din cadrul sistemul pilot

Pentru a permite stocarea s-a optat pentru instalarea unui server MySQL, ce conține baza de date cu datele de stocat. Conectarea la server se va face tot prin intermediul node.js.

Pentru a afișa datele pe ecran se va utiliza o interfață grafică web, bazată tot pe un modul node.js numită **Node-RED**. Acest modul se instalează ca orice librărie JavaScript din node.js cu **npm** (*Node Package Manager*).



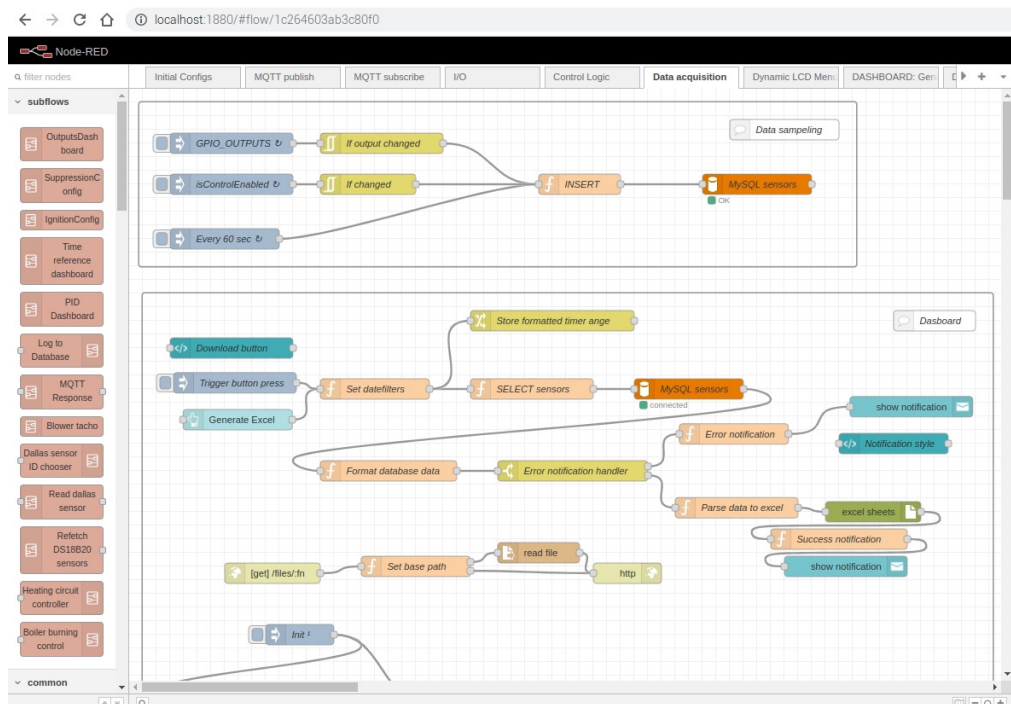


Figura 1.33 – Exemplificare editor grafic Node-RED – SIVEBER

Spre exemplu în figurile de mai jos sunt prezentate capturi de ecran pentru 2 tipuri de ecrane/interfață.

