

RAPORTULUI STIINTIFIC SI TEHNIC

CUPRINS-ETAPA IV

Elaborarea documentiei tehnice pentru sistemul cu trigenerare/ Experimentari privind micro-cogenerarea

Obiective generale

Obiective specifice etapei IV

Rezumat

DESCRIEREA STIINTIFICA SI TEHNICA

-DST-

Activitatea IV.1 Elaborarea documentatiei tehnice	11
IV.1.1 Modele conceptuale de sisteme mCCHP	11
IV.1.1.1 Curbe de sarcină ale cererii de energie din rezidență	11
IV. 1.1.2 Curbe de sarcina produse de sistemul mCCHP	15
IV. 1.1.3. Corelații între curbele de sarcină ale cererii și producției de energie	16
IV.1.2 Sistem mCCHP cu pile de combustie	21
IV.1.2.1. Modelul conceptual al sistemului m CCHP cu pile de combustie	21
IV.1.2.2 Determinarea performantelor sistemului mCCHP cu pile de combustie	24
Activitatea IV.2 Realizarea modelului experimental a sistemului de micro -cogenerare -mCHP	29
IV. 2.1. Realizarea schemei termico-hidraulice	29
a. Centrala termica	32
b. Celula de combustie	36
c. Schimbator/recuperator de caldura	36
IV. 2.2. Realizarea schemei electrice	37
Activitatea IV.3 Testarea funcțională a modelului experimental	40
IV.3.1 Structura sistemului experimental de microcogenerare	40
IV. 3.2. Descrierea functionala a modelului experimental	43
3.2.1 Unitatea de cogenerare	43
3.2.2 Uniatatea generare caldura	51

Activitatea IV.4 Prelucrarea rezultatelor experimentale	59
IV.4.1 Caracteristicile celulei de compustie	59
IV.4.1.1. Caracteristici la functionarea pilei de combustie în sarcină constantă	59
IV.4.1.2. Caracteristici la functionarea pilei de combustie în sarcina variabilă	60
IV.4.1.3. Caracteristici la functionarea sistemului de cogenerare la sarcina variabila	63
IV. 4.2. Caracteristicile de functionare ale centralei	65
Activitatea IV.5 Studiul impactului instalației asupra mediului ambient (zgomot, noxe) si analiza metodelor cele mai eficiente pentru reducerea acestora	67
5.1. Indicatori de calitate și risc asupra mediului ambiant	68
5.2. Elemente generale	71
5.3. Indicatori tehnici privind economia de combustibil	72
5.4. Indicatori tehnici privind emisiile de noxe	74
5.5. Relații utile pentru indicatorii definiți	76
5.6. Dependente grafice privind economia de combustibil	82
5.7. Dependente grafice privind diminuarea emisiilor de CO ₂	86
Activitatea IV.6 Analiza posibilităților de adaptare a sistemului de trigenerare pentru diferiti beneficiari	97
6.1. Elemente generale	97
6.2. Soluții tehnice posibile	98
6.3. Exemple de adaptare a centralelor de trigenerare pentru diverși consumatori	108
Activitatea IV.7 Elaborarea unui manual pentru sistemul de trigenerare	116
Anexe	117

REZUMAT

Obiectivul general este de a studia si realiza un echipament complex de trigenerare/cogenerare capabil sa produca electricitate, apa calda si caldura sau frig, cu o distributie descentralizata, elastica (apa calda si electricitate, apa calda si racire, apa calda si caldura sau orice alta combinatie), reglabila la dispozitia utilizatorului in functie de necesitatile orare.

Obiective specifice ale etapei :

- 1 Elaborarea unei metodologii de dimensionare constructivă a unui sistem autonom de co/ trigenerare,
- 2 Realizarea unui model experimental de cogenerare pentru validarea cercetărilor efectuate,
3. Testarea modelului experimental în laborator,
4. Experimentari privind procesul de cogenerare.

Scopul proiectului este ca prin cercetări teoretice si aplicative privind modelarea, experimentarea pe model, determinarea caracteristicilor sistemului cât și optimizarea proceselor de conversie multiplă a energiei sa se obtina un sistem autonom de producere a energiei termice si electrice fara conectare la rețeaua de electricitate..

Rezultat al cercetarilor variantelor posibile de sisteme autonome de trigenerare a fost implementata in cadrul proiectului solutia experimentală care contine un motor primar ce utilizeaza combustibili ecologici. In acest sens, s-a analizat conceptual un sistem de cogenerare cu pila de combustie ce poate utiliza biogazul drept combustibil. Sistemul de microcogenerare cu pila de combustie (mCHP-FC) este alcatuit din trei unitati functionale:

1. Unitatea de cogenerare (pila de combustie), care produce energie electrica pe baza unui combustibil primar (hidrogen) si a oxigenului din atmosfera,
2. Unitatea de generare energie termica la varf (centrala termica) care genereaza caldura pentru a asigura confortul în perioadele reci,
3. Unitatea de control, gestiune energii, operare si protectie sistem.

Schema conceptuala a modelului experimental pentru sistemul de microcogenerare, bazat pe o pila de combustie PEM, este redată in figura 1.

