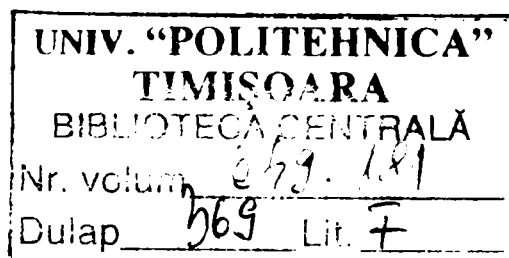


TEZĂ DE DOCTORAT

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND
VALORIFICAREA CĂLDURII DE POTENȚIAL REDUS
DIN APELE GEOTERMALE

Conducător științific,
Prof.univ.dr.ing. VIRGILIU DAN NEGREA
Membru titular al
Academiei de Științe Tehnice din România

Doctorand,
Ing. Dan Gomboș



2006

CUPRINS

LISTA FIGURILOR.....	2
LISTA TABELELOR.....	6
INTRODUCERE.....	7
CAPITOLUL 1. CONSIDERAȚII GEOLOGICE PRIVIND STRUCTURA ȘI DINAMICA TERESTRĂ....	15
1.1. Energia calorică terestră	16
1.2. Structura globului terestru.....	20
1.3. Temperatura în interiorul globului.....	21
CAPITOLUL 2. ASPECTE PRIVIND ENERGIA GEOTERMALĂ	23
2.1. Natura energiei geotermale	23
2.2. Transferul de căldură în interiorul Pământului	26
2.3. Gradientul geotermal al Pământului și conductivitatea termică a rocilor	27
2.4. Resurse geotermale	28
2.5. Sisteme geotermale (hidrotermale).....	29
2.6. Tipuri de zăcăminte geotermale.....	32
2.7. Originea aburului și a apei fierbinți din zăcămintele geotermale	40
2.8. Posibilități de utilizare a energiei geotermale.....	42
<i>2.8.1. Conversia energiei geotermale în energie electrică</i>	<i>44</i>
<i>2.8.2. Utilizări directe</i>	<i>50</i>
CAPITOLUL 3. VALORIFICAREA EFICIENTĂ A ENERGIEI GEOTERMALE ÎN CADRUL PUNCTELOR TERMICE	65
3.1. Considerații generale privind sistemele de încălzire și prepararea apei calde menajere. Puncte termice.	65
3.2. Punct termic geotermal de eficiență crescută. Studiu de caz.	101
<i>3.2.1. Proiectarea constructiv – funcțională.....</i>	<i>102</i>
<i>3.2.2. Modelarea matematică a elementelor componente</i>	<i>117</i>
<i>3.2.3. Calculul schimbului de căldură pentru punctul termic.....</i>	<i>125</i>
<i>3.2.4. Automatizarea punctului termic</i>	<i>133</i>
<i>3.2.5. Simularea funcționării punctului termic</i>	<i>141</i>
<i>3.2.6. Rezultate obținute în urma simulării.....</i>	<i>151</i>
3.3. Experimentări efectuate pe un punct termic geotermal funcțional, cu sistem de stocare de date	161
<i>3.3.1. Date experimentale obținute la încercarea schimbătoarelor de căldură</i>	<i>167</i>
<i>3.3.2. Testarea proceselor de schimb de căldură și a strategiei de conducere utilizând facilitățile sistemului de stocare a datelor</i>	<i>171</i>
3.4. Analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma analizei teoretice și a simulării cu cele obținute în urma experimentărilor. Concluzii.....	174
CAPITOLUL 4. IMPLICAȚII TEHNICO–ECONOMICE ȘI ECOLOGICE.....	182
CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	189
BIBLIOGRAFIE.....	192
ANEXA	197

LISTA FIGURILOR

Nr. crt.	Denumire figuri	Pag.
1	Figura 1.1. Raporturile dintre unghiurile de incidență, lungimea drumului parcurs și aria pe care se răspândesc razele solare la ecuator și la latitudini mijlocii, ce explică încălzirea mai slabă a acestor din urmă regiuni.....	17
2	Figura 1.2. Prezentarea sumară a modelelor fizice ale interiorului Terrei.....	20
3	Figura 1.3. Structura internă a globului cu delimitarea principalelor 7 zone (notate A-G) și a discontinuităților dintre ele.....	20
4	Figura 1.4. a) Două forme ale curbei punctului de topire la nivelul manta/nucleu, b) Curba punctului de topire și adiabate succesive în interiorul globului.....	21
5	Figura 1.5. Variația temperaturii cu adâncimea în interiorul Pământului.....	22
6	Figura 2.1. Localizarea sistemelor geotermale majore.....	24
7	Figura 2.2. Localizarea zăcămintelor geotermale de temperatură ridicată în Islanda.....	25
8	Figura 2.3. La o stare staționară, unde fluxul termic este constant cu adâncimea, gradientul geotermal se schimbă cu conductivitatea termală a rocilor.....	27
9	Figura 2.4. Modelul 3-D a unui sistem geotermal.....	31
10	Figura 2.5. Schița unui zăcământ de joasă entalpie dezvoltat într-un bazin sedimentar.....	34
11	Figura 2.6. Schița unui zăcământ geotermal de entalpie înaltă.....	34
12	Figura 2.7. Modelul unui zăcământ de abur umed.....	36
13	Figura 2.8. Modelul unui zăcământ dominat de vapori.....	37
14	Figura 2.9. Diagrama relației presiune-entalpie pentru apa pură și abur.....	39
15	Figura 2.10. Diagrama Lindal.....	43
16	Figura 2.11. Variația raportului dintre randamentul unei centrale cu n trepte și cel al unei centrale cu o singură treaptă, în funcție de numărul treptelor de presiune.....	47
17	Figura 2.12. Randamentul termic teoretic maxim al unei centrale geotermale binare în cazul unei temperaturi a stării finale de 30°C.....	48
18	Figura 2.13. Schemă care combină o centrală de producere a energiei electrice cu aburi de înaltă presiune, cu o singură treaptă de presiune, cu un sistem de încălzire locativă.....	49
19	Figura 2.14. Utilizarea energiei geotermale pentru procese industriale și agricole	53
20	Figura 2.15. Utilizarea în cascadă a energiei geotermale.....	58
21	Figura 2.16. Diagrama McKelvey pentru resurse geotermale.....	59
22	Figura 2.17. Iceland – Husavik.....	59
23	Figura 2.18. Energia din Husavuk: utilizarea în variată multiplă a energiei geotermale–diagrama procesului.....	61
24	Figura 2.19. Centrala electrică geotermală–diagrama de proces.....	63

25	Figura 3.1. Fluxul de căldură pentru sistemul de încălzire.....	65
26	Figura 3.2. Sisteme de încălzire cu preparare, distribuție și racordare centralizată.....	68
27	Figura 3.3. Schema de instalații de încălzire cu circulație naturală a apei calde.	69
28	Figura 3.4. Schema de principiu a sistemului de încălzire cu preparare și distribuție centralizată și racordarea individuală cu module termice a apartamentelor.....	70
29	Figura 3.5. Punct termic – serie.....	80
30	Figura 3.6. Punct termic – paralel.....	80
31	Figura 3.7. Punct termic – mixt.....	81
32	Figura 3.8. Modul de punct termic S-H/DHW pentru încălzire și preparare a apei calde menajere.....	85
33	Figura 3.9. Caracteristici gamă standard.....	85
34	Figura 3.10. Schimbătoare de căldură cu plăci	87
35	Figura 3.11. Schema de principiu a unui schimbător de căldură în plăci.....	87
36	Figura 3.12. Soluții constructive de plăci pentru schimbătoare de căldură.....	88
37	Figura 3.13. Sistem de etanșare cu garnituri a plăcilor	88
38	Figura 3.14. Componentele unui automat programabil.....	92
39	Figura 3.15. Comparația bilanțurilor energetice ale unei centrale de cogenerare față de producția convențională separată.....	98
40	Figura 3.16. Reducerea emisiilor de CO ₂ în centralele de cogenerare față de cele termoelectrice de producere numai a energiei electrice utilizarea cogenerării ca sursă de siguranță de alimentare cu energie electrică.....	98
41	Figura 3.17. Caracteristica de producție a sondei geotermale.....	103
42	Figura 3.18. Schema utilizării în cascadă a energiei geotermale.....	104
43	Figura 3.19. Curba clasată a temperaturii exterioare pentru zona Oradea.....	105
44	Figura 3.20. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru utilizatorii primari.....	107
45	Figura 3.21. Schema simplificată a punctului termic – utilizatori primari.....	108
46	Figura 3.22. Curba clasată anuală a consumului de apă geotermală.....	108
47	Figura 3.23. Dependența dintre suprafața de schimb de căldură și coeficientul global de schimb de căldură pentru punctul termic.....	109
48	Figura 3.24. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru utilizatorii secundari.....	110
49	Figura 3.25. Schema de principiu a utilizării în cascadă a energiei geotermale...	110
50	Figura 3.26. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru punctul termic.....	111
51	Figura 3.27. Schema constructiv-funcțională: UTILIZATORI PRIMARI - încălzire cu corpuri statice.....	112
52	Figura 3.28. Schema constructiv-funcțională: UTILIZATORI PRIMARI – preparare apă caldă menajeră.....	113
53	Figura 3.29. Schema constructiv-funcțională: UTILIZATORI SECUNDARI – încălzire de pardoseală.....	113
54	Figura 3.30. Schema constructiv-funcțională a schimbătoarelor de căldură: S41-IS10-171-TKTM99-LIQUII respectiv S47-IG10-102-TKTM71-LIQUII.....	115

55	Figura 3.31. Variația debitului de apă geotermală m_{acp1} funcție de debitul de agent secundar m_{ars1}	126
56	Figura 3.32. Variația temperaturii t_{s1ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	127
57	Figura 3.33. Variația temperaturii t_{p1ies} funcție de debitul de agent secundar.....	127
58	Figura 3.34. Variația debitului de apă geotermală m_{acp2} funcție de debitul de apă caldă menajeră m_{ars2}	128
59	Figura 3.35. Variația temperaturii t_{p2ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	129
60	Figura 3.36. Variația temperaturii t_{s1ies} funcție de debitul de apă caldă menajeră	129
61	Figura 3.37. Variația debitului de apă geotermală m_{acp3} funcție de debitul de agent secundar m_{ars3}	131
62	Figura 3.38. Variația temperaturii t_{p3ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	132
63	Figura 3.39. Variația temperaturii t_{s3ies} funcție de debitul de agent secundar.....	132
64	Figura 3.40. Schema sistemului de încălzire a clădirilor folosind corpuri statice, cu buclele de conducere.....	135
65	Figura 3.41. Schema sistemului de preparare a apei calde menajere cu buclele de conducere.....	135
66	Figura 3.42. Schema sistemului de încălzire a clădirilor folosind sistemul „prin pardoseală” cu buclele de conducere.....	137
67	Figura 3.43. Schema bloc a sistemului hardware.....	138
68	Figura 3.44. Schema bloc corespunzătoare punctului termic.....	144
69	Figura 3.45. Modul de implementare a blocului Control_Valve_CV2.....	145
70	Figura 3.46. Schema bloc corespunzătoare blocului Motor_Control, incluzând regulatorul PID pentru robinetul CV2.....	146
71	Figura 3.47. Schema bloc pentru calculele termice ale sistemului de încălzire DH 1.....	146
72	Figura 3.48. Implementarea în ACSL a modelului de calcul pentru procesele de schimb de căldură (utilizatorul de energie geotermală DH1).....	147
73	Figura 3.49. Implementarea în ACSL a modelului matematic pentru determinarea debitului de apă geotermală corespunzător circuitului DH 1.....	148
74	Figura 3.50. Schema bloc a circuitului secundar pentru sistemul de încălzire DH 1.....	148
75	Figura 3.51. Implementarea în ACSL a modelului matematic pentru pompele P1–P3.....	149
76	Figura 3.52. Implementarea în ACSL modelului matematic pentru motoarele de acționare a pompelor de circulație P5–P7.....	149
77	Figura 3.53. Schema bloc corespunzătoare blocului Motor_Control, incluzând regulatorul PID pentru motoarele de acționare a pompelor P1–P3.....	150
78	Figura 3.54. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul DH1 până la atingerea regimului staționar (la pornire).....	152
79	Figura 3.55. Simularea schimbului de căldură la ieșirea apei geotermale și a apei calde menajere funcție de debitul de apă caldă menajeră pentru utilizatorul DHW până la atingerea regimului staționar.....	153
80	Figura 3.56. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH2 până la atingerea regimului staționar (la pornire).....	154

81	Figura 3.57. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH1 până la atingerea regimului staționar (în funcționare).....	156
82	Figura 3.58. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH2 până la atingerea regimului staționar (în funcționare).....	157
83	Figura 3.59. Evoluția turației, momentului rezistent și puterii absorbite de motorul electric de acționare a pompei P3 până la atingerea regimului staționar.	158
84	Figura 3.60. Evoluția tensiunii de alimentare, frecvenței, tensiunii electromotoare și turației motorului electric de acționare a pompei P3 până la atingerea regimului staționar.....	158
85	Figura 3.61. Evoluția debitului de apă geotermală și a deschiderii robinetului CV2 la creșterea temperaturii exterioare.....	159
86	Figura 3.62. Schema constructiv – funcțională a punctului termic de la Universitatea din Oradea	161
87	Figura 3.63. Punctul termic de la Universitatea din Oradea vedere parțială.....	163
88	Figura 3.64. Punctul termic de la Universitatea din Oradea Sala de monitorizare și control a Sistemului SCADA.....	163
89	Figura 3.65. Fereastra corespunzătoare subsistemului District Heating DH.....	165
90	Figura 3.66. Fereastra corespunzătoare subsistemului Domestic Hot Water DHW	166
91	Figura 3.67. Variația temperaturii t_{p1ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	167
92	Figura 3.68. Variația temperaturii t_{s1ies} funcție de debitul de agent secundar.....	168
93	Figura 3.69. Variația debitului de agent secundar m_{ars1} funcție de debitul de apă geotermală m_{acp1}	169
94	Figura 3.70. Variația temperaturii t_{p1ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	169
95	Figura 3.71. Variația temperaturii t_{s1ies} funcție de debitul de agent secundar....	169
96	Figura 3.72. Variația temperaturilor t_{p2ies} și t_{s2ies} funcție de debitul de apă geotermală.....	170
97	Figura 3.73. Histograma utilizatorului de energie geotermală District Heating DH la data de 17.01.1999.....	172
98	Figura 3.74. Histograma utilizatorului de energie geotermală Domestic Hot Water DHW la data de 10.02.1999.....	173
99	Figura 3.75. Fereastra corespunzătoare subsistemului District Heating DH (stadiul actual).....	177
100	Figura 3.76. Fereastra corespunzătoare subsistemului Domestic Hot Water DHW (stadiul actual).....	178
101	Figura 3.77. Histograma utilizatorului de energie geotermală District Heating DH la data de 24.02.2006.....	179
102	Figura 3.78. Histograma utilizatorului de energie geotermală Domestic Hot Water la data de 21.01.2006.....	179

LISTA TABELELOR

Nr. crt.	Denumire tabel	Pag.
1.	Tabelul 1.1. Date geotermice orientative asupra teritoriului României	19
3.	Tabelul 3.1. Categoria încăperilor încălzite cu planșee radiante.....	72
4.	Tabelul 3.2. Valori ale coeficienților convenționali de convecție.....	72
5.	Tabelul 3.3. Caracteristici ale radianților ceramici.....	74
6.	Tabelul 3.4. Plaja de temperatură la care poate fi livrat agentul termic secundar.....	80
7.	Tabelul 3.5. Utilizarea energiei agentului termic primar pentru 3 variante de puncte termice.....	81
8.	Tabelul 3.6. Blocuri de funcții în automatele programabile.....	94
9.	Tabelul 3.7. Resursele geotermale ale României (cu actualul parc de sonde) la 31.12.2004.....	101
10.	Tabelul 3.8. Parametrii principali ai zăcămintelor geotermale din România.....	102
11.	Tabelul 3.9. Rezultatele calculelor teoretice pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice.....	126
12.	Tabelul 3.10. Rezultatele calculelor teoretice pentru sistemul de preparare apă caldă menajeră.....	129
13.	Tabelul 3.11. Rezultatele calculelor teoretice pentru sistemul de încălzire prin pardoseală.....	131
14.	Tabelul 3.12. Experimentări privind schimbul de căldură la încălzirea cu corpuri statice (debitul de apă geotermală în intervalul $20 \div 160 \text{ m}^3 / \text{h}$).....	167
15.	Tabelul 3.13. Experimentări privind schimbul de căldură la încălzirea cu corpuri statice (debitul de apă geotermală în intervalul $140 \div 154 \text{ m}^3 / \text{h}$).....	168
16.	Tabelul 3.14. Experimentări privind schimbul de căldură la sistemul de preparare apă caldă menajeră.....	170
17.	Tabelul 3.15. Comparatie între graficele obținute în urma analizei teoretice cu cele obținute în urma experimentărilor.....	174
18.	Tabelul 4.1. Compoziția apei geotermale din acviferul geotermal Oradea–Felix–1Mai comparativ cu valorile maxim admise pentru apa potabilă.....	187
19.	Tabelul 4.2. Emisiile poluante (în tone) generate de utilizarea apei geotermale și a cărbunelui pentru obținerea energiei termice de 26.000MWh.....	188

*Dedic această teză de doctorat Profesorilor mei,
precum și tuturor celor ce slujesc învățământul și cercetarea științifică.*

Încep prin a mulțumi, cu respect, Domnului Prof.univ.dr.ing. Virgiliu Dan Negrea, conducătorul științific al tezei de doctorat, cel pe care îl recunosc drept maestru al formării mele profesionale.

De asemenea, mulțumesc pentru sprijinul și colaborarea acordate, Catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere din cadrul Facultății de Mecanică, Universitatea Politehnică Timișoara, precum și colectivului Centrului Național de Cercetări Geotermale de pe lângă Universitatea din Oradea.

Teza de doctorat „STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA CĂLDURII DE POTENȚIAL REDUS DIN APELE GEOTERMALE”, realizată de ing. Dan Gomboș, avându-l pe domnul prof.univ.dr.ing. Virgiliu Dan Negrea în calitate de conducător științific, își propune și reușește să realizeze proiectarea unui punct termic pentru valorificarea căldurii de potențial redus din apele geotermale prin aplicarea unei abordări personale.

Obiectul și oportunitatea tezei

Impunerea energiei geotermale ca alternativă viabilă la combustibilii fosili a fost susținută, pe lângă avantajele tehnico-economice pe care le prezintă și de faptul că 80 de țări dispun de resurse geotermale semnificative, această formă de energie fiind disponibilă tot timpul anului indiferent de condițiile meteorologice. Alături de problemele legate de exploatarea judicioasă a zăcămintelor geotermale, se situează problemele legate de utilizarea cât mai eficientă a energiei geotermale. Dezvoltarea deosebită pe care au avut-o tehnicile de conducere automată a proceselor industriale, conducere care, în prezent, se realizează cu ajutorul tehnicii de calcul, a permis aplicarea sistemelor de automatizare bazate pe procesarea numerică a semnalelor în instalațiile specifice exploatării și utilizării resurselor geotermale.

În acest context, problemele ridicate de proiectarea și conducerea automată a instalațiilor de exploatare și utilizare a energiei geotermale sunt deosebit de actuale, atât din punctul de vedere al cercetării științifice cât și al eficienței economice.

Obiectul tezei de doctorat îl constituie studiul aspectelor teoretice și practice în ceea ce privește problema proiectării și conducerii automate a punctelor termice care utilizează ca agent primar apa geotermală și prezintă cercetările autorului în domeniu.

Realizarea, în premieră națională a unui punct termic care utilizează în cascadă energia geotermală, a ridicat probleme deosebite legate de optimizarea schimbului de căldură și automatizarea proceselor din instalație, probleme care au fost rezolvate de autor sub îndrumarea atentă a conducătorului de doctorat. Trebuie menționat că, prin utilizarea în cascadă a energiei geotermale se realizează o economie de resursă energetică de aproximativ 30%.

CAPITOLUL 1. “*CONSIDERAȚII GEOLOGICE PRIVIND STRUCTURA ȘI DINAMICA TERESTRĂ*” face o introducere din punct de vedere geologic în ceea ce privește energia geotermală, abordându-se problemele legate de structura globului terestru, energia calorică a acestuia și temperatura în interiorul Pământului. Trebuie subliniat faptul că energia telurică reprezintă la ora actuală o sursă energetică practic inepuizabilă și care până în prezent nu a fost suficient studiată și exploatată.

CAPITOLUL 2. “*ASPECTE PRIVIND ENERGIA GEOTERMALĂ*” scoate în evidență faptul că energia geotermală este de origine telurică, fiind legată de transferul de căldură și de conductivitatea termică a rocilor, un zăcământ geotermal fiind definit ca: “apa de convecție din crusta superioară a Terrei, și care într-un spațiu limitat transferă căldura de la o sursă de căldură de profunzime la un rezervor de acumulare și care, de regulă, este suprafața liberă a planetei”. În continuare, se definesc resursele și sistemele geotermale, precum și tipurile de zăcăminte.

Totodată, Capitolul 2 are rolul de a informa și clarifica problemele legate de utilizarea energiei geotermale, probleme care au la bază diagrama Lindal. Din multitudinea posibilităților de utilizare sunt tratate aspectele cu privire la conversia energiei geotermale în energie electrică, problemă de maximă importanță din punctul de vedere al producției de energie electrică din combustibili convenționali și neconvenționali, probleme legate de încălzirea încăperilor și prepararea apei calde menajere, utilizările industriale, utilizările agricole, îndeosebi încălzirea serelor, aplicațiile medicale ale curelor balneologice, precum și utilizarea în cascadă cu un exemplu elocvent în domeniu, realizat în orașul Husavik–Islanda.

CAPITOLUL 3. “*VALORIFICAREA EFICIENTĂ A ENERGIEI GEOTERMALE ÎN CADRUL PUNCTELOR TERMICE*” prezintă în detaliu rezultatele la care a ajuns autorul în urma activității de cercetare desfășurate în ultimii ani. Sunt analizate aspectele specifice sistemelor de încălzire și preparare a apei calde menajere precum și echipamentele specifice acestora. Se prezintă un studiu de caz, realizând proiectarea constructiv-funcțională și de conducere a unui punct termic care utilizează ca agent termic primar apa geotermală (85°C; 30l/s regim artezian, 50l/s regim pompat), în scopul asigurării agentului termic necesar pentru încălzirea unor spații de locuit în suprafață desfășurată de 85.000m² (Volum construit $V_{cl,tot}=220.000m^3$) și un necesar de apă caldă menajeră de 6l/s (21m³/h). Sunt avute în vedere următoarele aspecte: *Proiectarea constructiv-funcțională; modelarea matematică a elementelor componente; calculul schimbului de căldură; aspecte privind automatizarea; simularea proceselor de schimb de căldură și funcționarea punctului termic proiectat; experimentări obținute pe un punct termic geotermal funcțional; analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma analizei teoretice și a simulării cu cele obținute în urma experimentărilor.* Pentru optimizarea strategiei de conducere automate a punctului termic au fost simulate mai multe strategii propuse, utilizând facilitățile limbajului ACSL (Advanced Continuous Simulating Language). De asemenea, a fost realizată implementarea noii strategii de conducere propuse la punctul termic geotermal funcțional, prin modernizarea programului de conducere din PLC (procesorul Allen Bradley SLC-5/03).

CAPITOLUL 4. „IMPLICAȚII TEHNICO – ECONOMICE ȘI ECOLOGICE” prezintă o analiză economică privind efortul financiar și timpul de amortizare a investiției în situația în care se aplică soluția de utilizare în cascadă a energiei geotermale la punctul termic proiectat, rezultând o valoare a investiției de aproximativ 1.980.000 RON cu posibilitatea de amortizare în aproximativ un an și șapte luni. De asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate și unele implicații benefice legate de protecția mediului în urma utilizării energiei geotermale ca sursă energetică pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde menajere.

