

Drd. Ing. Răzvan Silviu ȘTEFAN

**Estimarea efectelor energetice ale reglajului automatizat al parametrilor în
funcționarea optimizată a rețelelor de transport a agentului termic**

RAPORT DE CERCETARE NR.3

Conducător științific Prof.em.dr.ing. Radu-Mircea Damian

Universitatea Tehnică de Construcții București

Domeniul Inginerie Civilă și Instalații – Hidraulică și Mecanica Fluidelor

2023
BUCUREȘTI

CUPRINS

1. Introducere	4
1.1. Considerații generale	4
1.2. Conținut și obiectiv	4
2. Sisteme de reglaj automatizat a rețelelor de transport a agentului termic	6
2.1. Sisteme de reglaj și control automatizat	6
2.1.1. Scurta trecere în revista a sistemelor de reglaj automatizat pentru instalațiile de încălzire, ventilare și climatizare (IVC). Istoric	6
2.1.2. Bucla de control	7
2.1.3. Logică de control	9
2.1.4. Factorul de amplificare și reglajul buclei	18
2.1.5. Mod de acțiune. Poziție	20
2.1.6. Domeniu de control. Secvențiere	22
2.1.7. Dispozitivul controlat. Senzori. Sisteme de control automatizat	23
2.1.8. Diagrame și secvențe de control	36
2.1.9. Sistemul DDC	38
2.2. Studiu de caz – Sistemul IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP	44
2.2.1. Scurta prezentare a sistemului IVC geotermal care deservește infrastructura de cercetare ELI-NP	44
2.2.2. Scurta prezentare a sistemului de reglaj automatizat – DDC	48
2.2.3. Funcționarea sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP de la darea în folosință până în prezent	51
2.2.4. Mărimile fizice și parametrii de funcționare determinate în funcționarea sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP, descrierea echipamentelor de măsură, modul de măsură	53
2.2.5. Control Optimal	58
3. Efecte energetice ale reglajului automatizat în funcționarea optimizată	59
3.1. Efecte energetice ale reglajului automatizat estimate a fi obținute în funcționarea optimizată	59
3.2. Rezultate obținute la ELI-NP. Rezultatele determinărilor experimentale- prelucrare	60
1. Concluzii	64
Bibliography	65

LISTA DE FIGURI

FIGURA 1. SISTEME DE CONTROL.....	7
FIGURA 2. SCHIMB DE INFORMAȚIE ÎNTR-O BUCLĂ DE CONTROL [2]	7
FIGURA 3. BUCLĂ DE CONTROL TIPICĂ PENTRU INSTALAȚIILE IVC [2].....	8
FIGURA 4. EXEMPLU DE BUCLĂ DESCHISĂ. BUCLA DE RESET [2].....	9
FIGURA 5. CONTROL CU DOUĂ POZITII [2].....	11
FIGURA 6. RĂSPUNSUL UNUI CONTROLLER PENTRU AER INTRODUS CU 50% MAI RECE DACÂT SETPOINT [2].....	12
FIGURA 7. EFECTUL ANTICIPĂRII ÎN CAZUL CONTROLULUI CU DOUĂ POZIȚII [2]	13
FIGURA 8. CONTROL CU FUNCȚIONARE ÎN TREPTE [2]	14
FIGURA 9. CONTROL FLOTANT [2].....	15
FIGURA 10. TRANSMITEREA SEMNALULUI CĂTRE ACTUATOR [2]	15
FIGURA 11. CONTROL MODULANT [2]	16
FIGURA 12. CONTROL PROPORȚIONAL [2].....	17
FIGURA 13. CONTROL PI [2]	18
FIGURA 14. MODULAREA IMPULSULUI ÎN LĂȚIME [2].....	18
FIGURA 15. CONTROL PROPORȚIONAL [2].....	19
FIGURA 16. CONTROL PROPORȚIONAL – INTEGRAL [2].....	19
FIGURA 17. ACTINEA DIRECTĂ ȘI INVERSĂ ÎN CAZUL LOGICII DE CONTROL PROPORȚIONALE [2].....	21
FIGURA 18. POZIȚIA NORMALĂ ȘI ACȚIUNEA DE CONTROL PENTRU LOGICA DE CONTROL PROPORȚIONAL [2]	21
FIGURA 19. SECVENȚIERE [2]	22
FIGURA 20. VANE DE CONTROL [2].....	23
FIGURA 21. VANE CU DOUĂ CĂI [2]	24
FIGURA 22. SCHEMA DE FUNCȚIONARE A VANEI CU TREI CĂI [2]	24
FIGURA 23 POZIȚIA NORMALĂ PENTRU VANA CU TREI CĂI [2].....	25
FIGURA 24. CONFIGURAȚII CU VANĂ CU TREI CĂI [2]	25
FIGURA 25. RELAȚIA CURSĂ – DEBIT [2].....	26
FIGURA 26. EXEMPLU DE COMBINAȚII DE CARACTERISTICI VANĂ ȘI BATERIE [2]	26
FIGURA 27. CLAPETE DE REGLAJ [2]	27
FIGURA 28. SCHEME DE MONTAJ ALE LAMELOR ÎN RAMA CLAPETEI [2]	28
FIGURA 29. ACURATEȚE ȘI PRECIZIE [2]	29
FIGURA 30. CURBE TERMISTOR ȘI SENSOR RTD [2]	30
FIGURA 31. SENZOR DE UMIDITATE CAPACITIVE [2]	31
FIGURA 32 SENZOR DE PUNCT DE ROUĂ CU OGLINDĂ RĂCITĂ [2].....	32
FIGURA 33. MANOMETRE MECANICE [2]	33
FIGURA 34. SENZORI DE PRESIUNE ELECTRICI [2]	34

FIGURA 35. SISTEM MONO-ZONĂ CU BATERII DE ÎNCĂLZIRE ȘI RĂCIRE – SECVENȚĂ DE CONTROL [2]	37
FIGURA 36. ARANJAMENT CLAPETE FRONTALE ȘI DE BYPASS [2]	38
FIGURA 37. DIAGRAMĂ DE CONTROL PENTRU BUCLĂ DE ÎNCĂLZIRE [2]	38
FIGURA 38. INTRĂRI ȘI IEȘIRI ÎN BUCLADE CONTROL [2]	39
FIGURA 39. SCHEMA DE FUNCȚIONARE A SISTEMULUI GEOTERMAL CU POMPA DE CĂLDURĂ.....	45
FIGURA 40. SISTEMUL GEOTERMAL CU POMPE DE CĂLDURĂ DE LA ELI-NP	47
FIGURA 41. PARAMETRII AFIȘAȚI DE SISTEMUL DDC.....	54
FIGURA 42. ECRANE DE STARE CU PARAMETRII DE INTERES MĂSURAȚI ÎN PROXIMITATEA ECHIPAMENTULUI DE CERCETARE	56
FIGURA 43. GRAFIC CU EVOLUȚIA TEMPERATURII ȘI UMIDITĂȚII RELATIVE	57
FIGURA 44. COMPARAȚIE EUI ELI-NP CU EUI	61
FIGURA 45. CONSUM ENERGETIC CLĂDIREA LASER ȘI LABORATOARE ELI-NP (RĂCIRE TEHNOLOGICĂ INCLUSĂ). COEFICIENT DE PERFORMANȚĂ	62
FIGURA 46. CONSUM ENERGETIC CLĂDIREA LASER ȘI LABORATOARE ELI-NP. COEFICIENT DE PERFORMANȚĂ.....	63

1. Introducere

1.1. Considerații generale

Ponderea mai mare a energiei din surse regenerabile contribuie la consolidarea securității energetice a Europei și în cea mai mare parte a statelor membre sunt necesare eforturi suplimentare pentru a se garanta că energia din surse regenerabile este mai bine integrată în piață și în special pentru a asigura consecvența dintre schemele de sprijin și funcționarea piețelor energiei electrice [1].

Progresul tehnologic permite realizarea unor instalații IVC foarte performante, cu răspuns bun în ceea ce privește acuratețea parametrilor și a vitezei cu care aceștia sunt livrați către clădiri. Controlul automat al instalațiilor IVC permite optimizarea acestora. Scopul final este, de fapt, eficientizarea energetică și reducerea costurilor de exploatare, în condițiile livrării parametrilor de funcționare optimi.

Măsurile de eficiență energetică sunt recunoscute tot mai mult nu doar ca un mijloc de a ajunge la aprovizionarea sustenabilă cu energie, de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, de a îmbunătăți securitatea aprovizionării și de a reduce costurile la import, ci și ca mijloc de promovare a competitivității UE. Eficiența energetică este, prin urmare, o prioritate strategică pentru uniunea energetică, iar UE promovează principiul „eficiența energetică pe primul loc” [1].

Dacă pentru clădirile rezidențiale și pentru cele în care se desfășoară activități obișnuite performanța, din punctul de vedere al asigurării parametrilor, se reduce la asigurarea confortului utilizatorilor, pentru clădirile cu utilizare specifică (spitale, clădiri industriale, laboratoare) parametrii care trebuie asigurați sunt o cerință care depinde de procesele care se desfășoară în aceste clădiri. De cele mai multe ori se cere o stabilitate ridicată a parametrilor. Totodată, asigurarea parametrilor presupune consumuri energetice ridicate. Optimizarea în condițiile operării manuale este consumatoare de timp și de resurse și este greu de realizat. Sistemele de operare și control automat asigură condiții pentru optimizare. Se poate spune că optimizarea are sens în corelare cu automatizarea instalațiilor.

În contextul precizat mai sus, subiectul tezei de doctorat se înscrie în politica UE de utilizare a surselor regenerabile de energie și de reducere a consumurilor energetice. Sistemul IVC geotermal de la ELI-NP este un sistem foarte complex, de mari dimensiuni a cărui monitorizare oferă informație cu privire la comportamentul și performanța în exploatare, permițând totodată modelarea multor procese. Printre rezultatele estimate a fi obținute ar fi identificarea efectelor energetice ale reglajului automatizat, identificarea unor metode de control optimal, dar și realizarea de predicții pe termen mediu și lung cu privire la eficiență, beneficii și costuri de operare, impact asupra mediului înconjurător.

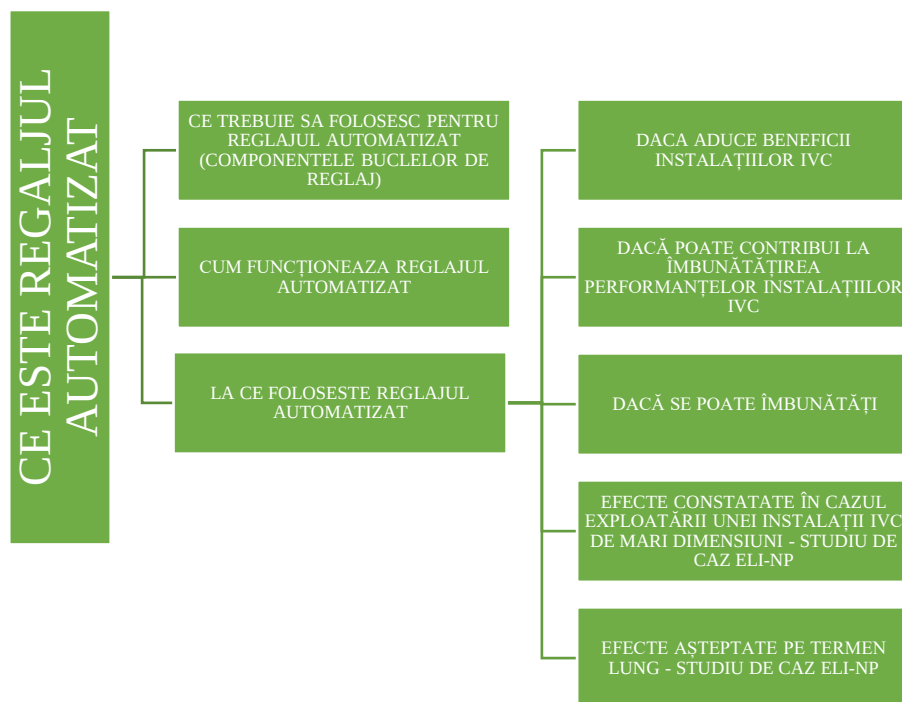
1.2. Conținut și obiectiv

Sursele geotermale de energie sunt tot mai mult utilizate, atât pentru consumatorii locali, cât și în instalații de dimensiuni mari, pentru care eficiența și reducerea consumurilor de exploatare sunt elemente prioritare.

Programul de cercetare doctorală, în ansamblul său, are ca obiectiv principal optimizarea funcțional – energetică a sistemelor IVC geotermale de mare capacitate prin achiziția și valorificarea datelor disponibile ca urmare a monitorizării în exploatare a sistemului IVC unic de la ELI-NP, aflat în exploatare.

Acest referat este o trecere în revistă a sistemelor de control automat, a componentelor lor și a modului de funcționare. Astfel, capitolul 2 al referatului realizează o sinteză documentară privind evoluția sistemelor de control automat și stadiul de dezvoltare al acestora în prezent. Sunt prezentate sistemele de control automat care deservește instalațiile IVC și noțiunile necesare pentru înțelegerea funcționării sistemelor de control automat, însoțite de exemple, cu accent pe sistemul Digital Direct Control (DDC). A fost aleasă prezentarea în detaliu a acestuia, deoarece investigarea posibilităților de control optimal și studiul efectelor energetice ale reglajului automatizat al parametrilor în funcționarea optimizată a rețelelor de transport a agentului termic se realizează pe o instalație IVC geotermală cu pompe de căldură de dimensiuni mari, care este controlată automat de un sistem DDC. Instalația IVC geotermală împreună cu sistemul DDC prin care se realizează controlul acesteia se află în exploatare la Infrastructura de cercetare ELI-NP. În acest context, tot în capitolul 2 sunt prezentate atât sistemul IVC geotermal cu pompe de căldură de la ELI-NP împreună cu sistemul de control automat aferent, cât și funcționarea acestora de la darea în folosință până în prezent. Capitolul 3 prezintă succint modul în care s-a abordat practic studiul efectelor energetice în cazul sistemelor automate, în vederea atingerii scopului final al cercetării doctorale, respectiv eficientizarea energetică a sistemelor IVC geotermale de mare capacitate. Capitolul prezintă direcțiile viitoare ale cercetării experimentale care se vor realiza în cadrul lucrării doctorale precum și rezultatele obținute până în prezent.

În esență referatul încearcă să răspundă problematicilor sintetizate în schema de mai jos.



Studiul instalației IVC geotermale, aflată în exploatare la Infrastructura de cercetare ELI-NP și având în prezent grad de utilizare de 90%, urmărește:

- prin identificarea efectelor energetice a reglajului automatizat al parametrilor în funcționarea optimizată a rețelelor de transport a agentului
- și prin modelare matematică

să obțină realizarea unei scheme optime de distribuție a agentului termic care să permita o exploatare judicioasă a elementelor de transport, cu furnizarea parametrilor necesari la punctele de consum.

Dacă pentru infrastructura de cercetare ELI-NP se așteaptă optimizare atât în termeni de eficiență energetică cât și în termeni de control automatizat, scopul final al tezei doctorale este investigarea posibilității de a realiza un model valid care să permită anticiparea și îmbunătățirea performanței pe termen lung a oricărui sistem IVC geotermal de mare capacitate, probând practic potențialul de replicare teoretic pe care îl are sistemul IVC geotermal ELI-NP, pentru a veni în întâmpinarea producerii unei energii curate, sigure și eficiente.

2. Sisteme de reglaj automatizat a rețelelor de transport a agentului termic

2.1. Sisteme de reglaj și control automatizat

2.1.1. Scurta trecere în revistă a sistemelor de reglaj automatizat pentru instalațiile de încălzire, ventilare și climatizare (IVC). Istoric

Acest capitol prezintă o sinteză a sistemelor de reglaj automat și evoluția acestora în timp, cu accent pe sistemele de reglaj automat utilizate pentru instalațiile de încălzire, ventilare și climatizare (IVC).

Scopul final al unei instalații de încălzire, ventilare și climatizare (IVC) care echipează o clădire precum și a sistemului de control automat al acesteia este de a asigura un mediu ambiant adecvat pentru procesul găzduit de clădire și de a oferi confort termic pentru ocupanți.

Sistemele moderne de control pot gestiona consumul de energie al sistemelor IVC, asigurând funcțiunile instalației IVC la cel mai bun nivel de eficiență energetică.

Siguranța este o altă funcție importantă pe care sistemele automate de control o conferă instalațiilor IVC. Pe de o parte acestea contribuie la protejarea siguranței și sănătății ocupanților, dar și la protecția echipamentelor și a dispozitivelor din componența instalației IVC. Sistemele de control pot, spre exemplu, limita temperaturile ridicate și scăzute (supraîncălzire, îngheț), presiunile înalte și joase sau pot asigura protecție la supracurent / suprasarcină.

Toate dispozitivele și echipamentele utilizate pentru sistemele de control al încălzirii, ventilării și climatizării, atât cele realizate până în prezent, cât și cele care se vor realiza în viitor se bazează pe aceleași principii fundamentale ale controlului. Conceptele generale rămân, în general neschimbate, chiar dacă tehnologiile prin care sunt puse în aplicare se schimbă / evoluează.

Evoluția în timp a sistemelor de control a fost marcată de următoarele cinci categorii principale de sisteme [2], cele mai multe din sistemele disponibile în prezent fiind combinații ale acestora:

- Sisteme de control acționate de procesul controlat
- Sisteme de control electrice
- Sisteme de control pneumatice
- Sisteme de control analogice (electronice)
- Sisteme de control digitale

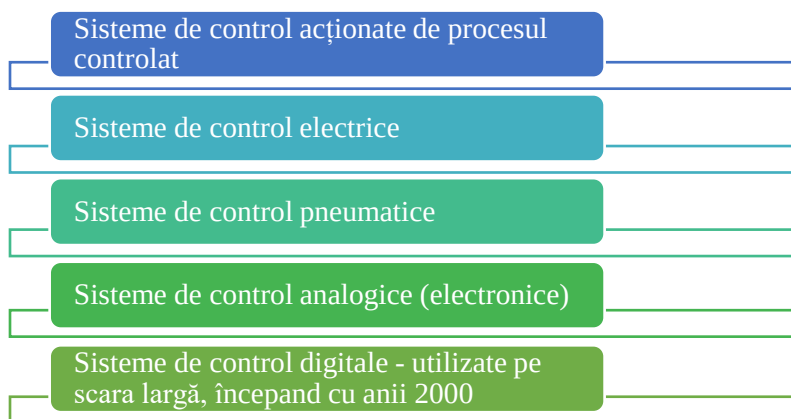


Figura 1. Sisteme de control

2.1.2. Bucla de control

Figura 2 prezintă schematic schimbul de informație care are loc într-o buclă de control. Componentele / elementele conectate între ele stau la baza oricărei bucle de control. Se numește buclă de control deoarece informațiile circulă în cerc de la senzor, care măsoară variabila controlată, la controler, care compară valoarea curentă a variabilei cu valoarea de referință. Controlerul ia o decizie de control și o transmite către dispozitivul controlat / elementul de execuție și către echipamentul de proces care modifică valoarea curentă a variabilei controlate, cu scopul de a o apropia de valoarea de referință. Toate buclele de control includ aceste elemente esențiale.

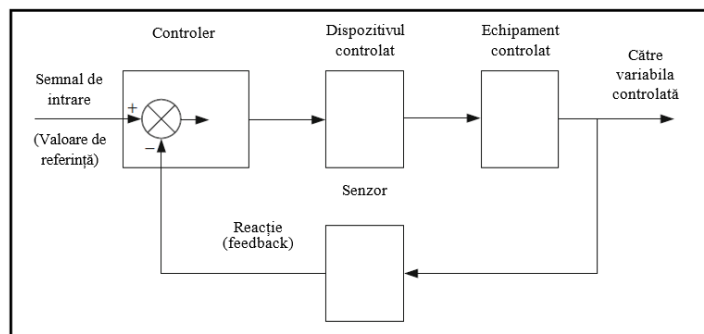


Figura 2. Schimb de informație într-o buclă de control [2]

Figura 3 ilustrează componentele unei bucle de control tipice pentru sistemele IVC, succesiunea de acțiuni desfășurate într-o buclă de control IVC fiind prezentată succint în Tabelul 1. Sistemul de încălzire, de exemplu o baterie de încălzire (alimentată cu abur, apă caldă sau alt agent termic), încălzește aerul introdus până la temperatura de referință dorită, scopul final fiind menținerea acestei temperaturi. Senzorul măsoară temperatura aerului introdus (variabila controlată) și transmite această informație către controler. Controlerul compară temperatura măsurată cu valoarea de referință / setpoint. Diferența dintre valoarea de referință și valoarea măsurată (eroarea) se traduce într-un semnal care este transmis către o vană / elementul de execuție care își modifică (se închide/se deschide) poziția și modifică debitul agentului termic care alimentează echipamentul de proces.

Tabel 1 – Buclă de control tipică pentru sisteme IVC [2]

Element	Descriere element (dispozitiv sau mărime)	Funcția îndeplinită - Definiție
Controler	Dispozitiv care transmite semnalul către vană	Dispozitivul care furnizează semnal / informație către dispozitivul controlat, urmare reacției senzorului
Senzor	Senzor de temperatura	Dispozitivul care măsoară valoarea curentă a variabilei controlate
Dispozitivul controlat / comandat (elementul de execuție)	Vana	Dispozitivul care acționează echipamentul de proces în urma semnalului primit / informației primite de la controler
Variabila controlată	Temperatura aerului furnizat	Marimea fizică înregistrată de senzor
Echipamentul de proces	Echipamentul	Echipamentul care produce modificarea valorii variabilei controlate
Date de intrare – Valoarea de referință (setpoint)	Valoarea dorita a temperaturii aerului furnizat în încăpere	Valoare de referință, la care se raportează variabila controlată

Urmare acestui proces temperatura aerului furnizat se modifică. Senzorul trimite noua informație către controler și ciclul se repetă.

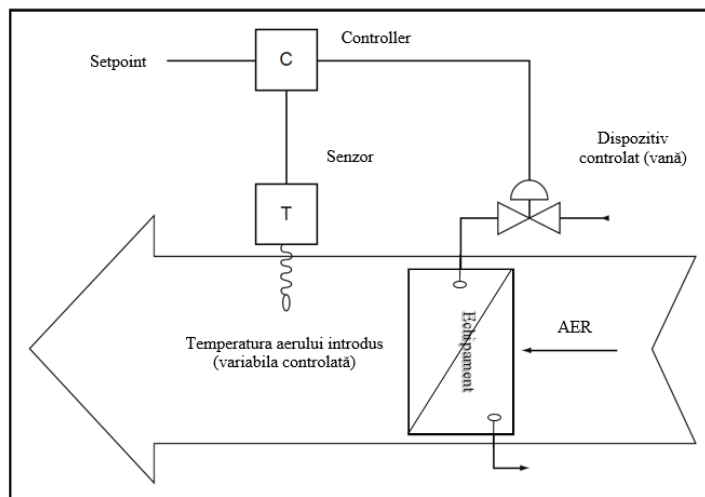


Figura 3. Buclă de control tipică pentru instalațiile IVC [2]

O schemă uzuală de control în buclă deschisă este bucla de RESET. Acest tip de buclă furnizează la ieșire valoarea variabilei de referință pentru o buclă închisă.

În Figura 4 este schițat un exemplu în care printr-o buclă deschisă se reglează temperatura apei calde în funcție de temperatura exterioară. Dacă temperatura exterioară scade, temperatura la ieșirea din bucla deschisă va crește, până la o valoare prestabilită. Valoarea temperaturii la ieșirea din acest tip de buclă deschisă reprezintă valoarea de referință pentru cazan.

Acest mod de utilizare a buclei de control, a cărei ieșire reprezintă intrarea pentru o altă buclă de control se numește sistem în cascadă / cascader.

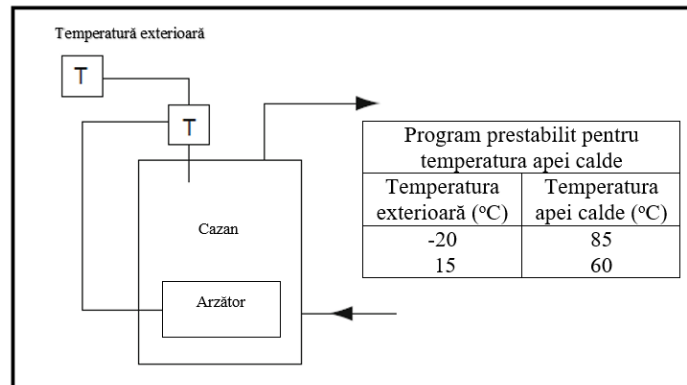


Figura 4. Exemplu de buclă deschisă. Bucla de RESET [2]

Aceste exemple descriu elementele esențiale din orice buclă de control: senzor, controler, dispozitiv controlat (element de execuție) și echipament de proces. Desi, în practică, sistemele de control sunt mult mai complicate decât exemplele simple prezentate, aceste elemente de bază, esențiale, intra obligatoriu în componența oricărui sistem de control.

Termenii fundamentali care sunt utilizați pentru descrierea și lucrul cu sisteme de control: [2]

- Variabila controlată - mărimea fizică ce se dorește a fi controlată (i.e. temperatură, umiditate, debit, presiune, viteză)
- Valoare controlată / Control point - valoare curentă la un anumit moment a variabilei controlate
- Valoare de referință / Setpoint - valoarea dorită a variabilei controlate
- Senzor - dispozitiv care citește / sesizează / înregistrează valorile variabilei controlate
- Variabila sesizată / citită - mărimea fizică măsurată (în cazul sistemelor în buclă închisă este aceeași cu variabila controlată, în cele mai multe cazuri)
- Dispozitivul controlat (elementul de execuție) - dispozitiv care produce / comandă schimbarea variabilei controlate la ieșirea echipamentului de proces (vană, clapeta / grilă, releu)
- Echipamentul de proces - echipamentul care realizează schimbarea propriu zisă a valorii variabilei controlate (ex. baterie de încălzire/ răcire, ventilator)
- Controler - Dispozitivul care realizează comparația între valoarea curentă și valoarea de referință a variabilei controlate
- Bucla de control: ansamblul senzor, dispozitiv controlat (element de execuție), echipament de proces și controler
- Buclă închisă - buclă de control în care senzorul măsoară variabila controlată și furnizează o reacție / feedback controlerului, cu privire la efectul acțiunii acestuia
- Buclă deschisă - buclă de control în care senzorul măsoară altă mărime decât variabila controlată, modificările aduse dispozitivului controlat (elementului de execuție) și echipamentului de proces neavând impact direct asupra variabilei controlate (ieșirea nu are nici un efect asupra intrării în procesul de control).

