

UNIVERSITATEA „PETRU MAIOR” TARGU-MURES
FACULTATEA DE INGINERIE
SPECIALIZAREA: SISTEME AUTOMATE DE CONDUCERE A
PROCESELOR INDUSTRIALE

Aplicație SCADA

**Simularea procesului de incalzire
a unei pompe de caldura**

Student:
Puscas Mihai

2011

1. Descrierea aplicatiei

O pompa de caldura este o masina termica de lucru, care consuma energie de actionare (lucru mecanic sau caldura) pentru a transfera caldura de la o sursa de caldura cu potential termic coborat - de regula neutilizabil, aflat in apropierea mediului ambiant si numit "izvor de caldura" - catre o alta sursa de caldura aflata la un potential termic ridicat, la care caldura poate fi utilizata.

Funcționarea pompelor de căldură se bazează pe proprietățile unui fluid la schimbarea stării de agregare, mai precis la lichefiere și evaporare. Cel mai adesea pompele de căldură extrag căldura din aer sau pământ, motiv pentru care unele din ele nu mai lucrează eficient când temperatura mediului scade sub -5°C .

In cazul aplicatiei de fata am ales pentru "sursa rece" energia termica a pamantului, datorita avantajului major pe care il prezinta: variatia foarte mica sau deloc a temperaturii si independenta fata de temperatura aerului atmosferic.

Principiul de functionare al pompei de caldura se bazeaza pe exploatarea proprietăților fizice ale unui fluid cunoscut sub denumirea de "agent frigorific" atunci când acesta trece prin procese de evaporare și de condensare.

Fluidul de lucru, în stare gazoasă, este sub presiune și circulat prin sistem prin intermediul unui compresor. La ieșirea din compresor, gazul acum fierbinte și sub presiune mare este răcit într-un schimbător de căldură numit "condensator", până când condensează într-un lichid aflat la o presiune mare și o temperatură moderată. Agentul frigorific condensat trece apoi printr-un dispozitiv de scădere a presiunii ca o supapă de expansiune. După acest dispozitiv, lichidul refrigerant aflat acum într-o stare quasi-lichidă trece printr-un alt schimbător de căldură numit "evaporator" în care agentul refrigerant se evaporă prin absorbție de căldură. Fluidul revine astfel la compresor și ciclul se repetă.

Într-un astfel de sistem este esențial ca agent frigorific ajungă la o temperatură suficient de mare atunci când comprimat, deoarece conform legii a doua a termodinamicii caldura nu poate curge dintr-un mediu rece la unul mai cald.

Practic, acest lucru înseamnă că agentul frigorific trebuie să ajungă la o temperatură mai mare decât cea ambientală în jurul schimbătorului de căldură din partea de presiune înaltă. În mod similar, lichidul trebuie să ajungă la o temperatură suficient de scăzută după expansiune pentru a putea absorbi energie termică din mediul rece, adică lichidul trebuie să fie mai rece decât mediul înconjurător schimbătorului de căldură din partea de joasă presiune.

2. Structura pompei de caldura

Pompa de caldura cu sursa pamantului, are in structura un vaporizator alimentat cu apa provenita dintr-un circuit inchis aflat in pamant, si un condensator ce poate fi racit fie cu aer, fie cu apa. O alta componenta principala este compresorul care comprima agentul frigorific, astfel crescand presiunea si tot odata temperatura. Agentul frigorific cu noua presiune si temperatura intra intr-un schimbator de caldura, unde cedeaza caldura si apoi trece printr-o valva de expansiune unde se elibereaza presiunea agentului frigorific si intra inapoi in evaporator.(Fig.1)

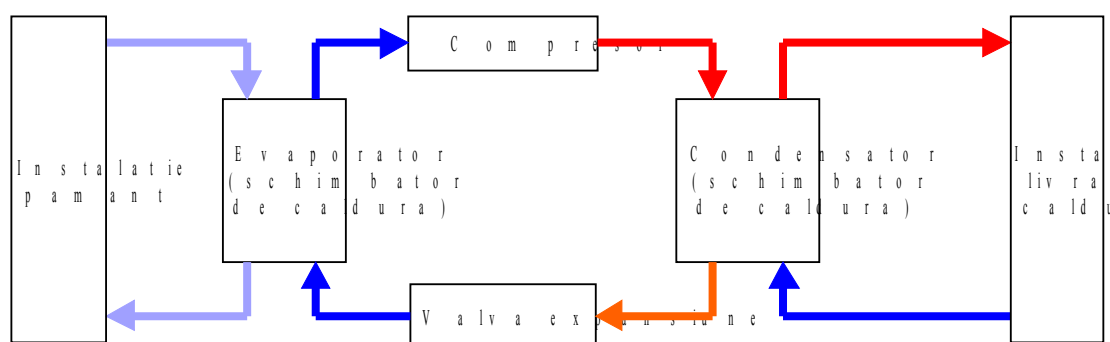


Fig.1 Schema pompa caldura

Intreg procesul se compune din 3 circuite inchise:

- Circuit sol
- Circuit agent frigorific
- Circuit incalzire

Circuitul sol este format dintr-o serpentina aflata in pamant la o adancime variabila(in functie de sol, substrat, zona geografica, etc) si instalatia care duce lichidul la evaporator si inapoi. Prin acest circuit curge in general apa, sau o solutie salina.