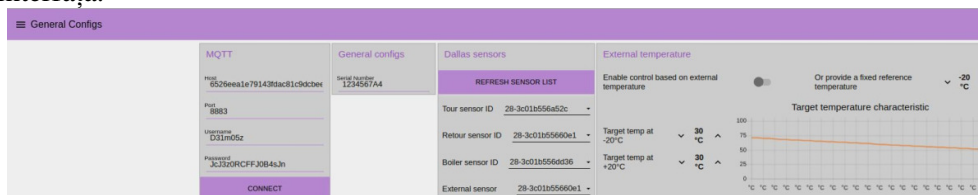


Figura 1.34 – Exemplificare - interfață utilizator 1 - SIVEBER

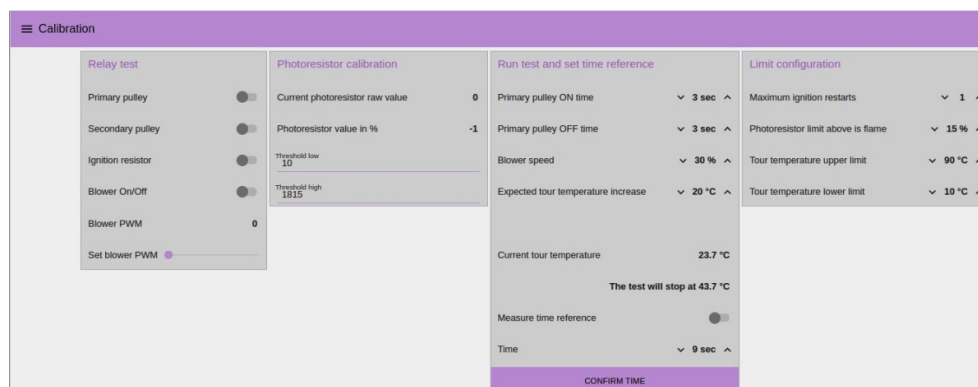


Figura 1.35 – Exemplificare - interfață utilizator 2 - SIVEBER

În concluzie software-ul de automatizare al sistemului SIVEBER are în componență mai multe module care asigură următoarele funcții:

- Monitorizarea mărimile din proces (temperaturi, tensiuni, curenți, presiuni etc)

prin intermediul senzorilor;

- Comanda elementelor de execuție din proces (motor șneac 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.

## 1.7 Aplicația mobil

A fost dezvoltată și **aplicația mobil pentru comanda și monitorizarea sistemului**, privită ca un alt subsistem care are rolul de a comanda și monitoriza sistemul pilot SIVEBER și care 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 [23]. Astfel, aplicația mobilă permite controlul precis al temperaturii într-un sistem 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.

Redăm o fereastră cu rol de exemplificare, din cadrul aplicației mobile.

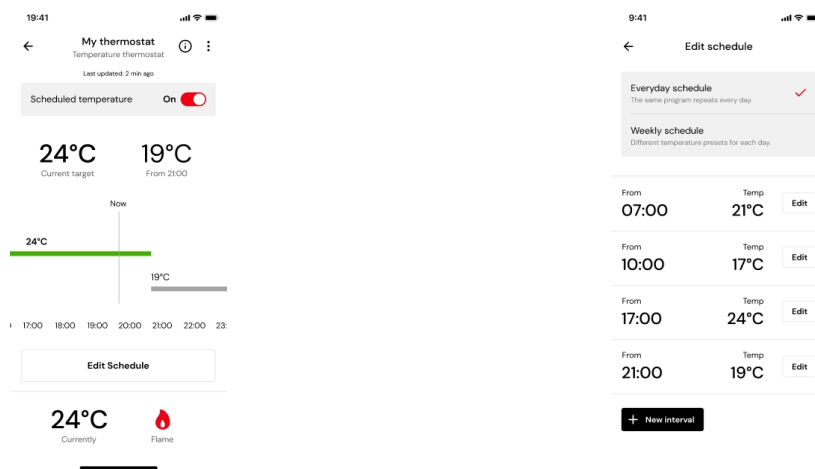


Figura 1.36 – Exemplu. Funcția de termostat programabil [10]

Membrii echipei în cadrul testării aplicației mobile au verificat funcționalitatea, performanța și calitatea aplicației.

## 1.8 Alimentarea cu combustibil

Cu privire la **subsistemul de alimentare cu combustibil** s-au făcut o serie de încercări și măsurători în urma cărora s-au luat decizii de îmbunătățire și reglare a întregului subansamblu. Au fost făcute încercări de umplere manuală și automată și au fost aduse îmbunătățiri în privința modificărilor unghiurilor trunchiului de con cu scopul concentrării mai bune a peleților în zona de preluare de către șneacul transportor. Sistemul de alimentare șneac a fost realizat într-o primă

etapă cu doi melci transportori independenți care ulterior în urma încercărilor și măsurărilor succesive a fost modificat într-un singur melc pentru a anula necesitatea corelării vitezelor și capacităților diferite de transport ale celor doi melci.

În Figura 1.37 sunt redată schițele constructive și în Figura 1.38 imagini ale buncărului proiectat și realizat.