CAPITOLUL 5. „CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE” reprezintă ultimul capitol, care subliniază contribuțiile personale ale autorului, fiind urmat de o bibliografie consistentă și de o anexă în care este prezentat programul de simulare din ACSL, program care a stat la baza cercetărilor întreprinse în scopul modernizării funcționării punctului termic. Dintre aspectele de noutate absolută pe plan național prezentate în această teză de doctorat menționăm: *realizarea în premieră a unui punct termic care utilizează în cascadă energia geotermală; definitivarea unei metodologii unitare de proiectare și conducere a punctelor termice geotermale folosind echipamente moderne de automatizare, optimizarea funcționării punctului termic geotermal de la Universitatea din Oradea prin optimizarea proceselor de transfer de căldură și modificarea strategiei de automatizare.*

*

*

*

Pe lângă resursele clasice de energie primară (combustibili fosili, energie nucleară, energia produsă de hidrocentrale) în ultimele decenii a apărut posibilitatea utilizării altor forme de energie, numite neconvenționale, în scopul producerii de energie electrică și termică; între acestea amintim energia eoliană, energia solară, biomasa, energia geotermală, etc. Energia neconvențională, numită și energie reînnoibilă, reprezintă energia disponibilă care apare în natură și se reface continuu, economic exploatabilă în condițiile actuale sau într-un viitor previzibil. Din categoria energiilor reînnoibile, un loc aparte îl constituie energia zăcămintelor geotermale, care s-a impus ca alternativă viabilă la combustibilii fosili și a fost susținută, pe lângă avantajele tehnico-economice pe care le prezintă și de faptul că 80 de țări dispun de resurse geotermale semnificative; de asemenea trebuie menționat că energia geotermală este disponibilă în mod continuu, indiferent de sezon și condițiile meteorologice, aceasta putând fi utilizată direct, prin transfer de căldură unui utilizator, sau indirect, prin conversia în energie electrică.

Sursele de energie neconvențională utilizate în prezent, în ordinea producției de energie raportate la anul 1998, sunt:

Energie electrică: 92% provine din puterea hidro, iar 0,6% din puterea eoliana. Producția de electricitate din energie solară constituie doar 0,05% iar din energia mareelor 0,02%. Cel mai scăzut cost al energiei provine din puterea hidro și geotermală, urmată de biomasă și energia eoliana. Electricitatea fotovoltaică solară este, de departe, cea mai scumpă dar, se

estimează scăderea costurilor în viitor. Procentul de creștere în ultimii 5 ani este de 2÷4% pentru energia hidro, biomasă și geotermal, iar pentru energia eoliană și efectul fotovoltaic solar de 30%;

Producția directă de căldură din resurse regenerabile: biomasă contribuie cu aproape 93% din total, geotermalismul cu 5%, iar căldura solară cu 2% (Datele sunt conform Raportului Mondial de Apreciere a Energiei prezentat la deschiderea sesiunii Energia și Dezvoltarea de Lungă Durată a Comisiei Națiunilor Unite, aprilie 2001).

În ceea ce privește *energia geotermală*, aceasta este utilizată în mare măsură pentru încălzirea districtelor municipale în special în Islanda, Franța, China și Turcia. Încălzirea locuințelor individuale este un lucru obișnuit în SUA. Producția de căldură din resurse regenerabile este competitivă cu cea provenită din resursele de energie convențională. Costul curent al încălzirii cu energie provenită din biomasă este de 1÷5UScenti/kWh, cu energie geotermală 0.5÷5UScenti/kWh și încălzirea cu energie solară 3÷20UScenti/kWh. Prețul obținut prin cogenerare de electricitate (2UScent/kWh) și apă caldă pentru încălzirea locuințelor (0,5UScent/kWh) este deosebit de scăzut comparativ cu energia obținută din alte surse.

Bazându-se pe rapoartele țărilor participante la Congresul Mondial de Geotermalism din 2000, Hutter [Hutt.'01] aprecia că puterea instalată pe plan mondial să fie cu 43% mai mare în 2005. Presupunând o rată de creștere continuă de 20% pentru următorii 5 ani (aceasta este suma creșterilor între 1980÷2000), producția de electricitate poate atinge aproximativ 80÷120TWh în 2010. Având în vedere o creștere a utilizării directe a energiei geotermale de 44%, creștere realizată între 1995÷2000, în raportul elaborat de Lund și Freeston (Lund.'01) se estimează că producția de energie pentru utilizarea directă va ajunge la aproximativ 100TWh în 2010 și 200TWh în 2020. Dezvoltările recente ale aplicațiilor cu pompe de căldură în sursele energetice de adâncime scăzută deschid noi dimensiuni ale utilizării căldurii Pământului. Sugestiv este faptul că rata de creștere pentru utilizatorii direcți este în continuă ascensiune [Fridl.'01]. Energia geotermală, cu tehnologia și resursele ei abundente, își poate aduce o contribuție importantă privind reducerea emisiilor poluante și a efectului de seră. Este necesar ca guvernele să implementeze cadrul instituțional legal și instrumentele financiare care să permită ca resursele geotermale să completeze sistemul energiilor convenționale. Prognozele internaționale estimează ca exploatarea resurselor de energie reînnoibilă va crește semnificativ, până la 30÷80% în 2100.

Cercetările în domeniul utilizării potențialului geotermal sunt deosebit de dezvoltate pe plan mondial, cunoscându-se realizări remarcabile în domeniu în Islanda, Italia, SUA, Israel, Japonia, Noua Zeelandă, Franța, etc. Țara cu cea mai mare dezvoltare a utilizării energiei geotermale este Islanda care obține aproximativ 68% din energia primară cu ajutorul resurselor geotermale [Lund.'01]. În Islanda, energia geotermală este utilizată în proporție de 76% pentru încălzirea spațiului și 16% pentru producerea de energie electrică, restul fiind utilizată pentru încălzirea serelor, piscicultură, topirea zăpezii și balneologie. Țări precum China, Turcia și Tunisia sunt exemple recente ale creșterii utilizării directe a energiei geotermale. În Turcia, capacitatea instalată pentru încălzirea spațiilor a crescut de la 160MW_t(MW putere termică) în 1994 la 490MW_t în 1999. Pe plan mondial topul primelor țări care utilizează direct energia geotermală (încălzirea spațiilor, sere, utilizări industriale, balneologie) sunt: SUA cu 3766MW_t putere instalată, China cu 2282MW_t, Islanda cu 1469MW_t, Japonia cu 1167MW_t, Turcia cu 820MW_t. Puterea instalată pentru utilizarea directă a energiei geotermale în România este de 152MW_t (datele sunt în conformitate cu rapoartele țărilor participante la Congresul Mondial de Geotermalism din 2000).

În continuare, sunt prezentate datele privind utilizările energiei geotermale în anii 1995, 2000 și 2005 [Lund.'05]. Cea mai amplă utilizare o reprezintă încălzirea districtuală care ocupă 77% din totalul energiei utilizate și 81% capacitatea instalată.

	Capacitate instalată, MW _t			Utilizare, TJ/an			Factor de capacitate		
	2005	2000	1995	2005	2000	1995	2005	2000	1995
Pompe geotermale de căldură	15.723	5.275	1.854	86.673	23.275	14.617	0,17	0,14	0,25
Încălzire spațiu	4.158	3.263	2.576	52.868	42.926	38.230	0,40	0,42	0,47
Încălzire sol și sere	1.348	1.246	1.085	19.607	17.864	15.742	0,46	0,45	0,46
Acvacultură	616	605	1.097	10.969	11.733	13.493	0,56	0,61	0,39
Uscarea culturilor agricole	157	74	67	2.013	1.038	1.124	0,41	0,44	0,53
Utilizări industriale	489	474	544	11.068	10.220	10.120	0,72	0,68	0,59
Balneologie și agrement	4.911	3.957	1.085	75.289	79.546	15.742	0,49	0,64	0,46
Topirea zăpezii și răcire spațiu	338	114	115	1.885	1.063	1.124	0,18	0,30	0,31
Alte utilizări	86	137	238	1.045	3.034	2.249	0,39	0,70	0,30
TOTAL	27.825	15.145	8.664	261.418	190.699	112.441	0,30	0,40	0,41

Pompe geotermale de căldură.

Capacitatea instalată este de 15,723 MW_t și energia utilizată anual este de 86,637 TJ/an cu un factor de capacitate de 0,17 în modul de încălzire. Echivalentul numărului unităților instalate de 12-KWt este de aproximativ 1.3 milioane, aproape dublu față de numărul unităților din anul 2000. Mărimea unităților individuale măsoară circa 5.5-kWt de la utilizare rezidențială până la 150-kWt pentru instalații comerciale și instituții.

Încălzire spațiu.

Capacitatea instalată este de 4,158 MWt iar energia utilizată anual este de 52,868 TJ/an. Islanda, Turcia, China și Franța sunt lideri în domeniul încălzirii districtuale, la fel și Australia, Rusia, Japonia și Statele Unite. Japonia domină prin utilizarea sistemului individual de încălzire.

Încălzirea solului și a serelor

Capacitatea instalată este de 1,348 MWt iar energia utilizată anual este de 19,607 TJ/an. Un total de 30 de țări raportează o încălzire geotermală pentru sere, principalele țări fiind: Georgia, Rusia, Turcia, Ungaria, China și Italia. Câteva țări, ca Macedonia, au raportat o scădere în utilizarea energiei geotermale în sere datorită problemelor economice.

Uscarea culturilor agricole.

Un număr de 17 țări au raportat utilizarea energiei geotermale pentru uscarea diferitelor cereale, legume și fructe în anul 2000. Exemple de astfel de produse sunt: ceapa (USA), paste și alte cereale (Serbia), fructe (Guatemala și Mexic), lucernă (Noua Zeelandă), nuci de cocos (Philipine). Există un larg potențial și interes privind utilizarea energiei geotermale pentru uscarea culturilor în regiunile tropicale.

Utilizări industriale

Aceasta reprezintă categoria care are aplicații în 15 țări unde instalațiile tind să fie mari consumatoare de energie. Exemple incluse în această categorie sunt: îmbutelierea sticlelor cu ape și sucuri carbogazoase, pasteurizarea laptei, industria pielăriei, extracții chimice, creșterea ciupercilor, extracția de sare, etc. O uzină pentru extragerea zincului în zona Văii Imperiale din California de Sud a pornit operația dar a fost oprită după o scurtă perioadă datorită problemelor economice și tehnice. Utilizarea energiei geotermale a crescut

semnificativ încă din anul 2000 cu o capacitate instalată de 489 MWt și 11,068 TJ energie utilizată anual.

Topirea zăpezii și răcirea spațiului.

În această zonă sunt doar câteva aplicații limitate cu privire la proiecte de pavare cu zăpadă topită. Un total de aproape 1 milion de metri pătrați de pavaje sunt încălzite prin utilizarea energiei geotermale, majoritatea fiind aflate în Islanda. Un proiect utilizând topirea zăpezii prin abur se află în Argentina pentru a ține legătura pe timpul iernii între comunitățile din munții Andes. Puterea necesară variază de la 130 la 180W/m². Răcirea spațiului este limitat, doar 6 țări au raportat utilizarea a 288,5TJ/an și o capacitate instalată de 55,6MWt. Topirea zăpezii nu este inclusă în acest proces.

Balneologie și agrement.

Aproape fiecare țară deține piscine (inclusiv tratamente balneologice) dar multe permit scurgerea continuă a apei prin utilizarea ei continuă. Capacitatea instalată a crescut cu 24% în ultimii 5 ani dar energia utilizată anual a scăzut cu aproximativ 5% datorită schimbărilor raportate în Japonia. Datele din Japonia exclud hotelurile care utilizează apă termală pentru agrement, care probabil contează pentru scăderea energiei anuale.

Alte utilizări.

Alte utilizări cu capacitate instalată de 86MWt și energie utilizată anual de 1,045TJ/an, au fost raportate de 6 țări; utilizări în cadrul fermelor (Argentina și Tunisia), cultivarea spirulinei și desalinizare (Grecia) și extracție de metan (Bulgaria).

* * *

România, la fel ca celelalte țări Europene, deține resurse geotermale semnificative, de joasă entalpie, convenabile pentru utilizarea directă a căldurii[Ros.'05].

Până în anii 1970 resursele geotermale au fost parțial folosite în special pentru tratamente balneare. Utilizarea izvoarelor naturale din zona Carpatică a României au fost cunoscute încă de pe vremea Imperiului Roman când, provincia Dacia avea băi termale faimoase: Geoagiu, Herculane și Băile Felix. De-a lungul ultimilor 100 de ani băile geotermale au înflorit mai ales în partea de vest a României. Explorările geologice pentru resursele de hidrocarburi după al II-lea Război Mondial au avut bugete extinse. Criza de petrol din anii 70 a dat un impuls semnificativ pentru identificarea rezervoarelor geotermale incluzând evaluarea rezervelor exploatare. Multe operațiuni geotermale au fost efectuate între anii 1975 și 1990, în special pentru încălzirea serelor, pentru câteva aplicații industriale și pentru tratamentele balneare.

Legislația actuală din România, relativă la dezvoltarea geotermalismului, este armonizată cu principiile Uniunii Europene. Resursele minerale sunt proprietatea statului, explorarea lor fiind reglementată de lege încă din anul 1998. Agenția Națională pentru Resurse Minerale este instituție guvernamentală fiind însărcinată cu monitorizarea exploatării și explorării pe termeni de lungă durată a zăcămintelor geotermale. În 2003, Guvernul Român a aprobat "*Strategia dezvoltării unei noi surse de energie*" care urmărește dezvoltarea utilizării surselor de energie neconvențională pe scurtă și lungă durată în comun acord cu principiile și directivele Uniunii Europene. Obiectivele Convenției de la Kyoto implică pentru Uniunea Europeană ca între anii 2008 și 2012 să se înregistreze o reducere cu 8% a emisiei de gaze pentru efectul de seră comparativ cu etapele din anul 1990 (echivalent cu 600 milioane tone de CO₂ pe an). Rezoluția Consiliului European referitor la reînnoirea energiei din 8 iunie 1998, prezintă o creștere pe viitor de la 6% în prezent, până la 12% pentru anul 2010. Aceste

cerințe sunt asumate de România pentru anul 2007 când va intenționa să intre în Uniunea Europeană. În prezent, în afara energiei geotermale, toate celelalte surse neconvenționale de energie au o contribuție minoră pentru România. Principala sursă de energie o reprezintă încă, combustibilul fosil.

Două companii sunt implicate în acest moment în operațiuni geotermale: Foradex S.A București, este o companie pentru forare aparținând statului, care are ca centre și rezervoare de explorare și exploatare localizate în jumătatea de Sud a României (Banat, Valea Oltului și regiunile din jurul Bucureștiului). Transgex S.A., aflată în Oradea, este de asemenea o companie de forare, privatizată în 2000, și are rezervoare de exploatare și explorare situate în partea de vest a României (în special în județul Bihor). O altă companie de consultanță Româno-Franceză, Geofuild S.A. situată în Oradea se alătură celorlalte două.

Resurse geotermale

În România, izvoarele termale sunt singura dovadă a existenței resurselor geotermale. Încă din timpuri vechi comunitatea umană a continuat să trăiască în apropierea ariilor geotermale ca de exemplu: Oradea, Băile Felix, Băile Herculane, Geoagiu, Calan, Căciulata, Mangalia. Prima sondă geotermală a fost forată în România în anul 1885 la Băile Felix lângă Oradea. Sonda are 51 metri adâncime cu o rată de scurgere de 195l/s și o temperatură de 49°C. Prima sondă se află și astăzi în funcțiune. A fost urmată mai apoi de sondele forate la Căciulata (1893, 37°C), Oradea (1987, 29°C) și Timișoara (1902, 31°C).

Cercetările efective, organizate, au început prin anii 60 bazate pe un program detaliat al resurselor de hidrocarburi. S-au efectuat peste 200 de foraje la adâncimi cuprinse între 800 și 3.500m care demonstrează prezența zăcămintelor geotermale de entalpie joasă (40÷120°C), identificându-se 9 arii geotermale (7 în partea de Vest și 2 în partea de Sud). Forarea și exploatarea experimentală a peste 100 de sonde în ultimii 25 de ani a făcut posibilă evaluarea căldurii exploatabile din rezervoarele geotermale românești. Rezervele atestate, cu sonde gata forate, sunt estimate la 200TJ pentru următorii 20 de ani. Capacitatea totală instalată a sondelor existente este de aproximativ 480MW_t (la o temperatură de referință de 30°C). Doar 150MW_t se utilizează în prezent prin exploatarea a 67 de sonde care produc apă caldă la o temperatură de 55÷115°C.

În anul 1997, energia geotermală folosită pentru utilizare directă a fost de aproximativ 2700TJ, cu un factor de încărcare de 63%. Scopurile principale ale încălzirii geotermale sunt: termoficare și preparare apă caldă menajeră 36%, pentru balneologie și recreere 32%, încălzire sere 23%, utilizări industriale (uscarea lemnului, grâului, pasteurizarea laptelui, etc) 7% și creșterea peștilor 2%. Mai mult de 80% dintre sonde produc artezian, 18 dintre ele necesită tratament chimic iar 5 sunt sonde de reinjecție.

În jur de 40 de sonde sunt utilizate pentru balneologie și recreere aflate în 16 stațiuni balneare care au o capacitate de tratament de peste 850.000 persoane pe an. În anul 1997, studiul aproximativ al ratei de exploatare a fost de 275 l/s, iar temperatura apei 35÷65°C. Apa geotermală este de asemenea folosită și în piscine, 24 piscine în aer liber și 7 acoperite. În ultimii 5 ani, 4 sonde geotermale au fost forate la adâncime cuprinsă între 2.000 și 3.000m, producând apă geotermală la temperaturi de 37-84°C. În prezent o astfel de sondă se află în stadiu de forare.

Utilizarea energiei geotermale

Datorită dificultăților economice apărute, doar 3 proiecte geotermale au fost terminate pe parcursul anilor 1999-2004: un proiect pentru utilizare directă și două pentru balneologie și agrement. Majoritatea operațiilor geotermale terminate înainte de anul 1999 sunt în continuare operative, cu excepția câtorva utilizatori care și-au închis activitățile (în special sere, care a dus la o scădere cu aproape 50% a utilizării energiei geotermale). Din 96

sonde existente în 38 de localități. 37 sunt utilizate în mod exclusiv pentru balneologie și agrement cu o rată maximă de exploatare de aproximativ 890 kg/s. Capacitatea totală a sondelor utilizate, este de aproximativ 145MW_t, care produc anual 2,841TJ. Exploatarea din Mihai Bravu, Borș și Ciumeghiu au fost închise în ultimii ani deoarece serele din acea zonă au fost dezafectate; se așteaptă a fi redeschise într-o perioadă scurtă de timp. Serele din Borș au fost cumpărate de o companie privată. Între anii 1999-2004, 4 sonde au fost forate la o adâncime totală de 11,7 km toate fiind finanțate de bugetul statului printr-un program de exploatare geologic național. Două sonde de explorare au fost forate în arii neexploatate încă (de către FORADEX S.A în partea de Sud a României, una în zona Văii Oltului iar alta zona București-ului) iar două au fost forate în arii unde deja erau identificate resurse geotermale (Beiuș și Valea Oltului). În perioada 1999-2004, investiția în proiectele geotermale a fost însumată la 12,5 milioane USD, mai puțin de jumătate comparativ cu anii 1990-1994.

CAPITOLUL 1. CONSIDERAȚII GEOLOGICE PRIVIND STRUCTURA ȘI DINAMICA TERESTRĂ

În primii ani ai deceniului al optulea, Clubul de la Roma dădea semnalul de alarmă pentru viitorul omenirii; unul din factorii vitali pentru civilizație fiind considerat secătuirea resurselor minerale ale Terrei. Criza petrolului declanșată la sfârșitul anului 1974, venea parcă să confirme aceste sumbre pronosticuri impulsionând însă în paralel și căutarea unor noi surse de energie, ca alternative viabile la resursele existente și considerate clasice.

Secole de-a rândul, necesarul energetic al omenirii s-a bazat pe obținerea energiei calorice prin arderea combustibililor (lemn, cărbune), pentru ca, ulterior, odată cu valorificarea forței aburului și a zăcămintelor de hidrocarburi să se pună și problema obținerii energiei mecanice și electrice, la început tot pe baza proceselor de combustie, prin transformarea energiei calorice în energie mecanică respectiv energie electrică.

În deceniul IV al secolului XX, prin dezvoltarea aplicațiilor energiei nucleare, s-a realizat un mare pas înainte, procesul fuziunii nucleare oferind soluția înlocuirii combustiei clasice. Din păcate însă ambele procese fizice de transformare menționate, suferă de două lipsuri majore:

1. au la bază resurse epuizabile în timp,
2. sunt poluante, cu un puternic impact asupra mediului natural.

Odată cu declanșarea crizei energetice mondiale, umanitatea s-a văzut obligată să-și reconsidere baza energetică. S-a pus astfel cu acuitate problema unor surse neconvenționale.

Spre deosebire de formele convenționale, energiile neconvenționale pornesc de la ideea extrem de simplă, că în spațiul accesibil direct cunoașterii umane, există suficientă energie ce se manifestă sub o formă sau alta. Trebuie doar identificată, captată și eventual transformată în forma dorită. Simplificând lucrurile până la urmă totul se rezumă la o problemă de cost și randament al conversiei. Între acestea, un loc aparte îl ocupă potențialul energetic al zăcămintelor geotermale. Impunerea lui ca alternativă viabilă la combustibilii fosili, a fost susținută pe lângă avantajele tehnico-economice pe care le prezintă și de faptul că 80 de țări dispun de resurse geotermale semnificative.

Utilizările acestei resurse energetice se bazează ca principiu general pe captarea energiei calorice din apele de zăcământ și utilizarea ei directă, ca sursă de căldură, ori indirect prin conversia în energie electrică. Comparativ cu celelalte surse energetice, energia geotermală prezintă trei caracteristici definitorii:

1. este regenerabilă în principiu, ceea ce o face în anumite condiții practic nepuizabilă;
2. este curată, și deci cu un impact neglijabil asupra mediului;
3. este o energie calorică latentă, ce există deja în zăcământ și trebuie doar captată.

Care este însă originea ei primară ? Răspunsul nu este atât de simplu pe cât ar lăsa să se înțeleagă majoritatea publicațiilor din domeniu. Ea nu poate fi înțeleasă și explicată decât prin prisma unor discipline ce aparțin mai multor ramuri ale științei. Literatura de specialitate, indiferent de proveniența ei o tratează fie în mod unilateral fie superficial, tributară unor viziuni parcelare asupra unui domeniu însă multidisciplinar.

Originea energiei termice terestre, trebuie privită prin prisma unor discipline științifice multiple. Un rol important revine din acest punct de vedere *teoriei tectonicii globale*, cea care a permis constatarea că suprafața planetei este acoperită de un mozaic de plăci litosferice, iar natura și mișcarea lor determină printre altele câmpul termic al Pământului.

Această teorie își trage seva din numeroase domenii ale fizicii, sprijinindu-se pe argumente matematice și înglobând într-o viziune unificatoare majoritatea disciplinelor geologice. Ea are meritul de a fi oferit științelor despre Pământ o viziune globală cu caracter generalizator.

Unanimitatea lucrărilor despre geotermalism, prezintă energia geotermală ca provenind din interiorul planetei, localizarea provinciilor geotermale fiind determinată de tectonica ei globală.

Mai puțin este analizată în detaliu legătura ce există între structura Pământului, energia lui telurică, fluxul termic pe care îl generează și procesele de geotermalism.

1.1. Energia calorică terestră

Pământul are două surse de energie calorică, una *externă* furnizată de Soare și alta *internă* sau telurică, legată de structura internă a planetei.

La suprafața planetei, raportul dintre cele două surse este net favorabil căldurii externe. Practic deși suntem mai aproape de 20.000 de ori de centrul fierbinte al Terrei, primim de la Soare de 20.000 de ori mai multă căldură decât din interior. Pe măsură însă ce se coboară în adâncime, acest raport se inversează rapid. La adâncimi de ordinul metrilor, influența căldurii externe tinde spre zero.