Circuitul intermediar este cel prin care curge agentul frigorific, acesta se compune din evaporator, unde agentul frigorific preia caldura captata in pamant, iar in datorita proprietatilor agentului frigorific de a fierbe la o temperatura mica(-10 -10 grade C), acesta se va vaporiza. In urma evaporarii gazul va trece printr-un compresor unde datorita comprimarii va creste presiunea si temperatura. Gazul foarte fierbinte trece printr-un schimbator de caldura, unde va ceda caldura instalatiei de incalzire. In urma cedarii de caldura, gazul se condenseaza si se elibereaza presiunea foarte mare, pana ajunge la valoarea presiunii inainte ca agentul frigorific sa intre in compresor.

Circuitul de incalzire livreaza caldura primita in condensator si o transporta la elementele de incalzit(apa, aer, etc.). In fiecare circuit exista cate o pompa de circulatie a fluidelor.

In aceasta aplicatie am realizat o pompa de caldura sol-apa reversibila, adica poate produce caldura, sau frig, adaugand posibilitatea de incalzire a apei menajere si incalzirea prin aer si prin radiator(pardoseala) a unei incinte.

Pentru a produce frig, trebuie schimbat sensul de curgere a fluidelor din sistem. Acest lucru se realizeaza printr-o valva cu 4 cai si adaugarea in paralel a unei valve de expansiune in sens invers. Si selectarea lor in functie de sens.

Pentru incalzirea apei menajere am adaugat un alt schimbator de caldura la iesirea din compresor, unde se cedeaza o parte din caldura la un alt circuit care incalzeste apa dintr-un rezervor. Am introdus acest rezervor pentru eficientizare.

In circuitul de livrare a caldurii am adaugat 2 radiatoare in paralel, unul pentru incalzirea prin aer, si unul pentru incalzirea prin pardoseala. Incalzirea prin aer se realizeaza prin suflarea aerului prin radiator. In aceste circuite fluidul este apa.

Schema sistemului este prezentata in fig urmatoare:

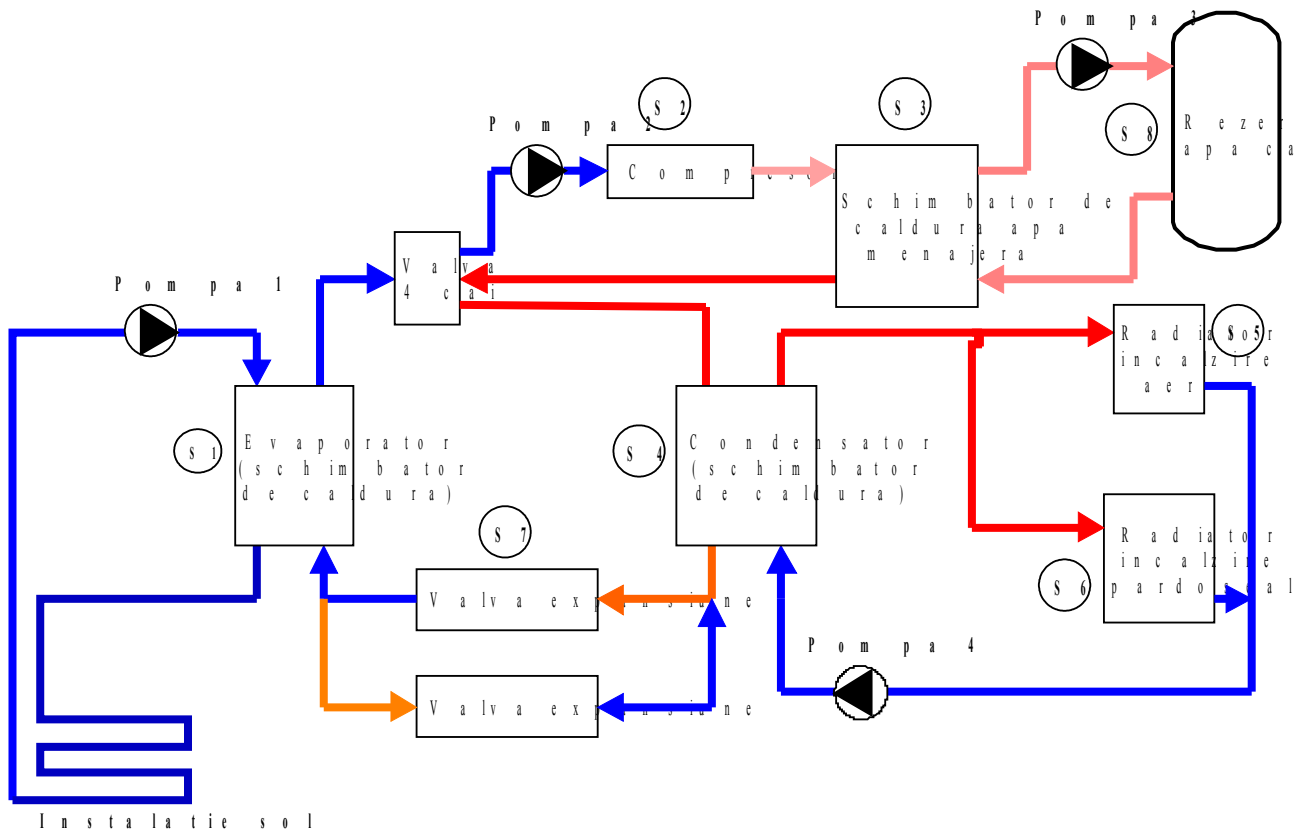


Fig.2 Schema pompa caldura extinsa

3. Proiectarea si Implementarea sistemului

In vederea implementarii pompei de caldura intr-un sistem SCADA, am impartit sistemul in mai subsisteme, astfel:

- Subsistemul 1: este format din instalatia de captare a temperaturii din sol si evaporator.
- Subsistemul 2: compresor.
- Subsistemul 3: schimbatorul de caldura pentru apa menajera
- Subsistemul 4: condensatorul.
- Subsistemul 5: radiator incalzire aer.
- Subsistemul 6: radiator incalzire pardoseala.
- Subsistemul 7: perechea de valve de expansiune.
- Subsistemul 8: rezervorul pentru apa calda (menajera).

Pentru fiecare subsistem am asociat cate o functie care are una sau mai multe intrari si iesiri(tag-uri), astfel:

	Intrari	Iesiri
S1	Tsol, Ts7	Ts11, Ps1, Ts1
S2	Ts1, Ps1	Ts2, Ps2
S3	Ts2, Ts8	Ts31, Ts3, Ps3
S4	Ts3, Ts56	Ts41, Ts4, Ps4
S5	Ts41	Ts5
S6	Ts41	Ts6
S7	Ts4, Ps4	Ts7, Ps7
S8	Ts31	Ts8

In cadrul fiecarui subsistem se calculeaza valorile pentru subsistemul urmator, diferite semafoare si constrangeri. Aceste constrangeri de exemplu sunt pornirea/oprirea pompelor, schimbarea culorii pentru tevi, etc.

Pentru simularea procesului, dependentele valorilor au fost implementate folosind constante approximate, deoarece in procesul real aceste valori sunt culese din sistem folosind diversi senzori.

Datorita faptului ca plaja de valori pentru temperatura si presiune este foarte mare si nu se pot atinge valorile extremele printr-un obiect grafic de tip slider, am ales ca valoarea returnata de slider sa fie indice pentru vectori.

- Subsistem 1: citeste valoarea temperaturii solului data de utilizator, si calculeaza parametrii de iesire; valoarea presiunii este luata din vector de pe pozitia temperaturii in vectorul de temperaturi.

```
FUNCTION s1
  INT i=0;
  tsol0=arrayT[index_tsol];
  ts1=(2*tsol0-ts7)/2;
  ts11=(3*tsol0-2*ts7)/4;
  tsol=(tsol0+ts11)/2;
```

```

INT ok=0;
WHILE ((i<count)AND(ok=0)) DO
    IF ((ts1 >=arrayT[i])AND(ts1 <arrayT[i+1])) THEN
        IF ( (ts1-arrayT[i])>(arrayT[i+1]-ts1) ) THEN
            ps1=arrayP[i+1];
        ELSE
            ps1=arrayP[i];
        END
        ok=1;
    END
    i=i+1;
END
END

```

- Subsistem 2: citește valoarea returnată de sliderul asociat presiunii din compresor, iar pe baza ei se caută în vectori valorile pentru temperatura și presiune;

```

FUNCTION s2
    INT i=0;
    INT ok=0;
    INT index_s2;
    index_s2=500+index_ps2;
    ts2=arrayT[index_s2];
    ps2=arrayP[index_s2];
END

```

- Subsistem 3: citește valoarea temperaturii agentului frigorific comprimat, și calculează cu o pierdere aproximată valoarea temperaturii care iese din schimbătorul de căldură, iar pe baza ei se ia valoare din tabel pentru presiune. Dacă nu este nevoie de încălzire pentru apa menajeră ieșirea din schimbătorul de căldură în circuitul intermediar, valoarea temperaturii nu va fi modificată.

```

FUNCTION s3
    IF (ok1=0) THEN
        ts3=(ts2+ts31+ts8*2)/4;
        ts31=ts2*0.95;
    END
    IF (ok1=1) THEN
        ts3=ts2;
    END
    INT ok=0;
    INT i=0;
    WHILE ((i<count)AND(ok=0)) DO
        IF ((ts3 >=arrayT[i])AND(ts3 <arrayT[i+1])) THEN
            IF ( (ts3-arrayT[i])>(arrayT[i+1]-ts3) ) THEN
                ps3=arrayP[i+1];
            ELSE
                ps3=arrayP[i];
            END
            ok=1;
        END
        i=i+1;
    END
END