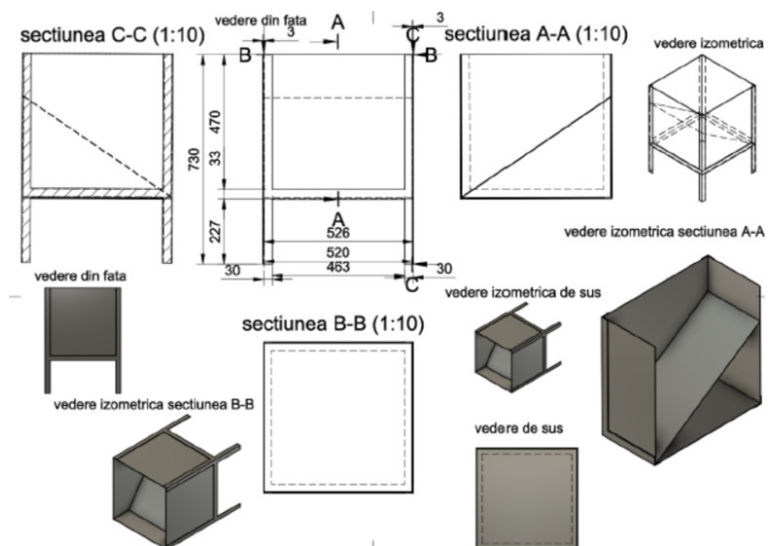


Figura 1.37 – Desene tehnice ale buncărului proiectat



Figura 1.38 – Buncărul de peleți



Figura 1.39 – Șnecul transportor

Șnecul transportor este antrenat de către un **motor cu reductor** care are rolul de a acționa melcul din interiorul conductei de ghidaj și prin mișcarea elicoidală a acestuia de a avansa peleții către tubul flexibil armat prin cad gravitațional în focarul arzătorului. Acționarea motorului este controlată și monitorizată de către softul de comandă al centralei care funcție de sarcina termică a acestuia crește sau descrește timpul de acționare al motorului, reglând în acest fel debitul de combustibil cu care este alimentat arzătorul.

La finalizarea proiectării executării și asamblării subsistemului de alimentare cu combustibil s-au făcut o serie de încercări și măsurători în urma cărora am luat decizii de îmbunătățire și reglare a întregului subansamblu. Sistemul de alimentare șneac a fost realizat într-o primă etapă cu doi melci transportori independenți care ulterior în urma încercărilor și măsurătorilor succesive a fost modificat într-un singur melc pentru a anula necesitatea corelării vitezelor și capacităților diferite de transport ale celor doi melci. Au fost făcute seturi repetate de măsurători (Figura 1.40) în scopul reglării și adaptării debitelor de alimentare cu peleți ai arzătorului și s-a identificat o funcție după care sistemul de automatizare și control prin semnale electrice temporizate a reușit să preia comanda alimentării cu combustibil.



Figura 1.40 – Imagini din timpul măsurătorilor

## 1.9 Alimentarea cu aer

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

Determinarea raportului excesului de aer optim necesar în arderea peleților 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 peleților 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.

Pentru identificarea tipului de ventilator utilizat la injecția de aer în cazul unui cazan cu o putere maximă de 30 kW s-a trecut la o modelare matematică simplificată pentru arderea unor peleți de calitate medie, redăm mai jos un fragment din foaia de calcul a modelării matematice (Figura 1.41).

Pcazan - puterea cazanului in

[**Pcazan** := 30

Hi - putere a calorifica inferioara a combustibilului in

[**M<sub>Hi</sub>** := 18.5

mcomb - debitul masic de combustibil in [g/s]

$$\mathbf{mcomb} := \frac{\mathbf{Pcazan}}{\mathbf{Hi}} \quad \mathbf{mcomb} = 1.622$$

pd densitate de depozitare in kg/m<sup>3</sup>

**pd** := 350

vcomb debit volumic de combustibil in [dm<sup>3</sup>/s]

$$\mathbf{vcomb} := \frac{\mathbf{mcomb}}{\mathbf{pd}} \quad \mathbf{vcomb} = 4.633 \cdot 10^{-3}$$

**Participatiile masice ale principalelor elemente ce compun biomasa in [kg]**

participatia masica in kg ale elementelor chimice care formează combustibilul ars

**c** := 0.43

**s** := 0.02

C - carbon

**n** := 0.1

S - sulf

N - azot

**a** := 0.1

A - balast

H - hidrogen

**h** := 0.05

O - oxigen

**o** := 0.25

W - apă

**w** := 0.1

Figura 1.41 – Fragment din modelarea matematică a arderii

În urma modelărilor matematice pentru prototipul aflat în analiză s-a creat un subsistem cu următoarele elemente componente:

- Presostat;
- Ventilator;
- Camera suflantei, sistemul de distribuție a aerului.