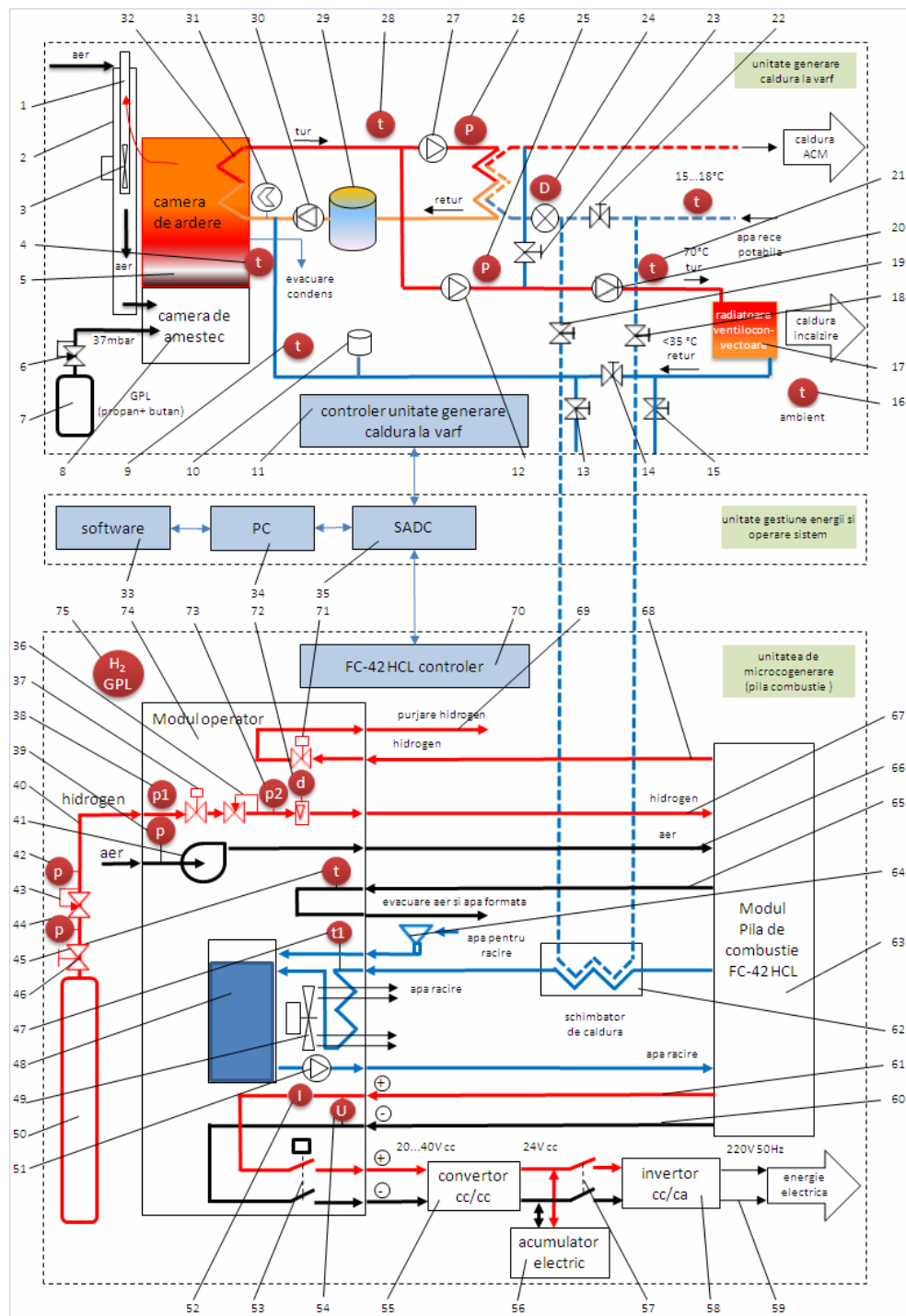


Fig.1 Schema conceptuala a modelului experimental pentru sistemul de microgenerare bazat pe o pila de combustie PEM

Pentru realizarea modelului experimental a sistemului de micro-cogenerare m-CHP se folosesc trei module, respectiv o centrala termică în condensare pentru încălzirea

clădirilor rezidențiale (1), o pilă de combustie (3) cu puterea de 720W împreună cu modulul de operare al acesteia și un schimbator/recuperator de căldură (2) cu elementele sale de conectare/separare.

Schema termică a sistemului experimental este prezentată în Fig. 2.

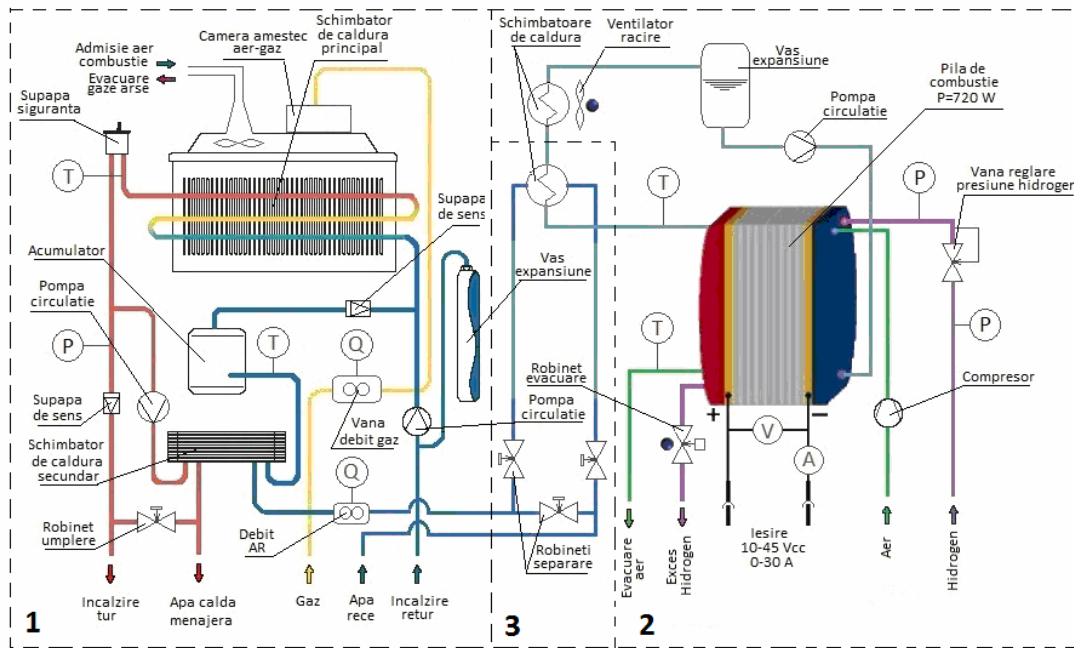


Fig.2. Schema termică a modelului experimental de cogenerare

Conceperea schemei electrice s-a realizat pornind de la necesitatea ca sistemul de micro-cogenerare să fie absolut autonom din punctul de vedere al alimentării cu energie electrică.