```

- Subsistem 4: parametrii de intrare sunt temperatura agentului frigorific si temperaturile de pe returul incalzirii incintei. Pe baza lor se calculeaza temperatura de iesire si presiunea.

```

FUNCTION s4
  IF (ok2=0) THEN
    ts41=ts3*0.95;
    ts4=(ts3+ts41+ts5+ts6)/4;
  END
  INT ok=0;
  INT i=0;
  WHILE ((i<count)AND(ok=0)) DO
    IF ((ts4 >=arrayT[i])AND(ts4 <arrayT[i+1])) THEN
      IF ( (ts4-arrayT[i])>(arrayT[i+1]-ts4) ) THEN
        ps4=arrayP[i+1];
      ELSE
        ps4=arrayP[i];
      END
      ok=1;
    END
    i=i+1;
  END
END

```

- Subsistem 5: simuleaza o pierdere de caldura pentru incalzirea aerului din incinta de 20%.

```

FUNCTION s5
  ts5=ts41*0.8;
END

```

- Subsistem 6: pentru incalzirea prin pardoseala estimativ se pierde 30% din caldura la iesirea din condensator.

```

FUNCTION s6
  ts6=ts41*0.6;
END

```

- Subsistem 7: aici se elibereaza presiunea pana la nivelul presiunii inainte de compresor, iar pe baza acestei presiuni se ia valoarea temperaturii din tabel.

```

FUNCTION s7
  ps7=ps1;
  INT ok=0;
  INT i=0;
  WHILE ((i<count)AND(ok=0)) DO
    IF (ps7 =arrayP[i]) THEN
      ts7=arrayT[i];
      ok=1;
    END
    i=i+1;
  END
END

```

- Subsistem 8: acest subsistem este asociat rezervorului de apa menajera care trebuie sa aiba temperatura prestabilita, cu o diferenta de 2 grade C. Pierderea de caldura pe rezervor este de 15%.

```
FUNCTION s8
    ts8=ts31*0.85;
END
```

Datorita faptului ca valorile pentru presiune si temperatura ale agentului termic sunt valori masurate experimental ele exista doar tabelar am implementat o functie care citeste aceste valori dintr-un fisier, si populeaza doi vectori cu valorile temperaturii si presiunii. In vederea citirii datelor am structurat datele in grupuri de 13 caractere primele 7 fiind valoarea temperaturii, iar urmatoarele 6 caractere reprezinta valoarea presiunii. Pentru a obtine precizie mai mare am folosit asupra valorilor din tabel un algorit de interpolare.

```
INT FUNCTION read_r22()
    ErrSet(1);
    INT File;
    File=FileOpen("E:\tabel_ext.txt","r");
    ErrSet(0);

    INT i=0;

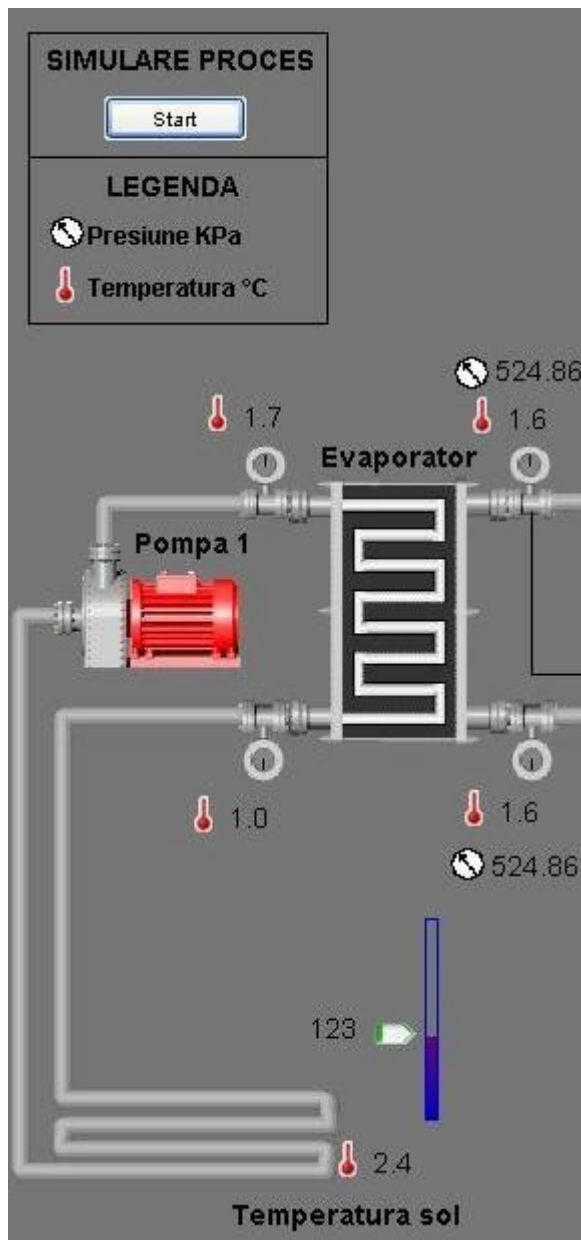
    STRING buffer;
    REAL temp;
    REAL pres;
    WHILE NOT FileEOF(File) DO
        buffer=FileRead(File,13);
        temp=StrToReal(StrMid(buffer,0,6));
        pres=StrToReal(StrMid(buffer,6,7));
        arrayT[i]=temp;
        arrayP[i]=pres;
        i=i+1;
    END
    RETURN i;
END
```