2.1.3. Logică de control

Scopul unui controler într-o buclă închisă este de a menține variabila controlată la valoarea de referință dorită. Toate controlerele sunt proiectate astfel încât să acționeze printr-un semnal de ieșire asupra dispozitivului controlat / comandat. Semnalul de ieșire este o funcție de semnalul

eroare. Eroarea reprezintă diferența dintre valoarea de referință și valoarea curentă a variabilei controlate. Acțiunea pe care o realizează controlerul în vederea îndeplinirii scopului său se numește mod de control (sau logică de control). Există trei categorii de logică /moduri de control:

- control cu doua poziții
- control flotant
- control modulant

La rândul lui, fiecare mod de control conține subcategorii pentru algoritmi specifici utilizați la generarea semnalului de ieșire, ca rezultat al procesării erorii. Toate aceste moduri de control, împreună cu subcategoriile respective reprezintă mijloace care au scopul de a conduce către rezultatul dorit și anume menținerea valorii variabilei controlate la valoarea de referință. Acest obiectiv nu este ușor de atins urmare dinamicii instalațiilor IVC, a spațiilor deservite de acestea și a complexității controlerelor. În aplicațiile reale există defazaj (întârziere) între momentul acțiunii controlerului și răspunsului senzorilor.

Dacă ne referim la schema prezentată în Figura 3, pot fi ușor înțelese și apoi generalizate cauzele acestui defazaj:

- este necesar un interval de timp până la mișcarea elementului de execuție (vană în cazul exemplului ales) de la primirea comenzii de la controler și, în consecință, rezultă o întârziere a circulației apei prin baterie
- dacă bateria nu a fost utilizată o perioadă va fi necesară compensarea pierderilor pentru încălzirea acesteia, înainte ca aerul introdus să fie încălzit
- dacă senzorul ar fi amplasat în spațiul deservit de instalație (și nu în conducta de ventilație, ca în exemplul dat) ar exista întârziere, cauzată de timpul necesar pentru amestecul aerului încălzit care circulă prin conducta de ventilație, până la difuzoare, cu aerul din încăpere
- va exista întârziere cauzată de faptul că este necesară compensarea pierderilor pentru încălzirea suprațelor din spațiul încălzit înainte de încălzirea aerului din imediata vecinătate a senzorului (anvelopă, mobilier)
- poate exista întârziere deoarece senzorul în sine necesită timp pentru a se încălzi și a ajunge la o nouă stare de echilibru
- poate exista întârziere în transferul informației de către senzor înapoi către controler
- poate exista întârziere a controlerului, care are nevoie de timp pentru a compara semnalul primit de la senzor cu valoarea de referință și pentru a procesa răspunsul [2].

Efectul tuturor acestor întârzieri se numește constanta de timp a sistemului de control. Dacă constanta de timp are o valoare mare, sistemul va executa lent modificările dispozitivelor controlate (elementelor de execuție), iar dacă aceasta are o valoare mică sistemul va avea o reacție rapidă la schimbările de stare ale dispozitivelor controlate (elementelor de execuție) și echipamentului de proces.

Performanța unui controler este influențată și de factorul de amplificare al sistemului. În Tabelul 2 este prezentată dependența între factorul de amplificare al controlerului și starea dispozitivul controlat și a echipamentului de proces. Factorul de amplificare al sistemului descrie relația dintre valoarea semnalului de intrare și valoarea semnalului de ieșire, iar factorul de amplificare al controlerului reprezintă capacitatea de răspuns a acestuia în raport cu deviația

semnalului de ieșire față de semnalul de intrare (de a acționa la un anumit punct sub sau peste valoarea de referință).

Tabel 2 – Dependența între factorul de amplificare al controlerului și starea dispozitivului controlat [2]

Setare controler	Factor de amplificare	Acțiune
Deschide vana de la zero la 100% la o schimbare a variabilei controlate cu 1°C	Ridicat	O schimbare mică a variabilei măsurate generează o schimbare mare a rezultatului. 1°C indică controler-ului să ceară deschiderea completă (100%) a vanei.
Deschide vana de la zero la 100% la o schimbare a variabilei controlate cu 5°C	Scăzut	Pentru a realiza o schimbare semnificativă a rezultatului este necesară o schimbare mare a variabilei măsurate. 1°C indica controler-ului să ceară deschiderea la 20% a vanei.

Factorul de amplificare al sistemului este influențat și de capacitatea de răspuns / performanța dispozitivului controlat. Dacă rezultatul dorit la ieșire este obținut la deschiderea maximă a dispozitivului controlat (dehiderea completă a dispozitivului conduce la îndeplinirea cerinței), factorul de amplificare al controlerului este același cu factorul de amplificare al sistemului. Dacă rezultatul dorit, este obținut atunci când dispozitivul controlat este jumătate deschis, capacitatea sistemului de control este de două ori mai mare decât este necesar. Astfel, factorul de amplificare al sistemului este funcție de factorul de amplificare al controlerului și descrie ce capacitate are sistemul de control la diferite încărcări (deschideri ale dispozitivului controlat). Un sistem cu factor mare de amplificare este un sistem pentru care o schimbare redusă a semnalului către dispozitivul controlat conduce la o schimbare mare a variabilei controlate. În condițiile în care defazajul și amplificarea sunt liniare și constante, controlerul poate fi ajustat (reglat) pentru a oferi un control precis. În practică, însă, există neliniarități (histerezis, răspuns neuniform al dispozitivului de control) sau schimbări în instalație (variații ale temperaturii apei în baterie, variații ale debitului de aer introdus), care trebuie compensate cu ajutorul logicii de control tratate în acest capitol.

a. Controlul cu două poziții

Controlul cu două poziții este cea mai simplă logică de control și se aplică sistemelor care au doar două stări – ON / OFF (Pornit / Oprit). Sistemele care au numai două stări de funcționare (Pornit – Oprit) folosesc aproape întotdeauna controlul cu două poziții. Este utilizat pentru instalațiile IVC de dimensiuni mici din locuințe. [2]

Figura 5 prezintă acțiunea unui control cu două poziții pentru un termostat al unui sistem de încălzire. În Figura 6 este prezentat răspunsul controlerului dintr-o schema de control pentru

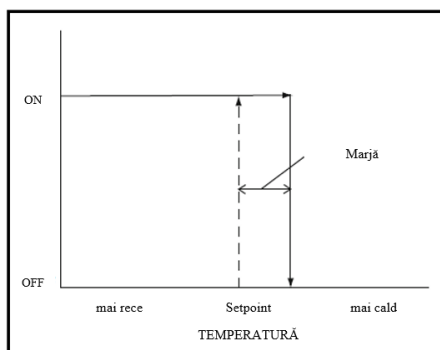


Figura 5. Control cu două poziții [2]

situația în care aerul introdus este mai rece cu 50% decât valoarea de referință a temperaturii. Cele două poziții ale elementului de execuție (vanei), în acest caz, sunt: vană complet deschisă (permițând curgerea completă a agentului termic prin baterie) și vană complet închisă (nu există curgere / debit de agent termic). Pe axa verticală este reprezentată valoarea variabilei controlate sau „sesizate” (temperatura aerului introdus), în timp ce pe axa orizontală este reprezentat timpul. Așa cum se observă în graficul din Figura 6 corelat cu Figura 3, în care este prezentată schema de control, temperatura aerului introdus detectat de senzorul de temperatură începe să scadă deoarece aerul care traversează bateria este mai rece decât valoarea de referință. La scăderea valorii temperaturii sub valoarea de referință (linia orizontală inferioară punctată din grafic), controlerul determină deschiderea vanei și agentul termic va curge prin baterie. Temperatura aerului nu va crește imediat, deoarece este nevoie de un interval de timp pentru deschiderea vanei și pentru încălzirea bateriei, înainte ca aceasta să încălzească aerul. Vana va rămâne deschisă până când marja operațională va conduce la creșterea temperaturii aerului furnizat până la valoarea de referință. Marja de control reprezintă diferența fixă dintre valorile care determină deschiderea, respectiv închiderea vanei și este reprezentată pe grafic ca diferență dintre valoarea de referință și valoarea corespunzătoare liniei punctate orizontale superioare din grafic.

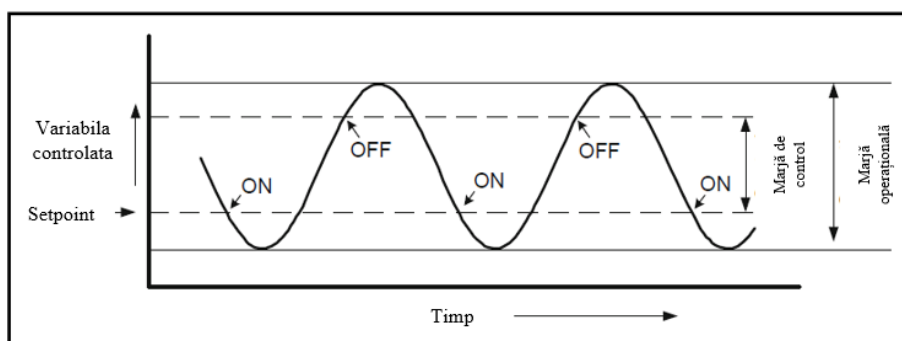


Figura 6. Răspunsul unui controler pentru aer introdus cu 50% mai rece decât Setpoint [2]

Atunci când temperatura aerului ajunge la valoarea corespunzătoare comenzii închis (intersectează această linie), controlerul va închide vana. Există întârziere și în cazul acestui proces. Înainte ca temperatura aerului să înceapă să scadă agentul termic din baterie și bateria în sine trebuie să se răcească. Apoi, temperatura aerului scade până când atinge din nou valoarea de referință și ciclul se repetă. În acest exemplu, ciclul începe cu deschiderea vanei la valoarea de referință a temperaturii și se încheie cu închiderea vanei când este atinsă marja de control. O variantă alternativă este aceea în care valoarea de referință este setată la jumătatea intervalului având capetele la punctul de deschidere, respectiv închidere a vanei.

Marja operațională este rezultatul abaterilor cauzate de întârzieri și, așa cum se observă în Figura 6, este întotdeauna mai mare decât marja de control. Marja operațională este, în Figura 6, distanța dintre cele două linii orizontale continue și reprezintă diferența dintre valoarea maximă și cea minimă pe care o poate avea variabila controlată (temperatură). În instalațiile IVC reale nu este posibilă eliminarea întârzierilor și a defazajului, dar este posibilă micșorarea marjei operaționale în sensul apropiării acestora de marja de control, prin anticipatoare. Un exemplu de anticipator este rezistența amplasată în apropierea senzorului de temperatură, uzuală în cazul termostatelor pentru încălzirea monozonă. Alimentată atunci când încălzirea este pornită, aceasta face ca răspunsul senzorului să fie mai rapid, urmare citirii false a variabilei controlate. Procesul de

încălzire va fi oprit înainte ca temperatura reală a spațiului să crească peste marja de control, astfel abaterea se micșorează, la fel și marja operațională, așa cum se vede în Figura 7. Același dispozitiv poate fi utilizat pentru anticipare și în cazul proceselor de răcire, în acest caz dispozitivul fiind alimentat pentru inițierea secvenței de OFF a ciclului.

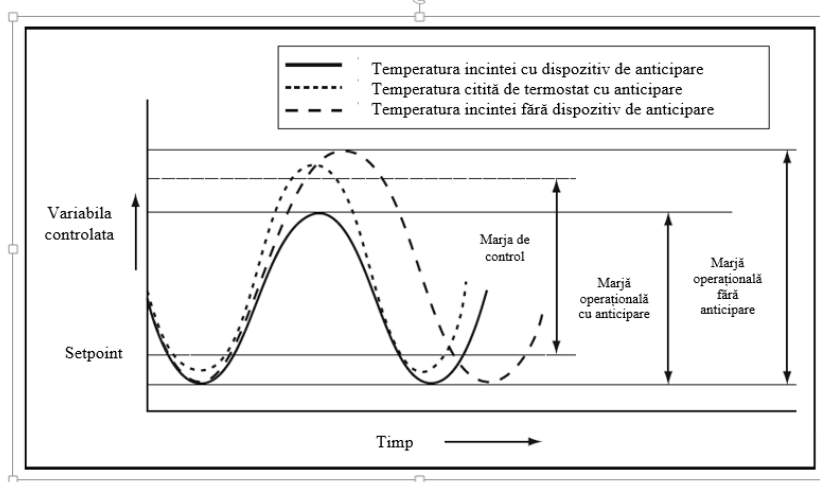


Figura 7. Efectul anticipării în cazul controlului cu două poziții [2]

În ciuda utilizării dispozitivelor de anticipare, însăși existența unei marje de control conduce la fluctuații de temperatură. Temperatura aerului se menține la valoarea de referință pentru o perioadă foarte scurtă. Prin scăderea marjei de control s-ar putea obține o precizie mai bună a controlului, ceea ce însă ar conduce la ciclu de operare scurt, la ineficiență a instalației de încălzire sau răcire și scurtarea duratei de viață. Performanța bună a controlului în două poziții (capacitatea de a menține variabila controlată în apropierea valorii de referință, la marja operațională rezonabilă, fără ciclu scurt) depinde de factorul de amplificare al sistemului și, în consecință, de proiectarea instalației IVC. Supradimensionarea echipamentului de proces (instalația IVC) ar conduce la marjă de control ridicată, rezultând astfel o marjă operațională inacceptabil de mare sau ciclu de funcționare scurt. Sistemul de control nu poate compensa proiectarea defectuoasă a instalației IVC. În situațiile în care se cere variație mare a sarcinii termice, dacă factorul de amplificare este foarte mare (urmare capacității echipamentului de proces) este recomandată utilizarea instalațiilor IVC cu capacitate /sarcină variabilă/ modulabilă, continuu sau în pași /trepte.

Instalațiile cu sarcină/ capacitate variabilă/ modulabilă continuă sunt controlate prin control flotant sau modulant, care vor fi tratate pe scurt în paragrafele următoare. Instalațiile cu capacitate /sarcină variabilă / modulabilă în trepte sunt controlate de sisteme de control în trepte.

Controlul în trepte reprezintă o serie de controale cu două poziții care controlează aceeași variabilă, dar la valori de referință diferite (exemple motoare cu mai multe viteze, arzătoare în mai multe trepte, compresoare în mai multe trepte etc.).

Figura 8 arată modul de funcționare în trepte a unui controler pentru o instalație de încălzire cu două trepte de încălzire și trei stări de operare (treaptă încălzire ridicată, treaptă încălzire joasă, oprit).

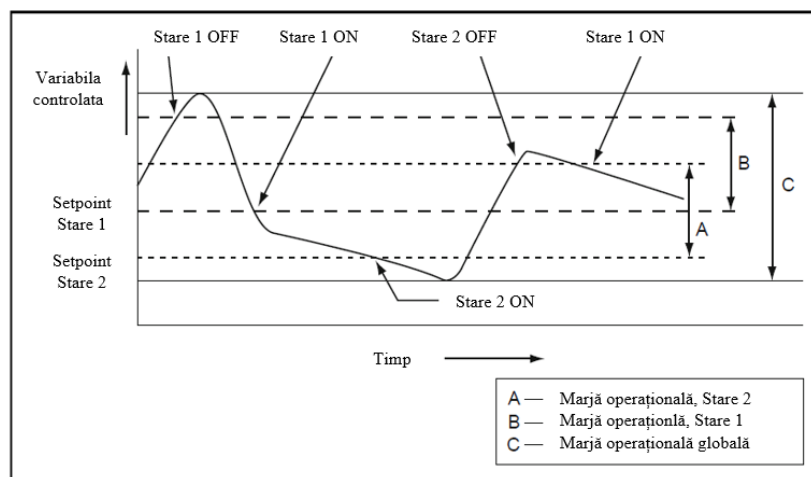


Figura 8. Control cu funcționare în trepte [2]

Pe măsură ce temperatura scade sub valoarea de referință a stării 1, pornește prima treaptă de încălzire. (Dacă instalația ar face față sarcinii, temperatura ar varia în jurul acestei valori de referință și a marjei de control respective, la fel ca în cazul controlului cu două poziții). Apoi, așa cum se observă în Figura 8, temperatura continuă să scadă sub valoarea de referință a stării 2 și pornește a doua treaptă de încălzire. (Funcționarea în jurul acestei stări este la fel ca în cazul controlului cu două poziții). Marjele operaționale se suprapun; temperatura la care pornește prima treaptă de încălzire este mai mică decât temperatura la care se oprește a doua treaptă. Alternativ, valorile de referință și marjele de control s-ar fi putut seta pentru intervale care nu se suprapun, dar prin suprapunerea intervalelor se reduce marja operațională globală, fără a fi necesară utilizarea unor marje operaționale reduse, individual pentru fiecare etapă. În acest fel, se poate asigura control fin, fără ciclu scurt.

b. Controlul flotant

Controlul flotant (numit și „control cu trei stări”) este similar cu controlul în două poziții, dar instalația pe care o controlează are mai mult de două stări. Instalația trebuie să aibă în componență un element de execuție modulată (cu închidere continuă), de obicei clapetă sau vana acționată printr-un actuator (motor) bidirecțional. Controlerul are, în această situație, trei moduri de funcționare: Deschis, Inactiv sau Închis.

La fel ca și controlul cu două poziții, controlul flotant are valoare de referință și marjă de control. Unele controlere flotante pot avea posibilitatea de a seta și a opera cu două valori de referință (superioară și inferioară). Marja de control este în acest caz, diferența dintre cele două valori de referință. Când temperatura aerului introdus scade sub valoarea de referință (vezi Figura 9), controlerul deschide elementul de execuție (vana de control), și astfel crește debitului agentului termic prin baterie. Urmare întârzierii de deschidere a vanei și a defazajelor termice, valoarea temperaturii aerului introdus se situează sub marjă, însă în cele din urmă va crește deasupra acesteia și vana nu mai este în poziția deschisă, trece în poziția în care era înainte de creșterea valorii temperaturii peste valoarea inferioară a marjei. Atâta timp cât valoarea temperaturii este în marjă, poziția elementului de execuție (vanei) nu se va schimba. Dacă valoarea temperaturii crește peste valoarea superioară a marjei, controlerul va închide vana, scăzând astfel debitul agentului termic prin baterie. Vana se va opri din funcționare indiferent de poziția în care se află, imediat ce valoarea temperaturii revine în marjă. După cum se observă în Figura 10, semnalul este transmis

actuatoarei pentru oricare din pozițiile deschis sau închis, în funcție de citirea reacției (feedback) sale de către controler. [2]

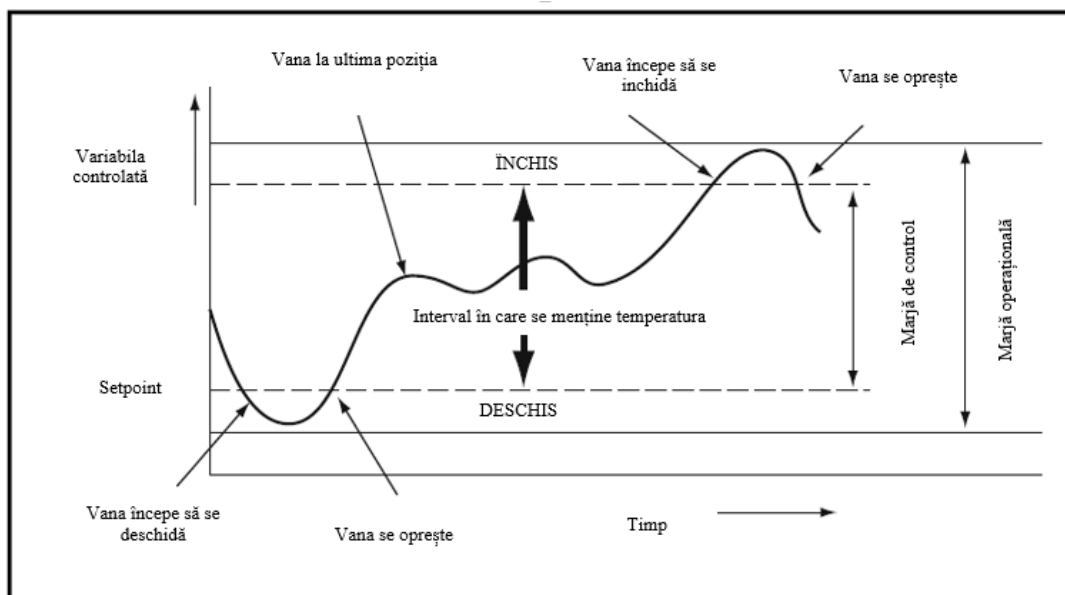


Figura 9. Control flotant [2]

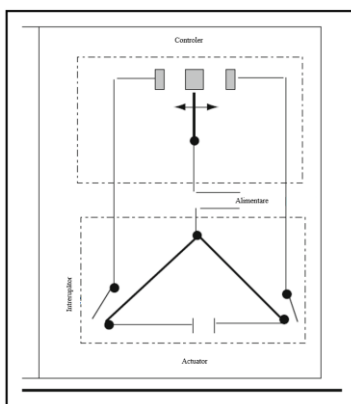


Figura 10. Transmiterea semnalului către actuator [2]

Deoarece elementul de execuție are mai degrabă funcționare variabilă decât cu două poziții, marja de control în cazul controlului flotant poate fi mai mică decât cea pentru controlul cu două poziții, fără a conduce la instabilitate sau cicluri scurte. Ca și în cazul controlului cu două poziții, marja operațională în cazul controlului flotant este mai mare decât marja de control, urmare defazajelor termice și a altor întârzieri. Utilizarea dispozitivelor de anticipare este recomandată și în cazul controlului flotant, deoarece depășirea marjei poate fi severă. Trecerea vanei de la complet deschis la complet închis trebuie să se facă relativ lent pentru a evita controlul instabil. (Dacă vana se închide prea repede, sistemul se comportă în esență ca un control cu două poziții.)

c. Control modulant

Multe sisteme IVC se confruntă cu sarcini termice foarte variate, sunt dotate cu echipamente care au funcționare continuă sau aproape continuă. Precizia de a le controla se poate îmbunătăți semnificativ prin utilizarea logicii de control modulante, prezentată în paragrafele următoare.

Având variabilă de ieșire continuă, sistemele de control modulante moderne utilizează algoritmi sofisticăți, care depășesc logică de control proporțională.

Modelul matematic aproximativ pentru procesul care are loc în cazul controlului modulant este descris de ecuația:

$$V = V_0 + V_p + V_i + V_d = V_0 + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \, dt + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (1)$$

unde,

V este ieșirea controlerului

V_0 este abaterea de reglaj, compensare

V_p , se numește termenul proporțional și este proporțional cu eroarea e , prin eroare înțelegându-se diferența dintre valoarea curentă a variabilei controlate și setpoint

V_i se numește termenul integral și este proporțional cu integrala din eroare în funcție de timp, media ponderată în timp a erorii

V_d se numește termen derivativ și este proporțional cu derivata erorii în raport cu timpul, rata de modificare a erorii

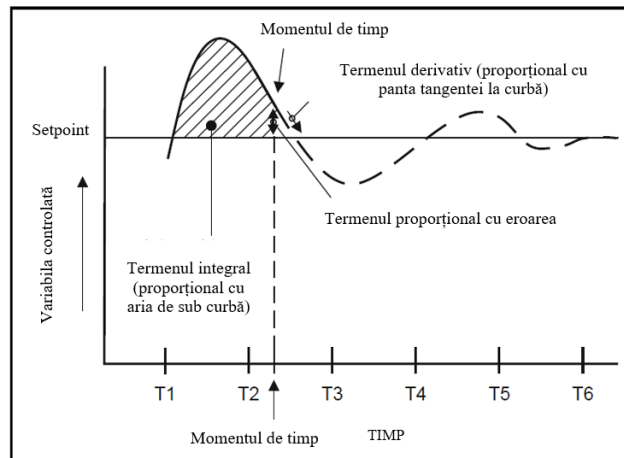


Figura 11. Control modulant [2]

Semnificația acestor termeni se poate vedea în Figura 11. Termenul proporțional variază proporțional cu eroarea și arată cât de departe este variabila controlată de valoarea de referință la momentul de timp în discuție. Termenul integral este proporțional cu media ponderată în timp a erorii (aria de sub curbă, zona hașurată din figură) și arată cât de departe și cât timp până la momentul de timp în discuție s-a situat variabila controlată față de valoarea de referință. Termenul derivativ este proporțional cu panta tangentei la grafic la momentul de timp în discuție și arată viteza cu care variabila controlată se apropie de valoarea de referință (cât de repede se apropie sau sau îndepărtează de valoarea de referință).

Dacă se elimină termenul integral și termenul derivativ din ecuația 1 se obține modelul matematic pentru logica de control proporțională.

$$V = V_0 + K_p \cdot e \quad (2)$$

Controlul proporțional reprezintă cea mai simplă logică de control modulant. Practic, este utilizată în toate termostatele pneumatice, majoritatea controlerelor pneumatice și majoritatea controlerelor electronice analogice. Figura 12 arată răspunsul unui sistem proporțional la pornire sau la modificarea valorii de referință.