În acest fel necesarul de energie electrică al consumatorilor s-a stabilit plecând de la necesarul de energie a instalației de producere a energiei termice (apă caldă pentru încălzire și ACM), consumul propriu a sistemului de operare a celulei de combustie și de o rezerva de energie necesară pentru acoperirea consumurilor instalației de iluminat și a aparatelor electrocasnice dintr-o locuință mică.

Din acest calcul, având în vedere că puterea centralei termice este de max. 130W și consumul propriu a sistemului de operare al celulei de combustie este de max. 140W, s-a ales o celulă de combustie cu o putere de 720W. A rezultat deci o rezerva de putere de 450W pentru ceilalți consumatori (iluminat, aparate electrocasnice etc).

Evident, rezerva de putere este redusă însă alegerea celulei de combustie FC-42 360/720W a fost făcută ținând cont de prețul relativ ridicat al acestui echipament și de faptul că restul consumatorilor pot fi dimensionați și aleși astfel încât consumul de energie electrică să fie minim, respectiv iluminat cu becuri cu LED, aparate în clase energetice superioare (A, A⁺) etc.

Totodată o altă măsură pentru minimizarea consumurilor o constituie un management eficient al acestor consumuri.

Odată echipamentele alese s-a pus problema “amorsării” sistemului de micro-cogenerare, adică a alimentării echipamentelor cu energie electrică pe durata pornirii sistemului; soluția aleasă a fost un sistem de înmagazinare a energiei electrice, respectiv o baterie de acumulatori de 24V, 60Ah. Această alegere se dovedește benefică și pentru acoperirea unui consum ce depășește, pe perioade scurte, puterea celulei de combustie.

Asfel a rezultat schema electrică a sistemului de micro-cogenerare având schema electrică de principiu prezentată în fig. 3.

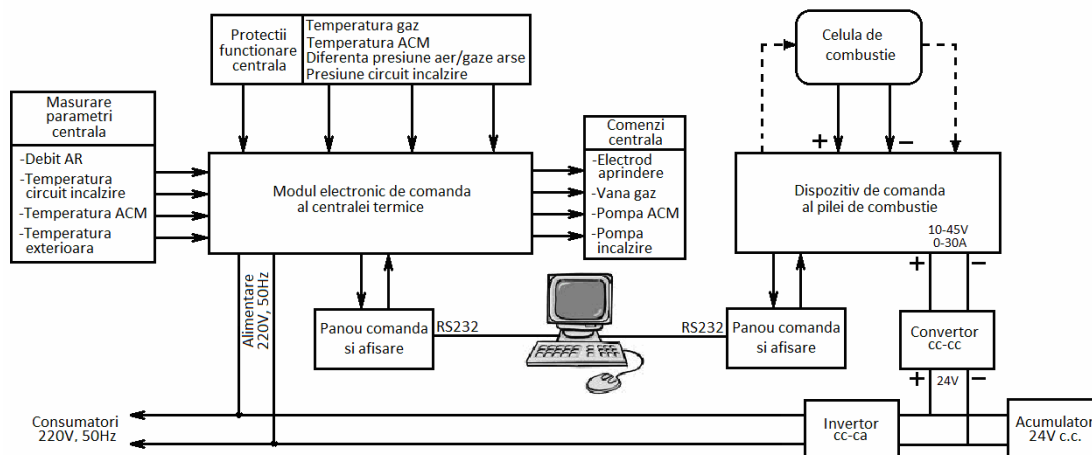


Fig. 3. Schema electrică de principiu a sistemului de cogenerare m-CHP

Instalația electrică a centralei permite, prin intermediul unui modul electronic de comandă cu microcontroler, monitorizarea parametrilor de funcționare a acesteia (temperatura tur circuit de încălzire, temperatura exterioară, temperatura de ieșire a ACM, debit AR etc) și, în funcție de valoarea acestora, comanda funcționarea centralei (aprinderea gazului, modularea flăcării, pornirea și reglarea turatiei pompelor etc). Totodată, supraveghează o serie de parametri ai centralei care, dacă ar ieși din limite, ar

produce anomalii si pericole în exploatarea acesteia (temperatura si presiune tur circuit de încălzire, temperatura de iesire a ACM, evacuare gaze arse, admisie aer pentru combustie). Cu ajutorul unui modul de achizitie de date prin RS 232 parametrii functionali ai pilei si centralei termice sunt monitorizati in PC.

S-a obtinut astfel un sistem autonom de generare a energiei electrice si termice fara conectare la rețeaua nationala de electricitate. Soluția propusa crește aria de aplicabilitate si de utilizare a sistemelor de conversie a energiei in special in zonele izolate neelectrificate.



Figura 1. Imagine cu modelul experimental de microgenerare bazat pe pila de combustie tip PEM, FC-42 HCL 1

1. tub evacuare gaze arse
2. sas etans
3. tub admisie aer
4. ventilator evacuare gaze arse
5. traductor temperatura arzator
6. camera de ardere
7. aprindere flacara
8. regulator presiune
9. supapa de reglare
10. rezervor GPL
11. camera de amestec aer/combustibil gazos
12. traductor temperatura retur agent de incalzire
13. vas de expansiune
14. controler unitate generare caldura la varf
15. pompa de recirculare agent incalzire
16. robinet separare
17. robinet separare
18. robinet separare
19. traductor temperatura spatiu rezidential (cronotemporizator)
20. elemente de radiere caldura (ventiloconvectoare)
21. robinet separare
22. robinet separare
23. supapa de sens
24. traductor temperatura tur
25. traductor temperatura iesire ACM
26. robinet separare
27. robinet alimentare cu apa a circuitului de incalzire
28. traductor presiune agent de incalzire
29. traductor de debit
30. schimbator de caldura cu placi
31. traductor presiune
32. pompa de recirculare circuit intern
33. traductor de temperatura
34. rezervor acumulare intern
35. supapa de sens
36. protectie la supraincalzire in circuitul intern
37. schimbator de caldura cu condensare
38. software pentru comanda, protectia si controlul sistemului
39. calculator personal
40. sistem de achizitie de data si control (microcontroler)
41. regulator presiune hidrogen
42. servovalva
43. traductor de presiune
44. traductor de presiune
45. conducta alimentare cu hidrogen
46. compresor pentru aer