Indiferent de originea ei, căldura Pământului influențează geodinamica internă și externă a acestuia. Dacă energia calorică externă se manifestă în cadrul proceselor geodinamice de la suprafața planetei, căldura telurică influențează geodinamica internă a acesteia.

Din acest punct de vedere, procesele de geotermalism sunt legate de dinamica internă, fiind determinate de căldura interioară a planetei.

CĂLDURA EXTERNĂ

În spațiu, fluxul caloric solar determină, pe scară planetară, o încălzire neuniformă. Ea scade de la ecuator, unde razele Soarelui cad aproape perpendicular, spre poli, din cauză că oblicitatea acestor raze față de un plan tangent la suprafață crește și fluxul se repartizează pe o arie mereu mai mare (figura 1.1.).

Variația se explică și prin drumul din ce în ce mai lung al razelor solare prin atmosferă, dinspre ecuator spre poli, ceea ce face ca o porție din ce în ce mai mare de căldură să fie reflectată sau difractată pe alte direcții.

Se constată, de asemenea, o diferență între oceane și continente. Pe mări din cauza capacității calorice mai mari a apei și din cauza atmosferei mult mai bogată în vapori de apă, ce constituie un ecran protector contra pierderii prin radiație a căldurii, se produce o acumulare mult mai mare de energie calorică.

Ea se traduce prin variații mai mici de temperatură. Pe uscat, temperatura variază în limite mult mai largi, cu individualizarea unor zone de încălzire a suprafeței.

În aceste condiții, se consideră că mediul marin constituie un regulator pentru căldura primită de suprafața Pământului.

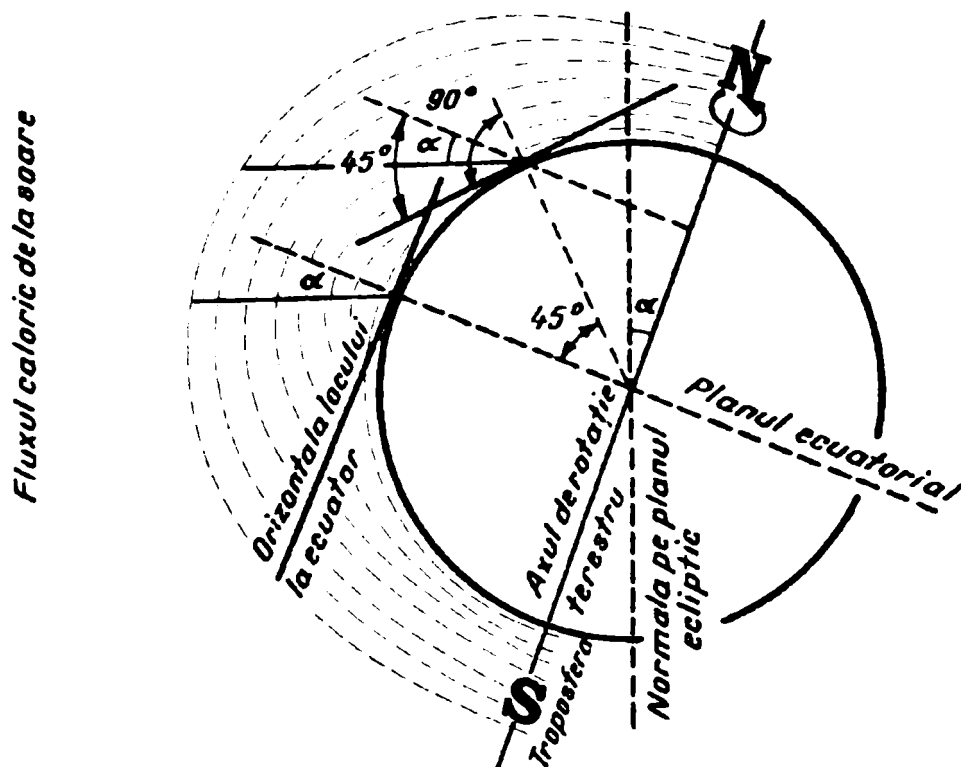


Figura 1.1. Raporturile dintre unghiurile de incidență, lungimea drumului parcurs și aria pe care se răspândesc razele solare la ecuator și la latitudini mijlocii, ce explică încălzirea mai slabă a acestor din urmă regiuni

Variațiile de temperatură în interiorul scoarței continentale, deci în adâncime, se resimt atenuat. Se numește pătura cu temperatură constantă (*zona neutră*) adâncimea la care nu se mai resimt variațiile anuale. În zona tropicală ea este de 5 m, în zonele temperate adâncimea aceasta ajunge la 25 m, în regiunile polare ea poate coborî la peste 250 m, iar structura termică a intervalului 0-250 m are un caracter complicat de nivele de permafrost (terenuri înghețate veșnic).

În ultimii ani, o problemă foarte discutată este efectul de „seră” („*greenhouse effect*”) pe care îl poate da creșterea proporției de CO_2 datorită activității industriale și citadine, în general. Se apreciază că la începutul sec. XX proporția de CO_2 în aer era de 0,0250%, în 1958 ea era de 0,030% și în anul 2050 va depăși 0,040% provocând o ridicare a temperaturii medii a globului cu 3°C . Această ipoteză se bazează pe faptul că bioxidul de carbon este mai transparent pentru radiațiile de mică lungime de undă provenite de la Soare decât pentru radiațiile cu lungime de undă mai mari ale Terrei. Un asemenea fenomen ar putea aduce schimbări nefericite pentru clima Pământului, de exemplu, migrarea spre nord a vânturilor purtătoare de umiditate și deci instalarea unui regim arid pentru zona temperată. Același efect se consideră că îl aduce praful industrial, oxidul de azot din îngrășăminte și alte gaze.

Privitor la căldura externă a Pământului, s-au purtat discuții asupra efectelor geologice și formelor de fosilizare ale acesteia. În primul rând, energia de origine solară este principala sursă de forțe antigravitaționale care declanșează circuitul apei în natură (prin evaporare la suprafața oceanului) și acțiunea geodinamică a atmosferei (prin încălzirea neuniformă a aerului) cu toate consecințele lor geologice. În al doilea rând, căldura solară este sursa de energie pentru fotosinteză, proces de bază în dezvoltarea vegetalelor și, prin aceasta, a vieții animale superioare. Nu lipsite de interes sunt efectele variațiilor diurne și anuale de temperatură pentru dezvoltarea biosferei, pentru alterarea rocilor etc.

649.181 2697
UNIV. "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

În regiunile de uscat, această căldură se manifestă de la pătura cu temperatură constantă (zona neutră) în jos, al cărei nivel termic este egal cu temperatura medie anuală plus 1-2°C. Se apreciază că variațiile importante și îndelungate de climă introduc diferențieri termice și sub pătura neutră. De asemenea eroziunea și sedimentarea fac ca această pătură să sufere migrații lente în jos și în sus. În domeniul oceanic, constanța temperaturii de fund face ca influența căldurii interne să se manifeste imediat de la patul oceanului în jos.

Problema surselor căldurii interne depinde, determinant, de concepțiile ce stau la baza explicării formării planetei ca și corp cosmic. Din concepțiile cosmogenice actuale rezultă că Pământul dispune de o rezervă de energie termică, acumulată în etapa lui pregeologică de evoluție, prin radioactivitate și energia de impact a meteoriților, energie care a fost capabilă să-l aducă în stare de incandescență la un moment dat. Pierderea ulterioară de căldură prin convecție și conducție a făcut ca această rezervă, care trebuie reținut, nu este primordială, să se consume treptat. Astăzi, ea nu mai contribuie decât cu circa 1/3 din valoarea totală a fluxului terestru. La rezerva inițială, moștenită din perioada de accrețiune a protoplanetei, s-a adăugat căldura produsă în continuare de radioactivitatea terestră ce pare că s-a concentrat în scoarță în domeniul continental și în cadrul mai larg al litosferei în domeniul oceanic. Alte surse de căldură sunt oferite de gravitație, prin compactarea dată de presiunea litostatică (geostatică), iar în mod secundar, de presiunile tectonice, de unele reacții geochimice și de energia de cristalizare a mineralelor formate astfel la suprafață, prin care se transferă astfel în interior o parte din energia solară. Față de bilanțul general al energiei termice telurice, pierderile actuale provenite din vulcanism se apreciază că reprezintă numai 1% și că deci ele pot fi neglijate.

Gradient și flux termic terestru. Creșterea sistematică a temperaturii în interiorul Pământului era apreciată în trecut prin „*treapta geotermică*” adică numărul de metri pentru care temperatura crește cu 1°C, ea fiind, la limită, un raport dh/dt ce exprimă geometric tangenta unghiului de înclinare a curbei ce reprezintă creșterea temperaturii în raport cu adâncimea. Valoarea trepte geotermice medii este considerată ca fiind de 33 m/°C, imediat sub pătura neutră, pentru ca apoi să crească treptat în adâncime, mai ales peste 2.000 m. Actualmente se preferă să se utilizeze inversul trepte geotermice, adică *gradientul geotermic*, respectiv creșterea de temperatură pentru un anumit interval de adâncime, care la limită este dt/dh deci cotangenta unghiului curbei de pe diagrama temperatură-adâncime. Unitățile de măsură folosite sunt grade Celsius/100 m (valoare medie 3 la adâncimi moderate) sau miligrade Kelvin/metru (valoare medie 30).

Față de media statistică, se constată că gradientul prezintă derogări locale și regionale importante, generate de mai mulți factori. Dintre cei locali menționăm structura geologică (zonele cu strate verticale au un gradient termic mai slab decât cele cu strate orizontale, deoarece se produce mai ușor transferul de căldură pe fețele de stratificație decât perpendicular pe ele), natura litologică a rocilor (datorită diferențierilor de conductibilitate termică, de umiditate etc.) și reacțiile geochimice, exo și endotermice.

Un caz tipic se întâlnește la cărbunii inferiori (ligniți) care au proporții relativ mari de sulfuri de fier amorfe de tipul melnicovitului și hidrotroilitului. Deși cantitatea de oxigen este redusă în subteran, aceste sulfuri foarte active se oxidează, procesul fiind exotermic. Se apreciază că și procesul de fixare a oxigenului pe structurile chimice ciclice complicate ale cărbunelui generează căldură. Ca urmare a proceselor exotermice, uneori, cărbunele se autoaprinde în zăcământ și produce coacerea argilelor din pat și acoperiș care se transformă

astfel în mase dure, roșcate, cu aspect de cărămidă, numite porțelanite. În asemenea regiuni, gradientul termic este ridicat.

Cauze regionale care determină variația sunt apropierea mai mare de regiuni vulcanice, active sau stinse recent, caz în care gradientul crește, sau de anumite regiuni tectonice, ca de pildă avantfosa Carpaților în cazul României. Aici, din cauza acumulării rapide de sedimente tinere, gradientul scade. A. Neguț (1972) a arătat că și fracturile importante, ca de exemplu linia Ploiești - Fierbinți – Călărași, sunt însoțite de o scădere a gradientului termic la adâncimi moderate, ceea ce arată că de-a lungul acestei linii încă active seismic, pierderea de energie termică telurică este mai intensă.

Modul în care se distribuie valorile obișnuite ale gradientului geotermic în țara noastră, funcție de unitățile tectonice majore rezultă din tabelul 1.1 cu date mediate de la mai mulți autori (A. Erickson și G. Simmons 1974; S. Anton și col. 1975, Cr: Demetrescu 1976, 1979).

Tabelul 1.1. Date geotermice orientative asupra teritoriului României

Unitatea tectonică	Temperatura la 500 m adâncime [°C]	Gradient geotermic [°C/100 m]	Flux termic	
			[mW/m ² și HFU]	
Depresiunea Panonică	40-42	4,7-5,4	80-90	1,9-2,1
Depresiunea Transilvaniei	24-28	2,5-3,3	50-60	1,2-1,5
Lanțul neogen vulcanic	24-26	3,7-6,3	80	1,9
Unit. Crist. a carp. Orient.	14-16	1,5-2,2	40-50	1,0-1,1
Flișul Carp. Orientali	---	1,7-3,0	50-60	1,2-1,5
Depresiunea Getică	---	1,8-2,8	50-60	1,2-1,5
Avantfosa Carpatică	15-20	2,0-3,0	30-40	0,9-1,0
Marea Neagră	20-21	4,0-4,2	90-95	2,2

O noțiune din ce în ce mai utilizată în ultimul deceniu pentru studiul evoluției termice a Pământului este aceea de flux termic (*heat flow*), adică energia calorică care se transmite spre suprafață în unitatea de timp și pe unitatea de secțiune transversală. Pe scurt, după termenul englezesc este adesea denumit HF. Prin definiție, HF este produsul dintre gradientul geotermic și conductivitatea termică a rocilor, iar valoarea lui obișnuită este de 1,2-1,5 microcalorii/cm²s sau pe scurt 1,2-1,5 HFU. Mai recent, a început să se definească HF și prin miliwați/m² (unde 1 HFU = 41,87 mW/m²).

Rezultatul cel mai remarcabil al măsurării valorilor pentru HF a fost acela că fluxul termic terestru este aproximativ egal, în domeniul oceanic și cel continental. El a prilejuit lui E. Bullard ipoteza că mantaua suboceanică este mai slab diferențiată și mai puțin sărăcită în materii radioactive decât mantaua superioară de sub continente.

În ceea ce privește implicațiile practice și teoretice ale căldurii interne, variația temperaturii dată de energia telurică prezintă importanță pentru adâncimi mai mari decât cea a zonei neutre. În România, chiar la adâncimi de 30 m se mai resimt influențe slabe ale căldurii externe. De pildă, măsurătorile făcute după 1973 în tunelul observatorului seismologic de la Cheia, la această adâncime, au arătat variații anuale de la 5,5 la 6,5°C. Pentru adâncimi mari, temperatura ajunge să intereseze direct proiectarea în minerit și foraj.

1.2. Structura globului terestru

În cadrul sistemului nostru solar, Pământul este una din cele nouă planete cunoscute, orbitând pe a treia poziție de la Soare. Are o formă specifică „ovoidală” cu o diferență între raza ecuatorială și cea polară de 21,5 km (6.378,388 și respectiv 6.356,912 km). Structura sa complexă și inaccesibilă cunoașterii directe constituie cauza și explicația dinamicii sale interne.

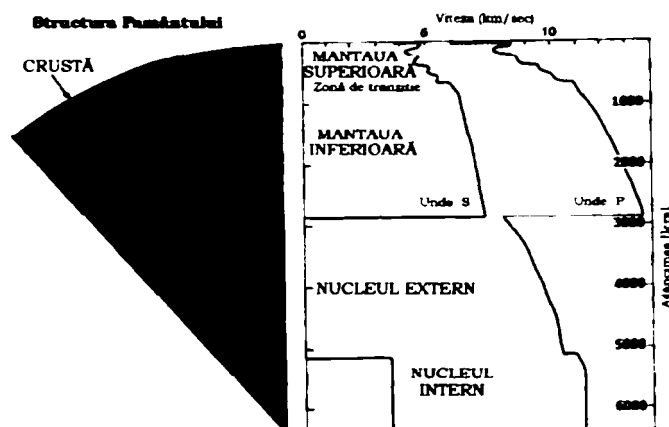


Figura 1.2. Prezentarea sumară a modelelor fizice ale interiorului Terrei.

În stânga, reprezentarea subdiviziunilor majore ale interiorului planetei.

Crusta, litosfera și zona cu viteză redusă nu sunt reprezentate adecvat pe schiță, la această scară.

În dreapta, variația vitezei undelor seismice (P și S) reprezentată grafic în funcție de adâncime

Principala sursă de informare asupra structurii globului Terestru o constituie cutremurele de pământ. În timpul unui cutremur iau naștere unde elastice care se propagă prin glob și a căror viteză depinde de densitatea materialului străbătut, rigiditatea și incompresibilitatea lui. Prin înregistrarea cu precizie a diverselor tipuri de unde, s-a constatat că viteza lor este variabilă în interiorul globului, fapt din care s-a dedus că Pământul este neomogen, fiind alcătuit din pături concentrice, diferite ca și constituție.

Pe baza studiilor efectuate s-a obținut schema generală a structurii globului terestru din figura 1.2. Pe baza caracteristicilor fiecărei pături în parte, Bullen a introdus în 1942 o nomenclatură indicând cu literele A, B, C ... G aceste pături, nomenclatură ce a fost completată ulterior cu subdiviziuni. În figura 1.3. se prezintă principalele caracteristici seismice ale fiecărei pături după lucrarea de sinteză a lui Bullen din 1967 cu completări.

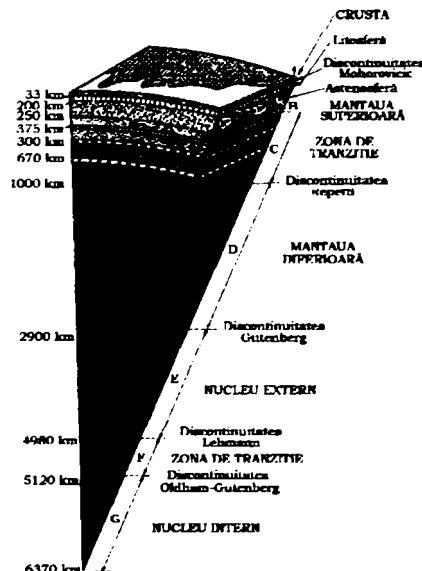


Figura 1.3. Structura internă a globului cu delimitarea principalelor 7 zone (notate A-G) și a discontinuităților dintre ele

1.3. Temperatura în interiorul globului

Pentru toate ipotezele referitoare la dinamica Pământului, este extrem de importantă cunoașterea geotermelor, adică distribuția temperaturii în interiorul globului. Cum nu există nici o modalitate de a o măsura direct în glob, ea trebuie dedusă din alți parametri dependenți de ea, cum ar fi densitatea și presiunea. O informație în plus o oferă fluxul de căldură, adică cantitatea de căldură care sosește la suprafață venind din interior. Această căldură este acumulată în glob și este difuzată, cu extremă încetineală, spre suprafață, în funcție de conductibilitatea termică a rocilor. Cantitatea de căldură sosită din interior la suprafață este de 30×10^{12} wați, cantitate neglijabilă comparativ cu cea primită de suprafață de la Soare (care este de 90.000×10^{12} wați), dar considerabil mai mare decât cea furnizată de vulcani, care totalizează doar $0,1 \times 10^{12}$ wați. Dacă ținem seama de faptul că penetrabilitatea căldurii solare este extrem de mică (la 10 m adâncime fluctuațiile sezoniere sunt de abia detectabile, și cu un an întârziere), ne dăm seama că mersul izotermelor este dependent doar de căldura „acumulată” în interior. Practic nu se poate construi nici o teorie asupra acesteia, fără să se țină cont de modul în care s-a format Pământul ca și corp cosmic.

Este de așteptat ca temperatura în glob să prezinte un gradient continuu de creștere dinspre suprafață spre interior. Cu toate acestea la limita dintre mantaua inferioară și nucleul exterior trebuie să existe o discontinuitate, o săritură a curbei de topire care să justifice trecerea bruscă de la starea solidă la cea lichidă. Forma acestei discontinuități nu poate fi decât de tipul celor din figura 1.4 cu punctul de topire al mantalei deasupra curbei de temperatură, iar cu cel din nucleul lichid dedesubt. Diferența dintre cele două cazuri rezidă în faptul că în 1, curba de topire nu depășește nicăieri temperatura din manta, în timp ce în 2 ea ajunge să o depășească. Când Pământul aflat în stare lichidă a început să se răcească el a trecut prin faze termice succesive reprezentate prin adiabatele din figura 1.4 (b). Când curba reprezentând temperatura adiabatică a intersectat curba reprezentând temperatura de topire, a început consolidarea. Aceasta s-a întâmplat la început în centrul globului. Când temperatura adiabatică a coborât până a atins punctul B de pe curba de topire, consolidarea nu a mai avut loc, până în punctul A, când, din cauza săriturii determinate de natura diferită a materialului, curba de topire a atins din nou adiabata, aici începând iarăși solidificarea. În felul acesta pătura dintre A și B, respectiv nucleul extern, a rămas lichid între paturile solidificate, rămânând prizonier ca atare, chiar după ce temperatura adiabatică a scăzut mult.

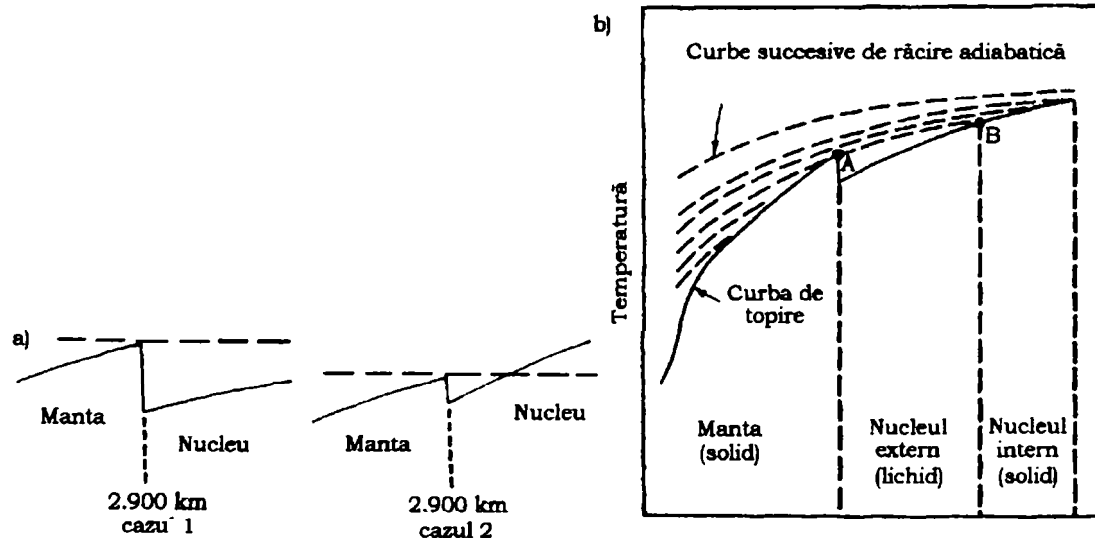


Figura 1.4. a) Două forme ale curbei punctului de topire la nivelul manta/nucleu, b) Curba punctului de topire și adiabate succesive în interiorul globului

Explicația aceasta este teoretică și pe baza ei nu se pot atribui temperaturi specifice procesului. Ea este interesantă însă prin faptul că ne dă o idee asupra mersului curbei de temperatură în adâncime. Astfel, dacă săritura la limita manta/nucleu ar fi fost de tipul 1 din figura 1.4 (a), nu ar fi fost posibilă consolidarea nucleului și am fi avut un nucleu integral lichid acoperit de o manta solidă. Și încă o informație în plus pe care ne-o furnizează această ipoteză: ea nu este valabilă decât plecându-se de la un glob integral lichid. Un glob născut la rece și care nu a ajuns în stare lichidă, nu ar fi putut niciodată să aibă un nucleu extern lichid peste unul intern solid.

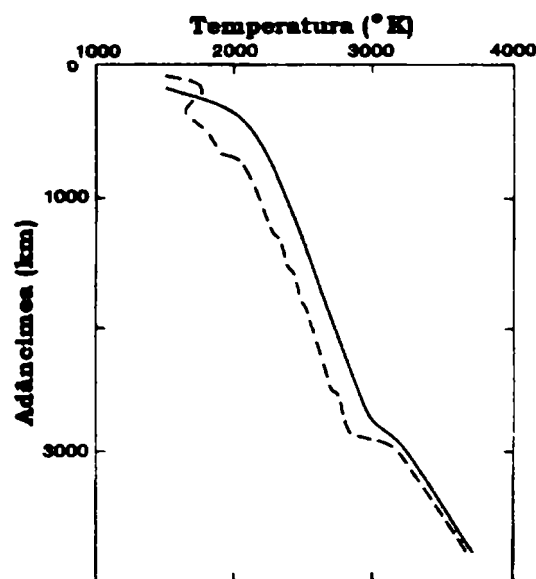


Figura 1.5. Variația temperaturii cu adâncimea în interiorul Pământului.
Distribuția temperaturii [după Stacey 1977 (linia continuă); Anderson 1979 (linia discontinuă)]

Considerațiile de mai sus au fost necesare deoarece pe baza lor se poate aprecia temperatura din interiorul Pământului. Punctul de plecare îl oferă datele seismice, interpretate în lumina teoriei corpului solid și datele experimentale de determinare a punctului de topire a materialelor prezumate a constitui interiorul globului. Astfel Simon (1973) a estimat punctul de topire al fierului și extrapolându-l la presiunile din adâncime, a determinat o curbă de topire pentru nucleu, la care Bullard (1954) a adăugat și punctul de topire al mantalei la limita cu nucleul. Pe baza acestora, Jacobs (1954) a determinat pentru punctul B din figura 1.4 (b) valoarea de circa 3.600°C iar pentru punctul A circa 3.300°C. Prelungirea curbei până în interiorul globului conferă acestui punct circa 3.900°C, în nici un caz mai mult deoarece nucleul nu s-ar mai menține în stare solidă. Curba este prezentată în figura 1.5.