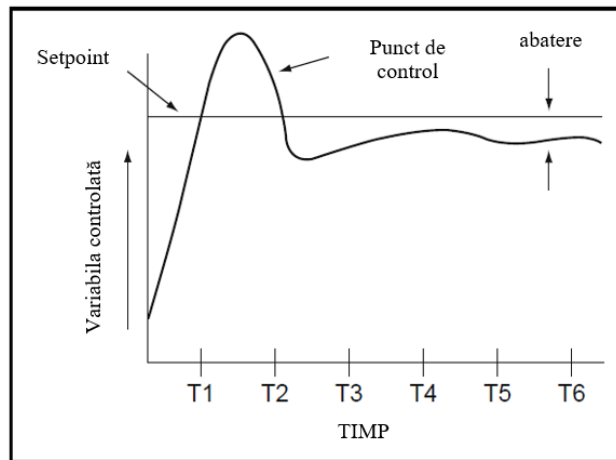


Figura 12. Control proporțional [2]

Variabila controlată de sistem se va apropia de valoarea de referință și apoi o va depăși, din cauza întârzierilor și a defazajului termic menționate. Deviația variabilei controlate față de valoarea de referință va scădea în timp până când, la sarcini termice stabile, va fi aproximativ constantă și sub valoarea de referință; se numește eroare/abatere/deviație sau offset (termen larg utilizat în literatura de specialitate). Caracteristica definitorie a controlului proporțional este abaterea continuă / aproximativ constantă, în condiții staționare (sarcină constantă). Controlul proporțional păstrează variabila controlată exact la valoarea de referință pentru o singură valoare a sarcinii termice; pentru toate celelalte, va exista offset. Valoarea offset-ului este o funcție de constanta K_p (factorul de amplificare proporțional al controlerului). Cu cât factorul de amplificare proporțional este mai mare, cu atât offset-ul este mai mic. Zona de proporționalitate a sistemului de control înseamnă cu cât se modifică valoarea variabilei controlate pentru a determina o cursă completă a dispozielementului de execuție (vană), de la complet închis, la complet deschis. Minimizarea sau eliminarea offset-ului se poate realiza prin aplicarea împreună cu logica de control proporțională a logicii de control integrale.

Logica de control proporțională și integrală (PI), se exprimată matematic prin următoarea ecuație:

$$V = V_0 + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \, dt \quad (3)$$

Cu cât eroarea/abaterea persistă mai mult, cu atât termenul integral devine mai mare, astfel încât efectul este, întotdeauna, de a conduce valoarea variabilei controlate către valoarea de referință și eliminarea offset-ului. Acest lucru este prezentat în Figura 13.

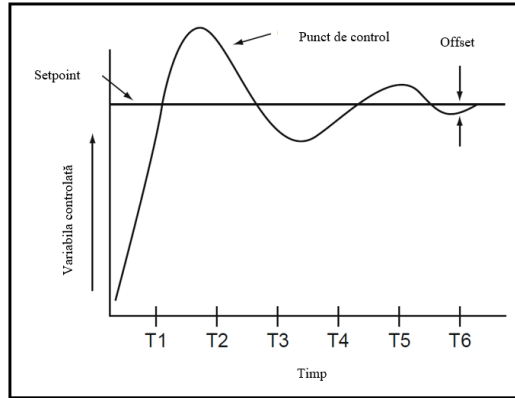


Figura 13. Control PI [2]

Senzitivitatea logicii de control este, în acest caz, funcție de factorul de amplificare proporțional K_p și factorul de amplificare integral K_i . La fel ca și în cazul controlului proporțional, controlul PI poate fi instabil dacă factorii de amplificare sunt prea mari.

Logica de control proporțional, integral, derivativă (PID) este modelată matematic de toți cei trei termeni ai ecuației (1).

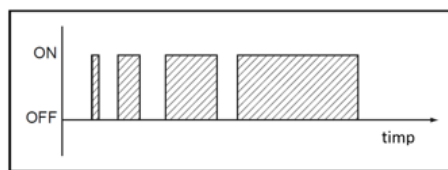
Termenul care conține derivata semnifică reducerea deviației, prin atenuarea reacției descrise de termenul integral. Controlul derivativ are un răspuns foarte rapid, ceea ce îl face foarte util în aplicații precum procesele industriale cu acțiuni rapidă. Deoarece majoritatea răspunsurilor sistemului IVC sunt relativ lente, controlului derivativ nu este des utilizat în aplicațiile IVC.

Termenul diferențial poate complica procesul de reglare / control și poate conduce la instabilitate în răspunsuri. (Deși bucla de control generică, este adesea denumită buclă PID, funcția derivată este de obicei neutilizată.)

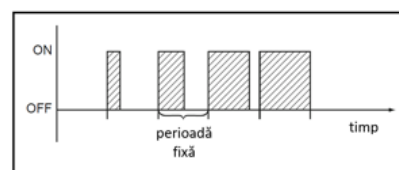
Modularea impulsurilor în lățime și modularea în durată

Un alt tip de logică de control modulant aplicată unei ieșiri de tip pornit-oprit este modularea impulsului în lățime (PWM). Ieșirea se bazează pe o serie de pași discreți, care simulează modularea reală. Ieșirea controlerului constă într-o serie de impulsuri de lățime variabilă (vezi Figura 14.a) care conduc/depulsează/comandă elementul de execuție.

Semnalul de ieșire din bucla de control (V) definește mai degrabă lățimea impulsurilor decât poziția dispozitivului controlat așa cum se întâmplă în cazul controlului modulant real. O variație a logicii PWM este modularea în durată (vezi Figura 14.b). La fel ca și la logica PWM, ieșirea constă într-o serie de impulsuri pornit/oprit, având aceeași perioadă. Variabile în cadrul unei perioade sunt durata stării pornit/ON și durata stării oprit/OFF (dutatele stărilor ON/OFF sunt diferite pentru perioade diferite).



a.



b.

Figura 14. Modularea impulsului în lățime [2]

2.1.4. Factorul de amplificare și reglajul buclei

Reglajul buclelor de control pentru instalații IVC se realizează diferit în funcție de aplicația pentru care este utilizat. Același controler se poate folosi pentru a controla o baterie de încălzire

care deservește o cameră de hotel sau un depozit foarte mare, fiind astfel necesar reglajul acestuia în concordanță cu aplicația pentru care este utilizat.

Efectele reglajului buclei de control se pot observa în Figurile 15, 16 pentru bucle de control proporțional, proporțional-integral și proporțional-integral-derivativ cu diverși factori de amplificare, unde se poate observa răspunsul controlerului pentru diverse valori ale setpoint-ului (valorii de referință) care se modifică în pași. Așa cum rezultă din curbe, precizia și stabilitatea buclei de control poate fi optimizată prin alegerea corectă a factorului de amplificare respectiv proporțional, proporțional-integral sau proporțional-integral-derivativ. Reglajul este o acțiune complicată, care de cele mai multe ori se realizează empiric, prin încercări. Tehnica constă în ajustarea factorului de amplificare proporțional și apoi a factorului de amplificare integral pentru eliminarea offset-ului. Uzual, componenta derivativă nu este utilizată deoarece complică procesul de reglaj.

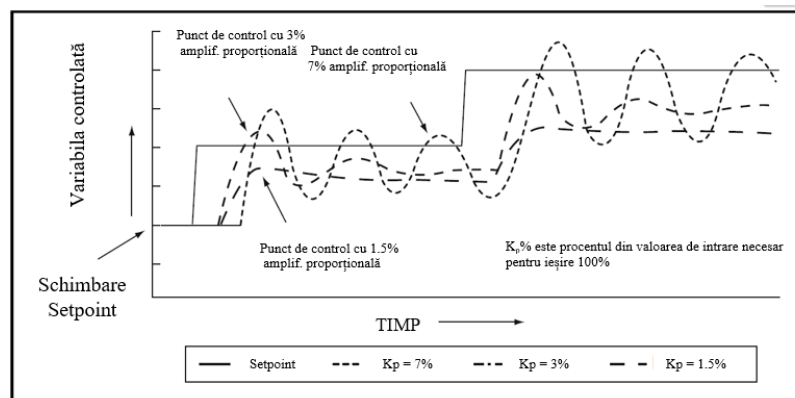


Figura 15. Control proporțional [2]

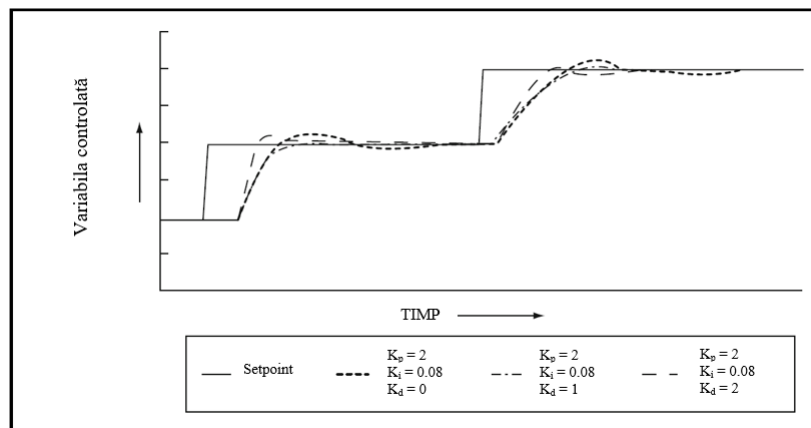


Figura 16. Control proporțional – integral [2]

Factorii de amplificare PID sunt setați inițial empiric la valori recomandate de producător sau la valori întâlnite la aplicații similare. Se va observa apoi instalația în funcțiune și se va crește valoarea factorului de amplificare până la apariția oscilației. Apoi factorul de amplificare va fi redus la jumătate. Deși nu este optimă, această procedură are rezultate rezonabile. Se pot utiliza tehnici mai precise de reglare a buclei, dar procesul este complicat, dificil de realizat manual. Unele sisteme de control digital includ software care aplică aceste tehnici de reglare automat fără intervenție din partea tehnicianului.

Logica de control proporțional sau P presupune că procesele sunt liniare; funcția care descrie eroarea are aceleași caracteristici, independent de condițiile de operare. Cele mai multe procese reale sunt neliniare și, prin urmare, logica de control PID este dificil de configurat astfel încât eroarea să fie menținută zero în toate condițiile.

Pentru atenuarea acestei probleme, buclele de control ar putea fi auto-ajustate dinamic, adică factorii de amplificare ar putea fi ajustați automat și continuu pentru a menține precizia de control indiferent de condițiile de funcționare. Unele sisteme de control digital au această capacitate și este de așteptat să fie dezvoltate alte sisteme de control „robuste”, cu răspuns rapid, pe măsură ce se dezvoltă tehnici noi de autoreglare (self-tuning). Logica „fuzzy”, care este o alternativă relativ nouă la logica de control PID este un alt mijloc prin care se vor putea corecta neliniaritățile.

2.1.5. Mod de acțiune. Poziție

Controlerele pot fi cu acțiune directă sau cu acțiune inversă. Acești termeni exprimă dependența dintre sensul de variație a semnalului de ieșire al controlerului și sensul de variație a valorii variabilei controlate.

Acțiunea directă înseamnă că semnalul la ieșirea controlerului crește pe măsură ce valoarea variabilei controlate crește, iar acțiunea inversă înseamnă că semnalul la ieșirea controlerului scade pe măsură ce valoarea variabilei controlate crește. De exemplu, în cazul unei vane dintr-un sistem de răcire utilizată pentru controlul temperaturii, dacă temperatura aerului refulat este mai mare decât valoarea de referință a temperaturii (setpoint), semnalul către vană poate fi crescut pentru a deschide vană, astfel încât debitul apei reci prin baterie să crească. Acțiunea este „directă”, deoarece atunci când valoarea temperaturii (variabila controlată) este situată deasupra valorii de referință este necesară creșterea semnalului către vană, pentru deschiderea acesteia. Similar, pentru a controla încălzirea se exercită acțiune „inversă”, dacă valoarea temperaturii este situată sub valoarea de referință, este necesară creșterea semnalului. Termenul de control, utilizat în contextul de mai sus indică sensul de modificare a semnalului de ieșire relativ la sensul de modificare a variabilei controlate (semnalul de ieșire crește – valoarea variabilei controlate crește, semnalul de ieșire scade – valoarea variabilei controlate scade). În Figura 17 sunt prezentate schematic acțiunea directă și acțiunea indirectă pentru logica de control proporțională. În acest caz semnalul variază direct proporțional cu eroarea, așa cum arată modelul matematic descris de ecuația 2. Mărimea pantei drepte este factorul de amplificare proporțional, semnul pantei fiind pozitiv pentru acțiune directă și negativ pentru acțiune inversă. Intervalul de proporționalitate este diferența dintre valoarea minimă și maximă a variabilei controlate care determină dispozitivul controlat (elementul de execuție) să treacă de la poziția complet deschis la poziția complet închis.

Elementele de execuție / dispozitivele controlate (clapete, vane sau întrerupătoare) pot funcționa normal deschis sau normal închis pentru a permite curgerea prin echipamentul de proces. Acești termeni indică poziția statică a elementului de execuție conectat la elementul de acționare (actuador, motor). Dispozitivele controlate au în mod obișnuit mijloace de autoacționare (arc încorporat în actuador sau releu) care pot acționa dispozitivul atunci când efectul elementului de acționare încetează (ex. o clapetă normal închisă este configurată astfel încât arcul duce automat clapeta în starea dinaintea exercitării acțiunii de control).

Tabel 3 –Relația dintre acțiunea de control și poziția normal pentru aplicațiile de încălzire și răcire [2]

Aplicație Element de execuție / Dispozitiv controlat	NORMAL DESCHIS	NORMAL ÎNCHIS
Încălzire – VANĂ sau CLAPETĂ	ACȚIUNE DIRECTĂ	ACȚIUNE INDIRECTĂ
Răcire – VANĂ sau CLAPETĂ	ACȚIUNE INDIRECTĂ	ACȚIUNE DIRECTĂ

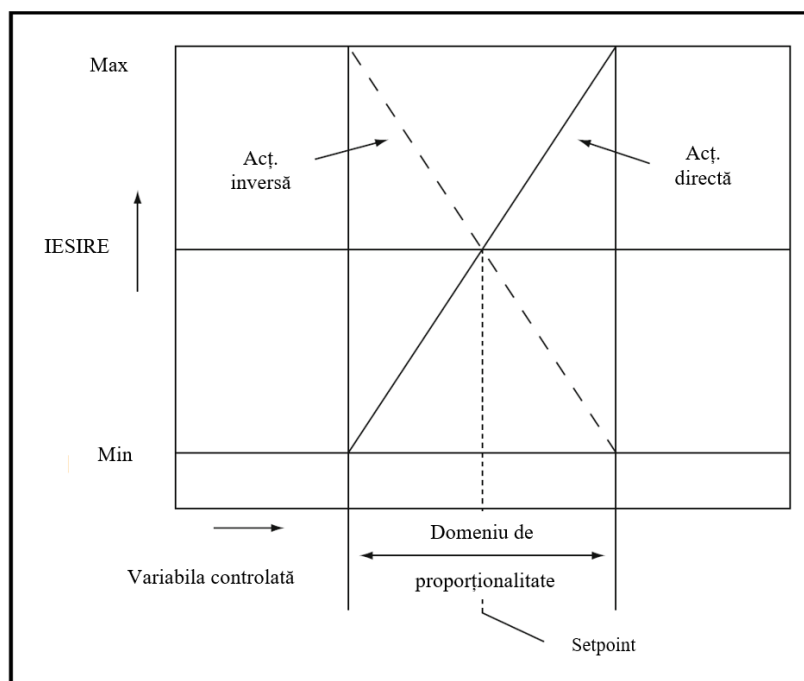


Figura 17. Acțiunea directă și inversă în cazul logicii de control proporțional [2]

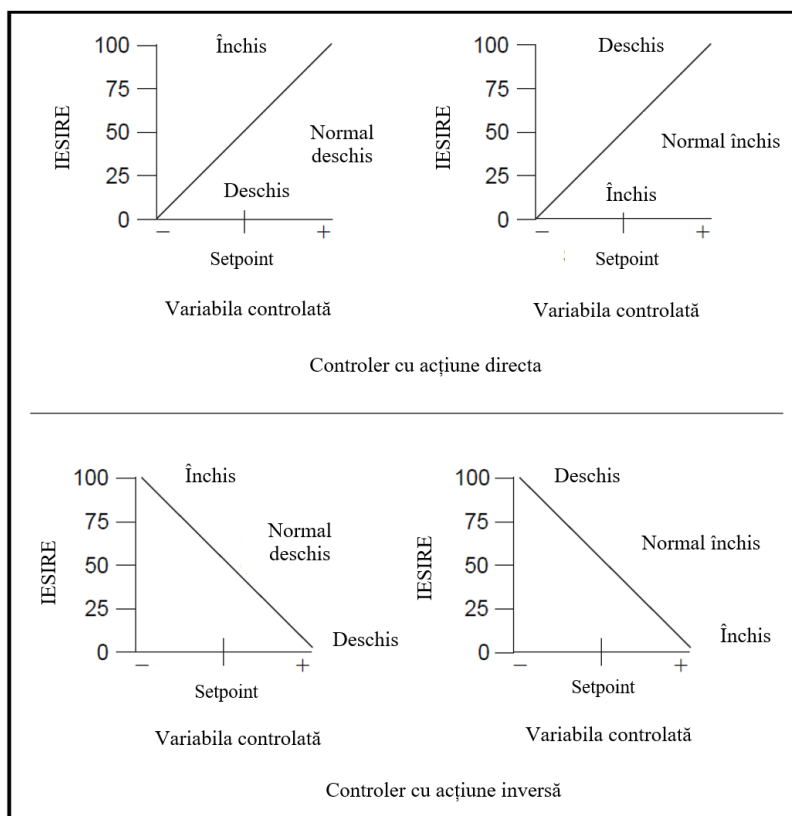


Figura 18. Poziția normală și acțiunea de control pentru logica de control proporțional [2]

Poziția normală poate fi folosită și ca mijloc convenabil de a influența strategia de control. Din acest motiv, poziția normală trebuie coordonată cu comanda / acțiunea controlerului și tipul echipamentului de proces. Relația dintre acțiunea de control și poziția normală pentru aplicații de încălzire și răcire este prezentată în Tabelul 3. Iar în Figura 18 este prezentată aceeași relație pentru controlul proporțional.

În majoritatea aplicațiilor, se selectează mai întâi poziția normală dorită și apoi sensul de acțiune a controlerului (acțiune inversă sau acțiune directă) adecvat poziției normale selectate și tipul echipamentului de proces (de exemplu echipament de încălzire sau răcire).

2.1.6. Domeniu de control. Secvențiere

Ieșirea dintr-o buclă de control, V în ecuațiile 1, 2, 3 poate fi scalată pentru a genera valori într-un interval dat, prin ajustarea factorilor de amplificare în raport cu eroarea. Se va exemplifica pentru situația în care se dorește ca o ieșire a buclei de control să varieze de la 0% la 100%, cu 0% corespunzând stării “complet închis” a elementului de execuție, cu bucla având acțiune directă (sau stare “complet deschis”, cu bucla având acțiune inversă) și 100% corespunzând deschiderii complete (închiderii complete pentru acțiune inversă).

Pentru ca elementul de execuție (dispozitivul controlat) să funcționeze împreună cu un controler dat este necesar ca cel puțin un interval inclus în domeniul de control al elementului de execuție să coincidă cu ieșirea controlerului. Domeniul de control este intervalul în interiorul căruia un semnal poate controla elementul de execuție. (Elementul de execuție răspunde semnalului; domeniu în afara căruia semnalul de control nu are efect asupra elementului de execuție). La capetele domeniului / intervalului de control, elementul de execuție este într-una din stările extreme (complet deschis sau complet închis pentru o vană sau pentru o clapetă). Mărimea intervalului de control este diferența dintre mărimile corespunzătoare acționării elementului de execuție de la o extremă la cealaltă.

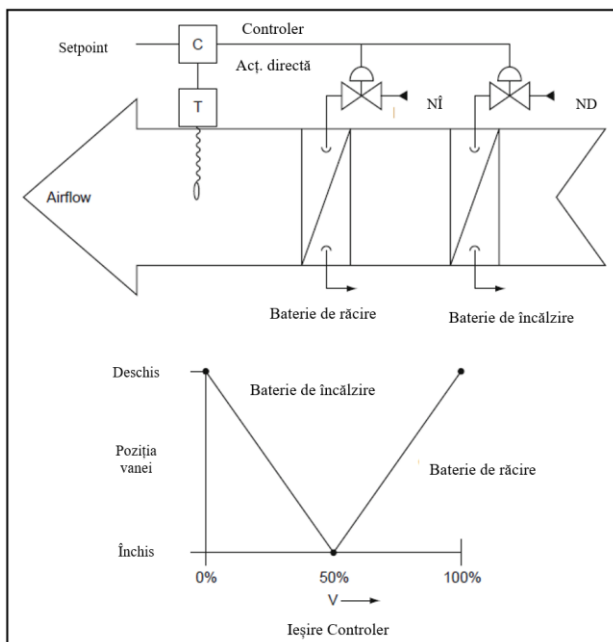


Figura 19. Secvențiere [2]

Prin alegerea corectă a elementelor de execuție, mai exact prin alegerea corectă a domeniului de control și a poziției normale, acestea pot fi secvențiate folosind un singur controler. Secvențierea

înseamnă acționarea într-o ordine prestabilită, cu acoperirea integrală a domeniului de control a fiecărui dispozitiv dintr-o buclă de control.

Standardele în domeniu prevăd, de obicei, ca domeniile de control ale vanelor să nu se suprapună. Standardul ASHRAE 90.1 are chiar o cerință mai strictă decât cu privire la “banda moartă” / zona neutră (interval de temperatură în care instalația IVC nu realizează nici răcire, nici încălzire) a instalației IVC. Această cerință prevede ca atunci când pentru controlul încălzirii și răcirii simultane se utilizează bucla de control termostatic zonal, aceasta trebuie să aibă capacitatea de a asigura un interval de temperatură de cel puțin 3°C în interiorul căreia încălzirea și răcirea zonei să fie oprită sau redusă la o valoare minimă. [2]

2.1.7. Dispozitivul controlat. Senzori. Sisteme de control automatizat

Dispozitivul Controlat (Elementul de execuție)

Vanele și clapetele de reglaj sunt cele două dispozitive principale de control pentru circulația agentului termic și a aerului în instalațiile IVC. Se va realiza, în cele ce urmează, o scurtă trecere în revistă a acestor dispozitive precum și a principiului lor de funcționare.

Vana cu două și trei căi

În instalațiile IVC, vanele de control sunt utilizate în principal pentru a controla debitul apei de răcire, apei calde și a condensului. Controlul altor fluide, prin intermediul vanelor, nu face subiectul acestei lucrări. Așa cum se observă în Figura 20 vanele de control pot fi cu două căi (o intrare și o ieșire) și acționează ca o rezistență hidraulică variabilă sau vane cu trei căi (două intrări și o ieșire pentru vanele de amestec / o intrare și două ieșiri pentru vanele de deviație/derivație).

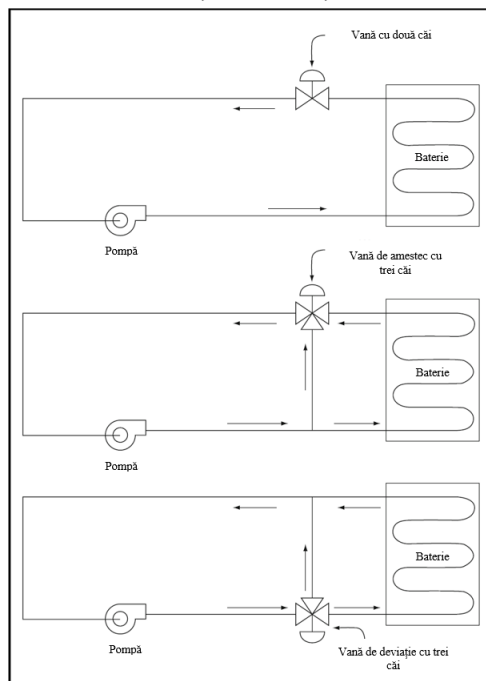


Figura 20. Vane de control [2]

În cazul vanelor de amestec cu trei căi, două fluxuri de curgere se combină într-unul singur, iar în cazul vanelor de deviație/derivație un singur flux de curgere este separat în două fluxuri. Toate cele trei configurații prezentate în figură modulează curgerea agentului termic prin bateria de răcire sau încălzire pentru a varia capacitatea/sarcina acesteia. Schema cu vană cu două căi, caz în care debitul prin rețeaua hidraulică este variabil, funcționează bine pentru instalațiile de încălzire (de obicei cu cazan). În cazul configurațiilor cu vane cu trei căi, debitul rămâne relativ constant

prin bucla care conține pompa și variabil în bucla care conține bateria. Aceste scheme sunt folosite frecvent în sistemele de răcire cu apă, unde chiller-ul necesită adesea un debit constant.

Vana cu două căi este probabil cea mai importantă componentă a unei rețele de distribuție a fluidelor. Constructiv, vanele de control cu două căi sunt de trei tipuri: vane fluture, vane cu sertar și vane cu bilă. Cele trei tipuri de vane sunt acționate cu actuator, care deplasează sus-jos tija în cazul vanei cu sertar sau rotește tija, în cazul vanelor fluture și cu bilă (Figura 21).

Vanele cu trei căi asigură un debit variabil prin baterie, menținând în același timp debit relativ constant în sistem, așa cum se arată în Figura 20.

În Figura 22 este prezentată schema de funcționare a vanei cu trei căi.

În cazul vanei de amestec cu trei căi, cele două fluxuri de intrare sunt combinate într-un flux de ieșire și invers în cazul vanei de deviație / derivație.

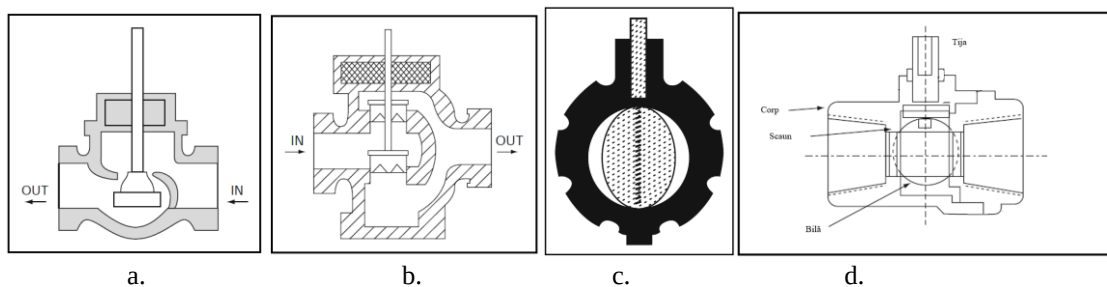


Figura 21. Vane cu două căi [2]

Portul de ieșire al vanei de amestec sau portul de intrare pentru vana de deviație / derivație se numește portul comun și se notează uzual cu C (sau AB).

Portul normal-deschis către portul comun al vanei de amestec, este notat cu ND iar celălalt port, normal-închis către portul comun, este notat cu NÎ. Ieșirea comună comună este de obicei notată COM sau OUT (vezi Figura 23). Notățiile sunt similare pentru vana de deviație / derivație.