După determinarea matematică a debitelor de aer necesare arderii și identificarea mai multor tipuri de ventilatoare funcție de puterile viitoare ale cazanelor s-au realizat încercări și s-a trecut la adaptarea ventilatorului la arzătorul prototip. S-au făcut modelări și reglaje continue de debit iar în final a fost stabilită funcția de reglaj controlată de sistemul de automatizare al cazanului. În fig. 8 sunt redată imagini din timpul testelor efectuate.

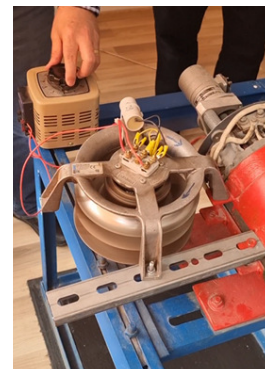




Figura 1.42 – Imagini din timpul testelor efectuate asupra ventilatoarelor

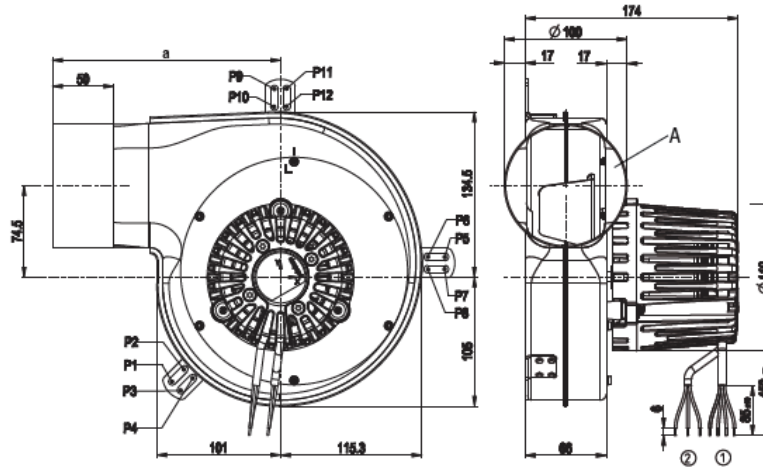


Figura 1.43 – Ventilator ales pentru sistemul pilot - G3G 180-FJ11 -01 [13]

În cazul subsistemului de alimentare cu aer, pentru identificarea tipului de ventilator utilizat la injecția de aer, s-a trecut la o modelare matematică simplificată pentru arderea unor peleți de calitate medie urmând ca rezultatele să fie validate și prin teste efectuate pe sistemul pilot SIVEBER.

După alegerea elementelor necesare în procesul de aprindere au fost create o serie de scenarii prin care să fie solicitate acest sistem în urma cărora s-au identificat disfuncționalități și neconcordanțe care în final prin modelări matematice și analize empirice au permis cererea unui subsistem de aprindere funcțional și fiabil.

## 1.10 Aprinderea combustibilului

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

S-a ales o bujie specială concepută pentru aprinderea peleiților și care are capacitatea de a realiza această funcție într-un număr foarte mare de cicluri.





Figura 1.44 – Testarea subsistemului de aprindere

Au fost testate mai multe variante de elemente de aprindere (rezistență de aprindere, insuflare de aer cald), cu diferite tensiuni de alimentare și de diferite puteri.

### 1.11 Arzătorul

**Arzătorul** (sau **subsistemul arzător**) 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.

Focarul în varianta proiectată și dezvoltată (Figura 1.45) este unul cu răscolire pe peleți este componenta proiectată formată dintr-o serie de elemente care permite arderea efectivă a peletilor. Acesta utilizează peleți de biomasă ca sursă de combustibil pentru a genera căldură.