CAPITOLUL 2. ASPECTE PRIVIND ENERGIA GEOTERMALĂ

Criza energetică declanșată în anii '70, a dus la o creștere generală a interesului pentru alte surse de energie, printre care și cea geotermală. Fiind o sursă mult mai puțin poluantă și existentă în stare latentă în interiorul planetei, interesul pentru dezvoltarea acesteia s-a menținut relativ constant, aspect reflectat și în valoarea investițiilor efectuate în domeniu. Practic pe parcursul a două decenii, 1973-1992, totalul acestora s-a ridicat la aproximativ 22 miliarde dolari, ajungându-se ca la nivelul anului 1990, 2% din consumul mondial de energie să fie furnizat de resursele neconvenționale, printre care și energia geotermală.

Geotermalismul este un domeniu multidisciplinar, constituind subiectul unei bibliografii destul de bogate, apărute mai ales în ultimele trei decenii. Din considerente ce privesc dezvoltarea cu precădere a aplicațiilor sale economice, literatura din domeniu tratează în special acele aspecte practice ce vizează cu precădere identificarea și cercetarea zăcămintelor sau valorificarea în condiții de rentabilitate economică a energiei termice ce o conțin.

Poate tocmai de aceea, majoritatea specialiștilor provin din domeniul exploatării zăcămintelor de țiței și gaze, cu atât mai mult cu cât metodele de foraj și extracție se aseamănă mult, și din cel al energiei, întrucât acesteia îi revine rolul principal în soluționarea problemelor ce privesc valorificarea energiei calorice din apele de zăcământ, sau producerea energiei electrice din energia geotermală. Deși fenomenul geotermalismului este consecința dinamicii interne a planetei, rolul geofizicienilor și parțial al geologilor a rămas într-un fel unul secundar, fiind legat mai mult de cercetarea fundamentală ce vizează planeta, fie în ansamblul ei fie la nivelul unor unități structurale ale ei.

În cele ce urmează, vom încerca un răspuns, la următoarele întrebări:

- a) Care este natura energiei geotermale?
- b) Cum se realizează transferul de căldură în interiorul scoarței Pământului?
- c) Ce se înțelege prin resursă geotermală?
- d) Ce este un sistem geotermal? Care sunt elementele sale de bază și cum acționează mecanismul ce guvernează un asemenea sistem?
- e) Care sunt tipurile de zăcăminte geotermale, cele mai des întâlnite în natură?
- f) Care este originea aburului și a apei fierbinți dintr-un asemenea zăcământ?

2.1. Natura energiei geotermale

Prin energia geotermală se înțelege energia conținută sub formă de căldură în interiorul Pământului. Originea acestei călduri este legată de structura internă a planetei noastre și de procesele fizice ce se manifestă în interiorul ei. În ciuda faptului că această căldură este prezentă în cantități uriașe, ea este distribuită neregulat și adesea la adâncimi prea mari pentru a fi exploatată în regim industrial. Uneori însă, ea se poate concentra în anumite areale, la adâncimi relativ mici, devenind astfel de interes economic.

Dinspre interiorul fierbinte al Pământului (aprox. 3.900°C) această căldură se deplasează spre suprafață unde practic se disipează, risipindu-se. Existența acestui proces este percepută însă ușor prin creșterea temperaturii rocilor odată cu adâncimea. Această creștere treptată a temperaturii în interiorul Pământului poate fi apreciată cu ajutorul gradientului geotermic, și a cărui reprezentare grafică, are aspectul unei pante cu o valoare medie de creștere de 30°C/Km, în adâncime.

Față de media statistică planetară, gradientul prezintă variații locale și regionale generate de mai mulți factori. Se remarcă astfel de areale ale scoarței terestre, accesibile și investigației directe prin foraje, unde valoarea gradientului geotermic se situează mult deasupra acestei medii. Așa se întâmplă de exemplu atunci când în apropierea suprafeței există mase mari de magmă ce suferă un proces de răcire lentă. Aflate încă într-o stare vâscoasă sau în curs de solidificare, ele eliberează cantități importante de căldură. În alte areale, unde practic activitatea magmatică lipsește, acumularea de căldură este datorată condițiilor geologice locale ale scoarței, ce pot determina valori anormale ale gradientului. Marea majoritate a zăcămintelor geotermale sunt localizate la marginea plăcilor tectonice, zone instabile din punct de vedere tectonic și caracterizate prin particularități ale câmpului termic terestru după cum se prezintă în figura 2.1.[Ros.'00].

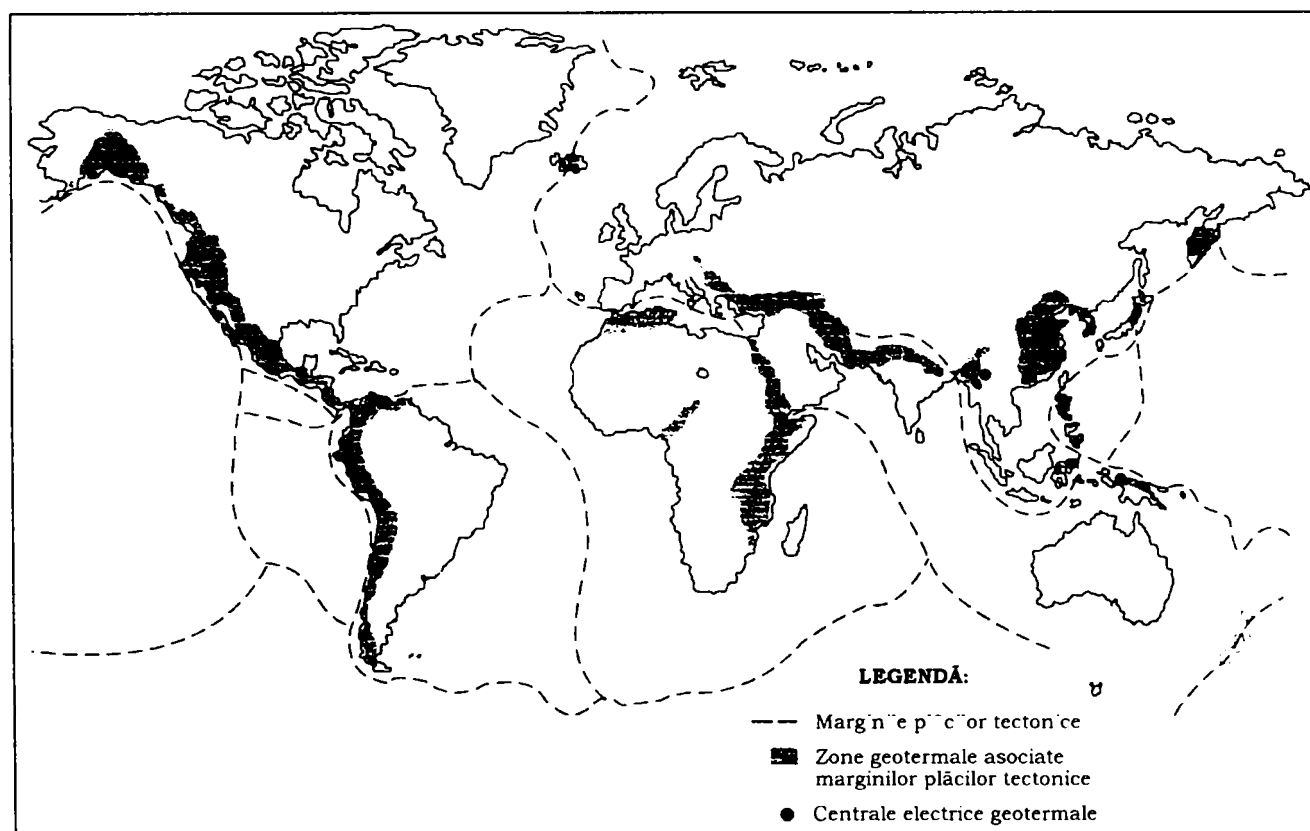


Figura 2.1. Localizarea sistemelor geotermale majore

Structural vorbind, plăcile litosferice sunt definite de două zone majore, una în care se creează placa (expansiune) și alta în care aceasta se consumă (subducție). În cadrul lor au loc procese complexe, de natură geologică, geofizică sau geochimică și caracterizate printr-un regim termic propriu.

În cadrul *zonelor de expansiune*, principalul proces ce are loc constă în formarea de litosferă nouă ca urmare a ridicării materialului topit din astenosferă și consolidării lui.

Prin acesta are loc acrețiunea celor două margini de plăci care își încep aici deplasarea laterală cu un bagaj considerabil de căldură. Pe parcurs însă această căldură se pierde prin difuzie, răcirea determinând numeroase modificări în proprietățile fizice și chimice ale litosferei. Pierderea de căldură este astfel responsabilă de grosimea litosferei, forma ei topografică generală, zonarea ei chimică precum și de câmpul termic local (valoarea fluxului termic).

Nu vom insista aici asupra modelelor termice elaborate pentru zonele de expansiune cu atât mai mult cu cât nici una dintre acestea nu sunt aplicabile în zona apropiată de axa zonei de expansiune și unde, în crusta cu o vârstă mai mică de 5 milioane de ani, au loc

procese de convecție locale și circulație hidrotermală determinate de pătrunderea apei oceanice în crăpături și care maschează degajarea de căldură prin conducție.

Legat de zonele de expansiune, mai amintim existența insulelor vulcanice, formate prin acumularea de produse magmatice, mai ales bazaltice. Islanda reprezintă cea mai mare structură de acest tip, situată exact pe riftul dorsalei nord-atlantice, fiind și singura porțiune de dorsală ridicată deasupra nivelului mării. Rămânând la exemplul Islandei, precizăm că ea însumează toate condițiile necesare pentru existența și dezvoltarea pe scară largă a proceselor geotermale. Procesele geologice specifice zonelor de expansiune și vulcanismul asociat sunt responsabile de ocurența a numeroase zăcăminte de acest tip (figura 2.2). Prezența rocilor poroase de natură vulcanică și precipitațiile abundente completează elementele necesare dezvoltării sistemelor geotermale. De aceea nu întâmplător aplicațiile practice ale energiei geotermale cunosc o largă dezvoltare, școala islandeză de geotermalism fiind una din cele mai renumite din lume.

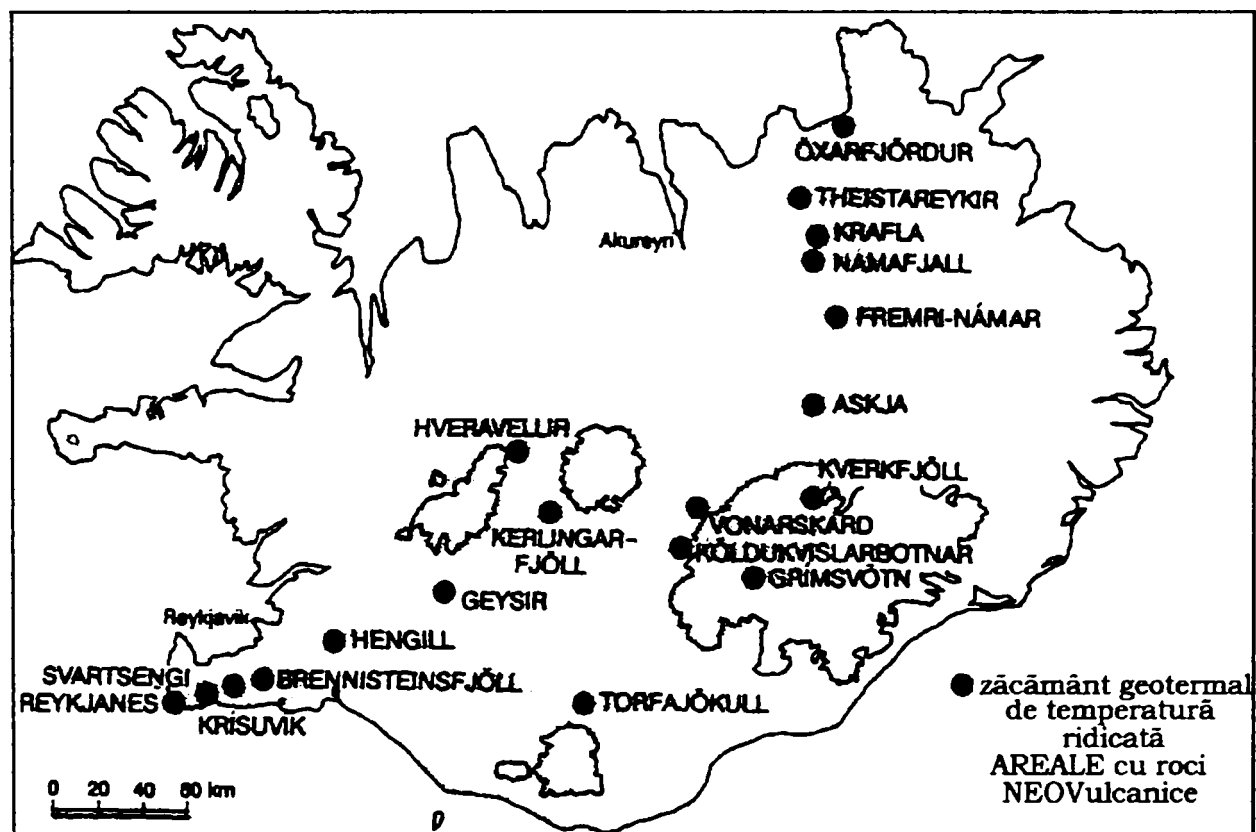


Figura 2.2. Localizarea zăcămintelor geotermale de temperatură ridicată în Islanda

În zonele de subducție procesele asociate sunt total diferite. Principala cauză a evenimentelor ce au loc aici o constituie dezechilibrul termic determinat de coborârea unei plăci reci în astenosfera mai caldă. Viteza de coborâre este mai mare decât cea a încălzirii plăcii subduse de către astenosferă. Totuși, deoarece temperatura astenosferei crește cu adâncimea iar placa plonjată se tot încălzește, ea ajunge la un moment dat la temperatura primei. În acel moment ea își pierde individualitatea și se dezintegrează prin asimilare. Distanța pe care are loc dezintegrarea plăcii depinde deci de temperatura ei inițială. Pe întreaga distanță pe care are loc subducția va exista o anomalie termică și totodată una gravitațională deoarece placa ce se subduce fiind mai rece este mai densă. Fluxul termic din zonele de subducție, față de valorile medii măsurate la nivel planetar, prezintă o dublă anomalie. La exterior, pe partea foselor oceanice, se înregistrează valori subnormale, iar la interior, în spatele arcului insular, deasupra mărilor marginale (unde acestea există) valori supranormale. Aceasta înseamnă că prin subducție au loc procese care generează căldură. Dar, procesele termice ce au loc aici nu se reduc la un simplu transfer de căldură dinspre

astenosferă spre placa care se subduce, ci ele sunt cu mult mai complicate prin faptul că prin subducție ia naștere căldură și din procese secundare. Acestea sunt:

- a) Creșterea presiunii, care duce la generarea de căldură adiabatică;
- b) Schimbări de fază mineralogică, dintre care unele sunt exoterme deci au loc cu degajare de căldură;
- c) Efectul de frecare a plăcii, care se subduce, de astenosfera înconjurătoare, imobilă.

În concluzie, o placă care se subduce determină o importantă perturbare termică în astenosfera în care coboară. Prin modificarea câmpului termic se modifică condițiile de presiune ceea ce are ca efect direct fuziunea parțială a plăcii și formarea de magme, cu demararea proceselor magmatice. La suprafață, manifestările acestor modificări termice din profunzime sunt trădate de anomaliile de flux termic și cele ale câmpului gravitațional

Extragerea și utilizarea acestor cantități importante de energie calorică constituie în ultimă instanță scopul final al studiilor efectuate în domeniu. Pentru aceasta însă, este important să înțelegem nu numai natura acestei energii, ci și modul în care aceasta se transferă spre suprafața planetei.

2.2. Transferul de căldură în interiorul Pământului

Este unanim acceptat astăzi faptul că transferul de căldură în interiorul planetei se realizează prin intermediul a două procese fizice: *conducția și convecția*.

În general căldura este transferată din adâncime spre arealele dinspre suprafața planetei prin intermediul ambelor procese menționate. Inițial rolul principal revine conducției, ca ulterior în cazurile particulare oferite de existența unui sistem geotermal, convecția să dețină rolul principal.

Extragerea și utilizarea acestei mari cantități de căldură în cazul sistemelor geotermale, necesită prezența unui transportator care să permită transferul de căldură. Acest rol așa cum vom vedea revine fluidelor geotermale.

- a) *Conducția* constă în transferul de energie cinetică între molecule, fără a se realiza și un transfer total de material. Mișcându-se moleculele le lovesc pe cele învecinate cauzându-le astfel o mișcare de vibrație mai accelerată, și astfel transferând energie calorică. Practic conducția reprezintă principalul mod prin care se transferă căldura în câmpurile solide, dar capacitatea conductivă a acestora poate diferii destul de mult.
- b) *Convecția* reprezintă procesul obișnuit prin care se realizează transferul de căldură în lichide sau gaze, și constă în deplasarea fluidului fierbinte dintr-un loc în altul. Deoarece spre deosebire de conducție, convecția implică o mișcare a materialului dintr-un loc în altul, ea constituie un proces mai eficient de transfer al căldurii, caracteristic materiei aflate în stare fluidă.

Exemplul clasic de realizare a transferului de căldură prin convecție este redat prin apa dintr-un ibric aflat la încălzit. De la fundul ibricului, apa fierbinte încălzită de flacără se ridică la suprafață prin zona centrală pentru ca ulterior, pe măsură ce se răcește să se reîntoarcă la fundul ibricului pentru a fi încălzită din nou. Circulația apei astfel rezultată, în cele din urmă încălzește toată apa din ibric, realizându-se un transfer de căldură de la flacără la fluid.

2.3. Gradientul geotermal al Pământului și conductivitatea termică a rocilor

Studiile din ultimele decenii asupra comportamentului termal al Pământului au constatat în fapt în stabilirea modului cum variază temperatura cu adâncimea dar și a celui cum s-a schimbat aceasta de-a lungul timpului geologic.

Asemenea studii din motive lesne de înțeles nu se pot efectua pe întreaga suprafață a planetei și tocmai de aceea sunt bazate în întregime pe măsurători efectuate pe areale restrânse. Ele au constatat în determinarea gradientului geotermal aproape de suprafață, dar sub nivelul zonei până la care variațiile de temperatură zilnice sau sezoniere sunt resimțite (zona neutră). Adâncimea acesteia, așa după cum am arătat în partea întâi a lucrării, poate varia.

În practică, gradientul este măsurat în puțuri cu termometre electrice capabile să măsoare diferențe de temperatură de $0,01^{\circ}\text{C}$. Conductivitatea termală a rocilor este însă cel mai bine determinată în laborator, pe mostre prelevate din respectivele găuri.

În ce privește unitatea de măsură în care se exprimă valorile măsurate, dacă gradientul este exprimat în $^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ iar conductivitatea în $\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$, fluxul termic va fi redat în mW/m^2 (miliwați pe metru pătrat). Reprezentarea grafică a gradientului geotermal are configurația din figura 2.3.

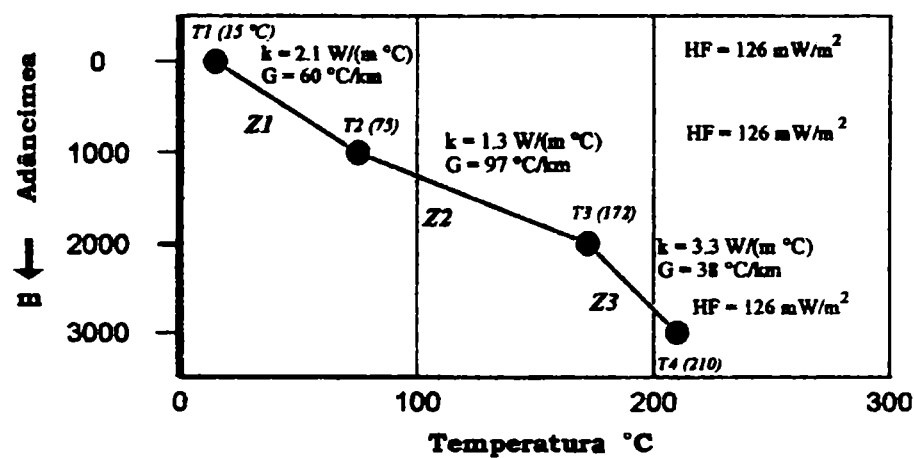


Figura 2.3. La o stare staționară, unde fluxul termic este constant cu adâncimea, gradientul geotermal se schimbă cu conductivitatea termală a rocilor, Z_1, Z_2, Z_3 intervale de adâncimi; T_1-T_4 temperaturile la adâncimile arătate; K este conductivitatea termală a rocilor în interval; G este gradientul geotermal, iar HF fluxul termic

Se poate lesne remarca că diagrama nu are forma unei linii drepte caracteristică unei stări staționare și unde fluxul termic este constant cu adâncimea. Gradientul geotermal este invers proporțional cu conductivitatea termală a rocilor. Peste intervalul de adâncime Z_1 , gradientul este dat de relația $(T_2-T_1)/Z_1$. Peste intervalul de adâncime Z_2 , el este dat de $(T_3 - T_2)/Z_2$ iar dincolo de Z_3 de $(T_4-T_3)/Z_3$.

Valoarea medie a gradientului în apropierea suprafeței este de aproximativ $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$, ceea ce înseamnă $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$. Față de această medie se recunosc abateri importante și într-un sens și în celălalt. Astfel, valori de $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ s-au determinat în crusta continentală veche (scuturi) și invers valori foarte înalte (mai mari de $100^{\circ}\text{C}/\text{Km}$) se regăsesc în arealele cu vulcanism activ. Odată ce gradientul a fost măsurat el poate fi folosit pentru a determina viteza cu care căldura se deplasează spre suprafață printr-o porțiune particulară a scoarței terestre. Mecanismul principal prin care se transferă căldura trebuie să fie conducția, lucru dedus din faptul că din profunzimea planetei căldura este difuzată spre suprafață prin roci solide impermeabile. Procesul fizic al conducției l-am prezentat deja așa că nu vom mai insista aici. Viteza fluxului termic, dată de suma fluxului termic prin conducție printr-o

suprafață unitară de 1m de rocă solidă, într-un interval de timp dat, este proporțională cu gradientul geotermal $\Delta T/Z$ și cu o constantă de proporționalitate K , cunoscută ca și conductivitatea termală a rocilor. Fluxul termic în acest caz este definit prin relația:

$$Q = \Delta T / Z \cdot K$$

unde: Q este fluxul termic, ΔT este diferența de temperatură pe intervalul de adâncime Z (gradientul geotermal) și K (conductivitatea termală a rocii) este definită ca și cantitatea de căldură condusă pe secundă, printr-o suprafață de 1m, când temperatura gradientului este de 1°C/m perpendicular pe acea suprafață. Unitatea de măsură a conductivității termale este W/(mK) (wați pe metru pe grade Kelvin).