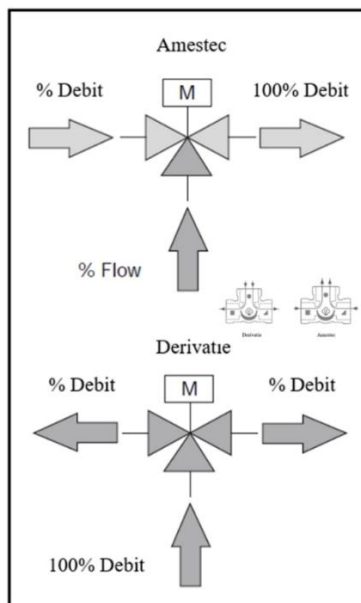


Figura 22. Schema de funcționare a vanei cu trei căi [2]

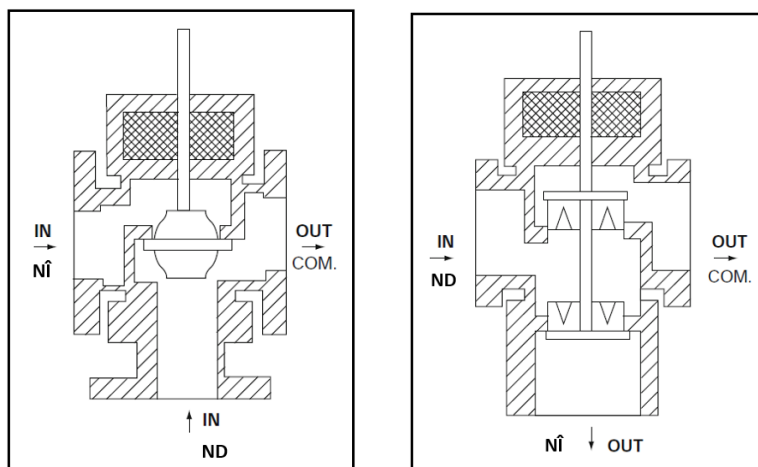


Figura 23 Poziția normală pentru vana cu trei căi [2]

Figura 24 prezintă două configurații tipice pentru vanele de amestec cu trei căi. În prima configurație, pentru a permite circulația agentului termic prin baterie, vana de amestec este normal-închisă. Pentru configurația cu vana normal-deschisă notația porturilor se inversează. Portul comun este orientat întotdeauna către retur.

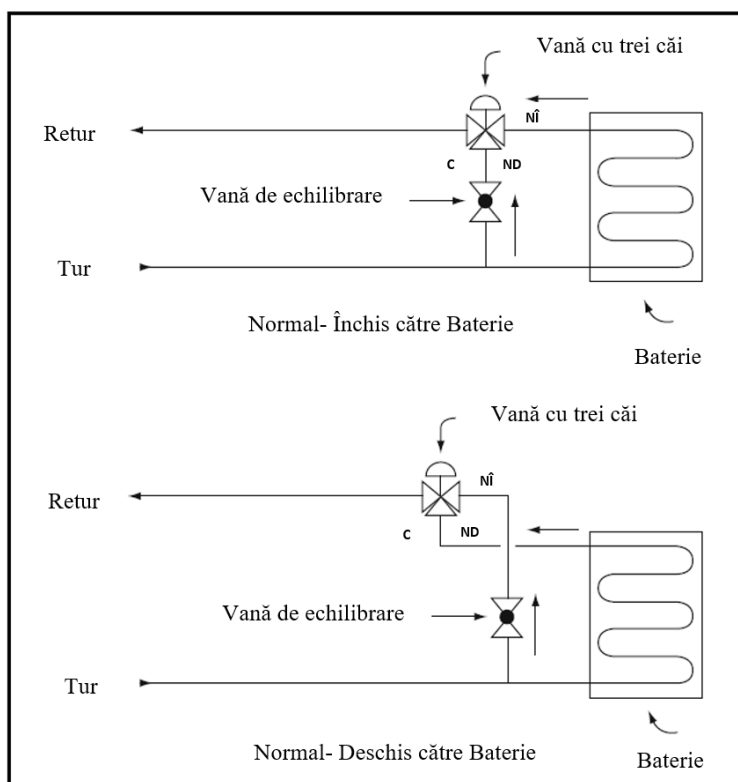


Figura 24. Configurații cu vană cu trei căi [2]

Graficul din Figura 25 arată relația dintre cursa, în procente și debitul vanei, în condițiile în care căderea de presiune pe vană este constantă.

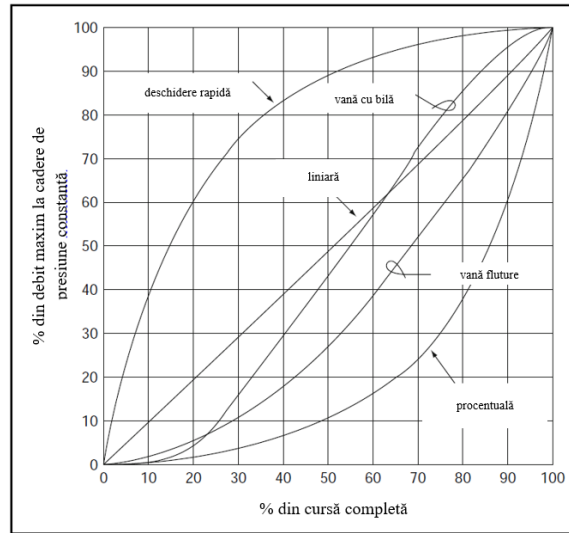


Figura 25. Relația Cursă – Debit [2]

Cursa vanei este considerată zero atunci când vana este închisă și 100% atunci când vana este deschisă, punctul dincolo de care debitului nu mai crește. Autonomia vanei este raportul dintre valoarea maximă și valoarea minimă a debitului care poate fi controlat de vană. Pentru o vană de control utilizată în instalațiile IVC autonomia este de 20:1, ceea ce este echivalent cu controlul a 5% din debitul nominal. Pentru aplicațiile HVAC acest nivel de control este suficient.

Alegerea corectă a acestor caracteristici a vanei de control și bateriei are o importanță foarte mare pentru funcționarea corectă a instalației IVC. În acest sens în Figura 26 este prezentat un exemplu simplu de combinare a caracteristicilor.

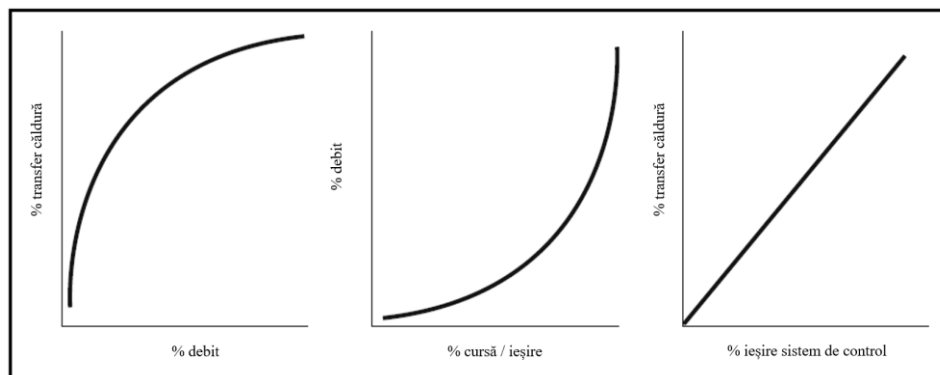


Figura 26. Exemplu de combinații de caracteristici vană și baterie [2]

Caracteristicile importante ale vanelor de control/reglaj sunt:

- Autonomia— este raportul dintre valoarea maximă și valoarea minimă a debitului care poate fi controlat de vană.
O autonomie egală cu 10 (adică un raport de 10:1) indică faptul că vana singură poate controla cel mult 10% din debitul nominal (nu poate controla debite mai mici de 10% din debitul nominal).
- Autoritatea – este raportul dintre presiunea diferențială atunci când vana este complet deschisă și presiunea diferențială când vana este aproape închisă ($\Delta P_{\text{deschis}}/\Delta P_{\text{închis}}$).

Dacă $\Delta P_{\text{deschis}}/\Delta P_{\text{închis}}=1$ evident presiunea rămâne constantă pe durata procesului.

În practică, presiunea pe vană nu ramâne constantă în timpul procesului. Pe măsură ce vana se închide presiunea diferențială crește. Prin urmare, o vană cu o autonomie relativ bună (20:1, de exemplu), dar cu autoritatea slabă (0.2, de exemplu) nu va avea capacitate bună de a controla debite scăzute ($20 \cdot \sqrt{2} \cong 9$); va asigura numai control ON-OFF pentru cea mai mare parte a domeniului ei de funcționare.

Clapete

Clapetele sunt un mijloc de control al fluxului de aer. Acestea sunt utilizate pentru a direcționa sau a modula fluxul de aer. Ele pot fi circulare, dreptunghiulare, sau ovale, potrivite cu secțiunea conductei de ventilație.

Multe dintre principiile de proiectare și selecție sunt aceleași atât pentru vane cât și pentru clapete.

Cele mai utilizate sunt clapetele dreptunghiulare, pentru aplicații IVC fiind în mod normal realizate din oțel galvanizat sau aluminiu extrudat. Aluminiul este preferat pentru clapetele de admisie a aerului exterior datorită rezistenței sale la oxidare.

Constructiv, clapetele sunt realizate din lamele care se suprapun pentru a realiza o închidere cât mai bună a clapetei, astfel încât pierderile de aer să fie minime. Pierderile de aer admise pentru clapeta standard pot fi de până la 250 l/s pe m^2 la o presiune de 250 Pa. Pierderile de aer în cazul clapetelor cu pierderi scăzute de aer sunt de până cu 50 l/s pe m^2 la presiune de 1000 Pa. În aplicațiile HVAC sunt utilizate clapete de închidere cu pierdere scăzută de aer, în jur de 10 l/s pe m^2 la 250 Pa.

Tabel 4. Pierdere maxim admisă pentru clapete de reglaj (Standarde 90.1.2004 ANSI/ASHRAE/IESNA) [2]

Climat	Pierdere maxima admisă la 250 Pa/l și m^2 de clapetă	
	Motorizată	Nemotorizată
Cald și umed, rece	20	Nu se admite
Toate celelalte	50	100

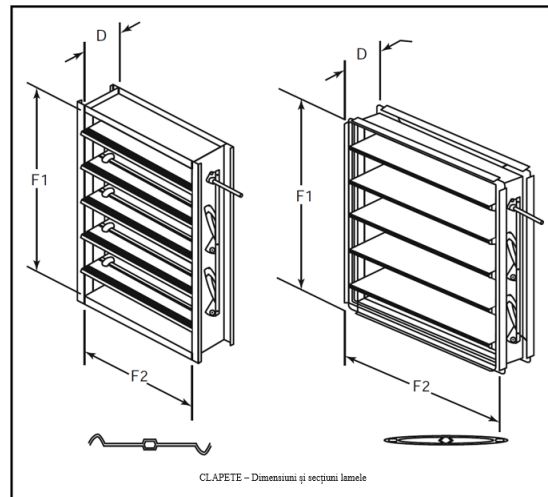


Figura 27. Clapete de reglaj [2]

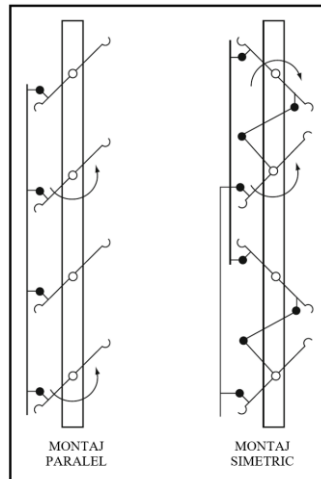


Figura 28. Scheme de montaj ale lamelor în rama clapetei [2]

Legăturile între lamele montate în interiorul ramei reduc căderile de presiune și minimizează efectele coroziunii. De asemenea, oferă o interconexiune cu o rezistență mai mare între lamele, ceea ce asigură o etanșare mai bună atunci când sunt instalate, în special pentru la clapetele vechi, unde lamele încep să se lipească. Clapetele pot fi acționate de motoare (actuatoare) cu putere suficient de mare pentru a comuta clapetele din poziția închis, în poziția complet deschis. Ca regulă generală, amortizoarele și dispozitivele de acționare ale acestora trebuie configurate pentru funcționare normal deschisă.

Există trei aplicații de bază ale clapetelor:

- Clapete cu două poziții (utilizate pentru închiderea prizelor de aer exterior, izolarea ventilatorului etc.)
- Clapete pentru controlul sarcinii (clapete pentru echilibrarea fluxurilor de aer și clapete pentru exhaustare în sisteme cu volum de aer variabil)
- Clapete pentru amestec (clapete economizoare).

Senzori

Senzorii sunt utilizați pentru măsurarea variabilei controlate. Fără măsurare, nu poate exista control. Senzorii utilizați în mod obișnuit în aplicațiile IVC sunt senzorii de temperatură, umiditate relativă, presiune, nivel de dioxid de carbon (CO₂), monoxid de carbon (CO) și de viteză/debit.

Tehnologia de detecție este un domeniu în continuă schimbare. Se dezvoltă permanent dispozitive noi cu fiabilitate mai ridicată și costuri rezonabile.

Câteva din caracteristicile importante ale senzorilor sunt prezentate în cele ce urmează.

a. Acuratețea poate fi definită ca și:

- Conformitate a valorii indicate cu o valoare reală
- Grad de libertate față de eroare, adică gradul de conformitate cu realitatea sau cu o valoare stabilită print-o regulă.
- Capacitatea unui instrument de a indica valoarea reală a mărimii fizice măsurate, cantitativ

Acuratețea, așa cum este folosită pentru această definiție nu trebuie confundată cu precizia de măsurare, acuratețea exprimând “cât de adevărată este valoarea măsurată”.

b. Domeniul de măsură poate fi definit ca și:

- Diferența dintre cea mai mare și cea mai mică valoare pe care o poate măsura dispozitivul
 - Intervalul dintre limitele în care o cantitate poate fi măsurată, transmisă sau înregistrată
- c. Fiabilitatea poate fi definită ca și:
- Probabilitatea matematică ca un dispozitiv să-și îndeplinească adecvat scopul pentru o perioadă de timp și în condițiile de funcționare specificate.
 - Probabilitatea ca un dispozitiv să funcționeze fără defecțiuni peste o anumită perioadă de timp
- Fiabilitatea indică dacă un dispozitiv va continua să funcționeze (care este durata de viață a unui dispozitiv?) și în același timp indică dacă va continua să păstreze aceleași caracteristici de funcționare de-a lungul timpului.
- d. Repetabilitate, precizie
- Concordanța valorilor variabilei măsurate între măsurători repetate, în aceleași condiții de măsurare.
 - Concordanța între măsurători consecutive ale ieșirii, pentru aceeași valoare de intrare.

Repetabilitatea se refera la faptul ca în aceleași circumstanțe se obțin aceleași citiri.

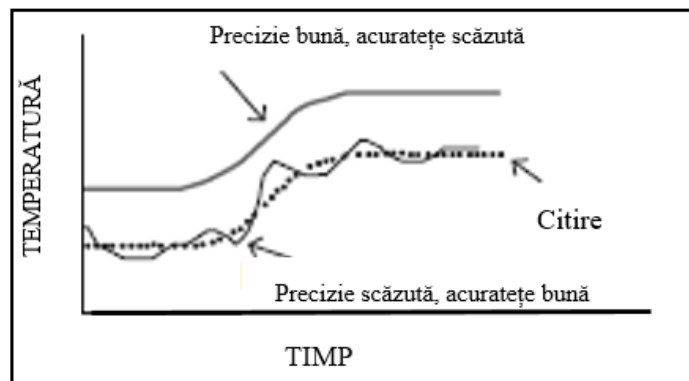


Figura 29. Acuratețe și precizie [2]

Figura 29 prezintă diferența între un senzor cu precizie ridicată și un senzor cu acuratețe ridicată.

Un transmițător este un dispozitiv care acceptă un semnal și transmite informația din semnal într-o formă diferită către un alt dispozitiv.

Producătorii de senzori iau în considerare, din ce în ce mai frecvent, asigurarea interschimbabilității și interoperabilității senzorilor cu diferite sistemele de control, existând o tendință de standardizare

Senzori de temperatură [2]

În aplicațiile IVC, variabila controlată cel mai frecvent este temperatura. Senzorii de temperatură pot fi clasificați în funcție de efectul utilizat pentru a genera semnal de răspuns la schimbarea temperaturii.

Sistemele moderne de control electronice și digital analogice se bazează, în general, pe dispozitive a caror rezistență se modifică cu temperatura, cei mai utilizați senzori fiind:

- Termistorii - dispozitive cu semiconductori a căror rezistență electrică se modifică odată cu modificarea temperaturii

- Senzorii de temperatură rezistivi RTD (Resistance Temperature Detectors) – dispozitive metalice a căror rezistență variază în funcție de temperatură
- Senzorii de temperatură cu circuite integrate - senzori bazați pe diode semiconductoare și tranzistori, cu dependență temperatură - rezistență, reproductibilă.

Rezistența termistorului se modifică semnificativ odată cu modificarea temperaturii, mai exact rezistența scade odată cu creșterea temperaturii. Curba caracteristică a termistorului este neliniară (Figura 30). Pe axa verticală, este reprezentat raportul dintre rezistența curentă a termistorului și rezistența la temperatura de 25°C. Termistorii au, sensibilitate ridicată, cu alte cuvinte răspuns rapid / foarte bun la schimbarea temperaturii și, uzual, o acuratețe de $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Au, însă derivă și de aceea este necesară calibrarea periodică pentru a menține această acuratețe.

Senzorul de temperatură rezistiv (RTD) este cel mai utilizat senzor de temperatură pentru sistemele de control analogice și digitale. Este foarte stabil, are acuratețe ridicată și, urmare progresului tehnologic, costul acestuia este relativ scăzut. Constructiv, este realizat dintr-un metal a cărui rezistență variază în funcție de temperatură. Variația rezistenței în funcție de temperatură este liniară pe domeniul de utilizare (Figura 30). Pentru aplicațiile IVC, se folosesc cel mai frecvent RTD din platină, cu rezistența de referință de 100 ohmi, la 0°C , uzual cu o acuratețe de $\pm 0.3^\circ\text{C}$ și derivă foarte mica (urmare dependenței dispozitivului de comportamentul foarte bun al metalului).

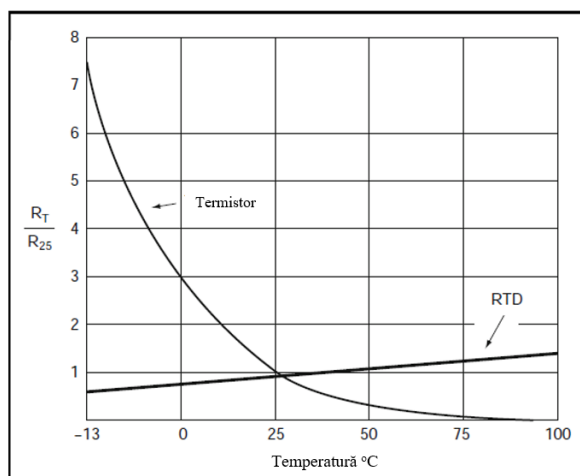


Figura 30. Curbe termistor și sensor RTD [2]

Senzori de temperatură cu circuit integrat (IC) sunt utilizați gata montați sub formă de circuite (senzor și transmițător), cu condiționare încorporată astfel încât să furnizeze o curbă liniară temperatură-rezistență.

În tabelul 4 de mai jos sunt prezentați cei mai utilizați senzori de temperatură pentru aplicațiile IVC.

Tabel 5. Senzori de temperatură pentru aplicațiile IVC [2]

TIP	Utilizare	Avantaje	Dezavantaje	Timp de răspuns
Termistorul	Sensibilitate ridicată Utilizare pentru temperaturi $< 150^\circ\text{C}$	Variația rezistenței este rapidă	Este neliniar Este fragil Se supraîncălzește	Senzor rapid
Senzor RTD	Utilizare pentru temperaturi $< 750^\circ\text{C}$	Are acuratețe mare Este interschimbabil Este foarte stabil	Cost relativ ridicat	De la Rapid la lent în funcție de subtip
Senzor cu circuite integrate	Utilizare pentru temperaturi $< 200^\circ\text{C}$	Ieșire liniară Cost relativ scăzut	Rigiditate scăzută	Mediu / Rapid

Procesul de alegere a senzorului adecvat trebuie realizat ținându-se cont de acuratețea, costul și fiabilitatea dispozitivului. Pentru aplicațiile IVC nu sunt întotdeauna necesare dispozitive cu acuratețe foarte ridicată pentru a produce efectele, acțiunile necesare în sistemul de control. Toate tipurile de senzori prezentați sunt acceptabili pentru aplicațiile IVC. Dacă există cerințe de acuratețe și/sau fiabilitate foarte ridicate, acestea trebuie evidențiate în mod expres în tema de proiectare.

Senzori de umiditate relativă [2]

Măsurarea precisă, stabilă și accesibilă a umidității a fost întotdeauna o provocare pentru a instalațiile HVAC. Valoarea acceptată pentru umiditatea relativă la interior în conformitate cu cerințele standardului ASHRAE 62.1 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality trebuie să fie mai mică decât 65%.

Umiditatea poate fi înregistrată și redată ca umiditate relativă, punctul de rouă (temperatura de condensare a vaporilor de apă) sau temperatura de saturație adiabatică (temperatura termometrului umed). Cele trei mărimi sunt interdependente și măsurarea oricăreia din ele, împreună cu temperatura corespunzătoare a aerului uscat și presiunea barometrică (dacă aceasta variază semnificativ), poate fi folosită pentru a le determina pe celelalte utilizând relațiile psihrometrice cunoscute.

Senzorii de umiditate relativă cu materiale higroscopice sunt dispozitive relativ simple, utilizați frecvent în instalațiile IVC. Materialele higroscopice sunt materiale care absorb umiditatea din aer și își schimbă proprietățile fizice ca răspuns la schimbarea umidității.

Există mai multe tipuri de astfel de senzori, în funcție de principiul de funcționare pe care îl utilizează.

- Senzori mecanici cu materiale higroscopice (care își schimbă dimensiunile, la schimbarea umidității), cu o precizie de măsurare a umidității relative nu mai bună de $\pm 5\%$

Materialul higroscopic utilizat în construcția acestui tip de senzori poate fi părul de animale, lemnul și țesături diverse, inclusiv unele țesături sintetice.

- Senzorii de umiditate rezistivi (cu materiale higroscopice a căror rezistență electrică variază atunci când umiditatea aerului variază).

Constructiv acești senzori sunt alcătuiți dintr-un strat de rășină polimerică plasat pe o suprafață insolubilă și dintr-un al doilea strat din material conductiv electric. Rezistența electrică a ansamblului variază neliniar cu umiditatea, dar repetabilitatea este rezonabilă. Acuratețea senzorului rezistiv este afectată de contaminare (cum ar contaminarea cu ulei care afectează caracteristicile de absorbție sau desorbție a vaporilor de apă).

- Senzorii de umiditate capacitivi (cu materiale higroscopice a caror capacitate electrică variază atunci când umiditatea aerului variază).

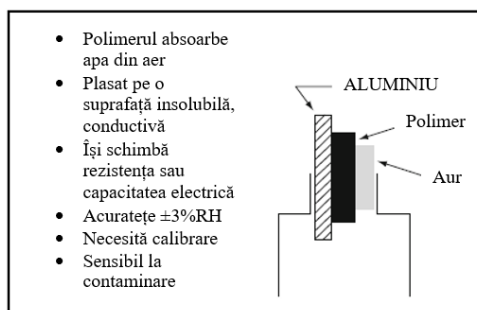


Figura 31. Senzor de umiditate capacitiv [2]

Senzorii de umiditate capacitivi sunt disponibili în diferite forme, toate bazate pe variația capacității electrice a unui material higroscopic. Constructiv un senzor capacitiv constă dintr-o bandă de aluminiu pe care se depune un strat de oxid de aluminiu (care este poros) și apoi un strat foarte subțire de aur. Straturile de aluminiu și aur sunt plăcile, iar oxidul de aluminiu este dielectricul condensatorului (vezi Figura 31). Capacitatea condensatorului variază în funcție de vaporii de apă absorbiți de strat de oxid de aluminiu. Acuratețea acestui senzor (numit higrometru Jason) este foarte bună pentru măsurarea umidităților relative de până la 85%, dar expus la umiditate mare senzorul se deteriorează ireversibil.

- Senzori pentru măsurarea punctului de rouă cu clorură de litiu

Sunt cei mai preciși senzori de umiditate, dar sunt și cei mai scumpi. Senzorul pentru măsurarea punctului de rouă folosește o soluție saturată de sare (de obicei clorură de litiu) care intră în contact cu aerul a cărui umiditate urmează să fie măsurată. Temperatura soluției la starea de echilibru reprezintă punctul de rouă al aerului. Acest tip de senzor are acuratețe ridicată (mai bună decât $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$), dar are răspuns foarte lent și este sensibil la contaminare. Acuratețea este scăzută pentru niveluri scăzute de umiditate.

- Senzorul de punct de rouă cu oglindă răcită (Figura 32)

Constă într-o incintă de dimensiuni reduse echipată cu o sursă de lumină, două fotocelule și o oglindă răcită cu joncțiuni Peltier (semiconductori care generează efect termoelectric de răcire la trecerea curentului electric), prin care curge aerul. Când se formează condens pe oglindă, lumina este împrăștiată, mai degrabă, decât reflectată direct. Sistemul recunoaște acest lucru prin compararea cu situația de referință (când oglinda reflectă integral raza către fotocelulă). Reducerea nivelului de lumină indică prezența condensului pe oglindă, moment în care un senzor de temperatură RTD înregistrează temperatura la suprafața oglinzii. Acea temperatură a suprafeței este punctul de rouă al aerului care “curge” peste oglindă. Un circuit de control modulează curentul care trece prin joncțiunile Peltier păstrând constantă temperatura oglinzii la punctul de rouă al aerului. Senzorii cu oglindă răcită au acuratețe ridicată, dar sunt scumpi și de aceea sunt folosiți mai puțin pentru aplicații obișnuite.