47. manometru hidrogen presiune joasa
48. regulator de presiune hidrogen
49. manometru hidrogen presiune inalta
50. traductor temperatura aer evacuare
51. robinet cu ac pentru hidrogen
52. traductor temperatura apa racire
53. rezervor apa racire (circuit intern)
54. ventilator
55. butelie de hidrogen
56. pompa apa racire pila de combustie
57. traductor de curent continuu
58. contactor
59. traductor de tensiune continua
60. convertor cc/cc
61. baterie de acumulatori cu plumb
62. intrerupator sarcina
63. inverter cc/ca
64. retea locala 220V 50Hz
65. iesire forta cc (-)
66. iesire forta cc(+)
67. schimbator de caldura
68. Modul pilă de combustie FC-42 HCL
69. palnie si conducta de alimentare cu apa a circuitului intern de racire
70. conducta flexibila de evacuare a aerului de reactie din pila
71. conducta flexibila de alimentare cu aer de reactie a pilei de combustie
72. conducta flexibila de alimentare cu hidrogen de reactie a pilei de combustie
73. Filtru de aer
74. conducta flexibila de evacuare a hidrogenului din pila de combustie
75. conducta flexibila purjare hidrogen din sistem
76. FC-42 HLC controler
77. servovalva de purjare a hidrogenului de la anod
78. traductor de debit a hidrogenului
79. traductor de presiune de lucru a hidrogenului in pila de combustie
80. modul operator al pilei FC-42 HCL
81. traductor prezenta H₂, GPL (propan, butan) cu avertizare sonora

Caracteristici tehnice ale sistemului de microcogenerare sunt:

Unitate microcogenerare (mCHP)

Tip: Pila de combustie tip PEM de temperatura joasa(55°C)

Performante(Pel/Pth) : 0,72 kW_e /0,8 kW_{th}

Tip de operare: putere modulata

Domeniu de reglaj : 10-100% Pel

Combustibil: hidrogen (posibilitate extindere la gas metan, biogas)

Eficiența electrică: 30%

Eficiența globală(CHP): aprox 85%

Generator auxiliar de caldura

Tip :centrala termica murala cu condensatie

Performante (P_{th}) : 4-24 kW_{th}

Combustibil: gas metan, biogas , butan

Sistem de comanda, protectie si monitorizare

Afisare locala a parametrilor functionali (p,U,I,P,T, Q)

Achizitie si transmitere de date la PC

Rezultat al experimentarii regimurilor de cogenerare ale sistemului in regim dinamic la variatii ale puterii debitate de pila (figura 5) s-a ridicat caracteristica externă a pilei de combustie (figura 6) si graficul de variatie al tensiunii de iesire din inverter functie de timp(fig.7) Exista o variatie a tensiunii între 228,1V si 230,8V ceea ce înseamnă o abatere de 4,9% față de tensiunea monofazată de 220V.

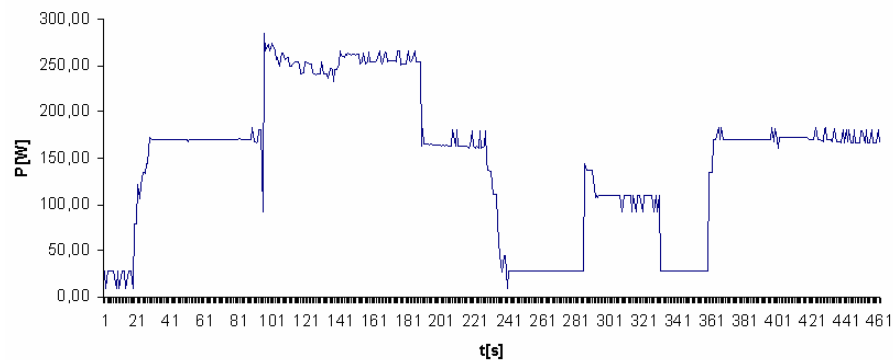


Fig. 5Curba de sarcina

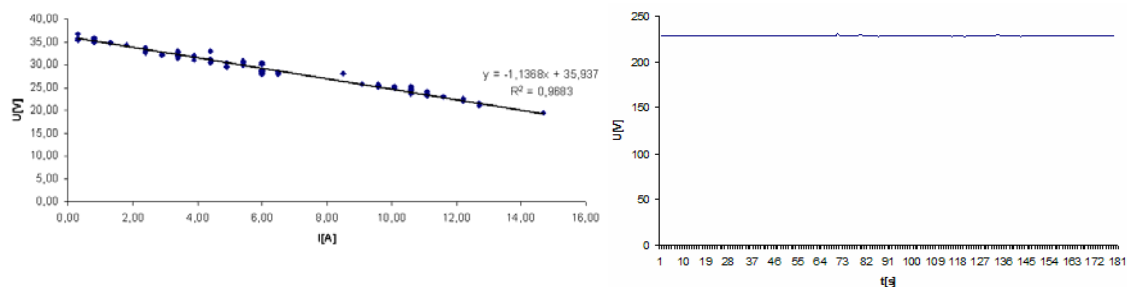


Figura 6 Caracteristica externa

Fig. 7Valoarea efectiva a tensiunii de iesire

Caracteristicile dinamice ale centralei la producerea de ACM si apa calda pentru alimentare ventilo-convectoare sunt redade in figurile 8 si 9