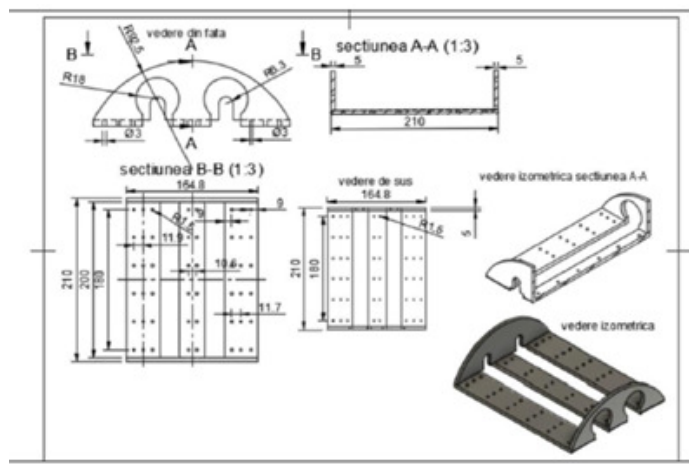






Figura 1.45 – Arzătorul dezvoltat pentru sistemul pilot

Camera de ardere este sub forma unui cilindru. Ea este concepută pentru a asigura o distribuție uniformă a aerului de combustie și a peleților, 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 peleții 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 peleților. 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.

Focarul include sistemul de aprindere utilizat pentru a iniția arderea peleților în camera de ardere. Pentru o ardere eficientă a peleților, este necesar un flux adecvat de aer de combustie în camera de ardere. Aerul provenit de la ventilator este admis 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 peleții ard, se formează cenușă și reziduuri care trebuie eliminate pentru a menține performanța și eficiența focarului. Pentru îndepărtarea acestor depuneri s-a implementat un sistem de curățare automat. Acest sistem realizat prin intermediul tamburilor perforați îndepărtează cenușă și reziduurile din camera de ardere și le transferă în tăvița colectoare. Sistemul de curățare automată este controlat de sistemul de control al focarului și poate fi programat să efectueze curățări periodice sau să funcționeze în funcție de nivelul de depuneri detectat.

Panou 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 peleților într-un focar cu răscolire. Prin intermediul rezervorului de stocare a peleților și a sistemului de alimentare cu peleți, combustibilul este livrat în camera de ardere.

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

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

cat mai intim dintre aerul necesar ardeii și combustibil. După arderea peleiților, 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.

În concluzie, un focar cu răscolire pe peleiți este compus dintr-un ansamblu complex de componente tehnice și sisteme automate care lucrează împreună pentru a asigura o ardere eficientă, controlată și sigură a peleiților de biomasă. Aceste componente și sisteme contribuie la optimizarea performanței, eficienței energetice și siguranței utilizării peleiților în scopul de a furniza căldură și confort într-un mod sustenabil și ecologic.

În concluzie, arzătorul dezvoltat și validat îndeplinește următoarele criterii:

- asigură o ardere eficientă și completă a peleiților, obținând un randament termic ridicat și transformând cât mai multă energie din combustibil în căldură utilă;
- permite reglarea automată a procesului de ardere în funcție de cerințele de încălzire prin ajustarea debitului de peleiți și aerului de combustie;
- respectă măsurile de siguranță adecvate, prevenind supraîncălzirea prin utilizarea senzorilor de temperatură și al sistemului de monitorizare a flăcării;
- oferă acces facil în procesul de curățare și întreținere, elementele care intră în componența arzătorului sunt ușor de demontat și curățat, asigurând o funcționare eficientă și prelungind durata de viață;
- interfața și conexiunile permit o instalare simplă și rapidă;
- oferă flexibilitate în ceea ce privește calitatea combustibilului supusă arderii.

## 1.12 Analiza și monitorizare a gazelor arse

Rolul subsistemului *de analiză și monitorizare a gazelor arse* (11) și a temperaturii din coșul de fum al cazanului este de a asigura funcționarea eficientă a sistemului.

Subsistemul dezvoltat în cadrul sistemului pilot conține și un înregistrator electronic utilizat pe sistemul pilot în vederea achiziției de date în timp real, dar varianta propriu-zisă cuprinde senzorul de oxigen (sonda lambda) și senzorul de temperatură gaze arse.

*Înregistratorul electronic* [16] utilizat, a fost un model cu un afișaj LCD color de 5" și maxim 12 canale analogice (Figura 1.46). Navigarea prin meniurile de afișare și programare se face cu ajutorul unui touchscreen. Memorarea datelor s-a făcut în memoria internă nevolatilă și pe memorii detașabile de tipul USB Stick. Comunicația Ethernet asigură conectarea în rețeaua locală și/sau Internet.