Valorile medii determinate pentru diferite tipuri de roci arată după cum urmează:

bazalte 1,7 gresii 2,0 calcare 2,6 granite 3,3 cuarțite 6,7

FLUXUL TERMIC AL PĂMÂNTULUI

O noțiune des utilizată în legătură cu energia termică a Pământului, este aceea de *flux termic* (*heat flow*) și prin care se înțelege energia calorică care se transmite spre suprafața planetei în unitatea de timp și pe unitatea de secțiune transversală, măsurat în miliwați/m. El poate fi însă definit și în relație cu transferul de căldură din interiorul planetei, fiind vorba în acest caz de flux termic conductiv. Deci, el este dat de produsul dintre gradientul geotermal și conductivitatea termală a rocilor. În practică gradientul geotermal este măsurat în foraje cu adâncime mică, în timp ce conductivitatea rocilor se determină în condiții de laborator, pe mostre prelevate din acea parte a forajului unde s-a măsurat gradientul.

Fără a mai intra în alte detalii, prezentate de altfel în prima parte a lucrării, vom sublinia totuși că în prezent se acceptă că:

- a) În crusta continentală, fluxul termic la suprafață este mai mare în arealele ce au cunoscut episoade magmatice sau metamorfice mai recente de 65 milioane ani, până la o valoare medie de 77 mW/m. Această valoare descrește însă în crusta mai veche de 800 milioane ani până la o valoare constantă de aproximativ 46 mW/m.
- b) În crusta oceanică tânără, cu o vârstă mai mică de 65 milioane ani, fluxul termic este mai mare și variabil comparativ cu crusta oceanică mai veche de 65 milioane ani. Deci, valoarea acestuia scade cu vârsta de la 70-170 mW/m în primul caz la o valoare mai constantă, de aproximativ 50 mW/m, în acest ultim caz.

2.4. Resurse geotermale

Prin *resurse geotermale* se înțelege "energia termală ce poate fi extrasă rezonabil, la prețuri competitive comparativ cu alte forme de energie, într-un timp viitor precis precizat" (de regulă mai puțin de 100 ani).[Muff.'78]

Resursele geotermale sunt în general limitate la suprafețe ale scoarței Pământului, unde fluxul de căldură mai ridicat decât în arealele învecinate, încălzește apa conținută de rocile permeabile din adâncime. Prin aceasta ea dobândește un potențial energetic.

Resursele cu cel mai înalt potențial energetic sunt în principal concentrate în zonele unde există frecvent o activitate geotermală vizibilă. De regulă, ea corespunde, din motive deja prezentate, cu marginile plăcilor tectonice.

Activitatea geotermală este o noțiune ce acoperă manifestări diferite ce merg de la izvoare fierbinți , fumarole, ieșiri de abur supraîncălzit, până la gheizere. După unii autori, vulcanii activi reprezintă și ei un tip particular de activitate geotermală dar la o scară mai largă și mai spectaculoasă.

Trebuie subliniat faptul că, primul semnal semnificativ este acela că într-o anumită arie rocile din profunzime sunt mai calde decât valoarea normală, și este dat tocmai de prezența unor asemenea activități geotermale. Ceea ce determină această activitate și reprezintă implicit sursa de căldură ce ridică gradientul geotermic local poate fi de exemplu un corp magmatic cu o temperatură de 600-1000°C, sub forma unei intruziuni recente ridicate până la câțiva kilometri de nivelul actual al suprafeței globului.

Zăcămintele se pot forma și în regiuni neafectate de asemenea intruziuni. Fluxul de căldură anormal de ridicat poate fi datorat și unor situații tectonice particulare ca, de exemplu, subțierea scoarței continentale, ceea ce implică ridicarea mantalei superioare și inducerea unor temperaturi mai înalte la adâncimi superficiale.

2.5. Sisteme geotermale (hidrotermale)

Existența unei anomalii geotermice este o condiție esențială dar nu suficientă pentru a avea o resursă geotermală productivă. Pentru a înțelege însă ce este un sistem geotermal și ce se petrece într-un astfel de sistem, trebuie precizate mai întâi elementele componente ale acestuia. Orice sistem de această natură este compus din trei elemente principale (figura 2.4).

a) o sursă de căldură

b) un rezervor

c) un fluid, ce constituie agentul de transport a căldurii la suprafață.

a) Sursa de căldură ține de structura internă a planetei, și reprezintă elementul principal dar nu și suficient. În ce privește căldura indusă, și mai apoi produsă de sistem, ea variază cu timpul.

b) Rezervorul constă într-o masă suficient de mare de roci permeabile, situată față de suprafață la o adâncime accesibilă investigațiilor lor prin foraje. Este necesar însă ca rocile ce constituie rezervorul să conțină cantități mari de fluide, sub formă de apă sau vapori, ce transportă căldura la suprafață.

Rezervorul este înconjurat de roci mai reci conectate din punct de vedere hidraulic la rezervorul fierbinte, printr-un sistem de falii și fisuri ce reprezintă căile prin care apa meteorică (din precipitații) poate să pătrundă în profunzime. Aceste roci mai reci, aflându-se de regulă la suprafață constituind așa numitele "*Suprafețe de reîncărcare*" a rezervoarelor geotermale. Sub aspectul utilizării energiei conținute, rezervorul este partea cea mai importantă a sistemului. După una din definițiile existente în literatură el "reprezintă partea fierbinte a sistemului geotermal ce poate fi explorat fie prin extragerea fluidului conținut în el, fie prin folosirea sub orice altă formă a căldurii sale". Trebuie subliniat însă, că nu orice sistem geotermal, asigură în mod automat producerea de energie pe scară industrială. Este posibil ca doar o parte din rocile ce-l constituie să fie permeabile și deci să constituie, în adevăratul sens, un rezervor pentru fluide. În această situație sistemul va putea produce energie geotermală la nivel industrial doar din acea porțiune denumită uzual zăcămint geotermal. Uzanțele în domeniu asociază numele geografic al localității unde se situează acesta, dându-i numele (de exemplu: zăcămintul geotermal Larderello din Italia).

Zăcămintele geotermale, spre deosebire de zăcămintele de hidrocarburi, sunt sisteme generale cu o circulație continuă a căldurii și fluidului și unde fluidul pătrunde în rezervor dinspre zonele de reîncărcare și pleacă spre zonele de descărcare care pot fi fie găuri de foraj, fie izvoare fierbinți. În timpul exploatării industriale, fluidele pot fi reintroduse în rezervor prin injectare cu ajutorul forajelor săpate special, a fluidelor extrase și parțial răcite deja.

Procesul de injecție poate compensa astfel cel puțin o parte din fluidul extras prin producție, prelungind astfel până la o anumită limită sigură, timpul de exploatare comercială a zăcămintului. Trebuie însă subliniat faptul că deși energia geotermală este în principiu pentru un anumit areal o sursă de energie regenerabilă, este necesară păstrarea unui echilibru între ritmul de producție a fluidului fierbinte și cel de reîncărcare a rezervorului.

c) *Fluidul geotermal* este reprezentat prin apă în fază lichidă sau fază gazoasă (vapori), în funcție de temperatura și presiunea din rezervor. Adeseori însă, ea poate fi însoțită de gaze precum CO₂, H₂S, etc.

Aburul poate fi umed sau uscat. El este umed când se află asociat cu lichidul ce-l generează, aceasta reprezentând o stare cu două faze (lichidă și gazoasă). El este uscat când acesta nu conține nici o moleculă de lichid în suspensie; este o stare limită situată pe drumul ce duce spre aburul supraîncălzit. Vorbim de abur supraîncălzit, atunci când temperatura lor este mai înaltă decât temperatura de fierbere corespunzătoare acelei presiuni.

Trebuie să precizăm că întregul mecanism ce pune în mișcare sistemul geotermal este caracterizat de doi parametri aflați în relație invers proporțională: temperatura și respectiv presiunea. Ca urmare trecerea fluidului din rezervor, din faza lichidă în faza gazoasă, proces cunoscut de regulă sub numele de fierbere, poate avea loc prin modificarea echilibrului existent între cei doi parametri, fie în sensul reducerii presiunii, fie în cel al creșterii căldurii.

În condițiile geologice date, ce caracterizează un anumit sistem geotermal, ultima posibilitate este practic rar întâlnită. Face excepție cazul particular al unei intruziuni sub formă de dyke, ce poate cauza prin aportul mare de căldură (câteva sute de grade °C), fierberea violentă a fluidului din rezervor. În majoritatea cazurilor însă, ceea ce determină fierberea fluidului din sistemul geotermal, o constituie modificarea presiunii acesteia, ce poate fi mai mult sau mai puțin bruscă. Cum fluidul geotermal încălzit în părțile inferioare ale rezervorului urcă spre suprafață, presiunea hidrostatică dată de coloana de apă de deasupra, va scădea. În cele din urmă, presiunea va scădea până la o valoare ce permite gazelor dizolvate și aburului să se separe din faza lichidă. Procesul este cunoscut sub numele de "fierbere".

Mecanismul ce pune în mișcare sistemul geotermal este guvernat în mare de convecția fluidului. O descriere schematică a întregului mecanism este redată în figura 2.4 (cazul unui sistem hidrotermal de temperatură medie).

Apa termală sau aburul, la origine sunt de fapt apă de ploaie (meteorică) ce se infiltrează în sol, la nivelul suprafețelor de reîncărcare de la suprafața planetei. Continuându-și sub influența forței gravitaționale traseul descendent, temperatura acesteia crește pe măsură ce ia contact și pătrunde în rocile fierbinți ce compune rezervorul. În interiorul acestuia, apa se mișcă prin convecție, potrivit variației de densitate, cauzată de temperatură, transferând căldură din porțiunea coborâtă a rezervorului înspre părțile mai ridicate (acoperișul rezervorului).

Apa încălzită, cu densitate scăzută, tinde să izvorască și să fie înlocuită de fluide reci cu densitate mare ce provin de la marginea sistemului. Convecția, prin natura ei tinde să crească temperatura în părțile superioare ale sistemului, în timp ce în părțile inferioare ea scădea. Deci practic, sursa de căldură, furnizează energia ce dirijează sistemul. Deseori, fluidele fierbinți scapă din rezervor și ajung la suprafață, manifestându-se în mod vizibil prin tipurile de activități geotermale descrise anterior.



Figura 2.4. Modelul 3-D a unui sistem geotermal

În concluzie deci, sursa de căldură, rezervorul și fluidele sunt cele trei elemente principale ale unui sistem geotermal, la care se adaugă ca și părți componente secundare, suprafața de reîncărcare și căile de circulație prin care se asigură accesul apei reci superficiale în rezervor și mai apoi ascensiunea celei încălzite spre suprafață.

Până în prezent se cunosc patru tipuri de sisteme geotermale: a) *hidrotermale*, b) *roci uscate fierbinți*, c) *geopresurizate*, d) *magmatice*. Cele hidrotermale sunt singurele exploatate în prezent; caracteristica lor principală, așa după cum le arată și numele, constituind-o prezența apei ca fluid geotermal. Practic, cele prezentate în acest subcapitol sunt definițiile sistemelor hidrotermale. Celelalte trei vor putea fi exploatate în mod industrial în viitorul mai mult sau mai puțin îndepărtat.

Cele descrise până acum reprezintă o variantă ideală și deci simplificată a proceselor ce pot avea loc într-un asemenea sistem. De regulă sistemele geotermale reale, cunoscute în natură, sunt caracterizate printr-o mare varietate de combinații între caracteristicile lor geologice, fizice și chimice și care au permis evidențierea și clasificarea mai multor tipuri diferite.

Trebuie subliniat însă că din punctul de vedere al valorificării în condiții economice a energiei termice ce o conțin, între ele pot exista diferențe notabile. Tipul clasic de sistem geotermal ce permite exploatarea economică a energiei geotermale prin producerea de electricitate, este dat de suprafețele în care intruziunile magmatice sunt plasate suficient de sus în scoarță pentru a induce circulația convectivă a apei subterane. Aceste intruziuni, nu trebuie însă în mod obligatoriu să aibă vreo legătură cu activitatea de erupție vulcanică.

2.6. Tipuri de zăcăminte geotermale

Încă de la început, trebuie să arătăm că, din păcate, în acest domeniu nu există încă o terminologie standard unanim acceptată pe plan internațional și, ca urmare, nici un acord asupra definițiilor sau tuturor termenilor relevanți folosiți. Acest lucru se reflectă din păcate și în problema criteriilor ce sunt avute în vedere la elaborarea diferitelor sisteme de clasificare, ceea ce face dificilă elaborarea unui punct de vedere unitar.

Datorită multitudinii de factori ce condiționează existența zăcămintelor de acest tip, ele pot fi clasificate în funcție de unul sau altul dintre aceștia. Amintim aici: compoziția chimică a fluidului, condițiile geologice și geofizice din zăcământ, temperatura, starea termodinamică a fluidului geotermal, etc.

Neexistând încă o metodologie standard de clasificare unanim acceptată și care ar evita confuziile, în literatura de specialitate pot fi întâlnite mai multe asemenea clasificări. Vom insista în cele ce urmează pe două asemenea tipuri de clasificări, fără a nega valoarea celorlalte.

- A) În funcție de temperatură;
- B) În funcție de starea termodinamică a fluidului geotermal (lichid, abur saturat umed sau abur supraîncălzit).

A. TIPURI DE RESURSE GEOTERMALE FUNCȚIE DE TEMPERATURĂ

Această clasificare, prezentată în continuare și propusă de Consiliul Mondial al Energiei, permite evaluarea valorii energetice a resurselor aflate în discuție, întrucât temperatura este cea care determină scopurile pentru care poate fi utilizată această energie.[Ros.'00] Ea cuprinde cinci tipuri, după cum urmează:

1. *Resurse cu temperatură înaltă (>225°C)*, ale căror caracteristici esențiale cuprind:
 - a) zăcăminte predominant lichide (inclusiv regiuni bifazice în zăcământ);
 - b) sau zăcăminte predominant de vapori (foarte rar abur supraîncălzit);
 - c) conțin soluții cu concentrație mare de solide dizolvate (>100 g/kg);
 - d) sub aspectul sursei de căldură sunt zăcăminte vulcanice (temperaturi foarte mari și concentrații foarte mari de gaze vulcanice).
2. *Resurse cu temperatură medie (125-225°C)*, caracterizate prin:
 - a) zăcăminte predominant lichide (posibil bifazice în partea superioară);
 - b) fluide efluente din zăcăminte cu temperatură înaltă;
 - c) sau ca fluid rezidual de la utilizarea fluidului de tip 1.
3. *Resurse cu temperatură joasă (<125°C)*
 - d) zăcăminte în întregime lichide;
 - e) fluide efluente din zăcăminte cu temperatură medie;
 - f) sau ca fluid rezidual de la utilizarea fluidului de tip 2

4. Resurse din roci uscate fierbinți

Acestea sunt roci aflate la adâncimi accesibile prin forare, dar conținând apă în cantități insignifiante sau chiar de loc. Apa este introdusă și extrasă după ce se încălzește, prin sonde de injecție și de producție. În general este necesară crearea artificială a fisurilor, pentru circulația apei prin roca fierbinte, prin explozii subterane. Temperatura rocii trebuie să fie suficient de mare pentru a încălzi apa până la o temperatură utilizabilă. În prezent utilizarea acestei resurse nu este rentabilă din punct de vedere economic, dar trebuie avută în vedere perspectiva de viitor.

5. Resurse geopresurizate

Apar la adâncime mare, unde energia termică a fluidului conținut de roci poroase este mărită de presiunea litostatică mare datorată adâncimii. Au fost descoperite în sonde de țitei foarte adânci. Aceste resurse nu au fost încă cercetate și evaluate corespunzător, fiind foarte puțin atractive din punct de vedere economic. În unele zone, ca de exemplu în Golful Mexic și coasta de sud a Statelor Unite ale Americii, acest tip de zăcăminte prezintă un interes sporit datorită conținutului ridicat de gaze combustibile dizolvate în apă (în special metan).

Resursele geotermale utilizate în prezent sunt cele de tipurile 1, 2 și 3 în care o cantitate suficient de mare de fluid este conținută în straturi de roci cu porozitate mare, de unde poate fi extrasă prin sonde de producție. Astfel de zăcăminte se numesc *hidro-geotermale* sau *hidrotermale* la unii autori.

Zăcămintele *hidro-geotermale* sunt, la rândul lor, împărțite în două grupe:

1. Zăcăminte de entalpie joasă, cu temperaturi $<150^{\circ}\text{C}$ la adâncimea de un kilometru;
2. Zăcăminte de entalpie înaltă, cu temperaturi $>150^{\circ}\text{C}$ la adâncimea de un kilometru.

Așa după cum am arătat deja, marea majoritate a zăcămintelor geotermale sunt în general localizate în apropierea zonelor de contact dintre plăcile tectonice. Zăcămintele de entalpie înaltă sunt asociate regiunilor tectonice și vulcanice active din spatele munților de încrețire formați în zonele de ciocnire dintre plăcile tectonice, (zona de subducție), sau a regiunilor în care plăcile tectonice se îndepărtează una de alta cu viteze de ordinul centimetrilor pe an facilitând ieșirea magmei la suprafață de-a lungul riftului medio-oceanic.

1) Zăcămintele de entalpie joasă sunt localizate în general în bazine sedimentare din zone cu grosimi relativ mici ale scoarței, aflate în apropierea marginilor plăcilor tectonice. Exemple de acest tip sunt Bazinul Parizian, Bazinul Panonic și marele bazin sedimentar din partea nord-estică și centrală a Chinei. Schema de principiu a unui zăcământ geotermal localizat într-un bazin sedimentar este prezentată în figura 2.5.

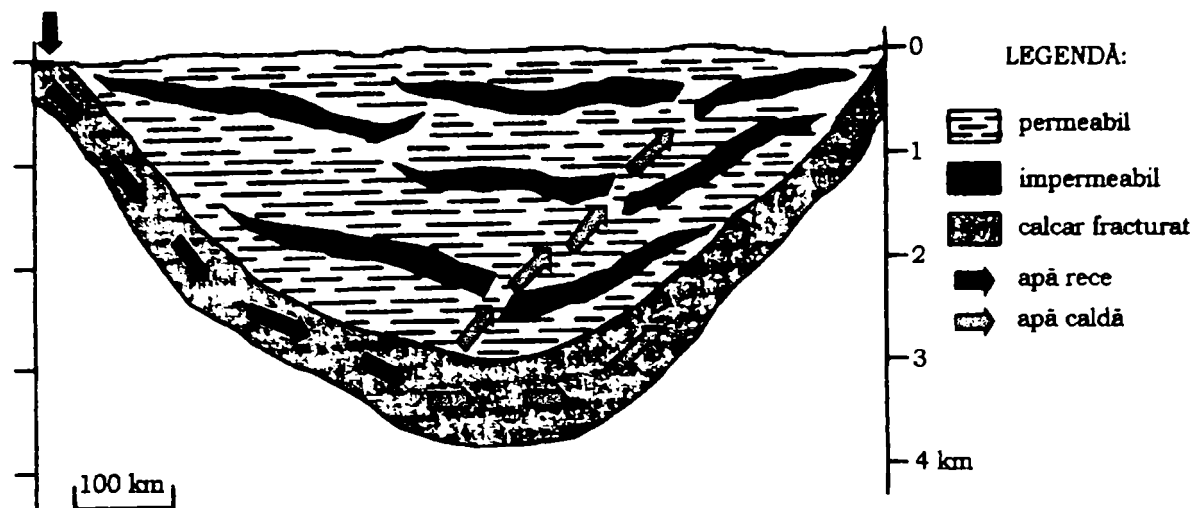


Figura 2.5. Schița unui zăcământ de joasă entalpie dezvoltat într-un bazin sedimentar [Ros. '00]

Aceste tipuri de zăcăminte au un potențial energetic ridicat, deși temperaturile sunt în general mici, datorită cantităților foarte mari de apă geotermală conținută de rocile sedimentare cu porozitate mare. Viteza de curgere a apei în rocile sedimentare este de ordinul a circa 110 cm/an, apa având aceeași vârstă cu roca gazdă și un conținut ridicat de solide dizolvate (în principal săruri și carbonați) și de asemenea CO_2 și CH_4 , putând cauza dificultăți în exploatare, datorită depunerilor și coroziunii.

Zăcăminte geotermale de entalpie joasă mai pot fi întâlnite și în zone vulcanice inactive, cu vechime foarte mare, având ca sursă de căldură intruziuni magmatice de mare adâncime sau deja reci. Aceste zăcăminte sunt în general mici ca extindere și sunt localizate în roci vulcanice cu porozitate mică, având în consecință un potențial energetic redus.

2) Zăcămintele geotermale de entalpie înaltă sunt întâlnite numai în regiuni vulcanice active și în regiunile de contact dintre plăcile tectonice. O schemă de principiu a unui astfel de zăcământ este prezentată în figura 2.6.

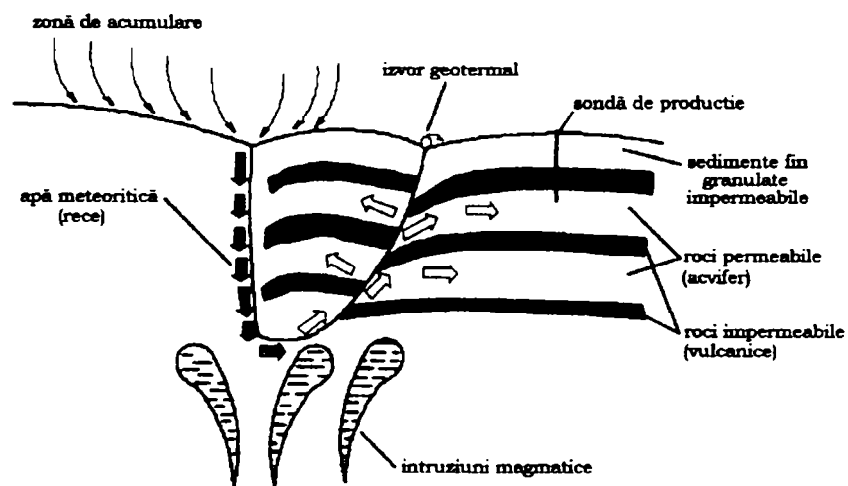


Figura 2.6. Schița unui zăcământ geotermal de entalpie înaltă [Ros. '00]

Sursa de căldură o constituie intruziunile magmatice tinere aflate la adâncimi relativ mici. Transmiterea căldurii în interiorul zăcământului se produce în principal prin convecție. Temperatura fluidului geotermal poate atinge valori foarte ridicate (peste 380°C), în multe cazuri acesta ajungând la saturație. Foarte rar, sunt întâlnite zăcăminte care produc abur supraîncălzit (Larderello – Italia, The Geysers - SUA).

Potențialul energetic al acestor zăcăminte este relativ ridicat, în pofida porozității mici a rocilor vulcanice, datorită temperaturilor foarte ridicate. Cantitatea de solide dizolvate este în general mică, dar cantitatea de gaze de origine vulcanică (în principal H₂S) este mare; aciditatea fluidului produs fiind uneori atât de mare încât corodează în timp scurt tubulatura de sondă, necesitând închiderea acesteia cu ciment.

B. TIPURI DE RESURSE GEOTERMALE FUNCȚIE DE STAREA TERMODINAMICĂ A FLUIDULUI GEOTERMAL

Conform acestui criteriu zăcămintele geotermale sunt clasificate în două grupe majore:

1. Dominate de apă;

2. Dominate de vapori, acestea din urmă având un conținut energetic mai ridicat pe unitatea de masă de fluid.

La rândul lor primele se subdivid în:

1.a. zăcăminte de apă fierbinte;

1.b. zăcăminte de abur umed.

Ca pondere, din cele aproximativ 100 de sisteme hidrotermale investigate, mai puțin de 10% sunt dominate de vapori, 60% sunt zăcăminte de abur umed și restul de 30% produc apă fierbinte.