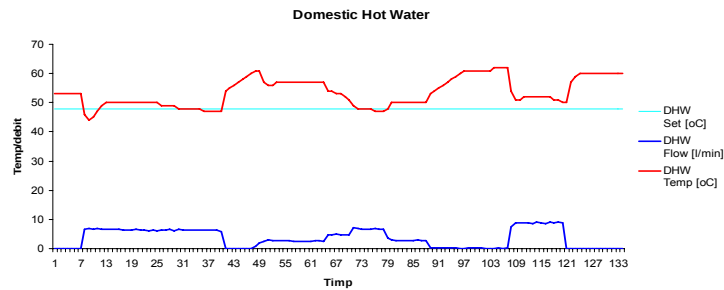


Fig. 8 Caracteristicile centralei la producerea de ACM

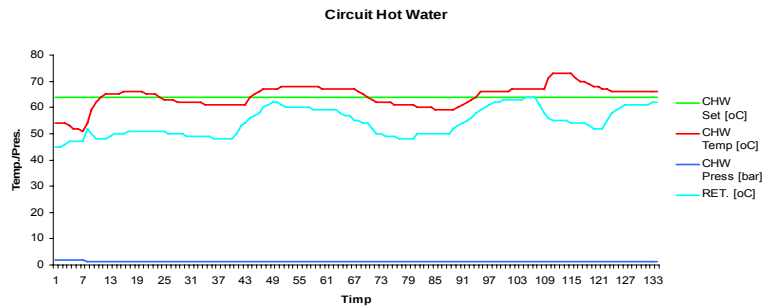


Fig. 9 Caracteristicile centralei la incalzire

Pentru testarea funcțională a boilerului și prelucarea datelor experimentale în cadrul etapei, s-a realizat un sistem de monitorizare a funcționării boilerului, ca parte componentă a unui sistem de control, monitorizare și protecție (SCMP) a sistemului cu trigenerare de tip CCHP.

Structura generală a sistemului de control, monitorizare și protecție este o structură distribuită pe două niveluri, prin folosirea unui calculator PC ca sistem coordonator, și a mai multor sisteme de conducere subordonate (SCS), de tip AP, PLC sau sisteme încorporate cu microcontroler (uC). Schema bloc generală pentru conducerea distribuită este ilustrată în Fig.10. Funcționarea optimă de ansamblu este asigurată de PC, prin comanda corelată a regimurilor de funcționare către fiecare SCS, în funcție de condițiile de operare și factorii perturbatori.

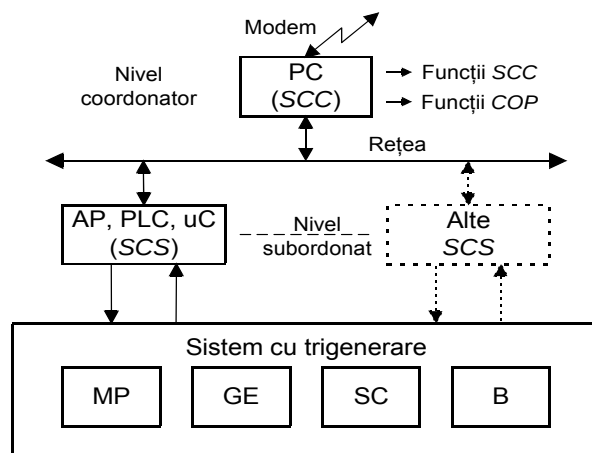


Fig. 10. Structura SCMP a sistemului cu trigenerare

În cadrul SCMP, sistemul de monitorizare a boilerului (SMB) funcționează în regim ghid operator și folosește ca sistem subordonat, sistemul embedded de control al boilerului, implementat cu microcontroler (NEC 78F9418). Pe nivelul ierarhic superior, PC-ul îndeplinește atât funcțiile unei console operator (COP), cât și o serie de funcții specifice de prelucrare, de gestionare a bazelor de date și de comunicații la mare distanță.

Structura SMB, implementată în cadrul etapei, este ilustrată în Fig. 11.

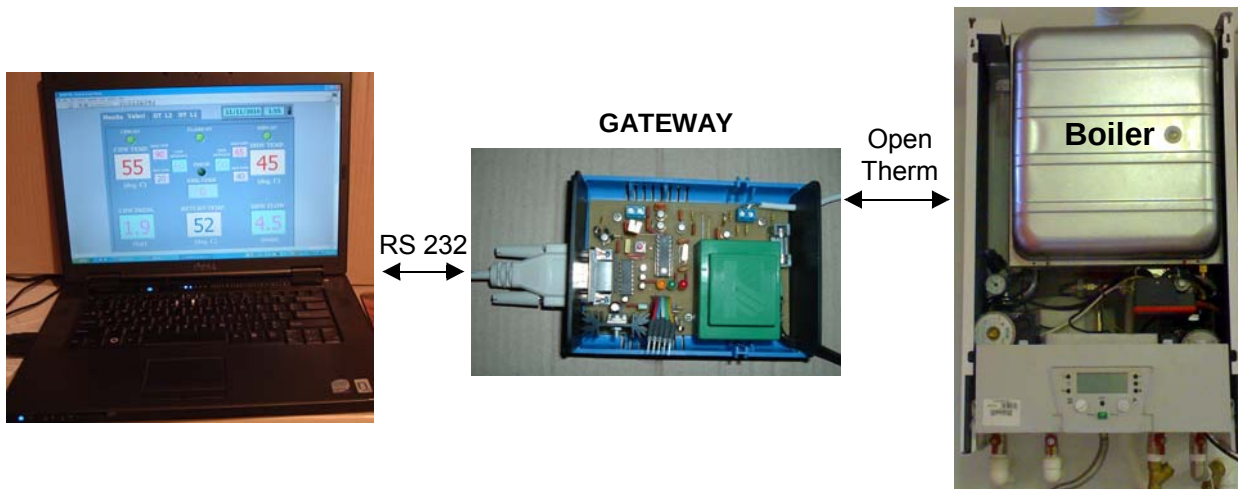


Fig. 11. Structura sistemului de monitorizare a funcționării boilerului

Sistemul de monitorizare a boilerului realizează următoarele funcții:

- achiziționează periodic date de la microcontrolerul boilerului;
- vizualizează principalii parametri, afișând valori instantanee ale mărimilor achiziționate, pe un afișaj virtual, similar cu cel al boilerului, cât și pe schema sinoptică a acestuia;

- stochează datele într-un fișier pe hard disc, în vederea prelucrării lor ulterioare.

Funcția de achiziție se realizează printr-o comunicație serială specială între PC și microcontrolerul boilerului, prin intermediul unui dispozitiv de tip Poarta (Gateway). Aceasta leagă rețele cu protocoale de comunicație diferite, modificând structura pachetelor de date și tipul semnalelor pe canalele fizice de comunicație.