Functionarea sistemului se compune din 4 circuite:

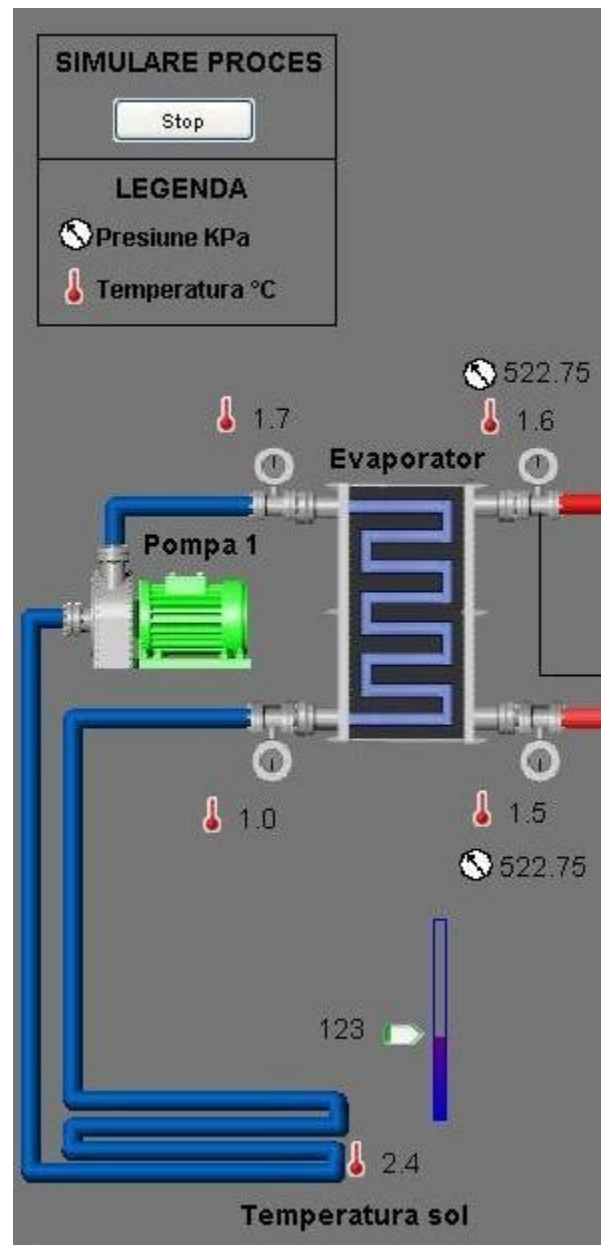
- Circuit sol
- Circuit freon
- Circuit incalzire apa
- Circuit incalzire incinta

Simularea pompei de caldura incepe la apasarea butonului Start, si care porneste circuitul sol prin starea tag-ului start. Tot aici se activeaza toate elementele care apartin de acest circuit.

```
FUNCTION circuit_sol
    IF (start=1) THEN
        pompal=1;
        tevi_circuit_sol=1;
        s1();
    ELSE
        pompal=0;
        tevi_circuit_sol=0;
    END
```