1. ZĂCĂMINTE DOMINATE DE APĂ

1.a. Zăcăminte de apă fierbinte

Acest tip constituie zăcămintele cu cea mai scăzută temperatură a fluidelor. Rezervorul conține apă în fază lichidă și uneori este posibil să nu prezinte învelișul de roci impermeabile ce se comportă ca un capac. Unele din aceste acvifere termale sunt acoperite prin închiderea straturilor, și care menține apa fierbinte sub presiune. Datorită faptului că sursa de căldură nu este suficient de puternică, temperaturile din rezervor se mențin sub punctul de fierbere al apei indiferent de valoarea presiunii. La suprafață, temperatura nu este mai mare decât cea de fierbere a apei la presiunea atmosferică. Asemenea tipuri de zăcăminte pot fi întâlnite de asemenea, în arealele cu valori normale ale fluxului termic. La suprafață există de regulă izvoare termale ale căror temperaturi se pot situa în unele cazuri în vecinătatea punctului de fierbere a apei. În general valoarea economică a acestui tip de zăcămintă depinde de adâncimea la care se situează rezervorul, de conținutul în săruri a fluidului și debitul acestuia. Se acceptă astfel că, pot prezenta interes economic dacă adâncimea este sub 2.000 metri, conținutul în săruri este de maxim 60 g/kg și dacă debitul depășește 150 t/h. Se cunosc în lume mai multe exemple de exploatări de asemenea zăcăminte, cele mai cunoscute sunt cele din Bazinul Panonian (Ungaria și Vestul României), Bazinul Parizian și cel Aquitanian (Franța), mai multe zăcăminte din Rusia, valea râului Po (Italia), Klamath Falls (Oregon, S.U.A.) și Tianjin (China).

1.b. Zăcăminte de abur umed

Asemenea zăcăminte conțin apă sub presiune la o temperatură ce depășește 100°C și mici cantități de abur în zonele superficiale cu presiune mai mică ale rezervorului. Faza dominantă în rezervor și care în același timp controlează presiunea din el, este cea lichidă. Aburul din faza gazoasă nu este prezent în mod uniform, apărând sub formă de bule înconjurată de apă lichidă, și fără a afecta notabil presiunea fluidului. În mod obișnuit dar nu și absolut necesar, un capac de roci impermeabile previne scăderea fluidului din rezervor spre suprafață, ținându-l astfel sub presiune. De fapt la orice adâncime sub greutatea coloanei de apă de deasupra, apa rezistă la propria sa presiune hidrostatică. În momentul în care fluidul este adus la suprafață și presiunea scade, o fracțiune din fluid trece rapid în vapori în timp ce cea mai mare parte a sa rămâne sub formă de apă ce fierbe (figura 2.7). În momentul în care rezervorul este străpuns cu un foraj, întrucât presiunea din foraj este mai mică, apa printr-o mișcare ascensională, are tendința de a izvorî. Ca o consecință a scăderii presiunii în rezervor, are loc evaporarea unei părți a apei, iar rezultatul acestui proces este faptul că forajul va debita eventual, apă fierbinte și abur, apa constituind însă faza dominantă. Raportul apă-abur, variază însă de la zăcămintă la zăcămintă și chiar în cadrul aceluiași zăcămintă de la un foraj la altul. În unele cazuri doar aburul este folosit pentru a produce energie electrică, în timp ce apa lichidă trebuie să fie separată la suprafață în separatoare special concepute.

Manifestările de suprafață a acestui tip de zăcămintă pot include gheizere și izvoare în fierbere. Sursa de căldură este importantă și în general de origine magmatică. Faza lichidă debitată de sondă, conține adesea cantități mari de chimicale, de la 1 la peste 100 g/kg de fluid, iar în unele zăcămintă poate ajunge până la 350 g/kg. Ele constituie cauza unor probleme complexe ce pot duce la depuneri pe conducte și în mediul ambiant. Conținutul de săruri determină natura acestor ape, ce pot fi clorurate, bicarbonate, sulfatate, borate, fluorate și silicate.

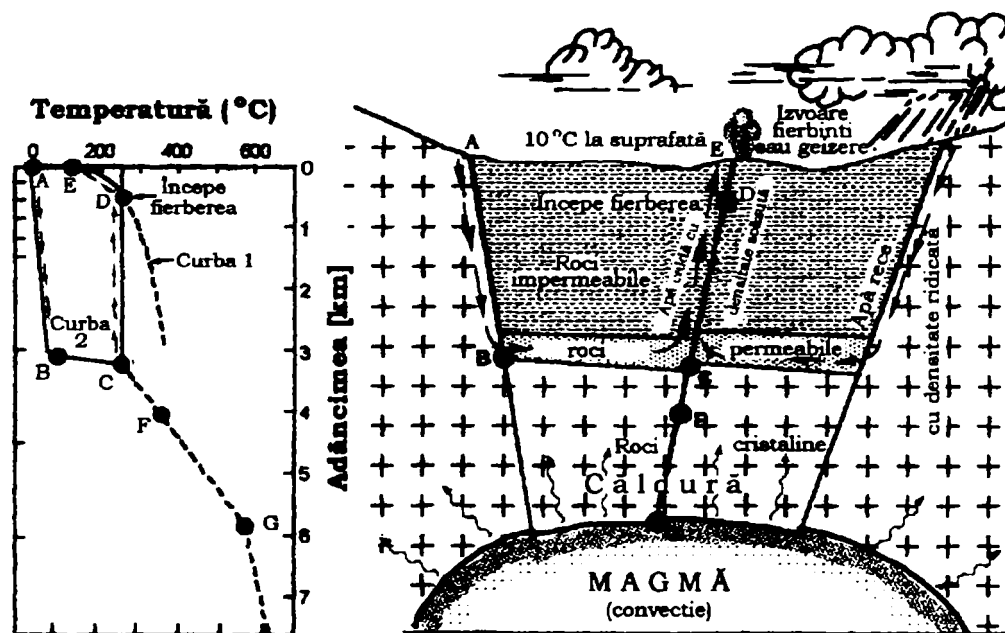


Figura 2.7. Modelul unui zăcămintă de abur umed. Curba 1 reprezintă curba de referință pentru punctul de fierbere a apei pure. Curba 2 arată gradientul geotermal de-a lungul unei rute de circulație tipice de la punctul A din zona de reîncărcare la punctul de descărcare E

În lume, în prezent, mai mult de 90% din rezervoarele hidrotermale exploatare pe scară industrială sunt de tipul abur umed. În ce privește aspectele economice ale utilizării lor, trebuie amintită aici, cantitatea mare de apă extrasă odată cu aburul și care datorită conținutului ridicat în săruri, trebuie reinjectată prin foraje dispuse la marginea rezervorului. Utilizarea optimă a acestui tip de zăcămintă constă în producerea de electricitate.

Exemple de asemenea zăcămintă de abur umed, producătoare de electricitate sunt: Cerro Prieto (Mexic), Monotombo (Nicaragua), Miravalles (Costa Rica), Wairokei (Noua Zeelandă), Azares (Portugalia), Latena (Italia) etc.

2. ZĂCĂMINTELE DOMINATE DE VAPORI

Caracteristica acestor zăcămintă, este aceea că rezervoarele lor produc abur uscat saturați sau slab supraîncălziți la presiuni situate deasupra celei atmosferice. Din punct de vedere geologic, ele sunt similare cu zăcămintă de abur umed, ceea ce diferă fiind fluxul termic transferat din adâncime și care în mod evident este mult mai ridicat.

Investigațiile geologice, au arătat că prezența capacului de roci impermeabile are o importanță fundamentală în acest caz, iar în plus s-ar părea că și permeabilitatea rocilor din rezervor este mai mică decât la zăcămintă de abur umed.

În ce privește fluidul geotermal, acesta coexistă atât în fază lichidă cât și în fază gazoasă, dar ultima reprezintă faza dominantă ce reglează presiunea; practic acesta este constantă în întreg rezervorul. Aburul produs de asemenea zăcămintă este în general supraîncălzit, conținând însă și mici cantități de alte gaze, în principal CO_2 și H_2S (figura 2.8.)

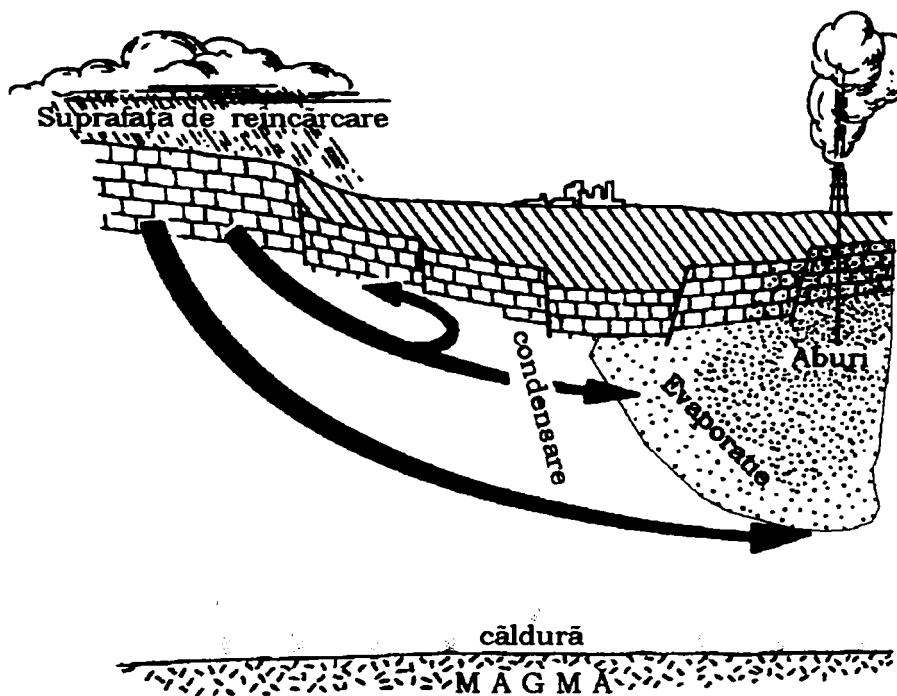


Figura 2.8. Modelul unui zăcămintă dominat de vapori, ce produce vapori uscați sau supraîncălziți. Vaporii reprezintă faza continuă și predominantă în rezervor. Presiunea este aproximativ constantă și prezentă pretutindeni în rezervor

Se acceptă că mecanismul ce guvernează producerea aburului, în aceste zăcăminte este următorul: când un foraj atinge rezervorul și producția începe, se formează o zonă depresurizată în talpa găurii de foraj. Această scădere de presiune determină fierberea și vaporizarea apei lichide în rezervor. O zonă uscată, fără apă lichidă, se formează în jurul tălpii forajului, în timp ce aburul se scurge prin ea. Traversând zona uscată, vaporii încep să se dilate și să se răcească, dar adaosul de căldură din rocile înconjurătoare fierbinți păstrează temperatura acestora deasupra valorii de vaporizare, necesară conform presiunii ce există în acel punct. Ca rezultat al acestui proces, forajul produce vapori supraîncălziți la valori de temperatură ridicate. De exemplu la o presiune de 5-10 bari în talpa puțului, temperatura aburului debitat este mai mare de 200°C.

La sfârșitul deceniului șapte al secolului trecut, D'Amore și Truesdel (1979) au propus un model de evoluție a unui zăcămintă dominat de vapori. El se bazează pe schimbările în timp ale chimismului aburului produs de foraje. Autorii citați cred că de-a lungul perioadei în care are loc producția de abur, ei se extrag din surse ce devin progresiv tot mai adânci. Inițial la începutul exploatării, sursa principală de vapori o constituie apa lichidă, prezentă în așa numita zonă de condensare, localizată în partea de sus a rezervorului, imediat sub învelișul de roci impermeabile. În procesul de extragere a fluidului, această zonă tinde să devină neproductivă și aburul dintr-o zonă mai joasă conținând însă fluid în ambele faze (apă și vapori) migrează înspre gaura sondei. În final, dacă extracția și producția de abur continuă, vaporii extrași de la o adâncime tot mai mare, dintr-un lichid bogat în săruri și aflat în fierbere, vor începe să pătrundă în sondă.

Ulterior Ingebritsen și Sorey (1988) au confirmat printr-un model matematic elaborat de ei că aceste rezervoare sunt caracterizate prin viteze mici ale fluxului de fluid ce curge prin el, și zone extinse dominate de vapori aflați la o presiune apropiată de cea gazostatică și care este mai scăzută decât cea hidrostatică. Roci cu permeabilitate mică înconjoară aceste rezervoare și acționează ca bariere ce limitează spațial zonele dominate de vapori. La suprafață, activitatea geotermală asociată zăcămintelor dominate de vapori, dacă acesta este uscat și supraîncălzit, este similară activității asociate zăcămintelor de abur umed. Trebuie menționat aici, valoarea economică ridicată a unor asemenea tipuri de zăcăminte. Aproximativ jumătate din energia electrică generată în lume și provenită din surse geotermale, este produsă de șase asemenea zăcăminte: Lardorello și Mt.Amiata (Italia), The Geysers (California), Matsukawa (Japonia), Kamojang și Darajat (Indonezia).

Un foraj geotermal aflat în exploatare poate produce:

1. *apă fierbinte*;
2. *abur umed*, în care acesta coexistă cu lichidul ce îl generează , fiind de fapt un sistem bifazic (lichid-gaze);
3. *abur uscat*, în care acesta nu conține apă lichidă în suspensie. El reprezintă starea limită pentru aburul supraîncălzit. Aburul umed și cel uscat sunt denumite și *abur saturat*. Temperatura aburului corespunde cu temperatura de vaporizare de la acea presiune denumită și de saturație. Temperatura și presiunea sunt în relație directă. De exemplu, la o presiune de un bar, temperatura de vaporizare (fierbere sau saturație) a apei este de 100°C, în timp ce la 10 bari, ea ajunge la 180°C.
4. *abur supraîncălzit* în care temperatura acestuia este mai mare decât temperatura de vaporizare, corespunzătorul acelei presiuni.

Producția aburului și apei dintr-un rezervor geotermal, poate fi ilustrată pe o diagramă presiune-entalpie determinată pentru cazul ideal în care fluidul geotermal este constituit din apă pură (figura 2.9).

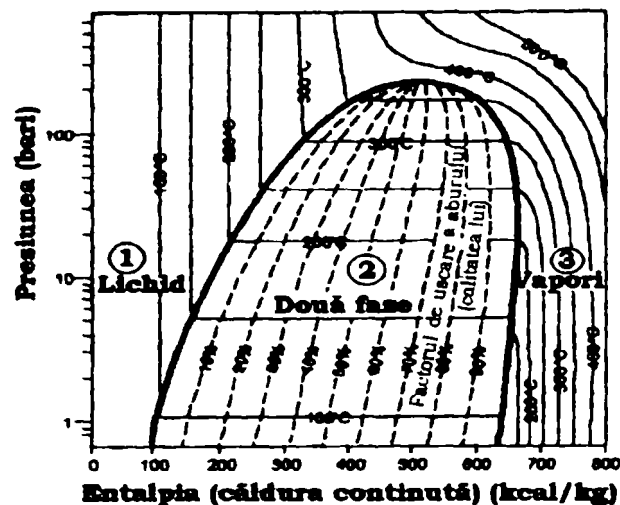


Figura 2.9. Diagrama relației presiune-entalpie pentru apa pură și abur, cu condițiile termodinamice ale fluidului din rezervor. 1) Apă lichidă; 2) fluid în două faze: vapor și apă; 3) Vapori supraîncălziți (după Edwards et.al. 1982, modificată)

Linia groasă reprezintă curba de vaporizare sau saturație pentru apă lichidă. Dacă luăm în considerare un amestec abur-apă pe curba de saturație la o temperatură de 250°C și o presiune de 40 bar, forajul în aceste condiții termodinamice, poate produce fluid într-o varietate de posibilități. De exemplu producția ar putea consta din lichid saturat la o entalpie de 260 kcal/kg (1.086 kJ/kg) sau din abur saturat (uscat) la o entalpie de 670 kcal/kg (2.800 kJ/kg) sau orice amestec de abur și apă lichidă, cu o entalpie și o calitate situată între cea de abur uscat și apă. De regulă, însă, aburul geotermal nu apare ca apă pură în fază gazoasă, ci conține gaze precum: CO₂, H₂S, HF, NH₃, CH₄, H₂ în cantități ce variază de la zăcământ la zăcământ. În plus în cazul particular al unui zăcământ oarecare, conținutul în aceste gaze tinde să descrească cu timpul, ca rezultat al producției.

Presiunile măsurate la capul sondei, întotdeauna scad cu timpul ca o consecință a extracției și epuizării fluidului din rezervor. Energia geotermală în principiu este o resursă regenerabilă, dar această sintagmă este adevărată doar dacă ritmul de extracție a căldurii nu depășește viteza de reumplere a rezervorului. Raportat însă la scara timpului, așa cum este el folosit în mod normal în societatea umană, energia geotermală nu este strict vorbind regenerabilă. Exploatarea zăcământului prin intermediul forajelor, uneori folosindu-se pompe de adâncime, duce la extracția unei mari cantități de fluid și în consecință la o reducere sau epuizare a resursei geotermale locale. Tocmai de aceea pentru a se reduce la minim această posibilitate o importanță deosebită o are modul în care se gestionează fluidul răcit deja, după folosirea lui. Această utilizare reprezintă în prezent o operațiune importantă în aplicațiile energiei geotermale. Mai mult de 95% din fluidul extras este deseori reinjectat în rezervor ca apă, contribuind la limitarea pierderilor de presiune și înlocuirea cel puțin parțială a fluidului extras.

Foarte importantă este din acest punct de vedere alegerea zonelor și stabilirea adâncimii de reinjectare, sau a vitezei optime de injectare a fluidului rezidual. Un ajutor neprețuit în stabilirea acestor parametri îl oferă modelarea. Oricum, cheia succesului pentru un proiect geotermal constă în a se asigura, printr-o atență evaluare și monitorizare a rezervorului, o durată de exploatare a acestuia care să fie cel puțin egală cu timpul de viață a instalației geotermale. Experiența dobândită până în prezent arată că în practică, un management corect al rezervorului poate asigura o rezervă suficientă de abur, chiar pentru mai multe decenii.

2.7. Originea aburului și a apei fierbinți din zăcămintele geotermale

Prima ipoteză științifică asupra originii zăcămintelor geotermale, a fost avansată la începutul secolului XX de geologul italian Bernardino Lotti. În acele vremuri zăcămintul Larderello în Toscana (Italia), era singurul studiat sub aspect geologic, pornindu-se de la existența unei exploatare industriale a acidului boric din izvoarele termale și aburul natural debitat de puțurile de adâncime mică din zonă. B. Lotti a încercat să explice științific originea marilor cantități de acid boric din aceste fluide fierbinți. În acel moment se știa deja că magma granitică, poate conține apă, ce este degajată în timpul răcirii și cristalizării ei, la anumite adâncimi față de suprafață. Din aceasta el a tras concluzia că aburul și apa bogată în bor, de la Larderello, își are originea într-o intruziune magmatică aflată în adâncime. Din acel punct, aburul ajunge la suprafață printr-un sistem de falii și fisuri și care constituie căile de acces a fluidelor spre suprafață. Conform acestei prime ipoteze, aburul geotermal era considerat ca fiind de origine magmatică.

Mai mult de o jumătate de secol, teoria originii magmatică a rămas singura explicație geologică a originii aburului. Abia în 1953 când geologul francez Jean Goguel, și-a prezentat propria sa opinie asupra regimului termal al apelor subterane, conceptul lui Lotti a fost contestat. Goguel a demonstrat analitic că o magmă granitică ce suferă în adâncime un proces de răcire, poate încălzi apa de ploaie existentă în straturile geologice din jur până la punctul de fierbere. Conform acestei ipoteze originea principală a aburului o constituie apa de ploaie ce se infiltrează de la suprafață în rezervor. Un procentaj mic, mai puțin de 10 % din cantitatea de abur poate fi cu toate acestea de origine magmatică.

De altfel, cu trei secole mai înainte, părintele iezuit Athanasius Kircher, în cartea sa "Mundus Subterraneus" (Lumea subterană) publicată la Amsterdam în 1678, afirma că focul din adâncurile Pământului (Magma) trece pe lângă caverne subterane umplute cu apă. Când această apă este încălzită sau vaporizată, iese la suprafață sub formă de izvoare fierbinți sau fumarole. Teoria lui Goguel asupra originii meteorice a aburului și apei fierbinți din zăcămintele geotermale, a fost confirmată ulterior (1956 și 1963) în mod independent de geochimistii H. Craig, G. Boato și D.E.White, care au studiat compoziția izotopică a raportului hidrogen/deuteriu și oxigen-16/oxigen-18 atât a apelor termale cât și a apei de ploaie din aceleași localități. Semnătura izotopică a fluidelor a arătat că ele aveau aceeași semnătură pentru deuteriu ca și a apei meteorice locale și s-a tras de aici concluzia că ele nu puteau fi de origine magmatică. Din contră, substanțele dizolvate din fluidele geotermale puteau fi derivate din reacțiile rocă-apă. De fapt, în acest sens s-a demonstrat că toate substanțele dizolvate din fluidele geotermale pot fi derivate din reacțiile ce au loc între apa subterană de origine meteorică și litologia rocilor în care este cantonată. Dacă practic nu există nici o îndoială că fluidele geotermale sunt predominant de origine meteorică, trebuie să subliniem însă faptul că acest aspect nu trebuie privit în sens foarte strict.

Datele izotopice permit aprecierea că aproximativ 5-10% din fluid provine dintr-o sursă alternativă, posibil o soluție magmatică bogată în săruri. Amestecându-se chiar cu o asemenea cantitate mică de soluție magmatică compoziția finală a fluidului geotermal poate fi semnificativ afectată iar determinările izotopice nu pot să nu țină cont de o asemenea contribuție. În secundar însă aceasta este diluată de apele meteorice. În plus considerații de natură geochimică indică faptul că ar fi necesare volume de rocă impresionantă, ireal de mari, ce ar trebui să sufere un proces de segregare magmatică peste timpul de viață a unui sistem geotermal. De aceea asupra compoziției fluidului geotermal se poate vorbi mai degrabă de o contribuție magmatică mică dar semnificativă.

Această explicație dată originii aburului și apei fierbinți a avut efecte importante în explorarea și exploatarea ulterioară a unui zăcământ geotermal, prin schimbarea fundamentală a țăintelor propuse a fi atinse în fiecare din cele două etape. Dacă inițial forajele vizau atingerea sistemului de falii și fracturi și care se admitea că facilitează ascensiunea aburului de la magmă spre rocile mai puțin adânci dinspre suprafață, ulterior în baza ipotezei originii meteorice, ținta oricărei explorări în domeniu s-a modificat.

Ceea ce se urmărea acum era săparea forajelor în zonele ce indicau posibilitatea crescută a existenței în adâncime a unui rezervor geotermal, cu un volum adecvat de roci permeabile care să găzduiască fluidele fierbinți încălzite de o sursă de căldură, și prezența la suprafață a unui areal de reîncărcare care să asigure alimentarea constantă a rezervorului.

O altă consecință, la fel de semnificativă este vizibilă în domeniul exploatării. Atâta vreme cât originea aburului se admitea că este de origine magmatică, prea puțină importanță s-a acordat condițiilor hidrogeologice din zăcământ. Apa conținută de magma granitică se presupunea că este capabilă să susțină producția de abur pentru o perioadă îndelungată. Din momentul luării în considerare a ipotezei originii meteorice trebuie, ca o consecință, să se aibă în vedere echilibrul hidraulic și termal al zăcământului. Apa fierbinte și aburul produși de foraje trebuie înlocuite, cel puțin parțial, cu apa meteorică ce se infiltrează în adâncime în areale situate la o anumită distanță de zăcământ și care ulterior se încălzește de la rocile fierbinți prin care se deplasează. Consecința acestei noi înțelegeri a originii aburului, este un punct de vedere acceptat azi în mod curent și anume că energia geotermală nu este în întregime o sursă de energie regenerabilă.

Experiența de până acum demonstrează că această opinie este valabilă, în cazul unui ritm de extracție a fluidelor mai rapid decât posibilitatea reînlocuirii acestora în rezervor. Este vorba de fapt de păstrarea unui echilibru rațional între ritmul extracției și capacitatea naturală de refacere și menținere a zăcământului. La scara timpului geologic însă spre deosebire de celelalte tipuri de zăcăminte, energia geotermală este o sursă regenerabilă.