Funcțiile de vizualizare și stocare a datelor pe hard disc sunt realizate pe PC, prin intermediul unei interfețe grafice utilizator, care este implementată în limbajul de programare grafică Labview.

Dispozitivul Gateway a fost necesar deoarece, microcontrolerul boilerului comunică cu exteriorul pe un protocol serial OpenTherm, în timp ce PC-ul este conectat la interfața de comunicație serială asincronă RS232. În plus, în standardul RS232, semnalul este de tip tensiune în codificare NRZ, în timp ce pentru OpenTherm, propagarea semnalelor se face bidirecțional pe 2 fire, în curent, respectiv în tensiune, prin codificare Manchester.

OpenTherm este un sistem de comunicație serială punct-la-punct, la care se conectează doar două dispozitive (conexiune fără magistrală). Un dispozitiv este master, iar celălalt slave. Comunicația este half-duplex, fiind totdeauna inițiată de către master. Utilizat ca atare, permite conectarea directă a unui cronotermostat (master), cu un boiler (slave).

Pentru conectarea mai multor unități slave cu un același master, este necesară utilizarea unui dispozitiv de comutare (switch) cu mai multe porturi. În plus, unitățile slave trebuie identificate cu adrese diferite. Comunicația rămâne tot de tip punct-la-punct, între unitatea master și switch, respectiv, între switch și unitatea slave adresată.

Dacă se dorește implementarea unei structuri distribuite de conducere, prin adăugarea unui PC ca sistem coordonator, atunci este necesară utilizarea unui dispozitiv Gateway. Aceasta este soluția aleasă pentru implementarea SMB. Poarta a fost realizată cu microcontroler (PIC 16F628) și are sursă proprie de alimentare, după cum se poate observa în Fig.12

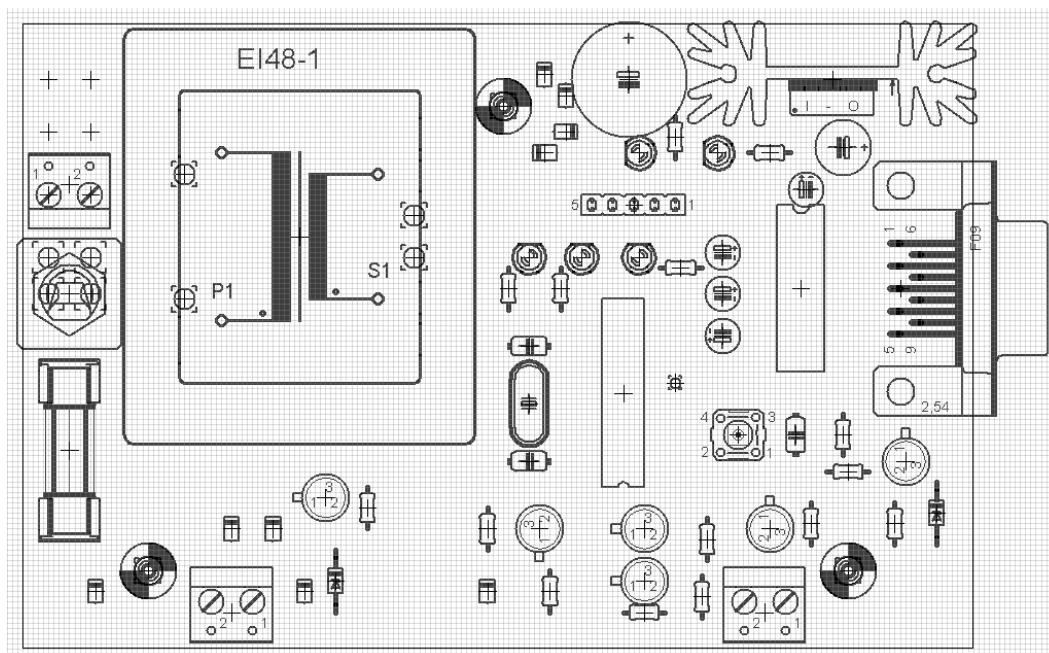


Fig.12 Dispozitivul Gateway (amplasarea componentelor)

Poarta conține 2 circuite de interfațare la protocolul OpenTherm. La cea de a doua interfață se poate conecta un al doilea boiler, ca unitate slave, sau un cronotermostat, ca unitate master pentru boilerul primar.

În funcție de modul de interconectare, programul din microcontroler diferă. De aceea, a fost realizată și o interfață serială de programare (ICSP = In Circuit Serial Programming), care permite programarea microcontrolerului în timpul funcționării acestuia.

Dispozitivul Gateway permite trei moduri de interconectare:

a) conectarea unui singur boiler (soluția implementată), ca unitate slave, caz în care PC-ul joacă și rol de dispozitiv master în comunicația OpenTherm.

PC-ul trimite periodic câte o comandă de citire a unei date de la boiler, și așteaptă primirea unui pachet cu valoarea datei, într-un timp predefinit de standardul OpenTherm. În cazul în care pachetul nu ajunge în timpul definit, comanda respectivă este retransmisă către boiler. Pentru fiecare tip de dată, există o adresă unică de identificare.

Cele două protocoale de comunicație, între PC și Gateway, respectiv între Gateway și Boiler, sunt implementate pe 2 niveluri ale modelului OSI: nivelul fizic,

respectiv nivelul legătură de date. Structura pachetelor de date este diferită, având 4 octeți pe canalul OpenTherm, respectiv 10 octeți pe canalul RS232.

Programul implementat în microcontrolerul dispozitivului Gateway realizează, în buclă infinită, următoarele sarcini:

- recepția pachetului de 10 octeți de la PC, în buffer-ul de comunicație serială;
- despachetarea acestuia și reîmpachetarea datelor în buffer-ul de 4 octeți al OpenTherm;
- emisia pachetului pe OpenTherm, către boiler, folosind codificarea de linie Manchester;
- recepția pachetului de 4 octeți de la boiler, în buffer-ul de 4 octeți al OpenTherm, prin sistemul de întreruperi și decodificare Manchester;
- despachetarea datelor și reîmpachetarea acestora în buffer-ul de comunicație serială, de 10 octeți, pentru PC;
- emisia pachetului de 10 octeți, pe RS232, către PC;

b) conectarea unui boiler, ca unitate slave, și a unui cronotermostat, ca unitate master.