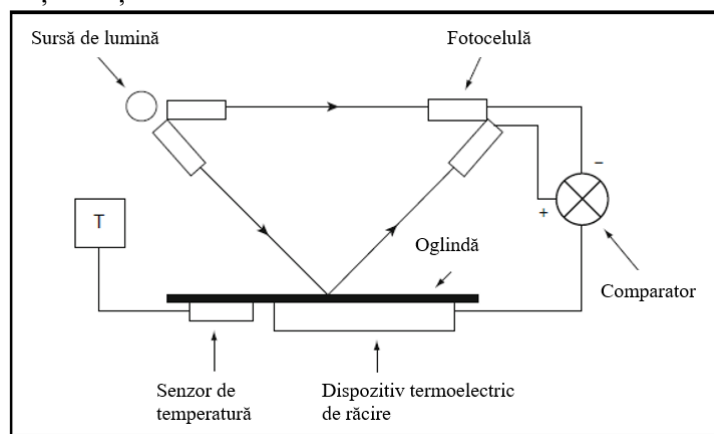


Figura 32 Senzor de punct de rouă cu oglindă răcită [2]

Psihrometre

Un psihmetru măsoară umiditatea prin citirea atât a temperaturii de saturație adiabatică (temperatura termometrului umed) cât și temperatura corespunzătoare a aerului uscat (temperatura cu termometrul uscat). Cu aceste două valori cunoscute, se pot determina alte proprietăți a aerului, inclusiv valoarea umidității, prin calcul sau prin citirea unei diagrame psihrometrice. Psihmetrul cel mai simplu constă din două termometre cu tub capilar. Unul din termometre este acoperit cu

un manșon de bumbac umezit cu apă (ideal distilată). Cele două termometre sunt montate într-un suport cu două ramificații (de aceea se mai numește și psihrometru tip praștie), fiecare termometru într-o ramificație. Dispozitivul este agitat prin mișcare rapidă până când temperatura ajunge în starea de echilibru atât pe termometrul umezit cât și pe cel uscat. Deoarece temperatura poate fi menținută scurt timp la starea de echilibru erorile de măsurare cu aceste dispozitive sunt mari (de obicei valorile înregistrate sunt peste valorile reale). O alternativă sunt psihrometrele cu aspirație, care utilizează același principiu de măsurare. În cazul psihrometrului cu aspirație, termometrele sunt montate într-o carcasă de plastic echipată cu un ventilator alimentat cu baterie. Ventilatorul direcționează aerul către termometre cu o viteză constantă, rezultând o evaporare uniformă. Urmare protecției pe care o oferă carcasa, temperatura citită nu este influențată de radiația solară. Aceste psihrometre au o acuratețe bună pentru măsurări în incinte, nu necesită recalibrare, sunt portabile. Cu toate că aceste dispozitive sunt foarte utile, trebuie avute în vedere limitările lor, care au ca efect direct reducerea acurateței. Enumerăm câteva: dispozitivele se utilizează împreună cu diagrame psihrometrice, sunt sensibile la contaminare, sunt dificil de utilizat în conducte de ventilație, sunt neperformante pentru medii cu umiditate relativă scăzută. Totodată, citirea termometrelor poate introduce erori.

Senzori de presiune [2]

Presiunea este aproape întotdeauna măsurată ca presiune diferențială, fie ca diferență între valorile presiunilor a două fluide sau diferența dintre valoarea presiunii unui fluid și o valoare de referință. Cel mai frecvent, presiunea de referință este presiunea atmosferică, caz în care valoarea presiunii absolute a unui fluid este valoarea citită pe aparatul de măsură plus presiunea atmosferică la nivelul mării, aproximativ 100 kPa (1 bar).

Manometre mecanice.

Tubul Bourdon este element sensibil utilizat în majoritatea manometrelor. Este un tub închis, în formă de spirală conectat la incinta a cărei presiuni se dorește a fi măsurată. Pe măsură ce presiunea crește tubul se decurbează și printr-un angrenaj acționează un indicator atașat unui cadran pe care se poate citi valoarea presiunii.

Senzorul cu diafragmă constă într-o incinta separată în două compartimente printr-o diafragmă din tablă subțire de oțel, sensibilă la schimbările de presiune. Este un dispozitiv care poate sesiza diferențe de presiune de la câțiva pascali până la câteva mii de kPa (nu de același aparat).

Aceste dispozitive mecanice sunt realizate pentru o gamă foarte largă de presiuni de la câțiva Pa la sute de kPa. Cu cât domeniul de măsură este mai mare sensibilitatea dispozitivului este mai mică. Tubul Bourdon este utilizat în mod obișnuit pentru sistemele care vehiculează apă și dispozitivele cu diafragmă atât pentru sistemele cu apă cât și pentru cele cu aer. Toate aceste dispozitive mecanice pot fi conectate la un transmițător. Transmițătorul detectează modificarea mecanică și emite un semnal proporțional cu presiunea (semnal electric pentru sistemele pneumatice o schimbare a presiunii aerului, în loc de semnal).

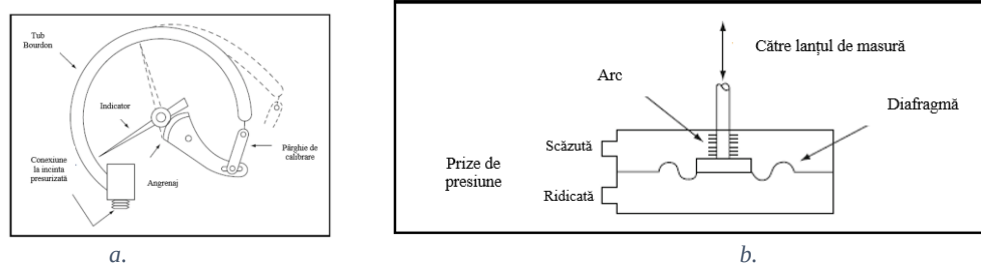


Figura 33. Manometre mecanice [2]

În Figura 34 este prezentat un senzor de presiune capacitiv. Diafragma senzorului se deplasează la schimbarea valorii presiunii și se comportă ca una din plăcile unui condensator. Senzorul inductiv (Figura 34) este similar cu un transformator. Miezul feritic este conectat mecanic la diafragmă, pe el fiind înfășurate două bobine. Odata cu mișcarea miezului (acționat de diafragmă) miezul, fluxul magnetic dintre cele două bobine se modifică și este măsurat de transmițător.

Senzori electrici de presiune detectează modificările proprietăților electrice sub acțiune presiunii a unor materiale. Ieșirea acestor senzori este de obicei neliniară și are histerezis, compensarea acestor dezavantaje fiind complicată și costisitoare.

În final semnalul de ieșire rezultat este proporțional cu presiunea diferențială și poate fi utilizat ca semnal de intrare pentru un controler analog sau digital.

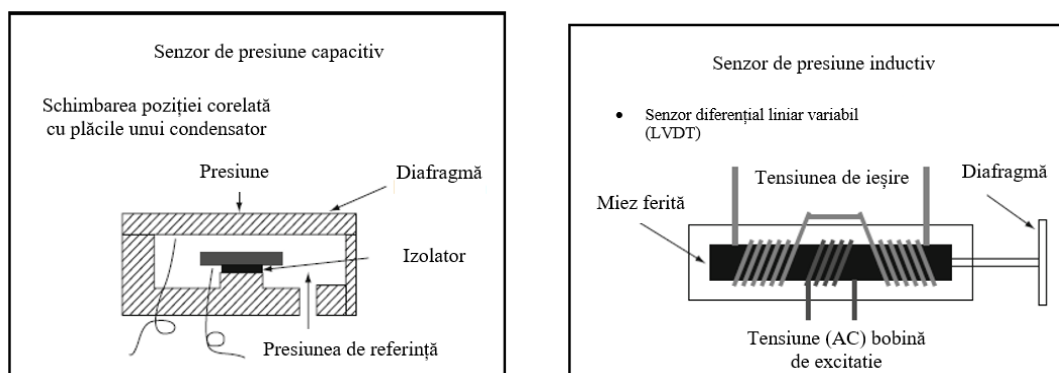


Figura 34. Senzori de presiune electrice [2]

Senzori de debit [2]

Senzorii de debit se utilizează în sistemele aeraulice și hidraulice sunt pentru controlul procesului energetic și monitorizarea energiei.

Procese tipice care realizează controlul fluxului sunt:

- Măsurarea debitului variabil în instalații de apă răcită pentru a facilita luarea deciziilor cu privire la ce fluxuri și ce echipamente ar trebui să funcționeze
- Măsurarea debitului în vederea reglării prin incinte cu volum variabil.
- Reglarea ventilatoarelor cu turație variabilă pentru menținerea unui echilibru corect între debitul de aer introdus, exhaustat și recirculat
- Reglarea fluxului de aer prin hote în vederea menținerii vitezei de aspirație la schimbarea condițiilor de lucru
- Evaluarea indirectă a presiunii din incinte adiacente prin intermediul curgerii prin orificii cu formă specială.

Monitorizarea debitului atât în sistemele aeraulice cât și în cele hidraulice este importantă deoarece dictează acțiunile care trebuie întreprinse în exploatare.

Senzorii de debit utilizați în mod obișnuit în aplicațiile IVC pot fi grupați în patru categorii de bază:

- Senzori de debit de presiune diferențială - corelează presiunea diferențială cu debitul, bazați pe o formă a ecuației lui Bernoulli:

$$V = C \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

V- viteza de curgere

C – constantă aparatului de măsură
 ΔP – căderea de presiune măsurată
 ρ – densitatea fluidului

- Senzori de debit de deplasare - utilizează fluidul pentru a roti sau a deplasa un dispozitiv introdus în fluxul de fluid.
- Senzori pasivi de debit (ultrasonici, cu efect Doppler, magnetici)
- Senzori de debit masic (anemometrul termic, senzori cu tub Pitot)

Un sumar cu cei mai utilizați senzori în aplicații IVC este prezentat în tabelul 5.

Tabel 6. Senzori de debit [2]

TIP	Utilizare	Avantaje	Dezavantaje	Acu Taratete și domeniu de măsurare
Senzor cu placă perforată	Măsoară debitul de apă	Ieftin	Se deteriorează rapid	$\pm 1-5\%$, 5:1
Senzor cu tub Venturi	Măsoară debitul de apă Măsoară viteza aerului		Este voluminos Este scump	
Senzor cu turbină	Măsoară debitul de apă		Palele turbinei se deteriorează rapid	$\pm 0,15-0,5\%$, până la 50:1
Senzor de debit cu ultrasunete	Măsoară debitul de apă			0,25-2%, 100:1
Senzor turbionar	Măsoară debitul de apă			$\pm 0,5-1,5\%$, 25:1
Tub Pitot	Măsoară debitul de aer	Ieftin	Funcționare limitată la viteze mici Sensibil la murdărire	Viteză minimă 2 m/s
Anemometru termic	Măsoară debitul de aer	Performant la viteze mici Este un senzor mic Ușor de folosit în conducte de ventilație	Sensibil la murdarire	$\pm 0,1$ m/s la 0,5 m/s
Anemometru cu elice	Măsoară debitul de aer	Ieftin	Este voluminos	

Dispozitive auxiliare [2]

Pe lângă controlere, elemente de execuție și senzori, majoritatea sistemelor de control au în componență și alte dispozitive necesare pentru implementarea completă a secvența de control dorite.

Relee

Un releu este un dispozitiv care amplifică, modulează sau izolează un semnal, având capacitatea de a schimba natura semnalului (de la electric la pneumatic, de exemplu), amplitudinea (de la tensiune joasă la înaltă sau invers), de a-l întârzia, inversa sau a separa de circuitul controlat.

Comutatoare de stare

Starea de funcționare a ventilatoarelor și a motorelor este importantă pentru funcționarea corectă a instalației IVC, comutatoarele de stare fiind dispozitivele care pot schimba starea acestor echipamente.

Timere

Pot fi mecanice sau electronice și sunt folosite pentru pornirea și oprirea echipamentelor după un anumit program.

Întrerupătoare manuale de timp

Un întrerupător manual de timp este un comutator cu arc care poate fi pornit manual direct de operator și este frecvent utilizat pentru a by-pass-a temporar timer-ele programate.

Întrerupătoare de cursă

Întrerupătoarele de cursă sunt utilizate în multe aplicații de control și acționează în funcție de o anumită poziție în cadrul unei curse.

2.1.8. *Diagrame și secvențe de control*

Secvențe de control

Secvența de control are rolul de a transpune fără ambiguități viziunea proiectantului asupra sistemului de control a instalației IVC.

O specificație tehnică corectă și completă va prezenta sistemul, atât la modul general, prin descrierea caracteristicilor și a performanței sale, prin parametrii pe care îi livrează, dar și o descriere detaliată a componentelor sale și modului în care acestea interacționează. („Sistemul de control asigura o temperatură de $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ ” este o specificație de performanță, în vreme ce „Sistemul se compune dintr-un senzor ... și un controler ...” este o specificație detaliată).

În continuare sunt prezentate pe scurt secvențe de control uzuale, din perspectiva inginerului proiectant de instalații IVC, pentru o înțelegere mai bună a direcțiilor de urmat pentru scrierea unei secvențe de control.

Sistem mono-zonă

Figura 35 prezintă un sistem mono-zonă cu baterii de încălzire și răcire, pentru care se va dezvolta / realiza o secvență de control.

- Identificarea elementelor de execuție (Dispozitivelor controlate):
 - Motorul ventilatorului;
 - Vana de control a apei calde;
 - Vana de control a apei răcite;
 - Clapeta introducere aer exterior.
- Variabila controlată: temperatura
- Controlerul: termostatul de camera (controler și sensor incorporate în același dispozitiv)
- Dispozitive de siguranță: un detector de fum în conducta de ventilație; detector de îngheț.

Detectorul de fum în conducta de ventilație este cerut de majoritatea standardelor, având rolul de a opri ventilatorul pentru a preveni recircularea fumului în spațiile ocupate.

Detectorul de îngheț asigură oprirea ventilatorului și/sau închiderea clapetei de introducere a aerului exterior în zonele cu climă rece pentru a preveni înghețarea bateriei. Secvența pentru sistemul descris mai sus este:

- Pornire/oprire.
Sistemul va porni și se va opri în baza programului prestabilit și setat pe timer-ul sistemului. (Pentru funcționarea în afara programului, poate fi prevăzut și adăugat în digramă un comutator de anulare a comenzii - „override sau bypass”)
- Controlul încălzirii/răcirii.
Încălzirea și răcirea trebuie controlate pentru a menține temperatura camerei la valoarea de referință. În acest scop, se setează o singură valoare de referință pe un termostat de

cameră, care funcționează în logică proporțională și care modulează vane de reglare cu două căi. La solicitare de răcire, vana care comandă bateria de răcire se va deschide. La solicitare de încălzire vana care comandă bateria de încălzire se va deschide. Când ventilatorul este oprit, vanele pentru apă de încălzire și de răcire se vor închide.

- Clapeta de introducere a aerului exterior

Clapeta se va deschide ori de câte ori ventilatorul este pornit și se închide când ventilatorul este oprit.

Poziția normală a supapelor și clapetelor trebuie specificată pe secvența de control.

În acest exemplu, vana de apă pentru încălzire este normal deschisă astfel încât, pentru situațiile în care controlul nu ar avea efect, fluxul de apă caldă prin baterie va continua să existe, prin simpla deconectare a acesteia din bucla de control. Controlerul este cu acțiune directă.

În corespundență cu acțiunea controlerului, vana de apă răcită trebuie să fie normal închisă și trebuie să fie secvețiată cu vana de apă încălzită.

Dacă se folosește un singur controler (termostat) se poate seta numai o valoare de referință, atât pentru încălzire cât și pentru răcire. Pentru a economisi energie, printr-un artificiu se pot seta variabile de referință diferite pentru încălzire (iarna) și pentru răcire (vara). Între aceste două valori de referință, ambele vane vor fi închise. Intervalul se numește “banda moartă” /zona neutră a controlerului și reprezintă intervalul în care o modificare a variabilei controlate nu conduce la modificarea stării elementului de execuție (dispozitivului controlat). Zonă neutră, în cazul controlului proporțional, se poate realiza prin decalarea domeniului de control pentru fiecare din vanele de încălzire și răcire.

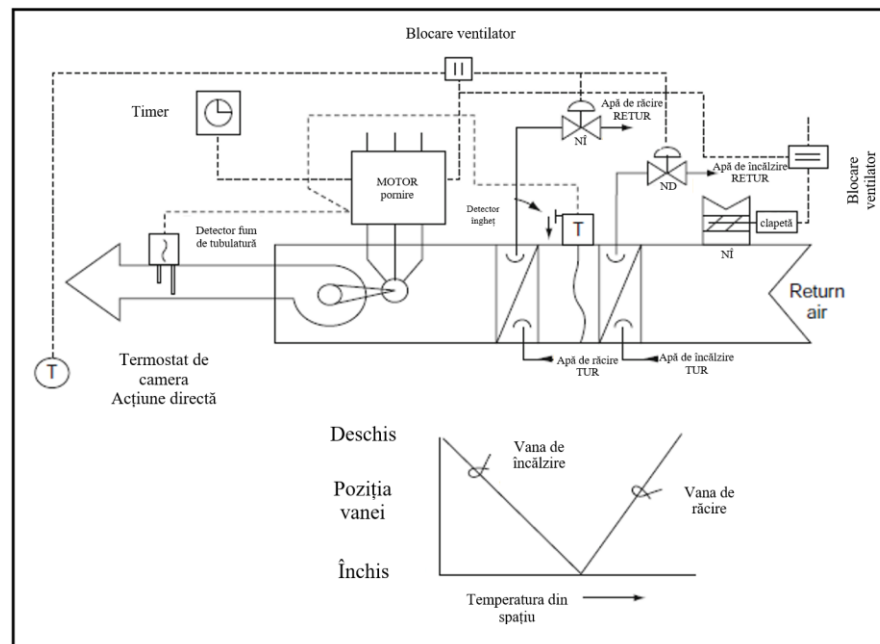


Figura 35. Sistem mono-zonă cu baterii de încălzire și răcire – Secvență de control [2]

Secvență de control pentru volum constant de aer cu clapete frontală și de bypass [2]

Pentru a menține valoarea temperaturii aerului exhaustat la valoarea de referință, vana de apă răcită aferentă centralei de tratare a aerului trebuie modulat. Pentru a varia volumul de aer care traversează bateria sau pentru a o by-pass-a se utilizează clapetele frontale și de bypass, a căror pentru aranjament este prezentat în Figura 36. În exemplul ales, clapetele sunt acționate de un singur motor.

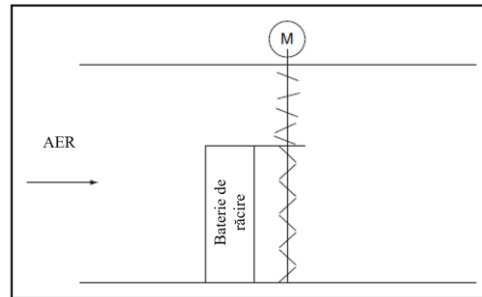


Figura 36. Aranjament clapete frontale și de bypass [2]

2.1.1.9. Sistemul DDC

Descrierea sistemelor DDC

DDC înseamnă Digital Direct Control și sunt sisteme de control operate de microprocesoare digitale. „Digital” are semnificația că sistemele operează prin intermediul unor serii de impulsuri, la fel ca și computerele. Figura 37 este o schemă simplă de control a unei baterii de încălzire controlată prin buclă de RESET.

Prin comparație cu schema din Figura 37, schema din Figura 38 unde aceeași cerință de control este procesată de DDC, funcțiile de control și logica aferentă sunt executate de software (proram). Intrările și ieșirile sunt exact aceleași, dar sunt înglobate în logica DDC.

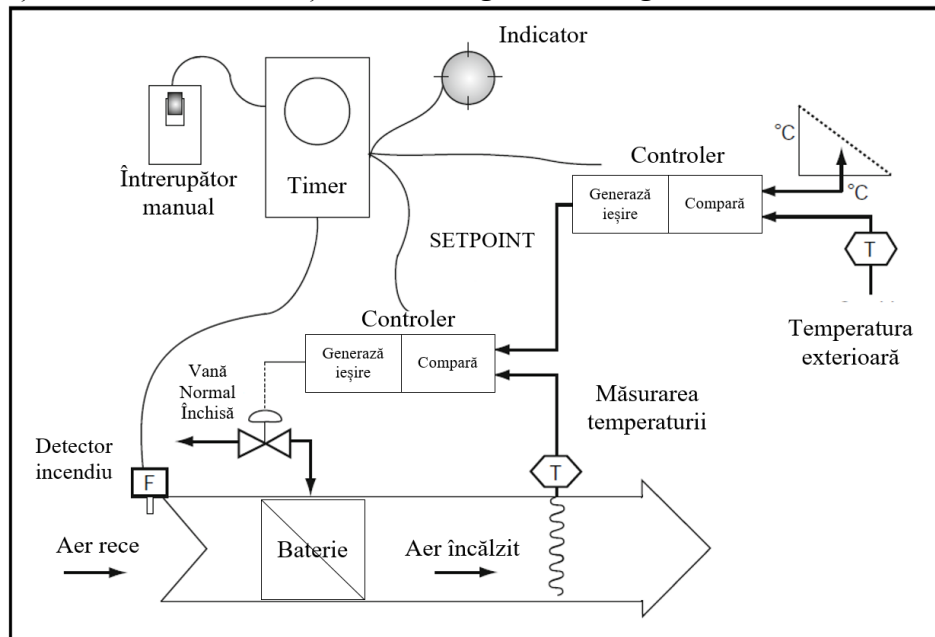


Figura 37. Diagramă de control pentru buclă de încălzire [2]

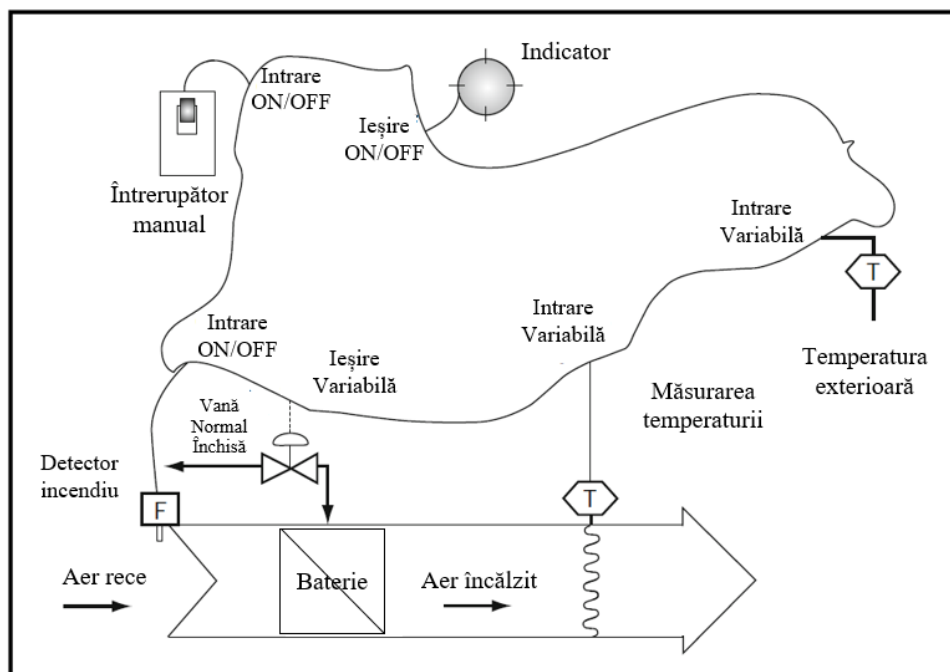


Figura 38. Intrări și ieșiri în buclade control [2]

Identificarea intrărilor și ieșirilor pe schema de control din exemplul prezentat:

Intrări ON/OFF – întrerupătorul manual, detectorul de fum

Ieșiri ON/OFF – alimentare indicator luminos

Intrare variabilă – temperatura citită de senzor

Ieșire variabilă – semnal de acționare a vanei.

Cele patru tipuri principale de intrări și ieșiri dintr-un sistem de control, prezentate în termenii unui sistem DDC, sunt:

- Intrare ON/OFF (pornit/oprit). Un comutator, un releu sau alt dispozitiv se închide, închizând un circuit. Acest comportament de ON/OFF se numește tradițional „digital”. Prin urmare, în termeni DDC, intrarea se numește „intrare digitală”. Din punct de vedere tehnic, termenul „digital” nu este utilizat corect deoarece în proces nu este implicată o serie de impulsuri, există o singură acțiune de „pornit” sau „oprit”. Termenii „binar” și „intrare binară” sunt mai corecți.
- Ieșire ON/OFF (pornit/oprit). Ieșirea pornit/oprit furnizează alimentare / semnal, fie nu. (Indicatorul luminos este fie alimentat, „pornit”, fie nealimentat, „stins”). Este binară, similar cu intrarea ON/OFF.
- Intrarea variabilă. Este un semnal variabil, cum ar fi temperatura, umiditatea sau presiunea. Este un semnal „analogic”. În termeni DDC, se numește „intrare analogică” sau variabilă.
- Ieșire variabilă. Similar, semnalul variabil (care conduce la închiderea sau deschiderea unei vane, sau la reglarea unei clapete, de exemplu) este o ieșire variabilă.

Între intrările și ieșirile (semnale), binare sau analogice și computer există dispozitive (încorporate), care realizează conversia din „analogic în digital” – A/D - (de exemplu, un senzor care măsoară temperatura produce un semnal analogic, variabil, cum ar fi 0–10 volți, dar microprocesorul / computerul are nevoie de un semnal digital).

Componentele minime pe care trebuie să le conțină un controler DDC sunt:

- Alimentare electrică
- Placa de bază (computer / procesor) – pentru a rula software-ul de control
- Placă / Hardware pentru Intrări/Ieșire (I/O) – pentru conversie A/D și conversie D/A
- Port de comunicații – o conexiune pentru încărcarea software-ului în procesor.

Diferențele principale între sistemele de control DDC și toate sisteme de control clasice sunt:

- Procesorul / placa computerului – toată logica de este realizată de microprocesoare
- Semnale mai degrabă digitale decât semnale analogice – ridicând probleme de precizie și sincronizare
- Portul de comunicații – oferind controlerelor posibilitatea de a comunica între ele și de a comunica cu operatorul.