Figura 1.46 – eZtrend® QXe X Series Advanced Graphic Recorder [16]

Senzorul de temperatură gaze arse detectează foarte rapid epuizarea combustibilului în centrala și oprește ventilatorul. Senzorul trebuie montat pe cos și conectat la panoul de control al centralei. Firele senzorului nu pot atinge elementele fierbinți ale cazanului și ale coșului, ale căror temperaturi pot atinge 200 °C. Senzorul de gaze arse trebuie instalat la o distanță de 50-80 cm de cazan, astfel încât să nu fie expus direct la foc.

Acesta este de tipul senzor gaze evacuare PT-1000 [7].



Figura 1.47 – Senzor temperatură gaze arse [15]

Sonda lambda este o componentă a sistemului SIVEBER pilot formată, dintr-un element ceramic poros, din dioxid de zirconiu, un element de încălzire și un tub de protecție și care se integrează pe tubulatura de evacuare a gazelor de ardere.

Sonda Lambda este un senzor conectat la sistemul de monitorizare și control, care în esență constă într-un conductor de curent electric a cărui intensitate variază în funcție de cantitatea de oxigen care traversează sonda.

Testarea și încercarea sondei lambda a avut drept scop monitorizarea și optimizarea arderii, pentru a asigura o eficiență ridicată și reducerea emisiilor. După analiza poziționării corecte a sondei lambda în sistemul de ardere a cazanului cu peleți s-a decis să fie amplasată în zona de evacuare către coșul de fum, pentru a colecta mostre reprezentative ale gazelor de ardere.

Pentru a obține măsurători precise, sonda lambda a fost calibrată corespunzător realizându-se măsurători paralele cu analizoarele de gaze. Această calibrare a fost realizată prin comparație cu un alt dispozitiv de măsurare validat (Testo 330 i) (Figura 1.48). Această etapă ne-a asigurat o acuratețe acceptabilă a măsurătorilor și fiabilitatea datelor colectate în această etapă. Sonda lambda a măsurat proporțiile de oxigen ( $O_2$ ) și monoxid de carbon (CO) din gazele de ardere. Aceste date au fost interpretate culegând informații despre gradul de oxidare al combustibilului și eficiența procesului de ardere.

Utilizând măsurătorile de la sonda lambda, s-au făcut ajustări ale parametrilor de ardere ai cazanului, precum debitul de aer și cantitatea de combustibil alimentată. Scopul a fost de a obține un amestec combustibil-aer optim, asigurând o ardere completă și minimizând formarea substanțelor poluante. Pe parcursul testelor, sonda lambda a fost supusă unor cicluri de funcționare variabile pentru a verifica stabilitatea și răspunsul său la schimbările de parametri. De asemenea, s-a evaluat sensibilitatea sondei lambda la fluctuațiile de temperatură și presiune, pentru a ne asigura că poate furniza măsurători precise și consistente în diferite condiții de funcționare ale cazanului cu peleți.



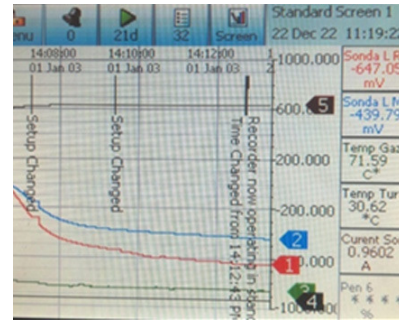


Figura 1.48 – Testarea și încercarea sondei lambda

Date	Time	Tour temp	Boiler ten	Retour te	Smoke te	Lambda1	Lambda 2	Switch 1	Switch 2	Photores	Fan PWM	Pulley stal	ignition rephase	
11/05/202	09:09:46	24.4	24.4	22	81	547	591	1	1	0	92	0	0	stopped
11/05/202	09:10:46	24.3	24.3	22.1	75.75	527	618	1	1	-1	92	0	0	stopped
11/05/202	09:11:46	24.1	24.1	22	72.75	220	610	1	1	-1	92	0	0	stopped
11/05/202	09:12:10	24.1	24.1	22.1	71.25	173	637	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:12:11	24.1	24.1	22.1	71.25	107	553	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:12:46	24	23.9	22.1	68.25	0	574	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:13:46	23.8	23.9	22.1	64.5	0	571	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:14:46	24.1	24.1	22.4	62.75	0	0	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:15:46	24.1	24.1	22.4	55	0	0	1	1	-1	0	0	0	stopped
11/05/202	09:16:46	24.1	24.1	22.4	48.25	0	0	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:17:46	24.1	24.4	22.4	43.5	0	0	1	1	-1	0	0	0	stopped
11/05/202	09:18:46	24.2	24.4	22.4	39.25	0	0	1	1	-1	0	0	0	stopped
11/05/202	09:19:46	24.2	24.6	22.4	37.5	0	0	1	1	0	0	0	0	stopped
11/05/202	09:20:46	24.3	24.7	22.4	35.75	0	0	1	1	-1	0	0	0	stopped
11/05/202	09:21:46	24.4	24.7	22.5	34	0	0	1	1	-1	0	0	0	stopped
11/05/202	09:22:46	24.4	24.7	22.5	33	0	0	1	1	0	0	0	0	stopped