În acest caz, Poarta înlesnește comunicația între master și slave, pe protocolul OpenTherm, fiind transparentă pentru cele două dispozitive. Simultan reformatează pachetele de date și le transmite la PC, care le vizualizează și le stochează pe hard disc;

c) conectarea a două boilere, ca unități slave, caz în care PC-ul joacă și rol de dispozitiv master în comunicația OpenTherm, trimițând comenzi alternative către cele două boilere. În acest caz, comenzile pe OpenTherm au aceeași adresă de identificare pentru ambele boilere, iar Poarta trebuie să știe să comute pachetele de la PC, către boilerul destinație, pe baza unor informații suplimentare primite de la PC.

Interfața grafică Labview. Interfața grafică utilizator este implementată în limbajul de programare grafică Labview. Pentru realizarea aplicației software de supraveghere a funcționării boilerului, trebuie rezolvate o serie de sarcini generale, caracteristice oricărui sistem de monitorizare, precum și sarcini specifice.

Interfața grafică Labview este implementată într-o structură ierarhizată, având mai multe componente software, după cum se arată în Fig.13 Aplicația rulează în buclă infinită, folosind principiile programării paralele, astfel încât programele componente să ruleze în paralel, cu durate de repetiție proprii.

- verificarea erorilor de comunicație, și în cazul apariției lor, afișarea unui mesaj de eroare;
- actualizarea și afișarea valorilor instantanee ale mărimilor primite de la boiler;
- actualizarea vectorilor de valori cumulate într-un minut;
- valorile instantanee sunt testate cu pragurile stabilite pentru funcționarea normală, și în cazul depășirii lor, se vor afișa mesaje de eroare.
- în momentul în care se schimbă minutul în ora curentă, vectorii de valori cumulate sunt salvați într-un fișier text, care în orice moment poate fi importat într-un program de prelucrare statistică a datelor;

Afișarea valorilor instantanee ale mărimilor primite de la boiler se face prin indicatoare numerice sau logice, conform cu tipul mărimilor achiziționate de la boiler,. Mărimile afișate sunt poziționate într-o manieră similară cu cele afișate de boiler pe propriul display. În plus, în figura 14 se poate observa afișarea datei și orei curente, precum și a indicatorului boolean, ce indică funcționarea comunicației cu boilerul.

Mărimile numerice afișate sunt:

- CHW TEMP = temperatură încălzire tur (°C)
- DHW TEMP = temperatură apă caldă menajeră (°C)
- RETUR TEMP = temperatură apă retur (°C)
- CHW PRESS = presiune apă încălzire (bar)
- DHW FLOW = debit apă menajeră (l/min)
- CHW SETPOINT = valoare prestabilită a temperaturii încălzire tur (°C)
- DHW SETPOINT = valoare prestabilită a temperaturii apă caldă menajeră (°C)
- MAX și MIN CHW = valorile limită ale temperaturii încălzire tur (°C)
- MAX și MIN DHW = valorile limită ale temperaturii apă caldă menajeră (°C)
- ERR CODE = codul de eroare, indicat de boiler la funcționare anormală

Mărimile logice afișate sunt:

- CHW ON = funcționare circuitul de încălzire
- DHW ON = funcționare circuitul de apă caldă menajeră
- FLAME ON = existență flacără
- ERROR = prezență eroare în funcționarea boilerului