Microprocesorul prelucrază informația în secvențe și nu continuu, spre deosebire de alte sisteme de control acesta este rapid, dar (încă) citește intrările discret (una câte una).

Portul de comunicații oferă posibilitatea modificărilor de la distanță a comportamentului / acțiunilor controlerului.

Pe scurt pașii pentru elaborarea unei secvențe de control sunt enumerați mai jos. Precizia și viteza de răspuns a sistemului de control depinde de claritatea logică a secvențelor control.

- Pasul 1. Întocmirea schiței sistemului. Împărțirea sistemului în subsisteme.
- Pasul 2. Identificarea elementelor controlate în fiecare subsistem și a variabilei principale a procesului
- Pasul 3. Stabilirea relației de control între variabila de proces și echipamentul controlat.
- Pasul 4. Identificarea factorilor externi care vor afecta fiecare buclă de control.
- Pasul 5. Stabilirea modului în care sunt generați factorii din Pasul 4.
- Pasul 6. Elaborarea logicii de control.
- Pasul 7. Evaluarea limitelor aplicabile a momentului și modului în care urmează să fie aplicate.

Terminalele pentru operare oferă operatorului uman acces la procesele care au loc în sistemul DDC. Sistemele mecanice sunt prezentate pe interfața grafică care poate fi o imagine animată sau o schemă pe care operatorul poate să vadă în timp real ce se întâmplă într-un anumit sistem. Operatorul poate, de asemenea, să date / parametrii în timp real pentru oricare din obiectele monitorizate. De asemenea, în funcție de ierarhia de acces se pot schimba parametrii de operare a echipamentelor.

Înregistrarea tendințelor de evoluție a intrărilor și ieșirilor, este considerată ca fiind una dintre cele mai importante caracteristici ale sistemelor DDC. Acest termen se referă la capacitatea sistemului de a stoca valorile intrărilor și ieșirilor după reguli prestabilite.

Datele despre tendințe pot fi folosite pentru a diagnostica erorile programului și pentru a optimiza sistemul de control în general. Cu sistemele de control clasice pneumatice sau electronice, problemele sunt dificil de diagnosticat, cu excepția cazului în care cineva observă defectul în timp real, nivelul de incertitudine fiind foarte ridicat.

Terminalele pentru operator pot fi folosite pentru a face aproape orice cu sistemul și din acest motiv numărul de operatori trebuie să fie foarte limitat. Parolele sunt alocate pe nivele, fiecare nivel permițând o serie de acțiuni. Dacă nivelul parolei operatorului este scăzut, acesta poate vedea doar mesajul de alarmă și instrucțiunile sale, dar nu îl poate anula. Această caracteristică este importantă pentru a împiedica ignorarea alarmelor. Majoritatea sistemelor înregistrează, de asemenea, istoricul de acces al operatorilor în aplicație. Unele aplicații de sisteme de control pot avea facilitatea de a programa mentenanța instalației (de exemplu pot anunța necesitatea înlocuirii

filtrului, curățarea bateriei, lubrifierea de rutină a motoarelor etc.). Accesarea acestor facilități este un exemplu de bună practică în vederea, în final a îmbunătățirii funcționalității și eficienței energetice.

Standarde pentru rețelele de comunicație. Protocoale de comunicație

Interoperabilitatea este capacitatea componentelor și sistemelor de a lucra / funcționa împreună.

De exemplu, sincronizarea este nu doar importantă, ci și critică pentru obținerea unei bune performanțe.

Aspectele specifice care trebuie urmărite pentru a caracteriza interoperabilitatea sunt:

- conexiunea fizică prin care se realizează comunicarea, numită rețea
- formatul și conținutul mesajelor trimise și primite

Definirea modului în care o rețea se construiește fizic, conectarea fizică a componentelor sale, modul de organizare / „împachetare” a informațiilor, modul și momentul în care acestea se livrează, constituie „protocolul de rețea”. Protocolul definește rețeaua în detaliu, astfel încât echipamente a doi producători, care îndeplinesc cerințele protocolului vor comunica împreună. Expresia pentru acest tip de conformare este „plug-and-play” și semnifică funcționarea corespunzătoare. Formatele și mesajele sistemelor de control utilizate în aplicații IVC nu au un nivel ridicat de standardizare. În cazul implementării de sisteme DDC pentru aplicații IVC, fiecare producător a dezvoltat soluția proprie, astfel încât intercomunicarea dintre sistemele fiecărui producător se poate realiza printr-un „translator”, numit în literatura de specialitate gateway. Dezvoltarea acestor translatori este costisitoare și, deși rezolvă problema de operare, atrage după sine costuri ridicate cu reproiectarea și mentenanța (în cazul revizuirii soluției software, trebuie revizuită și soluția gateway).

Sistemele de control pentru aplicații IVC utilizează două tipuri de protocol:

- Protocolul pentru informațiile IVC (fiecare controler trebuie „să înțeleagă” datele transmise și „să înțeleagă” cum să solicite date de la alte controlere)
- Protocolul de rețea (reprezintă setul de reguli standard „de ambalare și dezambalare” a informațiilor transmise și modul fizic în care se transmite informația).

Principalele standarde de rețea utilizate în aplicații IVC sunt: Ethernet, ARCNET, RS-485, și Wireless.

Pentru industria instalațiilor IVC se utilizează următoarele categorii de protocoale:

- protocoale ale producătorilor, în general incompatibile între ele, fiind necesar gateway pentru traducere informațiilor la trecerea de la un sistem la altul
- protocoale standard recunoscute și utilizate pe scară largă de producător, dar care nu sunt reglementate printr-un standard recunoscut internațional (Modbus, de exemplu)
- protocol standard, definit foarte clar, disponibil publicului, recunoscut de autoritățile de standardizare, cum ar fi ANSI (American National Standard Institute) și ISO (International Organisation for Standardization).

Un protocol frecvent utilizat pentru aplicații IVC este de protocolul BACnet, din ultima categorie, reglementat prin standardul ISO 16484-5 - A Data Communication Protocol for Building Automation and Controls Networks Systems.

Standardul conține reguli deschise prin faptul că acordă posibilitatea de a alege opțiunile utilizate și modul de adăugare a acestora. Standardul include reguli obligatorii fixate pentru un anumit tip de dispozitiv. Astfel, în vederea interoperabilității controlerele BACnet, trebuie să respecte seturile corespunzătoare de reguli compatibile. Regulile definesc datele obligatorii de

comunicare pentru dispozitiv, date de comunicare opționale și nivelul acceptat utilizare a datelor proprii.

Despre specificația tehnică a sistemelor DDC

Sistemele DDC pot fi extrem de sofisticate, putând asigura control imposibil de realizat de sistemele dezvoltate anterior. Nu exista, încă, personal de operare și întreținere suficient, care să înțeleagă și să utilizeze sistemele DDC la potențialul lor, în multe cazuri neputând înțelege nici cele mai simple modalități de monitorizare a performanței energetice a unui sistem IVC. Astfel performanța de control nu este întotdeauna cea așteptată / anticipată și consumul energetic poate fi mult mai mare decât cel necesar [2].

Pentru a rezolva cât mai eficient această problemă, trebuie stabilite funcțiunile principale ale sistemului în concordanță cu necesitățile de monitorizare și control încă din faza de proiectare. Totodată, abordarea proiectului trebuie să fie interdisciplinara, astfel încât să existe un set comun de cerințe, în concordanță cu obiectivele și strategia proiectului.

La implementarea unui sistem DDC, este utilă înțelegerea clară a avantajelor, dar și a provocărilor pe care acesta le presupune. Mai jos este prezentat un set de nouă avantaje ale sistemelor DDC în conformitate cu ASHRAE GPC-13-2007 Guideline to Specifying DDC Systems (Ghid pentru specificații ale sistemelor DDC).

1. Sistemele DDC pot reduce costurile cu energia, făcând posibilă funcționarea sistemelor mecanice la randament maxim. Echipamentele pot fi programate să funcționeze numai atunci când este necesar și, prin urmare, să genereze în orice moment numai capacitatea necesară. O abordare de finețe a sistemelor DDC, (dincolo de funcționarea sistemelor de control convenționale) poate aduce economii suplimentare de energie.

Dar, ce înseamnă operarea la eficiență maximă? Cum poate fi cunoscută / identificată diferența între eficiența inițială și cea ulterioară? În general eficiența este definită ca raportul dintre rezultatul util și resursele folosite. Pentru sistemele HVAC, „rezultatul util” este menținerea unui proces la confortul și condițiile de mediu cerute (parametrii ceruți).

2. Sistemele DDC au foarte multe funcțiuni, astfel încât pot fi utilizate în aplicații diverse, cum ar fi sisteme HVAC pentru clădiri comerciale, pentru ansambluri rezidențiale, laboratoare de cercetare, spitale, camere curate de laborator. Spre exemplu, Sistemele DDC pot cuantifica debitul de aer furnizat în fiecare zonă a unei clădiri, pot să îl compare cu nevoile de ventilație ale clădirii și apoi să varieze cantitatea de aer exterior introdus pentru a îndeplini cerințele de ventilație. Acest nivel de control nu este posibil cu sisteme de control pneumatice sau electronice. Funcțiunile suplimentare oferite de sistemele DDC presupun însă o proiectare mai atentă și o instruire mai nișată/specifică a personalului care operează sistemele. Cu toate că încă există spațiu considerabil pentru investigarea acestei funcțiuni, în cadrul sistemelor DDC există posibilitatea detectării automate a defecțiunilor.

3. Prin controlul instalațiilor IVC din clădiri, sistemele DDC asigură un control mai bun pentru construcția în sine și pentru toate sistemele aferente acesteia. Temperaturile pot fi controlate mai precis, iar anomaliile instalației pot fi identificate și corectate înainte ca acestea să devină grave. Un sistem DDC, însă, nu poate depăși problemele de proiectare a instalației IVC. De exemplu incapacitatea instalației de a elimina umiditatea fără suprarăcire este un defect de proiectare și nu de control. Un sistem DDC mai sofisticat nu va rezolva aceste probleme.

Pe lângă faptul că oferă un control mai strict, DDC poate asigura și un control asupra acțiunilor ocupanților. Urmare faptului că ocupanții pot interveni în instalația IVC, prin intermediul termostatelor reglabile, și a tendinței acestora de a opera schimbări extreme, controlul instalației poate reprezenta o adevărată provocare pentru multe clădiri. Cu un sistem DDC, limitele de operare

a termostatelor pot fi setate individual în bandă îngustă, fapt ce împiedică intervenții care conduc la dezechilibre și consum excesiv de energie.

4. Sistemele DDC pot fi utilizate pentru a controla, în afara instalației IVC și alte echipamente și instalații din clădiri (ascensoare, instalația de detecție incendiu, sistemele de securitate). Astfel, capacitatea personalului de întreținere și operare a clădiri sporește. Producătorii de sisteme de control pentru instalații IVC furnizează, în prezent, soluții integrate pentru controlul sistemelor care deservește o clădire. Piața de desfacere a soluțiilor integrate de control este în continua transformare, conducând către dezvoltarea de sisteme cibernetice pentru construcții. Acestea vor realiza operarea și controlul inteligente ale clădirilor, dar și raportare a performanței echipamentelor și problemelor apărute în timpul exploatarei, existând deja sisteme DDC care au capacitatea de a se pune automat în funcțiune. Spre exemplu, controlerile pot reajusta parametrii odată cu schimbarea condițiilor de lucru. Schimbarea prin buclă de control Proportional Integral Derivativă a parametrilor, la trecerea de la încălzire la răcire a centralelor de tratare a aerului este una din aplicațiile practice pentru care soluția este implementată

5. Sistemele DDC permit utilizatorului să realizeze o programare complicată, să realizeze o bază de date cu alarme și date despre tendințe de funcționare, ceea ce conduce la mărirea capacității de identificare, localizare și stabilire a cauzelor defectelor. Operatorul va cunoaște tiparul de funcționare pe termen lung a instalației. Observarea comportării sistemelor mecanice componente, în diferite condiții de încărcare, conduce la posibilitatea reglării fine pe de o parte și, pe de altă parte la posibilitatea anticipării problemelor / disfuncționalităților instalației. Facilitatea oferită de sistemele DDC de a colecta date cu privire tendințele de comportare în timp a instalației este deosebit de valoroasă atât pentru stabilirea datelor de punere în funcțiune a instalației, dar și pentru verificarea continuă a performanței acesteia în exploatare.

6. Multe sisteme DDC oferă posibilitatea de programare grafică, ceea ce permite realizarea și păstrarea documentațiilor de construcție ale clădirii. Afișarea grafică a instalațiilor și echipamentelor cu datele de funcționare curente este un avantaj major al DDC. Pentru instalații de dimensiuni mari, ierarhizarea acestora oferă posibilitatea accesului facil la datele de interes.

7. Sistemele DDC necesită mult mai puțină întreținere decât alte sisteme de control (ex. sistemul de control pneumatic). Dispozitivele de control pneumatice necesită întreținere regulată și trebuie să fie recalibrate periodic. Utilizarea unui sistem DDC are ca rezultat costuri de întreținere și reparații mai reduse. De asemenea, posibilitatea de detectare automată a defecțiunilor este deosebit de valoroasă, deoarece la rândul ei conduce la scăderea semnificativă a costurilor.

8. Sistemele DDC reduc costurile cu forța de muncă prin monitorizare și depanare de la distanță. În multe cazuri, operațiunile la fața locului / on-site pot fi eliminate sau reduse. Monitorizarea se poate realiza de la distanță, de oriunde serviciul de internet este disponibil.

9. Sistemele DDC sunt dispozitive programabile. Dacă nevoile unei clădiri se schimbă, sistemul poate fi reprogramat pentru a satisface noile cerințe. Un alt avantaj major al unui sistem DDC pus în funcțiune este că există o definiție clară a modului în care a funcționat la momentul instalării.

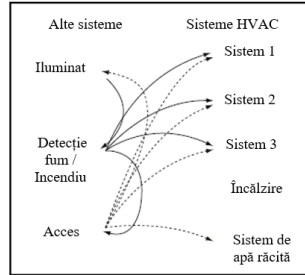
Obiectivele pe care sistemul DDC trebuie să le atingă trebuie formulate clar și fără ambiguitate. În acest sens specificația tehnică va conține un set de informații care să realizeze o descriere completă a sistemului. Astfel, la întocmirea specificației, este necesar să fie luate în considerare mai multe aspecte care să conducă la această descriere exhaustivă.

Pentru fiecare subsistem al instalației secvența de control a exploatarei va ține seama de:

- cum se realizează exploatarea normală
- defecțiuni și avarii care pot să apară (pentru asigurarea de măsuri de protecție pentru aceste situații)

- situații speciale (de exemplu detecția de incendiu)
- modul de colectare a datelor (jurnalele dorite, date despre consum de energie).

Instalațiile dintr-o clădire sunt interdependente (funcționarea unor instalații influențează alte instalații). De aceea, pentru situațiile speciale și nu numai, sistemul de control DDC trebuie să țină cont de modul în care instalația IVC și celelalte sisteme se influențează reciproc, precum și de nivelul de prioritate cu care trebuie abordat fiecare sistem într-o atare situație. (de exemplu, dacă un detector de incendiu din Sistemul 1 intră în alarma ce ar trebui să se întâmple în Sistemele 1, 2 și 3, iluminat, sistemul de acces, Vezi Figura X) [2].



Apoi trebuie stabilite alte cerințe speciale pentru operator și cu privire la operare. De obicei, următoarele aspecte importante trebuie avute în vedere:

- Stocarea datelor – unde vor fi stocate datele pe termen lung și cum va fi asigurat backup-ul?
- Unde va fi instalat software-ul (unde va fi păstrat software-ul pentru reinstalare)
- Stația de lucru pentru operator – de unde se realizează monitorizarea zilnică a sistemului?
- Cine va avea acces la mentenanța sistemului?
- Ierarhia de acces în sistem
- Pachetele grafice pe care sistemul le va afișa
- Setul de parametri pe care sistemul îi va afișa
- Atenționările, notificările și alarmele necesare / dorite.

Una dintre cele mai utile caracteristici ale sistemelor DDC este capacitatea de a monitoriza ce se întâmplă în sistem. Înregistrarea evoluției intrărilor și ieșirilor, tendința de evoluție a acestora în timp este foarte utilă pentru monitorizarea operării și performanței instalației..

Numărul de înregistrări stocate este determinate de controler și de capacitatea sa de memorie. Pentru monitorizarea continuă a performanței sistemului, se pot stabili intervale de timp la care să fie stocate date în stația de lucru a operatorului pentru a furniza istoric cu privire la comportamentul instalației.

Tendențele pot fi, de asemenea, utilizate pentru a evalua performanța comparativă a instalației de-a lungul timpului.

2.2. Studiu de caz – Sistemul IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP

2.2.1. Scurta prezentare a sistemului IVC geotermal care deservește infrastructura de cercetare ELI-NP

Infrastructura de cercetare ELI-NP este deservită de un sistem IVC de mari dimensiuni, care utilizează energia geotermală ca sursă de răcire sau încălzire.

Componentele esențiale ale acestuia sunt (vezi figura 39):

- schimbătorul de căldură cu pământul (SCP), prin intermediul căruia este vehiculată căldura din interiorul Pământului
- pompele de căldură, care pun în valoare energia geotermală.

Schimbătorul de căldură cu pământul este alcătuit din 1080 foraje geotermale grupate în 18 ploturi de câte 60 foraje fiecare, traversate de conductă în buclă închisă prin care circulă agentul termic.

Forajele sunt amplasate unul față de celălalt la o distanță medie de 5 metri, au o adâncime medie de aproximativ 120 m și un diametru de 160 mm. Conductele din forajele aferente fiecărui plot geotermal (realizate din țeavă de polietilenă de înaltă densitate Pn 16, cu diametrul Ø32 m sunt conectate la un distribuitor/colector (manifold), prevăzut cu vane de sectorizare cu două căi, de tip ON/OFF, motorizate. Agentul termic este apoi transportat de la fiecare distribuitor/colector (manifold) către stația de pompare prin două conducte (tur/retur), din polietilena de înaltă densitate Pn 16, cu diametrul de 160 mm fiecare [3]. În interiorul fiecărui manifold sunt amplasați câte 2 senzori de temperatură, pe tur și retur, pentru monitorizarea temperaturilor agentului termic.

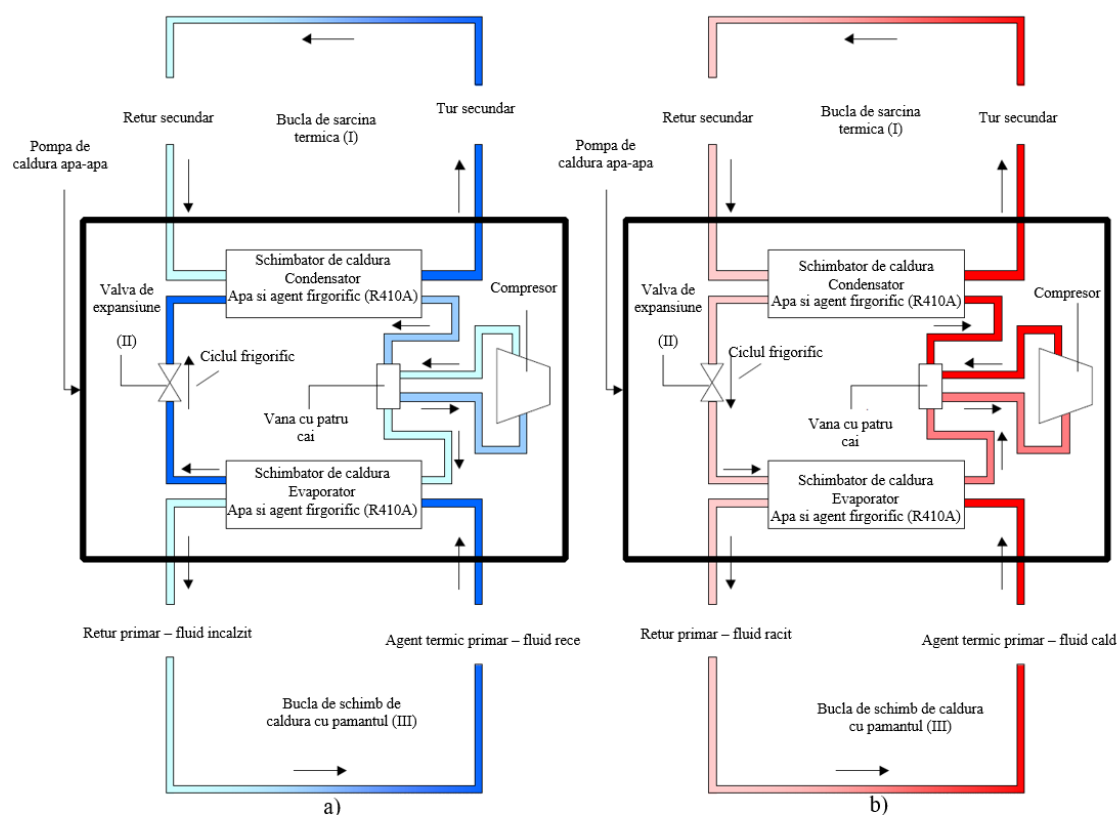


Figura 39. Schema de funcționare a sistemului geotermal cu pompa de căldură
(a) ciclul de răcire și (b) ciclul de încălzire

Distribuția agentului termic către și de la forajele geotermale, precum și a agentului termic de la și către nouă puncte termice situate în clădiri se realizează prin stația de pompare a SCP, care

este o construcție de sine stătătoare. În acest scop stația de pompare SCP este dotată pompe de circulație prevăzute cu convertizoare de frecvență.

Încălzirea și răcirea ansamblului se realizează cu pompe de căldură tip apă-apă și apă-aer, cu ciclu frigorific ecologic. Agentul frigorific folosit este R410a.

Sistemul geotermal de la ELI-NP este instalat pe o suprafață cu aria totală de aproximativ 27.000 m², are o lungime de 135.000 m și asigură integral energia necesară încălzirii și răcirii infrastructurii, având o capacitate instalată de 6,2 MW (4.2 MW încălzire și 6 MW răcire).

Sistemul IVC geotermal ELI-NP deservește o suprafață construită de aproximativ 33.000 m² care are următoarea structură:

- Două clădiri amenajate special pentru activitatea de cercetare, cu laboratoare și încăperi în care sunt amplasate echipamentele de cercetare (HPLS, VEGA, LBTS) și aranjamentele experimentale, având respectiv, suprafețe de aproximativ 11.500 mp și 13.500 mp
- Trei clădiri pentru activitățile de suport (clădire de birouri, restaurant, casă de oaspeți) totalizând aproximativ 8000 mp (vezi tabelul).

Tabelul 7. Suprafețe clădiri din infrastructura de cercetare ELI-NP

Clădire	Destinație	Suprafața construită (m ²)
Clădirea LASER și LABORATOARE	CERCETARE	11.543
Clădirea GAMMA	CERCETARE	13.452
Clădirea BIROURI	ADMINISTRATIV	5.237
Clădirea OASPEȚI	ADMINISTRATIV	2.568
Altele	ADMINISTRATIV	212

Agentul termic primar care alimentează aceste echipamente este apa recirculată prin bucla închisă care trece prin foraje.

Agentul termic secundar (apă) pentru răcire și încălzire, preparat în punctele termice cu ajutorul pompelor de căldură apă-apă, este livrat echipamentului IVC din clădiri (centrale de tratare a aerului, ventiloconvectoare), care asigură microclimatul interior al clădirilor și parametrii de funcționare.

Sarcina termică necesară de 6,2 MW (pentru încălzire 4,2 MW, pentru răcire 6 MW, pentru răcire tehnologică 2,2 MW) este asigurată de 129 de pompe de căldură apă-apă. În unele încăperi, răcirea sau încălzirea aerului interior se realizează direct, prin 46 de pompe de căldură apă-aer. De asemenea, în măsura în care soluția proiectată permite, sistemul este echipat cu mijloace de recuperare a energiei.

Agentul termic primar și secundar este vehiculat prin bucla închisă prin intermediul 185 de pompe de circulație.

Pentru clădirea LASER și LABORATOARE, sarcina termică de încălzire și răcire este asigurată de două puncte termice echipate cu pompe de căldură apă-apă. Debitul de aer necesar este asigurat de opt centrale de tratare a aerului, având fiecare un debit de 54.200 m³/h. Obiectivul

principal al centralelor de tratare a aerului este de a efectua încălzirea și ventilația camerei curate LASER și a celorlalte camere curate existente ISO 6 și ISO 7, asigurând un maxim de 20 schimburi orare de aer, care reprezintă un debit de 435.000 m³/h aer refulat vertical.

Microclimatul interior al Clădirii GAMMA este realizat și menținut cu 18 pompe de căldură tip apa-aer, montate perimetral, care asigură prelucrarea a 58.500 m³/h aer, din care aer proaspăt 5.000 m³/h în hala principală. Totodată, clădirea GAMMA este echipată cu două centrale de tratare a aerului care asigură un debit de aer de 80.000 m³/h în camerele de experimente. Configurația sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură instalat la ELI-NP este prezentată schematic în figura 40.