END



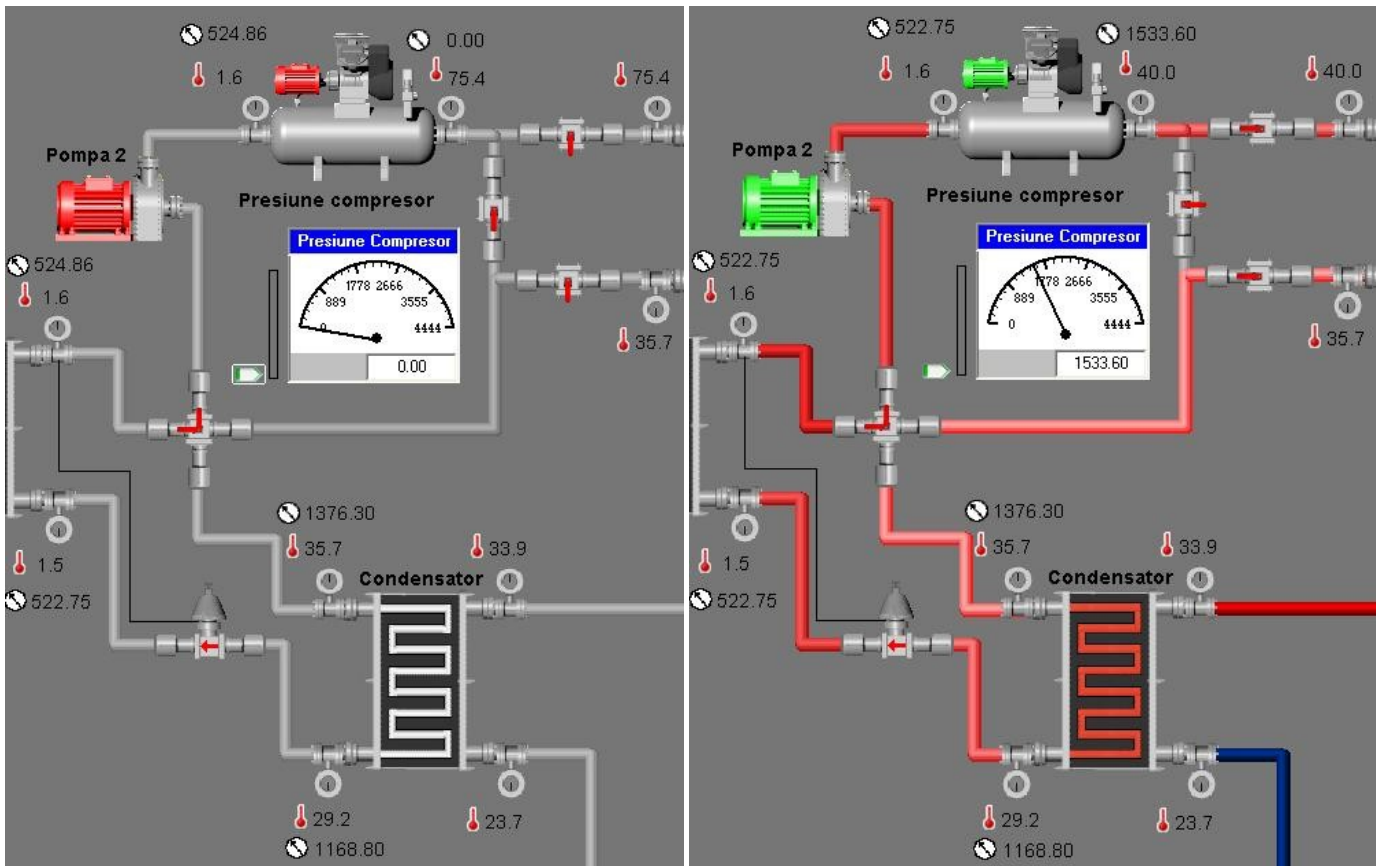
Circuitul freon se va porni doar daca este nevoie de incalzire, iar oprirea circuitului se va face doar cand ambele circuite de incalzire sunt inchise.

```
FUNCTION circuit_freon
  IF (start=1) THEN
    IF ((ok1=0) OR (ok2=0)) THEN
      pompa2=1;
      tevi_circuit_freon=1;
      compresor=1;
      s2();
      s4();
      s7();
    END
    IF ((ok1=1) AND (ok2=1)) THEN
      pompa2=0;
      tevi_circuit_freon=0;
      compresor=0;
      index_ps2=0;
      ps2=0;
    END
  END
```

```

END
ELSE
    pompa2=0;
    tevi_circuit_freon=0;
    compresor=0;
    ts1=ts1-0.001;
    index_ps2=0;
    ps2=0;
END
END
END

```



Circuitul de incalzire apa va porni circuitul freon cand temperatura apei(t_1) din rezervor va fi mai mica cu 2 grade C decat temperatura prag, care poate fi setata dinamic(t_{1_prag}). Iar valoarea temperaturii apei va creste la fiecare ciclu(250 ms) cu $t_{31}/1000$, t_{31} fiind temperatura apei care iese din schimbatorul de caldura.

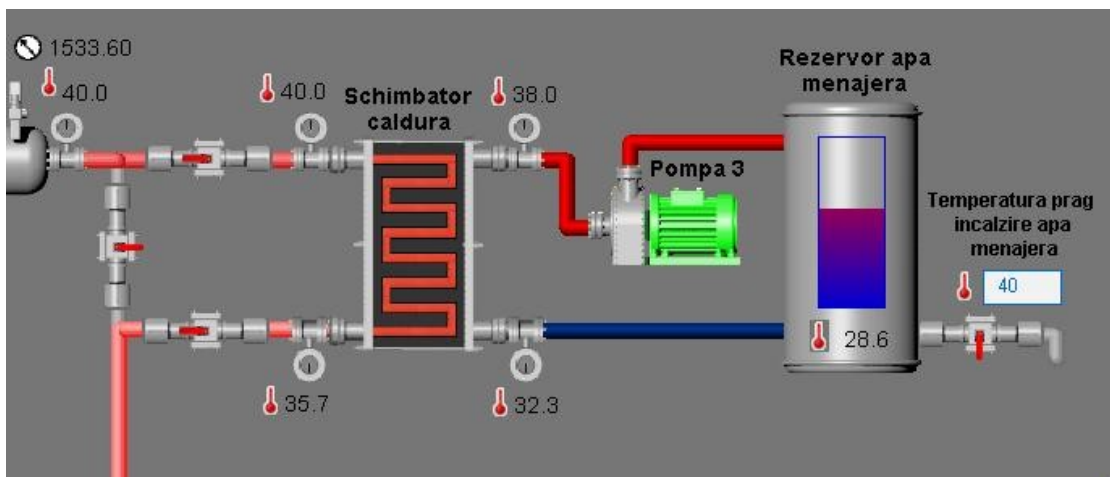
Cand temperatura apei va fi mai mica decat temperatura prag cu 0.5 grade C, circuitul de incalzire apa se va opri, se inchid robinetii R1,R2 si se deschide robinetul R3, se inchide pompa 3 iar temperatura apei scade la fiecare ciclu cu 0.001 grade C.

```

FUNCTION simulare_temp_incaldire_apa
    IF (start=1) THEN
        IF (t1_prag=0) THEN
            t1_prag=10;
        END
        IF (t1<(t1_prag-2)) THEN
            ok1=0;
        END
        IF (t1>(t1_prag-0.5)) THEN
            ok1=1;
        END
    END