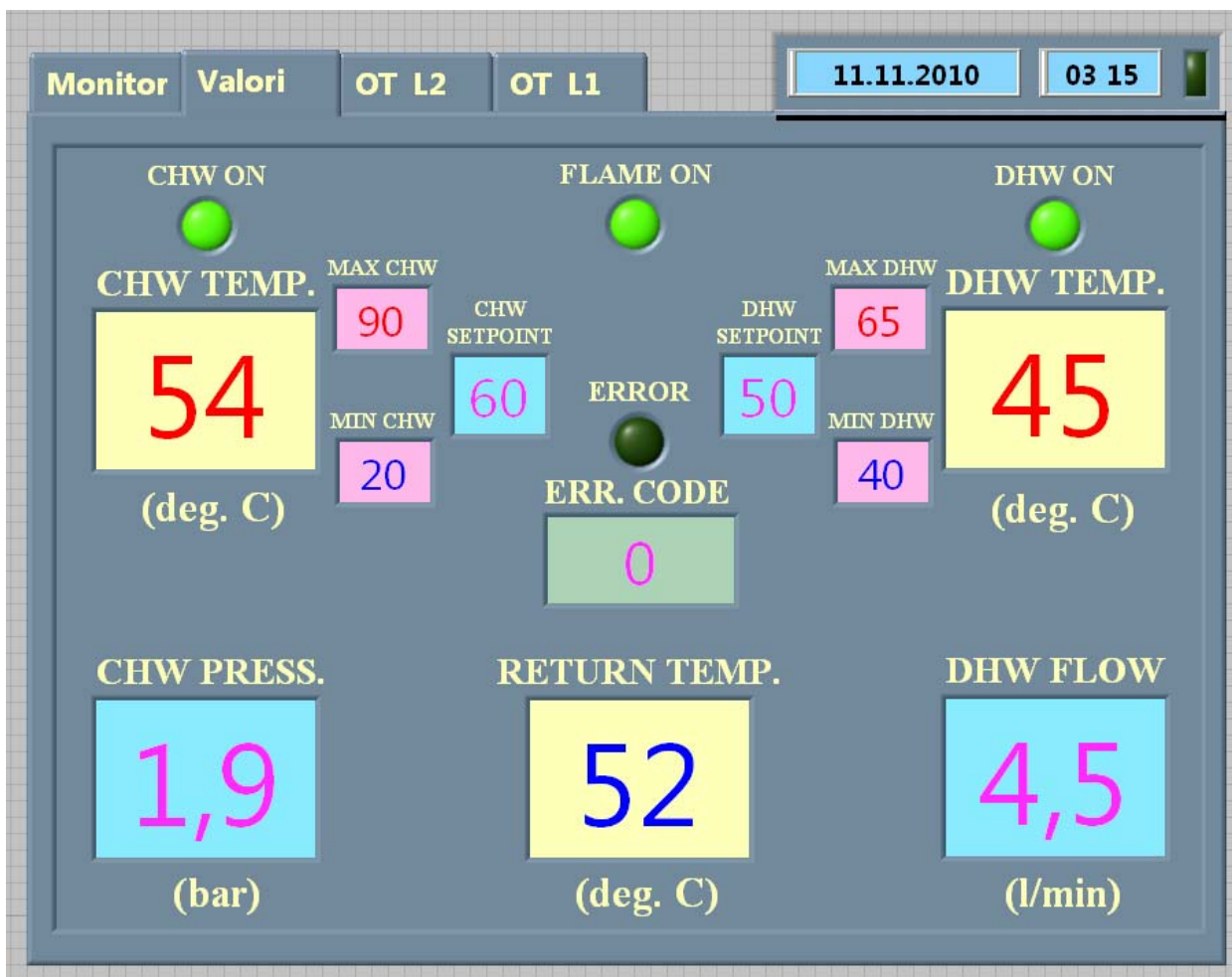


Fig. 14. Afișarea valorilor instantanee ale mărimilor achiziționate de la boiler

Funcționarea boilerului poate fi urmărită pe schema sinoptică din Fig.15. În timpul rulării, interfața grafică vizualizează, într-o manieră animată, circuitul aflat în funcțiune: încălzire sau apă caldă menajeră.

Conductele circuitelor sunt colorate diferit, pentru tur și retur. Colorarea este animată, pe măsură ce respectivul circuit intră în funcțiune. Dacă circuitul este oprit, conductele corespunzătoare sunt colorate în gri. În plus, circuitul de gaz este colorat galben, dacă sistemul detectează flacără pornită.

De asemenea, poziționarea mouse-ului peste senzorii de temperatură, de presiune, respectiv de debit, afișează denumirea mărimii respective și ultima valoare instantanee, achiziționată de la boiler.

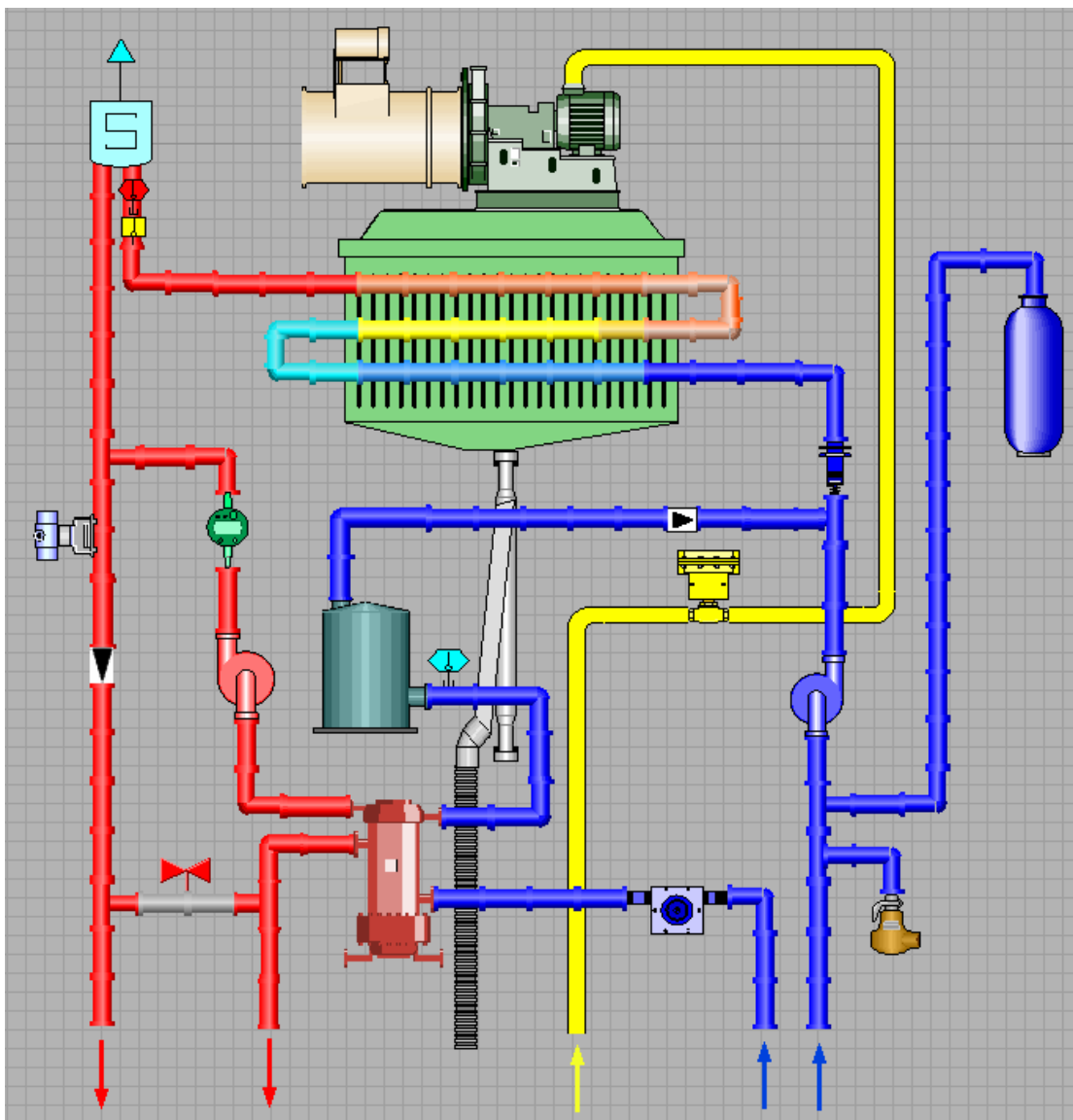


Fig. 15. Schema sinoptică de funcționare a boilerului