2.8. Posibilități de utilizare a energiei geotermale

Energia reînoibilă reprezintă energia disponibilă care apare în natură și se reface continuu, economic exploatabilă în condițiile actuale sau într-un viitor previzibil.

Dintre energiile reînoibile, cea produsă de hidrocentrale este folosită de mult timp, dar puterea hidraulică nu poate fi mărită oricât, impactul ecologic și social generat de hidrocentrale devenind tot mai problematic.

Din categoriile energiilor reînoibile, un loc aparte l-a constituit și îl constituie energia zăcămintelor geotermale.[Ros.'99]

În accepțiunea specialiștilor, utilizarea energiei geotermale se împarte în două categorii:

1. *utilizare directă*
2. *utilizare indirectă.*

Prin *utilizare directă* se înțelege folosirea energiei termice a apelor geotermale prin transfer de căldură direct unui utilizator sau prin intermediul altui fluid. Utilizarea directă a energiei geotermale se împarte în patru grupe:

- încălzirea încăperilor și prepararea apei calde menajere;
- utilizări agricole (sere, acvacultură, piscicultură);
- balneologie;
- utilizări industriale.

Utilizarea indirectă se realizează utilizând energia fluidului geotermal în turbine sau prin intermediul centralelor electrice binare pentru producerea de energie electrică.

Domeniul de utilizare depinde de temperatura fluidului geotermal.

Lindal a studiat principalele domenii în care energia geotermală poate fi utilizată în condiții de eficiență tehnico-economică, în funcție de temperatura fluidului geotermal [Dick.1'90], a realizat o diagramă care îi poartă numele, prezentată în Figura 2.10.

Utilizarea energiei geotermale în România se realizează în 38 de localități în care există resurse geotermale, fiind puse în funcțiune 98 de sonde (din care 37 pentru băi și balneologie) cu o utilizare totală și maximă, cu o medie a temperaturii de 71°C pentru admisie și 28°C pentru evacuare.

Capacitatea totală este de 152 MW_t (t=termic) care produce anual 2.870 TJ. Utilizarea directă a energiei geotermale se realizează, în principal, pentru: încălzirea spațiilor–37,4%, băi și înot incluzând balneologie–30,4%, încălzirea serelor–23,1%, utilizări industriale–7%, piscicultură și ferme naturale–2,1%, cu un factor de capacitate de 0,6% [Coh.'00].

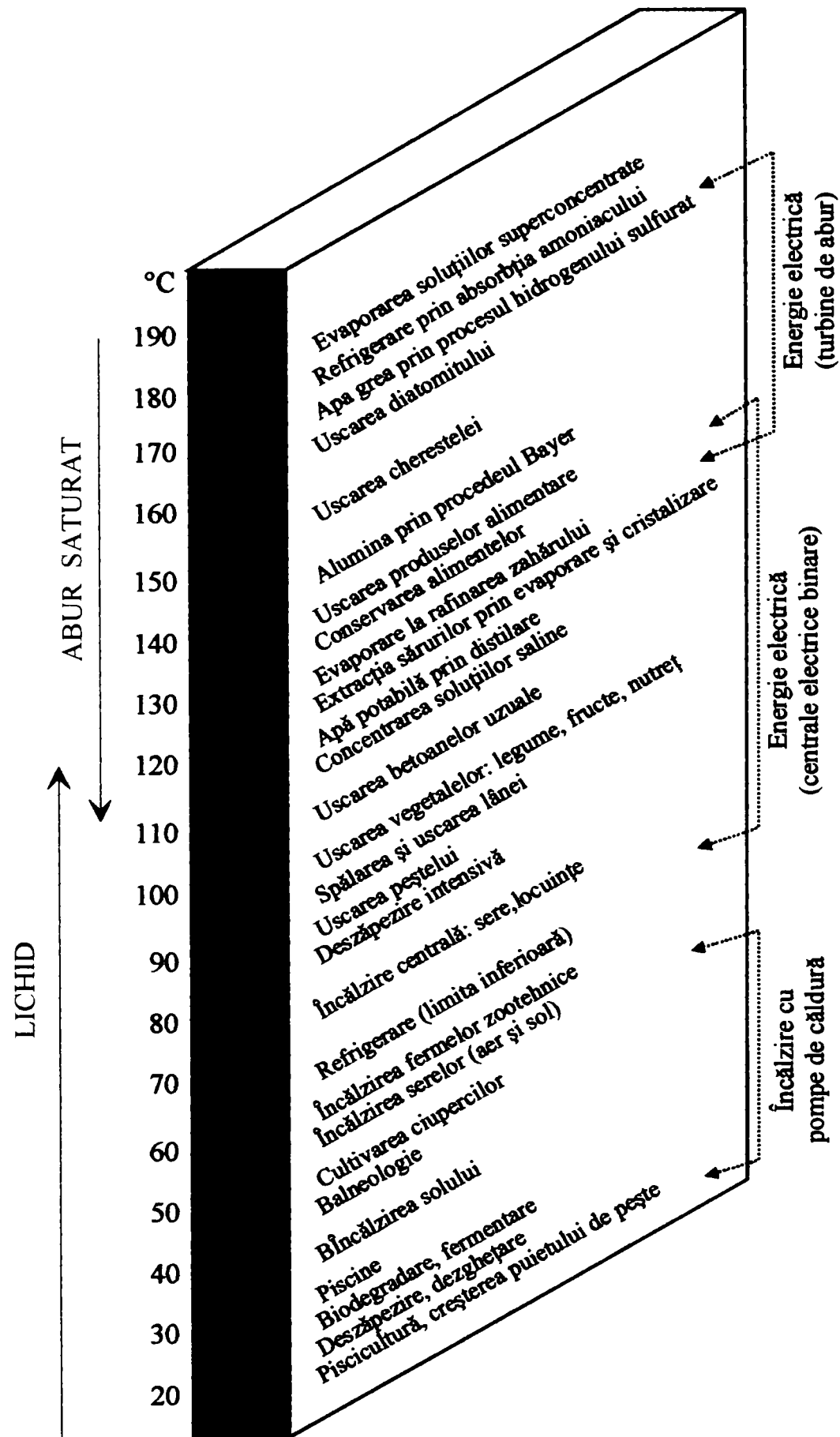


Figura 2.10. Diagrama Lindal

2.8.1. Conversia energiei geotermale în energie electrică

CONDIȚII GENERALE CARE SE IMPUN UNEI SCHEME DE GENERARE A ENERGIEI ELECTROGEOTERMALE

Scăderea treptată a resurselor de combustibili naturali și poluarea intensivă a mediului înconjurător au determinat cercetări importante cu privire la obținerea de noi surse de energie. Estimările efectuate asupra zăcămintelor de combustibil de pe planeta noastră au demonstrat faptul că rezervele de combustibil organic, la nivelul actual de exploatare, nu vor satisface necesitățile energetice mai mult de 140-150 de ani. Zăcămintele de combustibili de calitate superioară, cum sunt petrolul și gazele naturale, vor fi complet epuizate în 40-70 de ani. Dezvoltarea intensivă a energiilor atomice și termonucleare poate rezolva problema epuizării resurselor de combustibili naturali, dar poluarea mediului ambiant duce la restricții severe care se impun la proiectarea și construirea unor asemenea tipuri de centrale. Din acest motiv, cercetătorii din domeniu acordă din ce în ce mai multă atenție posibilităților de creștere a efectivelor resurselor de combustibili, în acest context impunându-se utilizarea resurselor energetice recuperabile de tipul: energie solară, energie eoliană, cea a mareelor oceanice și energia internă a pământului [Ung. '90].

În prezent, puterea energetică totală disponibilă datorită resurselor geotermale din Italia, Noua Zeelandă și Statele Unite ale Americii depășește 1.000 MW. Mai mult, costul producerii energiei electrogeotermale este mai mic decât costul producerii energiei electrice pe baza unor surse de energie atomică sau nucleară. Însă, marea majoritate a centralelor electrogeotermale funcționează pe baza energiei calorice de înaltă temperatură (200-250°C). Deoarece fenomenele termice cu temperaturi ridicate sunt rare, localizate în anumite zone și de volum mic, ele nu pot reprezenta surse energetice serioase în viitor [Geo. '94].

O mare parte din energia calorică internă a Pământului se caracterizează însă prin temperaturi scăzute, mai mici de 200°C. Astfel, dezvoltarea în viitor a geoenergeticii depinde în mare măsură de modul în care va fi rezolvată problema utilizării energiei cu temperaturi scăzute [Nex. '96].

Generarea de electricitate folosind surse geotermale implică determinarea răspunsurilor optime la următoarele trei întrebări privind potențialul resurselor și alegerea sistemului de conversie adecvat:

La ce temperatură și viteză a fluxului de curgere a agentului geotermal devine posibilă producerea de energie electrică din surse geotermale ?

Care ciclu de conversie și proces se vor alege ?

Care sunt factorii fizici și de mediu ce limitează producerea și utilizarea energiei dintr-o sursă geotermală dată ?

În consecință, proiectarea unui sistem de generare a energiei electrice din surse geotermale constă din dimensionarea centralei, alegerea ciclului, analizarea operativității și mentenanței procesului, selectarea materialului, utilizarea combustibilului geotermal și determinarea impactului asupra mediului ambiant. În special, în cadrul primelor etape menționate, legate de evaluarea resurselor, se impun condiții suplimentare de dimensionare [Nat. '92].

Capacitățile energetice proiectate și instalate depind de rezervele disponibile, de cerințele beneficiarului și de condițiile de piață. Evaluarea rezervelor geotermale impune realizarea unor foraje și a unor testări de producție, înainte ca să se decidă capacitatea și timpul de viață al zăcămintelor. În prima etapă de evaluare a rezervoarelor, capacitățile instalate ale centralei geotermale proiectată vor fi subestimate în comparație cu capacitățile

reale. Un astfel de caz este cel din zona Heber aflat în Imperial Valley din California, unde inițial, s-a instalat o capacitate mai mică decât 100 MW, în comparație cu capacitatea totală disponibilă de 500 MW pe durata a 30 de ani [Nex. '96]. Prin comparație, scăderea presiunii într-o centrală subliniază supradimensionarea acesteia. Ca urmare, în vederea unei utilizări corecte, dimensionarea centralei trebuie proiectată astfel încât să facă față cererilor de vârf fără a depăși parametrii proiectați.

Datorită costurilor de exploatare și de dezvoltare a resurselor, un ciclu trebuie ales astfel încât să realizeze o recuperare optimă a entalpiei fluidului geotermal de lucru. Pentru ca această condiție să fie îndeplinită este necesar ca toate componentele individuale ale sistemului de conversie să se caracterizeze prin eficiență maximă. Alegerea ciclului cu performanțe maxime, ceea ce înseamnă producție maximă și furnizare maximă de căldură, este influențată de termochimia apei sărate și de probleme asociate coroziunii și depunerilor. Solubilitatea elementelor depuse depinde de schemele folosite și implicit de presiune (gradațiile de carbon) și de temperatură (gradațiile de siliciu). Depunerile apar la sursă și pe suprafețele instalației. Folosind măsuri de protecție împotriva coroziunii și inhibitori ai depunerilor, presiunile și temperaturile de operare vor putea fi menținute deasupra nivelelor proiectate, pentru a se evita depuneri suplimentare și pentru o funcționare corectă de lungă durată [Nat.'92], [Nex.'96], [Tec.'93].

Termochimia nefavorabilă a fluidelor, care este o caracteristică a apelor sărate geotermale, determină creșterea costurilor pentru echipamente și tratamente, condiții severe de întreținere, temperaturi și presiuni de lucru ridicate. Toate acestea au ca rezultat apariția unor costuri suplimentare de exploatare și eficiență redusă a ciclurilor de utilizare [Cam.'91],[Bli.'95].

În funcție de dimensiunile de gabarit proiectate pentru o anumită centrală și de contextul socio-economic, o atenție deosebită trebuie acordată, în cadrul algoritmului de alegere a unui ciclu de funcționare, condițiilor de funcționare și de întreținere. În anumite situații, există posibilitatea renunțării la un ciclu mai eficient în favoarea altuia mai simplu, dar mai puțin costisitor și mai ușor de întreținut. Totodată, există cazuri când o centrală, aflată la distanță mare față de orice localitate sau unitate industrială, să fie eficientă din punct de vedere operațional, dacă este dotată cu un sistem de funcționare supra-automatizat [Bru.'96].

Odată ce o centrală electrogeotermală a fost construită și pusă în funcțiune, pentru a se menține producția constantă este necesar să se ia în considerare și condițiile impuse de funcționarea și de întreținerea forajelor (puțuri, pompe, etc.) și a sistemului de conducte pentru pomparea fluidului geotermal. În vederea alegerii tipului de material pentru construirea instalației geotermale care se proiectează este necesar să se țină cont de faptul că fenomenul de coroziune poate provoca distrugerii mari țevilor, conductelor și tuturor suprafețelor instalației, în cazul când se lucrează cu soluții sărate hiperacide și foarte calde. Este însă necesar să se menționeze faptul că aceste cazuri reprezintă o excepție deoarece faza apoasă are valori ale pH-ului apropiate de cele neutre, cuprinse între 6 și 6,5. Totodată, condensul aburului determină acidități pronunțate, ca rezultat al gazelor de tip H₂S și CO₂, prezente sub formă de vapori. Ca urmare, în general dacă nu există contact cu aerul, deci în lipsa oxigenului, corodarea suprafețelor echipamentului geotermal poate fi menținută la minimum. Informații legate de această problemă există din abundență în literatura de specialitate [For.'98], [Fon.'87], [Gaw.'98], [Par.'98], [Ram.'96].

Fabricanții de turbine și proiectanții de centrale realizează foarte des experimente pentru a testa comportamentul diferitelor tipuri de materiale, în cazul când sunt supuse unor diferite mecanisme de corodare, determinate de soluții sărate fierbinți, condensului și aburului [Shi.'98], [Tak.'98], [Tia.'95]. Concluziile obținute pe baza testelor efectuate au indicat faptul că materialele din oțel 13% Cr și oțel 316 inoxidabil sunt superioare [Grah.2'92], [Grah.3'92].

În același context s-a constatat faptul că în cazurile instalațiilor geotermale în funcțiune se degajă în atmosferă H_2S , în cantități apreciabile. Acesta duce la apariția SO_2 , care este cauza "ploilor acide", ceea ce determină corodarea materialelor aflate în aer liber (de exemplu a turnurilor de răcire) [Ram.'96].

În vederea micșorării efectelor negative ale corodării și ale depunerilor se poate interveni și asupra condițiilor inițiale de proiectare și de exploatare. Din acest motiv agenții de inhibiție și facilitățile de pretratament necesită alocarea unor investiții suplimentare [Min.'96]. Depunerile de Si sunt de departe cele mai incomode, deoarece încă nu s-au obținut agenți inhibitori eficienți. Dar metodele de control a creșterilor, urmate de filtrări, pot asigura condițiile ideale pentru o injecție bună cu pierderi mici [Ari.'98]. Aceste metode includ facilități suplimentare de tip cristalizatori "flash", agenți de limpezire a reactorilor, tancuri pentru depuneri, filtre pentru fluidizare și bucle de sacrificiu, toate acestea însă conducând la costuri suplimentare legate de funcționarea și de întreținerea lor. Unele dintre metodele subliniate mai sus sunt utilizate în diferite locuri din lume, cum ar fi Salton Sea-USA [U.S.'98] și LATERA-Italia [Nex.'96]. Pornind de la experimentele făcute, oamenii de știință au tras concluzia că atunci când este necesară realizarea unui proces de injecție în condiții optime, devine obligatorie utilizarea facilităților pentru prevenirea depunerilor, ceea ce are un efect pozitiv asupra întregii instalații.

În majoritatea câmpurilor geotermale separarea fazei lichide și a condensului aburului duce la obținerea unor lichide complet răcite (de exemplu: arsenic, mercur). Din considerente de mediu aceste pierderi de soluție sărată răcită trebuie să fie reinjectate. De exemplu, o centrală de 50 MW din Novosibirsk-Rusia, care prelucrează 20% din aburul dintr-o masă totală de curgere de 2.500 tone/oră, va furniza 2.000 tone/oră de soluție sărată răcită [Kut.'90]. Chiar și într-un câmp de abur supraîncălzit, cum ar fi regiunea The Geysers (SUA), condensul de apă dintr-o centrală de 110 MW va determina obținerea unei cantități de lichid de 8.000 m³/zi [Nex.'96]. Aceste observații trebuie luate în considerare la proiectarea centralelor, deoarece în special obturarea și înfundarea pompelor de injecție duce la oprirea producției, iar repunerea în funcțiune a capacităților de injecție duce la creșterea costurilor de întreținere a instalației și la scăderea randamentului acesteia. Din acest motiv, în anumite cazuri s-a realizat scurtcircuitarea pompelor de producție cu pompe de injecție în Japonia [Tom.'94], Italia [Mos.'98] și în El Salvador [Nas.'91]. Ca o concluzie, se poate afirma faptul că proiectarea corectă a instalațiilor de injecție a pierderilor de soluție sărată răcită are un impact pozitiv asupra factorului de încărcare a centralei [Ung.'90].

Atunci când instalația geotermală este plasată în zone seismice sensibile, procesul de injecție a lichidelor răcite trebuie să fie monitorizat, deoarece resursele geotermale din regiunile respective au entalpie ridicată. Cu toate că din punct de vedere teoretic procesul de injecție ar trebui să reducă riscul seismic, prin eliberarea ușoară a "stresului" straturilor geotermale, această modalitate devine mai puțin sigură în cazul zonelor tectonice locale. Rețele importante de monitorizare sunt instalate în zonele geotermale din Italia, de lângă Neapole, care sunt predispușe cutremurelor [Mos.'98]. O altă problemă legată de mediu, care trebuie luată în considerare în anumite cazuri, este determinată de subțierea straturilor geotermale. O astfel de situație există în Imperial Valley (USA) [Tec.'93], unde instalația a fost construită pe un teren de tip fermă, irigat și drenat. În acest caz a fost necesară o injecție susținută pentru a se consolida terenurile de subsol. Printre alte influențe asupra mediului sunt cele legate de zgomot, de manipularea combustibililor pe bază de hidrocarburi inflamabile, de îndepărtare a H_2S eliminat în atmosferă (în special condensat), de protejare a suprafețelor supuse aburului, etc. În concluzie, studiile de impact asupra mediului reprezintă un segment esențial în proiectarea centralelor electrogeotermale.

Randamentul termic real al unei centrale geotermale se definește pornind de la prima lege a termodinamicii, formula obținută putându-se aplica doar în cazul centralelor care funcționează după un anumit tip de ciclu.

Definiția este descrisă de relația [Dip.'97]:

$$\eta_{centr.} = W/Q$$

unde W este puterea totală generată de centrală (valoare netă), iar Q reprezintă căldura cedată în cadrul ciclului de funcționare de către fluidul de lucru.

Centrale cu abur de înaltă presiune

Cele mai des întâlnite centrale geotermale sunt de tipul cu abur de înaltă presiune, cu una sau mai multe trepte de presiune. Acest tip de centrale se utilizează în cazul când temperatura zăcământului de abur variază între 150-300°C, iar randamentul lor crește direct proporțional cu mărirea numărului treptelor de presiune. În figura 3.2 se prezintă variația raportului dintre randamentul unei centrale cu n trepte și cel al unei centrale cu o singură treaptă, în funcție de numărul treptelor de presiune.

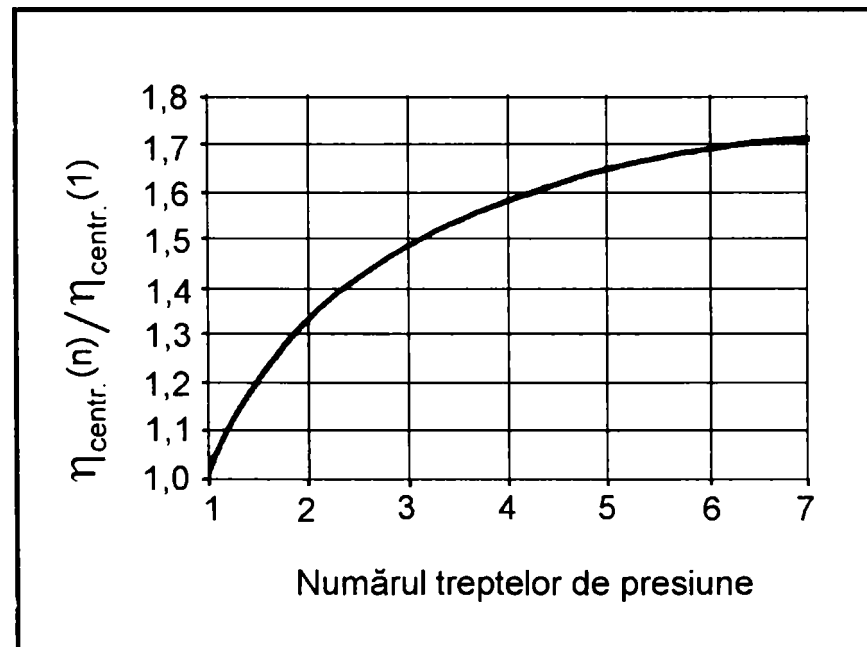


Figura 2.11. Variația raportului dintre randamentul unei centrale cu n trepte și cel al unei centrale cu o singură treaptă, în funcție de numărul treptelor de presiune

Cu toate că randamentul unei centrale cu abur crește direct proporțional cu numărul de trepte de presiune, din punct de vedere economic costurile centralelor din această categorie cresc foarte mult. Ca urmare, s-a observat faptul că un optim economic se obține pentru centralele cu două trepte de presiune [Gor.2'98].

În funcție de caracteristicile ciclului propriu de funcționare, centralele binare, care folosesc ca fluid de lucru o soluție geotermală salină fierbinte, se caracterizează printr-un randament termic de valori limitate. Această limitare este determinată de temperatura T_{11} a zăcământului și de temperatura T_{12} a stării finale. În cazul acestui tip de instalație, ciclul ideal de funcționare este cel de tip trilateral, construit cu baza pornind de la T_{12} și prelungind-o până la o valoare egală cu diferența dintre T_{11} și T_{12} . Valoarea maximă posibilă a randamentului termic este dată de relația [Dip.'97].

$$\eta_{\text{centr.max}} = \frac{T_{11} - T_{12}}{T_{11} + T_{12}}$$

În cadrul relației de mai sus este obligatoriu ca temperaturile să se măsoare în grade Kelvin. Această formulă determină procentul maxim din căldura introdusă în ciclu care poate fi convertită în energie electrică. Formula diferă atât de cea a randamentului de utilizare (care reprezintă procentul maxim din energia soluției saline, ce poate fi convertită în lucru mecanic), cât și de cea a randamentului Carnot (care determinăm procentul maxim din căldura introdusă în ciclu, ce poate fi convertită în lucru mecanic într-un ciclu cu o singură sursă de căldură izotermă). În Figura 2.12. se prezintă variația limită a randamentului termic, pentru o temperatură a stării finale de 300°K (30°C), pentru intervalul de temperaturi tipice centralelor geotermale binare. Centralele geotermale de acest tip se pot caracteriza prin randamente de până la 50% din randamentul teoretic maxim, indiferent de temperatura zăcământului geotermal [Dip.2'87]. Din punct de vedere istoric, primele centrale geotermale binare nu erau simple. Proiectele lor includeau caracteristici care urmăreau îmbunătățirea randamentului scăzut al unui ciclu Rankine. În timp modalitățile de proiectare ale acestui tip de centrale au evoluat.