```

The diagram illustrates a heating system configuration. On the left, a red pipe enters a black rectangular unit labeled "Schimbator caldura" (heat exchanger). The unit has two internal loops. To the right of the heat exchanger is a red pump labeled "Pompa 3". The pump is connected to a large cylindrical tank labeled "Rezervor apa menajera" (domestic water tank). The tank has a blue-to-red gradient fill. To the right of the tank is a control panel labeled "Temperatura prag incalzire apa menajera" (domestic water heating threshold temperature) with a digital display showing "40". Various temperature sensors are indicated by red thermometer icons: 1533.60, 40.0, 40.0, 38.0, 35.7, 32.3, 39.1, and 40.



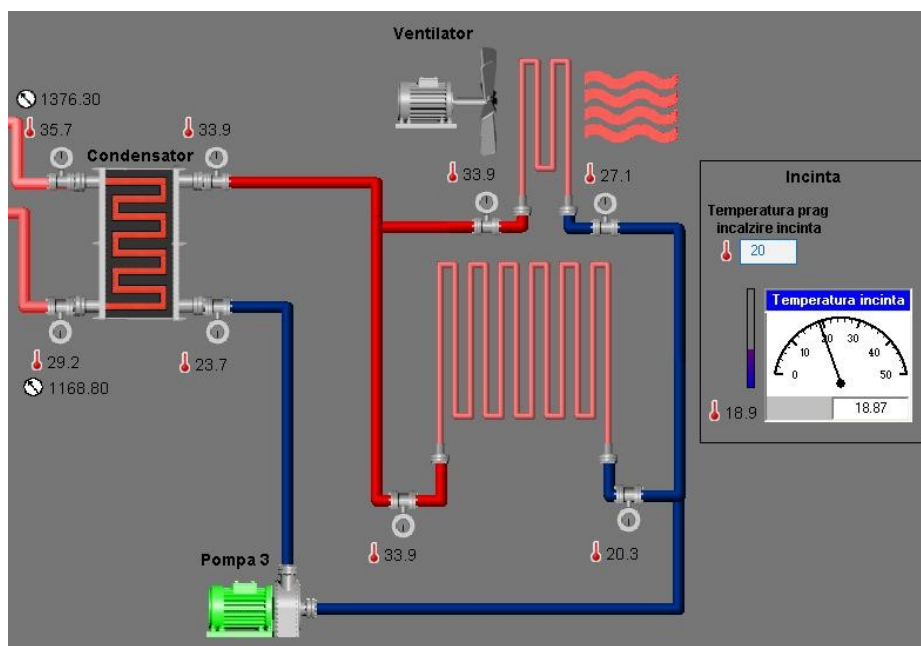
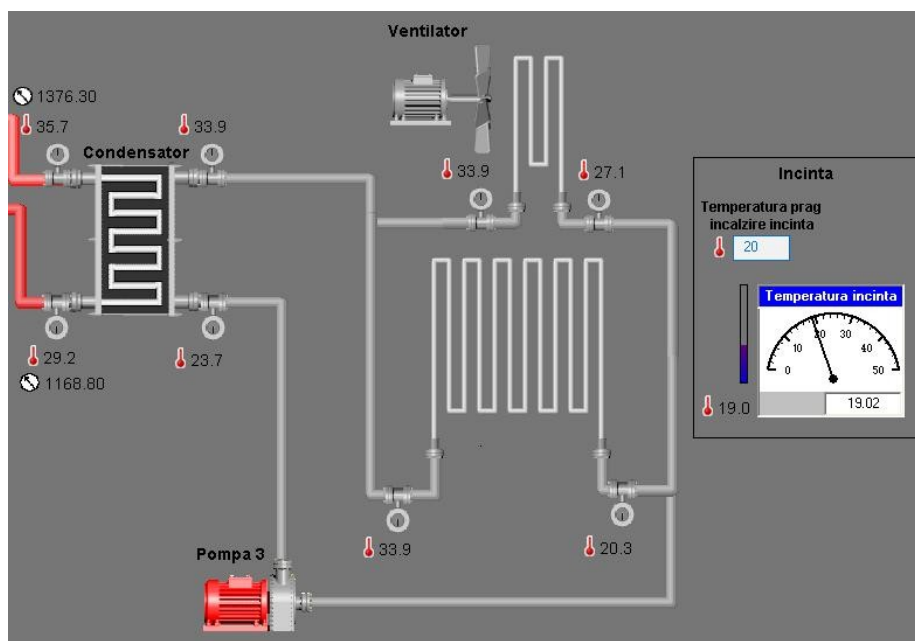
Circuitul de incalzire a incintei are acelasi principiu de functionare ca si circuitul de incalzire apa, si anume: circuitul este pornit cand temperatura in incinta(aer + pardoseala) este mai mica decat temperatura prag ($t2_prag$) cu 2 grade C si se opreste cand temperatura incintei este mai mica decat temperatura prag cu 0.5 grade C. Dupa ce este satisfacuta conditia de temperatura, temperatura incintei va scadea cu 0.001 grade C.