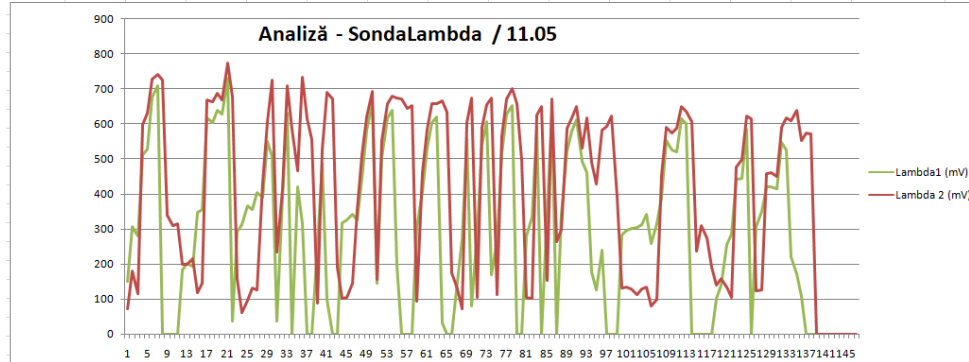


Figura 1.49 – Extras din testele din 11.05.2023 cu sondă lambda.

- [1] Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles T.R., Combustion properties of biomass. Fuel Process. Technol. 1998, 54, 17–46
- [2] Valente, L. & Tarelho, L.A.C. & Costa, V.A.F.. (2020) - Emissions mitigation by control of biomass feeding in an industrial biomass boiler. Energy Reports. 6., 483-489
- [3] Jae Won Eo, Min Jun Kim, et. all, Enhancing thermal efficiency of wood pellet boilers by improving inlet air characteristics, Energy, Volume 228, 2021, 120475, ISSN 0360-5442
- [4] Carlos V.S, Lina M, Manuel A.O., Experimental analysis of a bubbling fluidized bed gasification plant fed by biomass: Design, implementation and validation of the control system., Conference: ICREN2020, Volume 239, 2021.
- [5] Mižáková J., Pitel' J., Hošovský A., Pavlenko I., Ochowiak M., Khovanskyi S., Biomass Combustion Control in Small and Medium-Scale Boilers Based on Low Cost Sensing the Trend of Carbon Monoxide Emissions, Processes 9, no. 11, 2021
- [6] <https://www.optimusdigital.ro/ro/convertoare-analogic-numerice-adc>
- [7] <https://www.ti.com/>
- [8] <https://projects.raspberrypi.org>
- [9] <https://datasheetspdf.com/pdf/749068/Sunshine/KSD301/1>
- [10] <https://docs.expo.dev/>
- [11] <https://www.kenta.it/> [12] <https://www.romstal.ro/>
- [13] <https://www.ebmpapst.com/content/dam/ebm-papst/media/catalogs/industries/>
- [14] <https://www.imit.it/pdf/catalogo/production-range-2023.pdf>
- [15] <https://www.controler-e.ro/catalog/accesorii-controlere-72>
- [16] <https://www.honeywell.com/us/en/search?search=eZtrend+QXe&tab=All+Sites>
- [17] [https://www.testo.com/ro-RO/produse/testo\\_330i](https://www.testo.com/ro-RO/produse/testo_330i)
- [18] <https://sid.siemens.com/v/u/28199>
- [19] <https://www.analog.com/en/products/max6675.html>
- [20] <https://ardushop.ro>
- [21] <https://www.icmet.ro/>
- [22] <https://www.analog.com>
- [23] <https://www.shelly.cloud/>