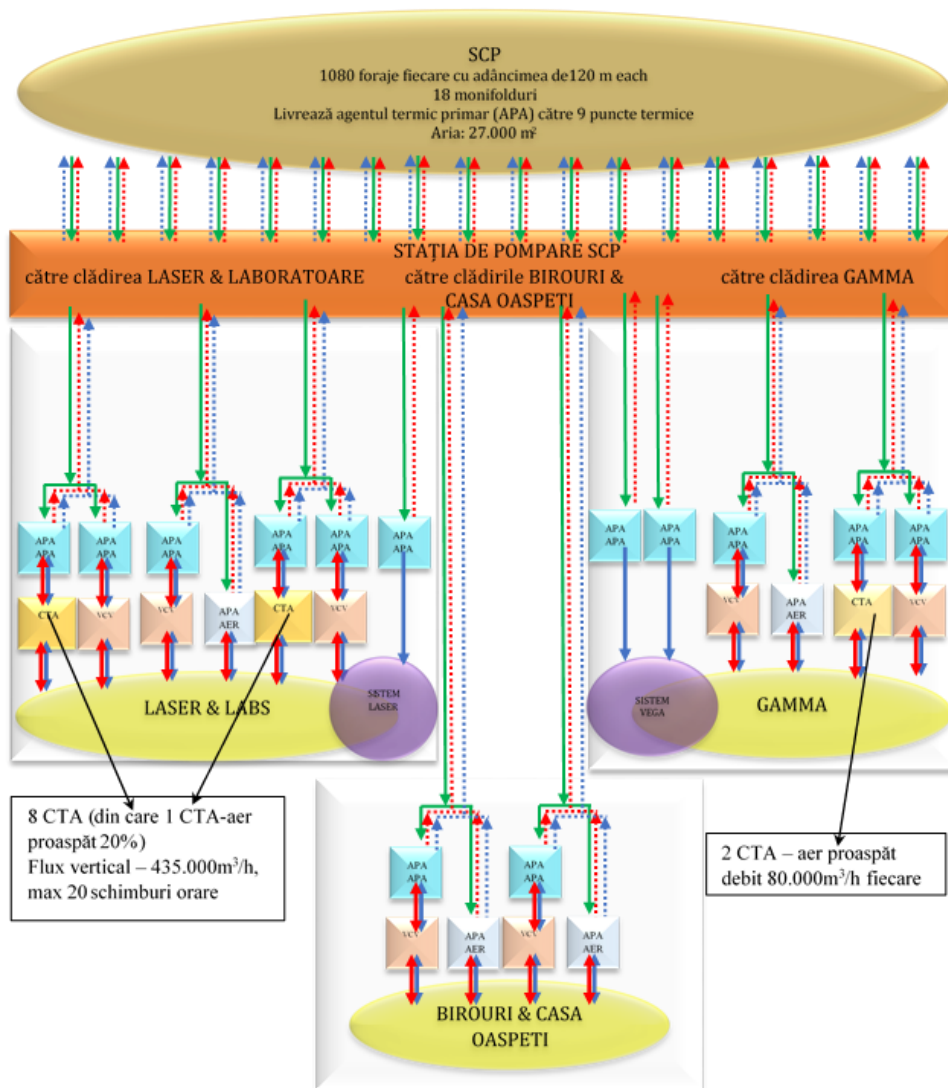


Figura 40. Sistemul geotermal cu pompe de căldură de la ELI-NP

Potrivit destinației sale, clădirea LASER și LABORATOARE are mai multe încăperi clasificate CAMERE CURATE, în conformitate cu standardul ISO 14644.

Încăperea care adăpostește laserii de mare putere, clasificată ISO 7, după standardul 14644, este o încăpăre de mari dimensiuni, având o suprafață de 2540 mp cu înălțimea de 5 m.

Fluxul de aer vertical se realizează cu un număr de 8 centrale de tratare dispuse câte patru pe fiecare latură a încăperii, pe culoarele tehnice adiacente, de la etajul superior.

Filtrarea aerului în vederea asigurării clasei de curătenie cerute de proces se realizează cu prefiltre G4 și filtre fine F9 încorporate în centrale și câte o baterie de filtre HEPA EU14 amplasate la ieșirea din fiecare centrală de tratare a aerului. Aerul tratat este refulat în sistemul de ventilație de deasupra încăperii laser. Fiecare centrală este prevăzută cu câte un atenuator de zgomot produs de acestea.

Introducerea aerului tratat în încăperea LASER se face prin intermediul plafonului perforat (constituit din panouri perforate și panouri neperforate).

Aerul recirculat este aspirat de către cele 8 CTA-uri de la nivelul pardoselii, prin 8 guri de aspirație prevăzute cu plasă de sârmă pentru protecție. Aportul de aer proaspăt reprezintă 20% din debitul uneia dintre centralele de tratare a aerului.

Sarcina de umiditate necesară încăperii este controlată cu ajutorul unor umidificatoare cu abur amplasate pe fiecare centrală de tratare a aerului.

Sarcina termică de încălzire/răcire este asigurată cu ajutorul celor 8 centrale de tratare a aerului alimentate cu agent termic cald/rece de la un număr de 34 pompe de caldura "APĂ-APĂ" amplasate pe cele două culoare tehnice adiacente încăperii laserilor.

Accesul în laboratoarele CAMERE CURATE se face dintr-un culoar tampon cu acces dintr-un culoar exterior ce face posibil accesul în toate încăperile fără pretenții privind puritatea aerului interior.

Sistemul IVC geotermal cu pompe de căldură nu utilizează combustibili fosili ca sursă de energie. Sursă de energie atât pentru încălzire, cât și pentru răcire (inclusiv răcirea tehnologică) este energia geotermală. Energia electrică este utilizată numai pentru acționarea echipamentelor.

Ca o consecință a utilizării energiei geotermale ca sursă alternativă de energie pentru încălzirea, ventilarea și climatizarea clădirilor amprenta de carbon a infrastructurii de cercetare ELI-NP și impactul asupra mediului sunt reduse.

2.2.2. Scurta prezentare a sistemului de reglaj automatizat – DDC

Sistemul IVC geotermal este monitorizat și controlat prin sistemul de automatizare Digital Direct Control (DDC). Astfel, temperatura și umiditatea sunt monitorizate, înregistrate și ajustate continuu, informațiile fiind transmise în timp real sistemului Building Management System (BMS), care monitorizează toate sistemele clădirilor.

Sistemul de supraveghere și control al sistemului de ventilație și climatizare din cadrul infrastructurii ELI-NP monitorizează toate clădirile și a fost dezvoltat sub denumirea generică de ARENA AX. Este similar unui sistem SCADA și îndeplinește următoarele funcțiuni [3]:

- colectează toate valorile parametrilor din controlerul sistemului IVC geotermal
- permite afișarea valorilor parametrilor citiți de senzorii instalați în sistem
- înregistrează toate valorile parametrilor pe server-ul dedicat achiziției de date, în vederea realizării și vizualizării graficelor de variație în timp a acestora.

Pagina principală arată întregul ansamblu de clădiri, iar în partea stângă a ecranului se găsesc butoanele de navigare de unde se poate accesa oricare dintre instalațiile monitorizate sau oricare dintre clădirile monitorizate. Nu este necesară o altă autentificare. Pagina dorită se afișează direct și foarte rapid.



Sistemul DDC propus este structurat după o logică de sistem de achiziție de date, prelucrare și control distribuit, pe baza unor programe de aplicație rezidente în memoria controlerelor, cu posibilitate de transmisie și comunicație cu un server central DDC conectat în rețeaua intranet a sistemului BMS, sau la distanță folosind comunicarea TCP/IP prin internet.

Controlerile folosite sunt Honeywell de tip Lynx pentru procesările locale reduse. Concentrarea BACnet MS/TP a acestora și interfatarea lor la BACnet IP, server și Internet s-a realizat cu controlere Honeywell de tip Eagle.

Aplicația software instalată pe server va permite implementarea unor funcții de monitorizare și control a echipamentelor clădirii, utilizând meniuri și ferestre grafice interactive. Aplicația se bazează pe facilitatea web-server integrată în controlerile de tip EAGLE.

Soluția aleasă se încadrează în solicitările specificației tehnice, după cum urmează:

- Conformitate cu standardul de utilizare EN60730-1
- Protocoale de comunicație utilizate
 - BACnet /IP (suport Ethernet),
 - BACnet MS/TP (suport RS485),
 - Modbus (suport RS485)
- Server DDC propriu cu comunicație BACnet /IP

Scopul acestei instalații este de a monitoriza și controla unitar funcționarea echipamentelor din clădiri.

Funcții de proces ale sistemului - EXEMPLE

Funcționare pompă de caldură apă-apă PAA

Pompele de căldură sunt agregate termice mai complexe ce utilizează un compresor. Printr-un schimbător de căldură pe partea primară se racordează la un agent termic existent. Pe partea secundară un schimbător de căldură similar permite climatizarea mai multor încăperi folosind o pompă de circulație PC. PAA se folosesc grupate în puncte termice (PT).

Funcționare centralei de tratare aer CTA1 în regim recirculare

Centrala de tratare aer este un agregat care controlează simultan temperatura, umiditatea și debitul de aer pentru încăperea deservită.

Aceasta are doua porturi: unul de intrare folosit ca recirculare aer și cel de ieșire pentru deservirea încăperii. Include o baterie de răcire / încălzire prin care agentul termic de pompat din punctul termic și reglat de o valva proprie permite climatizarea încăperii deservite folosind un ventilator cu debit controlat de aer (prin convertizor de frecventa CFV). Umiditatea în exces se regleaza prin bateria de răcire iar lipsa prin adaugarea de abur saturat de la un umidificator inclus. Automatizarea implementată controlează simultan temperatura, umiditatea și debitul de aer. Senzorii utilizati sunt:

- temperatură intrare / ieșire
- umiditate intrare / ieșire
- presiune diferentiala la ieșire

Funcționare centrale de tratare aer CTA2 cu aport de aer proaspat

Are o funcționare similara CTA1 dar se adauga un port intrare aer proaspat.

Aplicatia de automatizare este implementată în controlere locale tip Lynx. Aplicația este activată la cererea de climatizare transmisa de la nivel central (printr-un controler Eagle). Se genereaza urmatoarele variabile sursa aferente încăperii monitorizate:

- pentru temperature mixată la intrare aer proaspăt
- pentru temperatura intrare / ieșire
- pentru umiditate intrare / ieșire
- pentru presiunea diferentiala de ieșire
- pentru Turatia (debitul) la ieșirea ventilatorului

Funcționare centrale de tratare 100% aer proaspat CTA3

Are o funcționare similara CTA1 dar fără recirculare (numai aer proaspat).

Aplicatia de automatizare este implementată în controlere locale tip Lynx. Aplicația este activată la cererea de climatizare transmisa de la nivel central (printr-un controler Eagle). Se genereaza urmatoarele variabile sursa aferente încăperii monitorizate:

- pentru temperatura ieșire
- pentru presiunea diferentiala de ieșire
- pentru Turatia (debitul) la ieșirea ventilatorului

Server-ul de baza îndeplinește urmatoarele functii generale:

- Achizitie de date (variabilele susmentionate sunt introduce într-o baza de date SQL)
- Afisare date în mod grafic
- Alarme
- Jurnal de evenimente

Interfata utilizator este detip web-server, intuitiva și auto-explicativa la interactiunea cu utilizatorul. Nu sunt necesare etape de ajutor (Help) pentru navigare în interiorul interfetei

Alarme

Este subsecțiunea principală aferentă scopului sistemului de monitorizare, care permite evaluarea rapida a informatiilor furnizate în diferite scopuri: monitorizare, evaluare (clasificare), notificare, solicitare confirmari, interventie graduata.

Funcție de tipul variabilei monitorizate, starea ei poate fi (spre ex variabila intrare analogica):

- normal (stare de baza fara semnalizari suplimentare, exceptand eventual revenirea în aceasta stare)
- anormal (stare generica pentru starea ne-normală, marcajul utilizat fiind Off)
- atentionare (depasirea limitelor de variatie corespunzator acestei încadrări, marcajul utilizat fiind Warning)
- alarma (depasirea limitelor de variatie corespunzator acestei încadrări, marcajul utilizat fiind Alarm)
- defect (depasirea limitelor de variatie corespunzator acestei încadrări, marcajul utilizat fiind Fail)

În sistem, criteriile de mai sus permit evaluarea rapida a unei variabile monitorizate. Pentru oricare variabila se utilizeaza deasemenea o clasificare pentru notificare:

- urgent (maxima prioritate)
- high (mare)
- low (mica)
- special
- journal (minima prioritate)
- fara notificare

Asocierea criteriilor susmentionate fiecărei variabile alarmate permite o evaluare detaliata în raport cu funcționarea sistemului. Suplimentar pot fi adaugate timp intarziere, solicitari pentru confirmare alarmare.

Grafica

Sistemul permite vizualizarea simultana a mai multor informatii:

- monitorizarea valorilor senzorilor utilizati în procesul controlat
- vizualizarea valorilor setpoint-uri folosite
- vizualizarea rezultatelor elementelor de executie
- stare agregate din procesul controlat
- intercondiționarea (dinamică) generală a elementelor de proces monitorizat
- vizualizarea interventiilor manuale asupra procesului (variabile cu valori impuse manual)

2.2.3. Funcționarea sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP de la darea în folosință pâna în prezent

În exploatarea sistemului IVC geotermal instalat la ELI-NP trebuie luate în considerare o serie de constrângeri impuse în principal de activitatea care se desfășoară în clădirile de cercetare, care impune stabilitate ridicată a parametrilor de ambient. Sunt enumerate mai jos câteva din cerințele și condițiile care impun constrângeri în operare:

- cerințe de stabilitate ridicată a umidității relative și temperaturii în majoritatea dintre laboratoare
- temperaturi relativ scăzute în camerele curate
- cerințele privind ratele mari de schimbare a aerului
- condiții multiple de operare
- cerințe de presurizare

- opțiuni limitate de utilizare a strategiilor de recuperare a energiei, pentru a evita contaminarea încrucișată
- dificultatea de a anticipa sarcinile termice ale echipamentelor și cerințele de evacuare
- consumul mare de energie al procesului și al echipamentelor de cercetare.

În continuare sunt trecute în revistă etapele importante de exploatare a sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură instalat la ELI-NP.

Sistemul geotermal a fost pus în funcțiune și a început să fie operat odata cu recepția la terminarea lucrărilor de construire a clădirilor și instalațiilor din cadrul infrastructurii de cercetare ELI-NP, în noiembrie 2016.

Într-o prima etapă, a fost populată clădirea de birouri și a început operarea cantinei din infrastructură.

În martie 2017 a început instalarea sistemului laser de mare putere. Odata cu aceasta a fost posibilă urmărirea comportării sistemului IVC geotermal în regim de funcționare redusă a infrastructurii. La începutul acestei etape, gradul de ocupare și utilizare a clădirilor era după cum urmează:

- clădirea de birouri – ocupată 60%
- cantina – utilizată la 50% din capacitate
- casa de oaspeți – neocupată
- clădirea Laser și Laboratoare (destinată cercetării) – utilizată la 50% din capacitate
- clădirea Gamma (destinată cercetării) – utilizată la 30% din capacitate.

În clădirile destinate cercetării a început activitatea de instalare și integrare cu clădirile a echipamentului de cercetare și a altor aranjamente experimentale, cea mai importantă ca pondere și complexitate fiind activitatea de instalare a sistemului laser de mare putere.

Sistemul geotermal a asigurat parametrii de funcționare pentru clădirea de birouri și pentru cantină, fara a fi nevoie de intervenții majore în sistemul IVC geotermal sau remeieri în garanție semnificative.

Perioada de instalare a sistemului laser de mare putere a fost perioada optima pentru realizarea reglajului fin al sistemului IVC geotermal, precum și a sistemului automat DDC care îl deservește.

Instalarea laserului de mare putere a fost finalizată în anul 2019, atingerea puterii 10 PW în luna martie a aceluiași an fiind un punct de referință pentru cercetarea științifică la nivel mondial și un reper în istoria științei. A urmat apoi calibrarea și testarea echipamentului.

În anii 2021 și 2022 trei din cele cinci clădiri din infrastructură au fost ocupate 100%, iar una din clădirile de cercetare respectiv Clădirea Laser și Laboratoare a fost utilizată 100 %. În prezent gradul de ocupare și utilizare pe clădiri este după cum urmează:

- clădirea de birouri – ocupată 100%
- cantina – utilizată la 100% din capacitate (200 persoane)
- casa de oaspeți – utilizată la 100% din capacitate (grad de ocupare mediu 70%, în funcție de calendarul de experimente și numărul de utilizatori programați)
- clădirea Laser și Laboratoare (destinată cercetării) – utilizată la 100% din capacitate (după un calendar stabilit la sfârșitul anului precedent pentru anul în curs)
- clădirea Gamma (destinată cercetării) – utilizată la 80% din capacitate.

Sistemul IVC geotermal funcționează la capacitate maximă, în prezent aflându-se în al 3-lea an de monitorizare intensivă, dovedind un rezultat bun în ceea ce privește eficiența energetică și stabilitatea parametrilor solicitați.

Sursa de energie atât pentru încălzire, cât și pentru răcire (inclusiv răcirea tehnologică) este energia geotermală. Energia electrică este utilizată numai pentru acționarea echipamentelor, cel mai important consumator fiind sistemul IVC care este responsabil pentru două treimi din consum.

2.2.4. Mărimile fizice și parametrii de funcționare determinate în funcționarea sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură din Infrastructura de Cercetare ELI-NP, descrierea echipamentelor de măsură, modul de măsură

Stabilitatea parametrilor de ambient impusă de echipamentele de cercetare unice și de activitatea de cercetare ce se desfășoară la ELI-NP este prioritară. Sistemul IVC geotermal trebuie să asigure stabilitatea parametrilor în mod permanent și pe termen lung.

Cei mai restrictivi parametri care trebuie menținuți în laboratoarele de cercetare sunt după cum urmează:

Clădirea Laser și Laboratoare

- temperatura în camera Laser 22 +/- 0,5 °C
- temperatura în unele Laboratoare 20 +/- 0,5 °C
- umiditatea relativă în camera Laser și Laboratoare: 35-50%, fără condensare
- suprapresiune în camera Laser și Laboratoare: 40 Pa
- clasa de curățenie în camera Laser: ISO7
- clasa de curățenie în Laboratoare ISO6, ISO7

Clădirea Gamma

- presiune negativă în sala VEGA 14 Pa
- temperatura în sălile de experimente 22 +/- 0,5 °C
- umiditatea relativă în sălile de experimente 35-50%, fără condensare

Chiar dacă menținerea stabilității parametrilor este prima prioritate avută în vedere în exploatare, de importanță majoră este și eficiența energetică, având în vedere consumurile energetice ridicate pe care le implică activitatea de cercetare desfășurată în infrastructura de cercetare ELI-NP.

Înca de la începutul monitorizării în exploatare a clădirilor și sistemelor din infrastructura de cercetare ELI-NP s-a ajuns la concluzia că o poziționare corectă a infrastructurii din punctul de vedere a eficienței energetice se poate realiza prin comparare cu alte infrastructuri de cercetare, cunoscut fiind faptul că activitatea de cercetare presupune consum ridicat de energie electrică.

Astfel, ca o prima etapă de caracterizare și determinare a poziției pe care se situează infrastructura de cercetare ELI-NP din punctul de vedere al eficienței energetice s-a calculat indicatorul EUI (Energy Use intensity), care exprimă consumul de energie al unei clădiri în funcție de dimensiunile acesteia sau de alte caracteristici și se calculează împărțind energia totală consumată de clădire într-un an (măsurată în kBtu sau GJ) la suprafața construită desfășurată a clădirii (măsurată în picioare pătrate sau metri pătrați).

Statisticile pentru EUI median sunt publicate pe platforma ENERGY STAR pentru tipuri de clădiri, în funcție de utilizarea acestora. Această platformă este administrată de Agenția pentru

Protecția Mediului din SUA (EPA) și împreună cu aceasta din urmă oferă soluții de eficiență energetică care economisesc costurile, care protejează clima, îmbunătățesc calitatea aerului și protejează sănătatea publică.

Având în vedere ca necesarul de energie pentru încălzire și răcire este acoperit integral de sistemul IVC geotermal cu pompe de căldură, infrastructura de cercetare ELI-NP nu utilizează combustibili fosili. Consumul total de energie electrică (clădiri, echipament de cercetare, iluminat exterior etc.) este citit lunar și se regăsește în factura emisă de furnizorul de energie electrică.

Infrastructura a fost monitorizată intensiv din punctul de vedere al consumului de energie timp de patru ani. Cunoscând consumul total de energie electrică și suprafața construită a infrastructurii de cercetare a fost posibilă compararea valorii EUI a ELI-NP cu valoarea mediană a EUI pentru laboratoare de cercetare publicată de ENERGY STAR.

Într-o a doua etapă s-a urmărit evaluarea performanței energetice a sistemului IVC geotermal cu pompe de căldură instalat la ELI-NP, prin determinarea unui coeficient de performanță, valorificând resursele oferite de soluția constructivă IVC adoptată și exploatată la ELI-NP.

Sistemul de control automat DDC al sistemului IVC, descris în capitoul anterior permite:

- înregistrarea în timp real a parametrilor de interes (temperatură și umiditate relativă a aerului introdus), prin senzorii amplasați în tubulatură
- ajustarea valorilor acestor parametri la valorile de referință cerute de proces
- stocarea datelor și realizarea de curbe de evoluție pentru diferite perioade.

Un exemplu de ecran de stare este prezentat în figura 41. În sala LASER se înregistrează în timp real temperatura și umiditatea relativă și în proximitatea echipamentului de cercetare, în diferite puncte de interes (vezi figura 42). În figura 43 sunt prezentate exemple de curbe cu evoluția în timp a temperaturii și umidității relative.

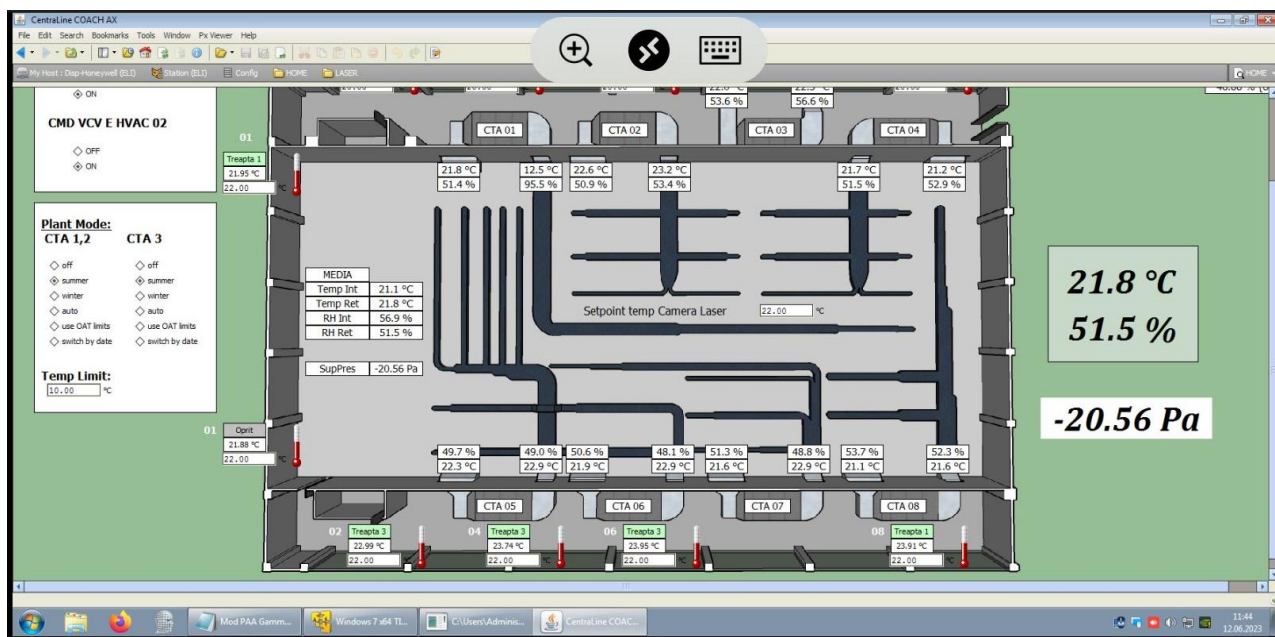


Figura 41. Parametrii afișați de sistemul DDC





Figura 42. Ecrane de stare cu parametrii de interes măsurați în proximitatea echipamentului de cercetare





Figura 43. Grafic cu evoluția temperaturii și umidității relative

Consumul de energie electrică este cunoscut pentru toți consumatorii importanți din infrastructura de cercetare, individual pentru clădiri și sisteme, putând fi citit în timp real de pe analizoarele de rețea instalate pe tablourile electrice de distribuție. Următoarele consumuri de energie electrică sunt contorizate separat:

- consumul de energie pentru fiecare din pompele de circulație cu turație variabilă care vehiculează agentul termic primar către punctele termice
- consumul de energie pentru punctele termice ale fiecărei clădiri
- consumul de energie pentru răcirea tehnologică pentru echipamentele de cercetare
- consumul de energie pentru iluminat și prize al fiecărei clădiri.

Având aceste date și determinând necesarul de cădură/frig precum și consumul de energie termică respectiv, este posibilă evaluarea performanței energetice a sistemului IVC geotermal, prin

determinarea unui coeficient de performanță. S-au calculat aproximativ coeficienți de performanță pentru sistemul IVC aferent fiecărei clădiri, relevanți fiind cei pentru clădiri cu gradul de ocupare și utilizare 100%.

Urmare studierii unor tehnici utilizate pentru optimizarea funcțională a altor sisteme IVC geotermale cu pompe de căldură, urmare cunoașterii efectelor energetice ale reglajului automat și concret urmare cunoașterii tiparului de comportament a unui sistem IVC de mare capacitate, într-o ultima etapă a cercetării doctorale se vor investiga rezultatele implementării unei tehnici de control optimal pentru un sistem IVC de mare capacitate.

2.2.5. Control Optimal

În etapa actuală și în viitor, sistemele de automatizare a clădirilor pot fi utilizate pentru managementul eficace al sistemelor termohidraulice și electrice care deservește clădirile, cu accent pe reducerea costurilor de operare, respectiv a reducerii consumurilor energetice.

Alegerea metodei potrivite de control optimal pentru o anumită aplicație dată, respectiv pentru un anumit sistem IVC, are un rol important în dezvoltarea unei strategii de optimizare, având în vedere avantajele și limitările diferitelor metode disponibile.

Optimizarea oricărui sistem necesită studiul în detaliu al comportamentului său, printr-o analiză aprofundată a tuturor variabilelor și parametrilor implicați asupra performanței sale.

Pentru elaborarea unor strategii de optimizare este necesară analiza datelor experimentale colectate în vederea studiului performanței sistemului atât pe termen scurt, cât și pe termen lung.

Strategiile vizează optimizarea performanței energetice a sistemului care funcționează ca un întreg, păstrând în același timp cerințele de confort interior al clădirii și nu trebuie să se concentreze pe optimizarea performanței fiecărei componente individuale a sistemului.

Totuși, pentru a optimiza performanța energetică globală a unui sistem IVC cu pompe de căldură cuplate la sol, trebuie acordată o atenție deosebită și echipamentelor auxiliare, deoarece acestea realizează o parte considerabilă din consumul total de energie.