Cum am precizat in partea introductiva, incalzirea incintei este realizata prin aer si pardoseala. La cresterea temperaturii in incinta($t2$) contribuie ambele tipuri de incalzire $(ts5+ts6)/2/1000$. Astfel este pornita si o suflanta care impinge aerul prin radiator incalzind-ul. Pentru animatia suflantei am folosit proprietatea animated a simbolului.

```
FUNCTION simulare_incalzire_incinta

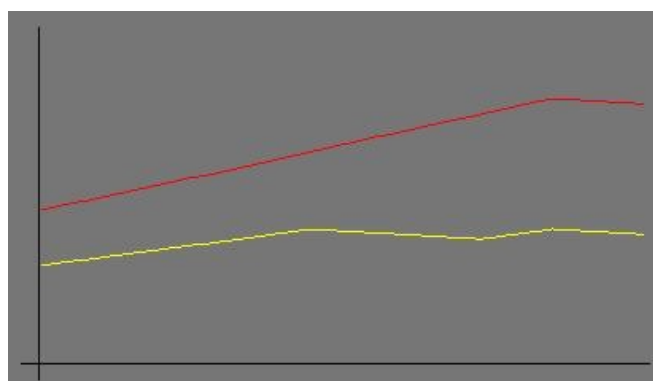
  IF (start=1) THEN
    IF (t2_prag=0) THEN
      t2_prag=10;
    END
    IF (t2<(t2_prag-2)) THEN
      ok2=0;
    END
    IF (t2>(t2_prag-0.5)) THEN
      ok2=1;
    END

    IF (ok2=0) THEN
      t2=t2+((ts5+ts6)/2)/1000;
      tevi_circuit_incinta=1;
      pompa4=1;
      suflanta=1;
      incalzire_suflanta=1;
      incalzire_pardoseala=1;
      hot_air=1;
      //robineti_circuit_incinta=1;
    END
    IF (ok2=1) THEN
      t2=t2-0.01;
      tevi_circuit_incinta=0;
      pompa4=0;
      suflanta=0;
      incalzire_suflanta=0;
      incalzire_pardoseala=0;
      hot_air=0;
      //robineti_circuit_incinta=0;
    END
    s5();
    s6();
  ELSE
    tevi_circuit_incinta=0;
    pompa4=0;
    suflanta=0;
    incalzire_suflanta=0;
    incalzire_pardoseala=0;
    hot_air=0;
    //robineti_circuit_incinta=0;
  END
END
```



Pentru vizualizarea grafica a evolutiei temperaturii am adaugat un trend care urmareste temperatura apei si temperatura incintei.

Trendurile sunt actualizate la 250ms, iar bucla de rulare pentru intreg sistemul este de 250ms. Se urmareste evolutia temperaturii apei menajere si temperatura in incinta.



Sistemul proiectat permite si producerea frigului, pentru aceasta este nevoie de inversarea circuitului. Inversarea se realizeaza prin comutarea valvei cu 4 cai si comutarea valvei de expansiune pentru sensul invers.

Procesul pentru racire este urmatorul: temperatura incintei este captata de circuitul din pardoseala si sufland aerul din incinta prin radiator, circuitul acesta va duce o temperatura mare in condensator care in aceasta structura va avea rol de evaporator. in acest schimbator de caldura agentul frigorific va ajunge la temperatura de fierbere si sa se evaporare urmand sa fie comprimat. Agentul frigorific comprimat ajunge in evaporator care va avea rol de condensator, preda caldura solutiei saline din circuitul din pamant unde caldura se dispersa.

Pentru a se produce frig circuitul din pamant preia o temperatura mica si o transmite agentului termic care va ceda aceasta temperatura circuitului de racire, ajungand in incinta care trebuie racita.

Circuitul de incalzirea a apei menajere, in sistemul proiectat va fi functional si in modul de racire, deoarece schimbatorul de caldura care cedeaza caldura pentru incalzirea apei primeste caldura de la agentul frigorific dupa comprimare.

Funcționalitatea de racire a sistemului nu a fost implementata momentan in aplicatia SCADA. Alte elemente ce pot fi adaugate aplicatiei sunt comunicatia pe portul serial pentru a permite actionarea fizica a temperaturilor si presiunilor din sistem.

Tot folosind comunicatia seriala se poate atasa aplicatia pe proces (datele din sistem fiind date reale primite de la senzori). In cadrul simularii si poate adauga si simularea golirii rezervorului si alimentarii sale cu apa de la retea sau dintr-o alta sursa, precum si diagrame privind alti parametrii.

Optional se poate integra si simularea in conditii de avarie.