Criterii pentru evaluarea performanței sistemelor IVC geotermale cu pompe de căldură

Indicatorii luați în considerare pentru evaluarea performanței sistemelor IVC geotermale cu pompe de căldură sunt:

- Coeficientul de performanță pentru încălzire (COP) = raportul dintre energia termică de încălzire generată și energia electrică consumată.
- Coeficientul general de performanță al sistemului (COP_{sys}) = raportul dintre energia totală transferată și energia totală consumată.
- Rata de eficiență energetică (EER) = raportul dintre energia de răcire generată (BTU) și energia electrică consumată în Watt-oră. EER este egal cu produsul dintre COP și factorul de conversie de la BTU/h la wați. (ANSI / AHRI 2008).
- Rata de eficiență energetică sezonieră (SEER) = raportul dintre energia totală sezonieră de încălzire / răcire generată pe parcursul unei perioade de utilizare (în BTU) și energia electrică consumată (în Watt-oră) în același interval de timp. Poate fi folosită pentru a determina eficiența energetică sezonieră a pompelor de căldură în timpul sezoanelor calde și rece.

Numeroasele studii realizate cu scopul de a evalua toți indicatorii de performanță, respectiv coeficienții de performanță ai pompelor de căldură, coeficienții de performanță globali ai

sistemelor, rata de eficiență energetică și rata de eficiență energetică sezonieră au condus la concluzia ca sistemele IVC geotermale sunt mai eficiente energetic decât sistemele IVC tradiționale. Acest lucru se datorează în principal faptului că operarea pompei de căldură se poate realiza cu eficiență mai mare, atât în modul „încălzire” cât și în modul „răcire”, utilizând la intrare agent termic la temperatura solului.

Rolul major al strategiilor de control pentru sistemele IVC geotermale cu pompe de căldură este de a maximiza eficiența energetică a sistemelor (consum minim de energie) fără a sacrifica confortul termic interior și fără a compromite constrângerile de funcționare. Dezvoltarea strategiilor de control pentru sistemele IVC geotermale cu pompe de căldură este complexă, deoarece este necesară înțelegerea deplină a interacțiunii dintre componentele sistemului.

În practică, sistemele de control pot utiliza o varietate de *dispozitive de control*, cum ar fi dispozitivele digitale, mecanice și electrice pentru a răspunde unor cerințe diverse de control.

Este destul de probabil ca parametrii componentelor sistemului să interacționeze între ei, schimbarea unui parametru având efecte potențial imprevizibile asupra funcționării altor componente.

Performanța unui sistem IVC geotermal este afectată simultan de condițiile climatice, de sistemul de distribuție a agentului termic, de condițiile de încărcare a clădirii și de caracteristicile solului etc.

Împreună cu multitudinea de instrumente / aplicații software existente în prezent, sistemul ELI-NP permite realizarea mai multor modele care pot aduce date noi cu privire la comportarea și impactul sistemelor geotermice cu pompe de căldură. Se urmărește evaluarea performanței viitoare și optimizarea sistemului geotermic de la ELI-NP, în sine, dar și utilizarea modelelor pentru realizarea altor sisteme similare.

În vederea realizării controlului optimal, în cadrul strategiei în curs de implementare la ELI-NP, se vor utiliza două categorii de scheme de exploatare: prima schemă vizează eficientizarea energetică prin echilibrarea hidraulică a circuitelor de pe bucla de primar a sistemului geotermic iar cea de-a doua schemă utilizează tehnici de eficientizare a circulației pe buclele de secundar prin secvențierea utilizării distribuției agentului termic către punctele de distribuție terminale. Rezultatele așteptate prin optimizările funcționale propuse se referă atât la reducerea consumurilor energetice (cu un rezultat așteptat de 25%) dar și la eficientizarea distribuției sarcinii termice între diferitele puncte de distribuție (prin preluare de sarcină între diferitele ploturi aflate în exploatare - 18 unități).

3. Efecte energetice ale reglajului automatizat în funcționarea optimizată

3.1. Efecte energetice ale reglajului automatizat estimate a fi obținute în funcționarea optimizată

Utilizarea unui sistem de control automatizat DDC pentru o instalație IVC complexă aduce cu sine numeroase avantaje, desigur și provocări pe măsură. Optimizarea unei instalații IVC ar trebui înțeleasă mai degrabă în conexiune directă cu un sistem de reglaj automat. Optimizarea pentru o instalație neautomatizată este consumatoare de timp și foarte greu de realizat. Resursele pe care le oferă automatizarea creează premise pentru optimizare.

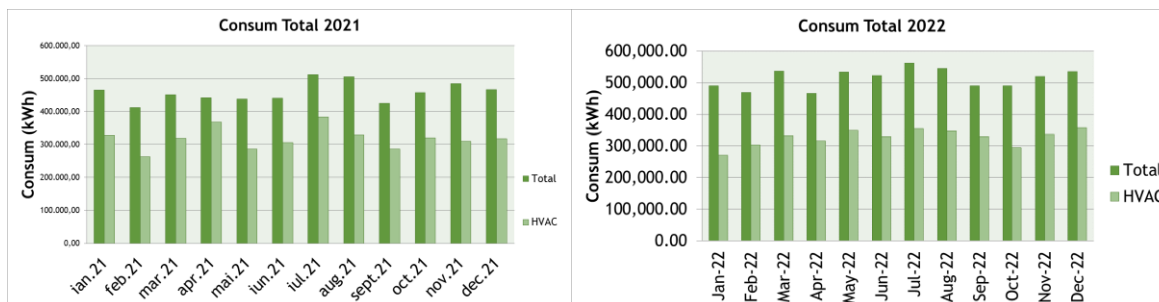
Abordarea eficientizării energetice a unei instalații IVC ca identificare și valorificare a oportunităților oferite de automatizare și optimizare privite ca întreg, în strânsă legătură, este astăzi cea mai bună opțiune, singura posibilă, pentru obținerea unor soluții sustenabile de utilizare responsabilă a resurselor. Eficientizarea este înțeleasă ca menținere a parametrilor de operare la valorile cerute, cu cel mai mic consum energetic posibil. Termenul consacrat, în prezent, pentru o astfel de abordare este operarea/ exploatarea și controlul inteligente ale clădirilor.

Astfel, ca efecte ale reglajului automatizat se precizează următoarele:

- reducerea costurilor cu energia, automatizarea și optimizarea făcând posibilă funcționarea sistemelor mecanice la randament maxim
- echipamentele pot fi programate să funcționeze numai atunci când este necesar și, prin urmare, vor genera în orice moment numai sarcina necesară
- nivel de control ridicat pentru construcția în sine și pentru toate sistemele aferente acestora
- detectarea automată a defecțiunilor instalației IVC
- control asupra acțiunilor ocupanților
- raportare a performanței echipamentelor și problemelor apărute în timpul exploatării
- posibilitatea de reajustare a parametrilor odată cu schimbarea condițiilor de lucru
- cunoaște tiparul de funcționare pe termen lung a instalației, în diferite condiții de exploatare
- interfețele grafice sofisticate ale aplicațiilor de control automat permit realizarea, păstrarea, ierarhizarea documentațiilor de construcție ale clădirii cu posibilitatea accesului facil la datele de interes
- instalațiile necesită mai puțină întreținere, având ca rezultat costuri mai reduse de întreținere
- costuri reduse cu forța de muncă prin monitorizare și depanare de la distanță
- sistemele de control automatizat moderne (mai ales cele digitale) sunt programabile; dacă nevoile unei clădiri se schimbă, sistemul poate fi reprogramat pentru a satisface noile cerințe.

3.2. Rezultate obținute la ELI-NP. Rezultatele determinărilor experimentale-prelucrare

Consumul total de energie electrică lunar al infrastructurii de cercetare ELI-NP se situează în jurul a 500.000 kWh. În figurile de mai jos este prezentat consumul pentru anii 2021 și 2022.



Așa cum era de așteptat, consumul pentru încălzirea, racirea și condiționarea clădirilor are proporția cea mai mare din consumul al clădirilor, aproximativ două treimi din consumul total de energie.

În anii 2021 și 2022 trei din cele cinci cladiri din infrastructura au fost ocupate 100%, iar una din cladirile de cercetare respectiv Cladirea Laser și Laboratoare a fost utilizata 100%. Infrastructura ELI-NP a funcționat în anul 2022 ca entitate „user office”, unde s-au planificat și realizat experimente care presupun operarea laserului de mare putere, a sistemului de transport al fasciculuului și a aranjamentelor experimentale realizate.

În tabelele 7a. și 7b. sunt prezentate valori ale indicatorului EUI pentru întreaga infrastructura de cercetare ELI-NP, respectiv numai pentru cădirile de cercetare. După cum se poate observa în figura 44, la nivelul anului 2021, la grad de utilizare în jur de 70%, EUI al infrastructurii de cercetare ELI-NP se situează la mai puțin de jumătate din valoarea EUI mediană de 1.004 kWh/m²/an publicată pe platforma ENERGY STAR [4].

Tabel 7a. Indicatorul EUI pentru întreaga infrastructură

ELI-NP	Cons (MWh)	EUI SURSA (kWh/m ² /yr)	EUI SITE (kWh/m ² /yr)
2020	5.579	442.81	169.01
2021	5.503	436.13	166.46

Tabel 7b. Indicatorul EUI pentru clădirile de cercetare

ELI-NP	Cons (MWh)	EUI SURSA (kWh/m ² /an)	EUI SITE (kWh/m ² /an)
2020	4.965	518.60	197.94
2021	4.875	509.16	194.34

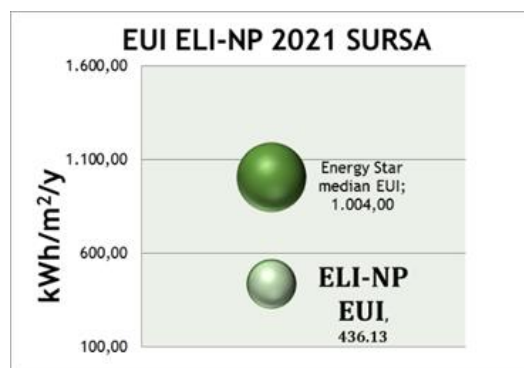


Figura 44. Comparație EUI ELI-NP cu EUI median laboratoare de cercetare publicat de EPA

Cunoașterea cu grad ridicat de precizie a tiparului de consum în exploatare și stabilitatea ridicată a parametrilor de ambient ce a caracterizat funcționarea în perioada de monitorizare permit trecerea la etapa reglajului fin al sistemului, optimizarea și controlul optimal al acestuia.

La acest stadiu al proiectului se pot realiza estimări foarte bune ale comportamentului cladirilor cu grad de utilizare și ocupare de 100%.

Astfel dacă la nivelul 2017 a fost posibila evaluarea performantei sistemului IVC numai pentru clădirile suport (caracterizate prin suprafețe de dimensiuni reduse, parametri de ambient nerestricțivi, activitate de birou, care implica consum redus de energie), în condițiile de ocupare și utilizare din prezent este posibilă evaluarea performanței clădirilor în care se desfășoară activitate de cercetare. În figura 45 este reprezentat consumul total de energie al clădirii Laser și laboratoare (inclusiv consumul energetic pentru răcirea tehnologică), iar în figura 46 este reprezentat consumul energetic al sistemului IVC (fără răcire tehnologică) numai pentru clădirea care deservește laserul de mare putere.

Volum Cladire LASER + LABORATOARE - V (mc)		33,437.55											
ANUL 2022 LUNA	UM	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22
Consum energie electrica IVC LASER + LABORATOARE	kWh	90,802.00	110,276.00	119,989.00	113,563.00	131,596.00	114,837.00	131,984.00	122,008.00	106,586.00	108,623.00	128,935.00	150,200.00
Consum energie electrica echipament schimbator de caldura cu pamantul (pompe circulatie)	kWh	14,394.00	15,328.00	13,674.00	17,573.00	17,449.00	16,274.00	17,265.00	17,406.00	18,133.00	16,701.00	19,624.00	19,903.00
Energie termica calculata	kWh _t	462,086.98	439,340.31	376,419.55	303,402.00	252,235.85	543,410.29	753,876.45	752,663.13	258,504.67	226,397.74	383,165.19	576,477.53
Temperatura exterioara Medii lunare REAL (°C) = ACCUWEATHER	°C	1.50	4.00	4.00	11.00	25.00	29.00	31.00	31.00	25.00	13.00	9.00	3.00
Coeeficient de performanță		4.39	3.50	2.82	2.31	1.69	4.14	5.05	5.40	2.07	1.81	2.58	3.39

Volum Cladire LASER + LABORATOARE - V (mc)		33,437.55											
ANUL 2022 LUNA	UM	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22
Consum energie electrica IVC LASER + LABORATOARE	kWh	103,418.00	125,755.00	138,874.00	133,951.00	151,430.00	132,606.00	147,144.00	136,861.00	121,449.00	122,942.00	147,968.00	163,475.00
Consum energie electrica echipament schimbator de caldura cu pamantul (pompe circulatie)	kWh	21,530.00	22,990.00	21,959.00	24,532.00	24,214.00	24,022.00	25,914.00	26,097.00	27,078.00	24,904.00	29,326.00	29,943.00
Energie termica calculata	kWh _t	462,086.98	439,340.31	376,419.55	303,402.00	252,235.85	543,410.29	753,876.45	752,663.13	258,504.67	226,397.74	383,165.19	576,477.53
Energie termica racire tehnologică	kWh _t	88,480.00	93,940.00	101,500.00	107,380.00	104,720.00	96,740.00	104,440.00	104,300.00	107,520.00	97,580.00	114,520.00	117,740.00
Temperatura exterioara Medii lunare REAL (°C) = ACCUWEATHER	°C	1.50	4.00	4.00	11.00	25.00	29.00	31.00	31.00	25.00	13.00	9.00	3.00
Coefficient de performanță		4.41	3.59	2.97	2.59	2.03	4.09	4.96	5.26	2.46	2.19	2.81	3.59

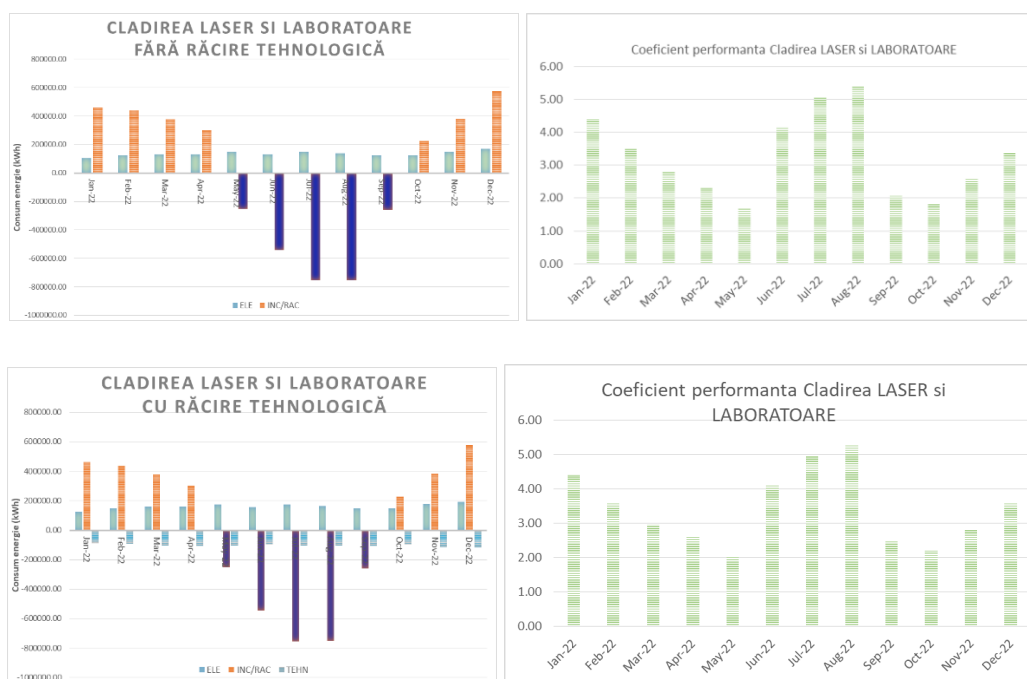


Figura 45. Consum energetic clădirea Laser și Laboratoare ELI-NP. Coeficient de performanță

Volum Cladire LASER - V (mc)		22,758.69											
ANUL 2022 LUNA	UM	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22
Consum energie electrica IVC LASER + LABORATOARE	kWh	72,487.00	91,276.00	100,005.00	95,387.00	114,550.00	98,055.00	110,425.00	102,769.00	88,713.00	90,800.00	111,011.00	128,884.00
Consum energie electrica echipament schimbator de caldura cu pamantul (pompe circulatie)	kWh	11,537.00	12,428.00	10,526.00	14,260.00	14,106.00	13,086.00	14,017.00	14,101.00	14,531.00	13,362.00	15,652.00	15,914.00
Energie termica calculata	kWh _t	332,825.63	316,441.98	271,122.28	218,530.21	174,893.37	376,785.69	522,717.11	521,875.83	179,240.00	163,066.64	275,980.93	415,217.28
Temperatura exterioara Medii lunare REAL (°C) = ACCUWEATHER	°C	1.50	4.00	4.00	11.00	25.00	29.00	31.00	31.00	25.00	13.00	9.00	3.00
Coefficient de performanță		3.96	3.05	2.45	1.99	1.36	3.39	4.20	4.47	1.74	1.57	2.18	2.87

Volum Cladire LASER - V (mc)		22,758.69											
ANUL 2022 LUNA	UM	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22
Consum energie electrica IVC LASER + LABORATOARE	kWh	85,103.00	106,755.00	118,890.00	115,775.00	134,384.00	115,824.00	125,585.00	117,622.00	103,576.00	105,119.00	130,044.00	142,159.00
Consum energie electrica echipament schimbator de caldura cu pamantul (pompe circulatie)	kWh	18,673.00	20,090.00	18,811.00	21,219.00	20,871.00	20,834.00	22,666.00	22,792.00	23,476.00	21,565.00	25,354.00	25,954.00
Energie termica calculata	kWh _t	332,825.63	316,441.98	271,122.28	218,530.21	174,893.37	376,785.69	522,717.11	521,875.83	179,240.00	163,066.64	275,980.93	415,217.28
Energie termica racire tehnologică	kWh _t	88,480.00	93,940.00	101,500.00	107,380.00	104,720.00	96,740.00	104,440.00	104,300.00	107,520.00	97,580.00	114,520.00	117,740.00
Temperatura exterioara Medii lunare REAL (°C) = ACCUWEATHER	°C	1.50	4.00	4.00	11.00	25.00	29.00	31.00	31.00	25.00	13.00	9.00	3.00
Coefficient de performanță		4.06	3.24	2.71	2.38	1.80	3.47	4.23	4.46	2.26	2.06	2.51	3.17

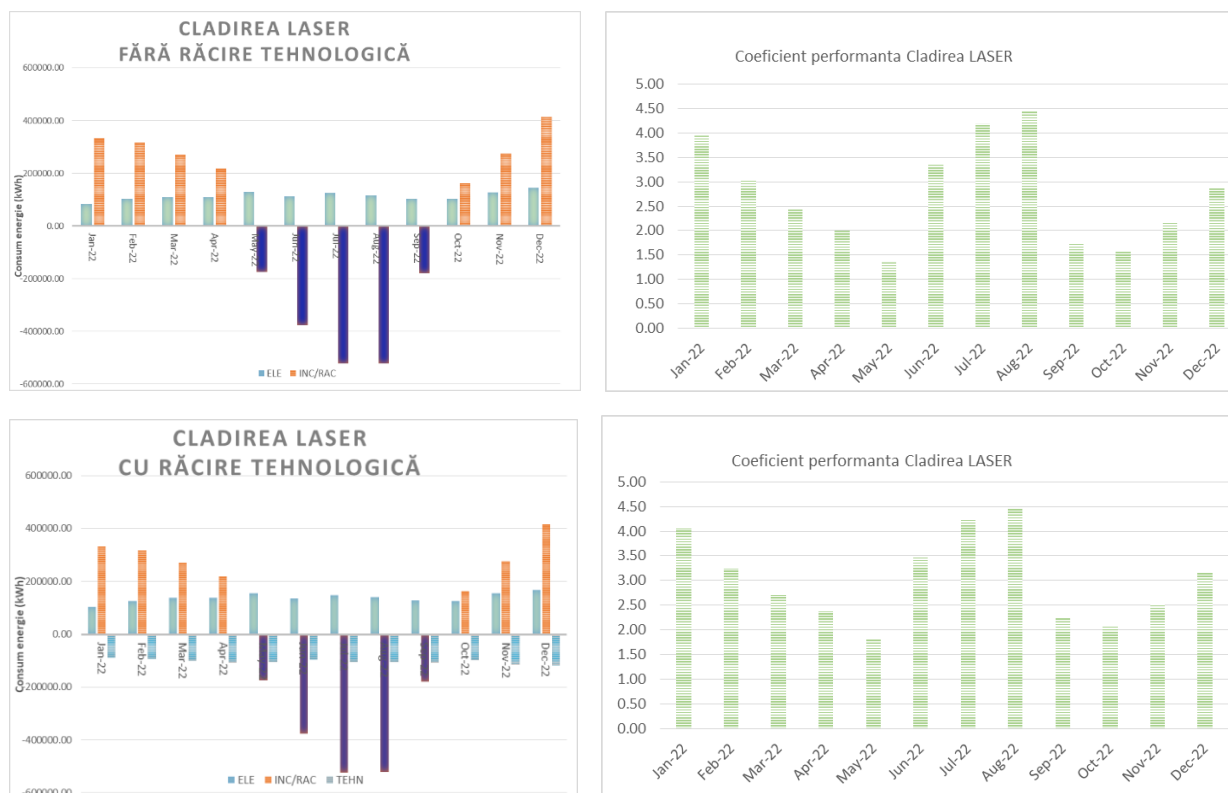


Figura 46. Consum energetic clădirea Laser ELI-NP. Coeficient de performanță

Analiza va fi extinsa pas cu pas astfel încât la momentul utilizării de 100% a infrastructurii sa existe o imagine completa și optimizata a comportării întregului sistem.

Rezultatele monitorizării în exploatare pe termen lung așteptate ar fi posibilitatea de a determina coeficienții de performanță ai sistemului și, în consecință, de a identifica acțiunile de executat în vederea reglajului fin și a optimizării sistemului în exploatare. Scopul final este identificarea strategiei de optimizare adecvate, în urma căreia coeficientul de performanță să crească la cea mai buna valoare posibilă în condițiile impuse de activitatea infrastructurii de cercetare.

4. Concluzii

Acest referat are la bază studiile teoretice asupra controlului automat, cu accent pe controlul automat al sistemelor IVC și pe cercetarea experimentală efectuată de autor asupra sistemului de mare capacitate IVC geotermal cu pompe de căldură instalat și operațional la ELI-NP.

Pe baza studiului teoretic și a cercetării experimentale realizate, au rezultat următoarele concluzii:

- Optimizarea are sens în corelare cu automatizarea instalațiilor. Acestea privite ca întreg, în strânsă legătură, sunt astăzi cea mai bună opțiune, singura posibilă, pentru obținerea unor soluții sustenabile de utilizare responsabilă a resurselor.
- Efectele operării și controlului automatizat al clădirilor conduc la eficientizare energetică.
- Prin valorificarea datelor obținute în urma monitorizării și exploatării sistemului de mare capacitate IVC geotermal cu pompe de căldură instalat la ELI-NP, împreună cu sistemul automat DDC aferent, se poate proba practic sustenabilitatea energiei geotermale ca alternativă pentru eficiență energetică ridicată. Infrastructura de cercetare de la ELI-NP are o eficiență energetică ridicată în raport cu alte obiective similare, coeficienții de performanță ai sistemului IVC calculați, în prezent, au valori bune, dar se așteaptă o îmbunătățire a acestora urmare finalizării și implementării strategiei de optimizare aflate în lucru.
- Analiza operațională realizată pe sistemul IVC de la ELI-NP a dovedit viabilitatea strategiei de control modulant ca fiind cea care se pretează cel mai bine cerințelor parametrice aferente zonelor experimentale. Astfel, în cadrul analizei de consum (considerată principalul reper decizional pentru stabilirea eficienței energetice a sistemelor geotermale de mari dimensiuni) s-a constatat faptul că aplicarea unui sistem continuu de control modulant dezavantajează stabilitatea termică a potențialului geotermal. Drept urmare, strategia aplicată este aceea a controlului modulant pe secundarul buclei geotermale, primarul fiind conservat în stare de funcționare permanentă.
- Studiile realizate privind eficiența sistemului geotermal de la ELI-NP (studii premiate de către Advantage Austria în anul 2022 cu prestigiosul trofeu Energy Globe Award în România), au demonstrat faptul că validarea eficienței acestor sisteme trebuie să aibă la bază o abordare de tip dual: furnizare de parametrii energetici, pe de o parte și eficientizare a consumurilor, de cealaltă parte. Compromisul acestei analize reprezintă modul de validare a strategiilor de exploatare aferente unui astfel de sistem.
- Prezentul raport de cercetare sintetizează, în mod special din punct de vedere teoretic, strategiile de conducere automată a instalațiilor și validează experimental o rețetă aplicată pe acest sistem. Ce va urma? O analiză aprofundată a acestor premise prin suprapunerea efectelor controlului automat cu grilele de consum normate pentru astfel de facilități și un răspuns documentat pentru întrebarea: Se poate obține o clădire nZEB având cerințe parametrice atât de limitative? Răspunsul la această întrebare este, de fapt, și obiectivul principal al prezentei teze de doctorat.

Bibliografie

- [1] "Primul raport de progres al uniunii energetice 2015, com(2015) 572 final din 18.11.2015".
- [2] R. Montgomery and R. McDowall, Fundamentals of HVAC Control Systems, American Society of Heating, refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009.
- [3] "Memoriu tehnic Instalatie de ventilare Climatizare ELI-NP," 2014.
- [4] https://www.energystar.gov/buildings/benchmark/understand_metrics/what_eui, "ENERGY STAR a voluntary U.S. Environmental Protection Agency (EPA) program - What is Energy Use Intensity (EUI)?".
- [5] Z. Ma, "Online Supervisory and Optimal Control of Complex Building Central Chilling Systems. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy," The Hong Kong Polytechnic University, April, 2008.
- [6] ASHRAE Guideline 13-2007 Guideline to Specifying DDC Systems.