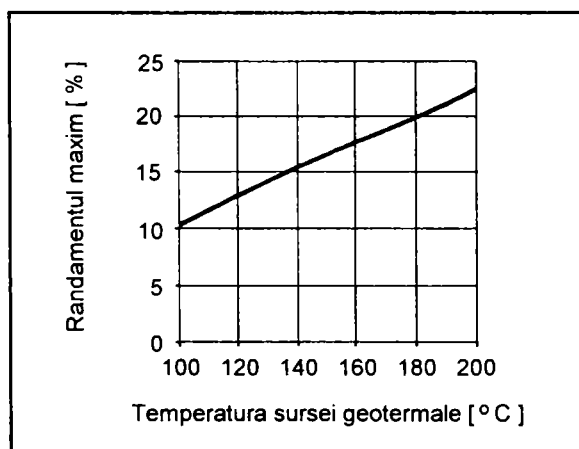


Figura.2.12. Randamentul termic teoretic maxim al unei centrale geotermale binare în cazul unei temperaturi a stării finale de 30°C

Ca urmare, aceste instalații au devenit de dimensiuni mai mici, modulare, automatizate, cu posibilități de testare și control. Cu toate acestea, randamentele ce le caracterizau aveau valori mici, ele fiind limitate de aspecte termodinamice determinate de folosirea unor cicluri cu sursă de energie de nivel scăzut. Ulterior, urmărindu-se îmbunătățirea caracteristicilor termodinamice ale circulației fluidului de lucru în schimbătoarele de căldură din centrală, s-a obținut creșterea randamentului pentru un ciclu binar Rankine clasic. Cu toate acestea, randamentul absolut de utilizare al centralei rămâne relativ scăzut, de aproximativ 25-30% (valoare netă).

La proiectarea centralelor hibride se combină două sau mai multe tehnologii convenționale, adică două sau mai multe centrale, într-o singură unitate. O centrală hibridă se poate caracteriza printr-un randament total de utilizare de valoare mai mare decât cel pe care l-ar putea obține oricare dintre centralele individuale care intră în componența ei.

Din punct de vedere istoric se consideră că primul proiect de acest tip a fost realizat de către P.Cauforier în 1942 [Dip.'97]. Acesta a conceput o centrală cu abur de înaltă presiune, cu patru trepte de presiune și cu sistem de supraîncălzire prin ardere cu combustibil fosil. În acest mod s-a obținut creșterea temperaturii vaporilor de abur înainte de intrarea în turbină.

O centrală hibridă poate fi proiectată în mai multe feluri, folosindu-se structuri pe verticală sau pe orizontală. De exemplu, se poate combina o structură de centrală cu abur de înaltă presiune, cu o singură treaptă de presiune, cu o structură de centrală binară pe orizontală funcționând după un anumit ciclu. În altă situație, se pot combina una sau mai multe centrale cu abur de înaltă presiune, cu o singură treaptă de presiune, cu o centrală de același tip, dar cu două trepte de presiune.

CENTRALE CU UTILIZĂRI MULTIPLE

Conceptul de cogenerare este foarte des utilizat în industrie, existând totodată aplicații geotermale corespunzătoare acestui concept. Ca urmare, centralele geotermale cu utilizări multiple combină procesul de generare a energiei electrice cu aplicațiile directe de utilizare ale căldurii geotermale. De exemplu, fluidul geotermal fierbinte, care se pierde într-o centrală, poate fi reutilizat în sistemele de încălzire locativă, această aplicație fiind foarte des întâlnită în practică [Dip.1'87], [Dip.2'87], [Gor.2'98].

În figura 2.13 se prezintă schema simplificată a unei combinații compuse dintr-o centrală de producere a energiei electrice și o centrală de încălzire [Dip.1'87], [Dip.2'87]. O aplicație similară se utilizează și în cadrul Universității din Oradea, la încălzirea clădirilor din incinta universității, ale celor din campusul universitar și ale unor anexe (sere, piscine, etc.) [Gor.Mag.'98].

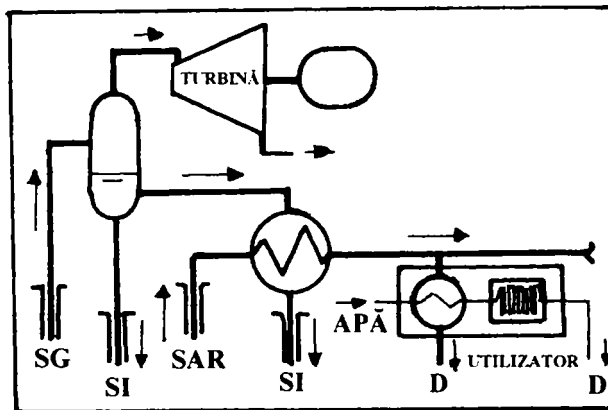


Figura 2.13. Schemă care combină o centrală de producere a energiei electrice cu abur de înaltă presiune, cu o singură treaptă de presiune, cu un sistem de încălzire locativă.

SG = sonda geotermală; SAR = sonda de apă rece; SI = sonda de injecție;

APĂ = conducta principală de apă; D = golire, scurgere

2.8.2. Utilizări directe

A. Încălzirea încăperilor și prepararea apei calde menajere

Dezvoltarea aplicațiilor privind utilizarea apelor geotermale pentru încălzirea încăperilor și prepararea apei calde menajere a fost determinată de aspectele economice care apar la încălzirea încăperilor folosind combustibil clasic precum și de criza energetică actuală. Utilizarea în acest scop a apei geotermale [Harr.'93] se realizează în aproximativ 40 de țări, din care, 14 țări au fiecare o capacitate instalată de peste 100 MW_t; capacitatea totală instalată fiind de aproximativ 12.000 MW_t.

Prima încălzire rezidențială în lume, folosind apă geotermală, a fost în Chaude Aigues (Franța) în secolul XIV, iar primul sistem de încălzire folosind apă geotermală a fost realizat în 1930 la Reykjavik (Islanda). Și în alte țări, precum Japonia, China, Italia, SUA, etc. a fost folosită apa geotermală pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde menajere.

În România se folosește apa geotermală pentru încălzire, elocvent în acest sens fiind municipiul Oradea unde se asigură încălzirea unui întreg cartier de locuințe cu apă geotermală; menționăm, de asemenea, că Universitatea din Oradea este printre cele trei universități din lume care utilizează apa geotermală pentru încălzire și prepararea apei calde menajere pentru întreg campusul universitar.

Pentru alegerea unei soluții constructive viabile din punct de vedere tehnologic și economic, trebuie să se țină cont de caracteristicile resursei geotermale disponibile, mai ales de compoziția chimică a fluidului geotermal și de temperatura și presiunea la capul de exploatare al sondei. Dacă fluidul geotermal nu prezintă pericol de coroziune sau de depunere, sau dacă pot fi prevenite ușor și ieftin, prin aditivare chimică, acesta poate fi utilizat direct ca agent termic în sistemul de încălzire.

În cazuri foarte rare apa geotermală respectă condițiile impuse de standarde pentru apa potabilă, fiind în acest caz utilizată direct și ca apă caldă menajeră, de exemplu în Islanda. Aparatele termice utilizate pentru încălzirea încăperilor pot fi de tip convectiv (calorifere uzuale din fontă, calorifere din tablă, țevi aripate, serpentine sau fascicule de țevi ventilate forțat, etc.), care necesită agent termic cu temperatură mai mare (70÷90°C), sau panouri radiante (serpentine sau fascicule de țevi încastrate în pereți sau planșee), care necesită agent termic cu temperatură mică (40÷50°C).

Există mai multe tipuri de sisteme de încălzire a spațiilor, dintre care amintim: sisteme de încălzire cu corpuri statice; sisteme de încălzire cu aer cald; sisteme de încălzire prin radiație

SISTEME DE ÎNCĂLZIRE CU CORPURI STATICE

În acest caz, încălzirea întregii locuințe se face cu ajutorul căldurii produse într-un singur generator de căldură (cazan) și este transportată în fiecare încăpere printr-o rețea de țevi, folosind agent intermediar apa caldă. Cea mai răspândită soluție este folosirea agentului termic la 60÷90°C, în corpuri statice, asigurând posibilitatea reglării temperaturii atât centralizat, cât și local în fiecare încăpere. Dezavantajul sistemului este temperatura relativ mare de agent termic care scade randamentul termic al cazanului prin evacuare de gaze arse.

Corpurile statice se execută într-o varietate mare din oțel, fontă sau aluminiu, ajungând la randamente energetice ridicate. Prin sistemul folosit în ultimele decenii, odată cu apariția pompelor mici de recirculare, s-a ajuns ca încălzirile familiale să fie de tipul forțat,

reducând astfel diametrul țevilor din circuite, implicit, reducând cantitatea de apă din sistem, având astfel o inerție mică, care răspunde prompt la comenzi.

În funcție de realizarea distribuției, sistemele se pot împărți în următoarele categorii:

Distribuție monotubulară

Distribuție bitubulară

Distribuție Tichelmann

Distribuția monotubulară este cea mai ieftină și mai simplă posibilitate de realizare, unde agentul termic parcurge, în toată cantitatea lui, radiatoarele înseriate. Sistemul folosește energie mai mare de pompare (pierderi hidraulice mai mari) și este greu de reglat local. În general, pentru o echilibrare termică mai bună se utilizează circuite cu diferență de 10°C între tur și retur.

Există diferite forme de racordare a caloriferelor în astfel de instalații: Aplicarea unei diafragme pe legarea caloriferului—metodă rar utilizată din cauza rezistenței hidraulice mult mărită; Tub Venturi aplicat la racordul returului în conducta principală, aspirând cantitatea necesară de agent pentru calorifer; Racordarea cu robinet cu trei căi sau patru căi pentru împărțirea agentului; Folosirea robinetelor speciale pentru sisteme monotubulare.

Între avantajele sistemului, amintim: realizarea distribuției pe nivele în vederea contorizării ușoare, consum de material mai scăzut ca la alte sisteme; iar dintre dezavantaje: reglare greoaie, reducerea confortului termic, în cazul unei defecțiuni se oprește căldura în tot sistemul, crește suprafața de încălzire a corpurilor de calorifere, din cauza scăderii temperaturii agentului.

Sistemul de *distribuție bitubulară* este cel mai utilizat sistem de încălzire. Fiecare corp de încălzire se leagă la o conductă separată de tur, respectiv la una de retur, unde cele două, având practic trasee comune, agentul termic în corpuri va fi același. Randamentul de încălzire a corpurilor depinde de reglajul hidraulic corect al instalației. Există instalații atât cu distribuție superioară, cât și inferioară.

La *distribuția inferioară*, turul și returul se fixează în plafonul încăperilor inferioare (subsol, nivel tehnic). De aici se pleacă cu coloane verticale pentru racordarea corpurilor. La capătul coloanelor se montează aerisiri automate sau manuale.

La *distribuția superioară*, conducta de distribuție tur este montată la nivelul cel mai înalt al încăperii, de unde coboară legăturile spre corpurile de încălzire și, în continuare, de la ele spre conducta de retur care duce agentul înapoi spre punctul termic. Aerisirea este rezolvată centralizat.

Sistemul de distribuție *Tichelmann* reprezintă o variantă specială, având toate conductele de tur și retur de aceeași lungime pe un diametru; astfel, pierderile vor fi egale pe corp de încălzire. Sistemul se execută cu un consum de material mai mare, dar se realizează o echilibrare perfectă.

SISTEME DE ÎNCĂLZIRE CU AER CALD

Sistemul de încălzire cu aer cald poate utiliza orice tip de agent termic, care poate ridica temperatura aerului. Aerul cald este recirculat prin încăpere, prin aparate locale, ori prin intermediul unui sistem de tubulaturi cu agregate centrale.

Aceste sisteme pot fi cu circulație naturală sau forțată.

La circulație naturală, aparatul se dispune în loc central, cedarea de căldură realizându-se prin mișcarea naturală a aerului încălzit, datorită diferențelor de greutate specifice.

La circulație forțată, se folosesc aeroterme sau convectoare.

Încălzirea cu convectoare. Folosește agent termic apă sau abur, preparate centralizat, cu care încălzește aerul recirculat din încăpere și cel prelevat direct din exterior, trecându-l printr-un schimbător, forțat, de un ventilator.

Avantajele metodei sunt tubulaturile de secțiune redusă, creșterea randamentului, diferențierea calității aerului, mărirea calităților acustice ale sistemului, folosirea unei game de temperaturi de agent termic mult mai mare, practice, între 30 și 130°C.

Dezavantajul constă în cheltuieli de instalare mai mari decât la sistemele clasice cu corpuri de încălzire.

Încălzirea cu aeroterme. În acest caz, sistemul nu mai folosește agent intermediar, preparând aerul cald în mod direct, folosind combustibili clasici.

SISTEME DE ÎNCĂLZIRE PRIN RADIATIE

Încălzirea prin radiație folosește cedarea de căldură prin radiație a suprafețelor calde. Încălzirea suprafețelor se poate face ori prin combustibili clasici, în mod direct (corpuri radiante), ori prin încălzirea suprafețelor plane din încăpere (pardoseală, plafon, pereți). Sistemele folosesc agent termic primar cu temperaturi scăzute 40÷50°C, făcând posibilă utilizarea cu randament bun a energiilor neconvenționale (solară, geotermală, etc.). Transmiterea căldurii prin radiație face ca sistemul să poată oferi un confort termic mai bun și în cazul unor temperaturi reduse din încăperi.

Încălzirea de tavan Se realizează prin mai multe variante: Țevi de încălzire în structura de beton (podea tip Crittal), țevi în care circulă agent termic de 40÷90°C; mărind grosimea tavanului cu 5 cm. se realizează un monolit radiant. Încălzire în plafon cu lamele, sistem la care țevile cu agent termic sunt încadrate în lamele de aluminiu, care joacă și rol de susținere a tavanului fals sau a tencuiei. Se folosește agent termic de temperaturi ridicate. Plăcile radiante, sunt plăci din material metalic încălzite cu serpentine de agent termic de temperaturi medii, care joacă rolul unui tavan fals. Corpuri radiante negre sau luminoase, compuse din țevi transparente sau de culoare închisă în care se arde combustibil gazos. Temperaturile sunt la valori de peste 300°C, efectul radiant fiind mărit de aripi reflectorizante din materiale speciale.

În varianta *încălzirii de pardoseală*, țevile sunt dispuse în șapă în care circulă agent termic cu temperatura medie de 35÷40°C. Căldura este cedată prin radiație în încăpere, transmiterea în jos fiind oprită de stratul izolant dispus sub serpentina de țevi. Printre avantajele sistemului se numără: dispariția sistemului de încălzire din interiorul încăperilor, posibilitatea folosirii agentului de temperaturi scăzute, investiție redusă. Dezavantaje: costuri de reparații mari, greutate de echilibrare hidraulică a sistemului, inerție mare la sistem.

Sistemul de *încălzire de perete* a apărut ca posibilitate de încălzire odată cu apariția tencuiei speciale cu lianți. Este practic același mod de realizare ca la încălzirea de pardoseală, prin serpentina de țevi. Temperaturile de lucru sunt cuprinse între 30÷60°C.

B. Utilizări industriale

Odată cu dezvoltarea tehnologiei, a devenit posibilă utilizarea directă a energiei geotermale pentru încălzirea spațiului de locuit și pentru a asigura căldură în procese industriale. În Europa, acest tip de utilizare a energiei geotermale este încă rar și limitat la câteva țări.

DOMENII DE UTILIZARE

Domeniile posibile de utilizare a energiei geotermale sunt numeroase (figura 3.10.) [Popovska, '00]. Practic, oriunde este necesară o temperatură relativ joasă (sub 150°C), aceasta

poate fi obținută din apa geotermală. În funcție de structura procesului industrial, utilizarea energiei geotermale poate fi independentă sau în combinație cu energie calorică de altă origine (combustibil fosil, electricitate, bioenergie etc.).

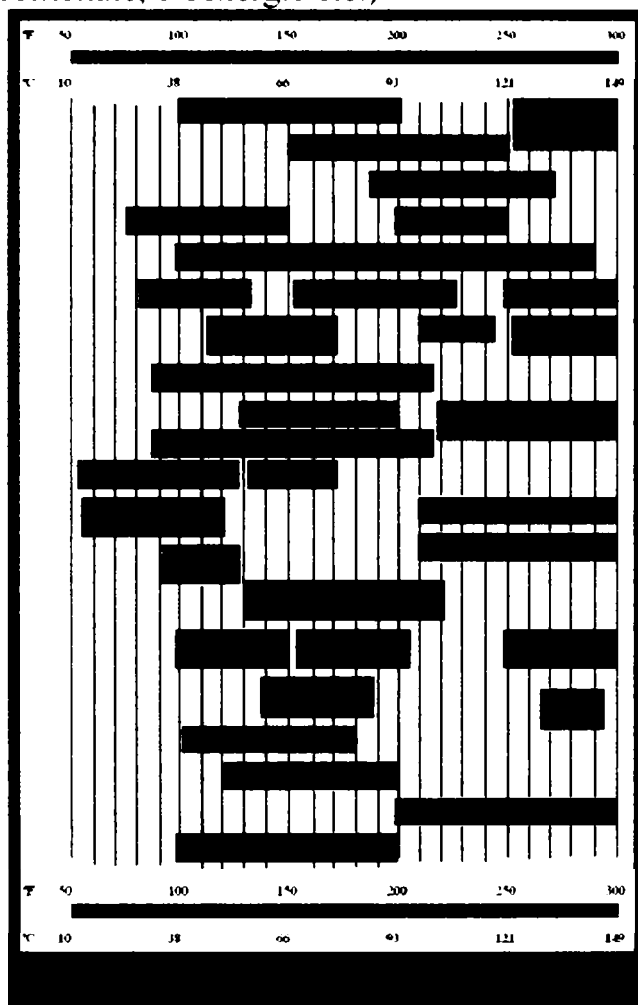


Figura 2.14. Utilizarea energiei geotermale pentru procese industriale și agricole

PROCESE INDUSTRIALE DE BAZĂ CU APLICAȚII ALE ENERGIEI GEOTERMALE

În aplicațiile industriale, energia geotermală asigurată de fluid geotermal având temperatura sub 150°C este utilizată în procese de bază dintre care amintim [Popovska, '00]:

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| <i>preîncălzire;</i> | – <i>spălare;</i> |
| <i>decojire;</i> | – <i>evaporare;</i> |
| <i>distilare;</i> | – <i>sterilizare;</i> |
| <i>uscare;</i> | – <i>congelare.</i> |

Preîncălzire și încălzire

Energia geotermală poate fi utilizată eficient în multe ramuri industriale pentru a preîncălzi apa introdusă într-un cazan sau în alte sisteme. Ca urmare a faptului că, în multe situații, apa care alimentează un cazan are temperatura scăzută, respectiv 10÷16°C, consumul energetic pentru a ridica temperatura apei la 95÷150°C (temperatură considerată acceptabilă în mod obișnuit la intrarea apei în cazan) este însemnat. Aceasta impune o sarcină considerabilă asupra cazanului (boilerului) pentru preîncălzirea apei de intrare.

Resursa geotermală poate fi utilizată pentru a se descărca cazanul de o parte sau de întreaga sarcină de preîncălzire. Multe ramuri industriale utilizează pentru diferite procese, cantități mari de apă de alimentare care poate fi preîncălzită sau încălzită cu fluid geotermal până la temperatura de utilizare.

Spălare

Cantități mari de energie de temperatură joasă ($35\div 90^{\circ}\text{C}$) se consumă în câteva industrii pentru spălare și curățare. Un consumator principal este *industria alimentară* cu utilizări majore în: procesarea cărnii; pentru pasteurizare; în producerea băuturilor răcoritoare pentru spălarea sticlelor și ambalajelor (77°C); în prelucrarea cărnii de pui și industria conservelor precum și în alte ramuri alimentare. *Industria textilă* este un alt mare consumator de apă de spălare cu temperatura de 90°C . Cantități mai reduse se folosesc în *industria maselor plastice* ($85\div 90^{\circ}\text{C}$) și a pielăriei (50°C). Cantități însemnate de apă fierbinte și alte fluide calde la temperaturi de sub 90°C sunt utilizate în *industria de prelucrare a metalelor*, în *industria constructoare de mașini* și *echipament de transport*, pentru degresarea pieselor, în procesele de spălare, etc.

Decojire și înălbire

În procesul tipic de decojire, produsul este introdus într-o baie fierbinte, care poate fi caustică, iar coaja sau stratul exterior, după înmuiere, este răzuit mecanic sau îndepărtat prin spălare. Echipamentul de decojire este de tip flux continuu în care aburul sau apa fierbinte este aplicată direct pe produs sau indirect prin încălzirea băii. În majoritatea cazurilor, timpul de procesare este scurt.

Operațiunile de înălbire sunt similare celor de decojire. Produsul este de obicei introdus într-un mediu controlat pentru a inhiba acțiunea enzimelor, asigurarea protecției suprafețelor, etc. Din aceste considerente, fluidele utilizate pentru înălbire trebuie să aibă proprietăți specifice. Astfel, este neindicată folosirea fluidelor geotermale direct în procesele de înălbire și decojire din cauza calității apei. Fluidele geotermale ar putea totuși asigura energie prin schimbătoare de căldură. Intervalul de temperatură pentru majoritatea sistemelor de decojire și înălbire este $77\div 104^{\circ}\text{C}$.

Evaporare și distilare

Evaporarea și distilarea sunt operațiuni de bază în multe fabrici de prelucrarea produselor agricole, care ajută la concentrarea unui produs sau la separarea produselor prin distilare. Cerințele sursei de temperatură variază în funcție de produsul distilat. Totuși, în majoritatea proceselor agricole, apa este eliminată; și în aceste cazuri temperaturile tipice de operare sunt de $82\div 120^{\circ}\text{C}$. În unele situații, evaporarea se realizează la presiuni reduse care descresc nevoile de temperatură și îmbunătățesc calitatea produsului.

Evaporarea se utilizează în mod curent în prelucrarea zahărului, distilarea mentei și procesarea băuturilor spirtoase organice. Evaporarea, în funcție de necesitățile de temperatură și flux, poate fi adaptată la energia geotermală ca sursă primară de căldură. Energia poate fi transferată prin schimbătoare secundare de căldură către fluidele de lucru, sau, în unele cazuri, utilizată direct ca evaporator, în funcție de concepția fabricii sau de adaptările la noile sisteme de extindere.

Sterilizarea (soluțiile de sterilizare)

Sterilizatorii sunt utilizați la scară largă în multe ramuri industriale și includ aplicații cum sunt echipamentele de sterilizare pentru industria conservării și a îmbutelierii. Majoritatea sterilizatorilor operează la temperaturi de $104\div 120^{\circ}\text{C}$ și pot utiliza energie geotermală cu ajutorul unui schimbător de căldură pe bază de apă potabilă.

Elemente specifice tehnologiei geotermale pentru aplicații industriale

Complexul tehnologic pentru funcționarea unui sistem geotermal în aplicații industriale cuprinde două părți principale.

Prima parte, include elementele generale ale sistemelor geotermale și acestea sunt: puț geotermal, conector la puțul geotermal sau o rețea de distribuție, conducte de transportare a fluidului, echipament pentru tratarea chimică a apei și un sistem de schimbătoare de căldură.

A doua parte constă în elemente specifice pentru aplicații industriale ale energiei geotermale; acestea sunt:

- sistem de extracție a aburului;
- sistem de urcare a fluidelor geotermale;
- echipament pentru modificarea parametrilor de lucru (presiune, temperatură și flux);
- aparate de procesare pentru implementarea proceselor tehnologice.

În scopul utilizării energiei geotermale ca sursă energetică în procesele industriale, ca urmare a proprietăților fizico-chimice ale fluidului geotermal, în construcția echipamentelor specifice instalațiilor respective trebuie prevăzute materiale corespunzătoare proprietăților apei geotermale pentru a evita coroziunea.

Fluidele geotermale cu salinitate ridicată vor cauza coroziunea ridicată și uniformă și localizată, și vor limita foarte mult utilizarea oțelurilor carbon. Utilizarea unor oțeluri „moi” în medii geotermale necesită precauții: trebuie luate măsuri pentru deaerație, debit, fluctuații, protejarea suprafețelor exterioare.

Dacă se iau măsurile de precauție cerute, oțelurile carbon pot fi utilizate pentru instalațiile cu pereți groși pentru majoritatea fluidelor geotermale. Instalațiile cu pereți subțiri vor fi limitate datorită pericolului ca materialul să fie afectat prin coroziune sau fisurare.

Optimizarea aplicațiilor industriale pe bază de energie geotermală

Aplicațiile industriale ale energiei geotermale vor urma două direcții în dezvoltare:

1. în utilizarea uzinelor și echipamentelor existente, și
2. în construirea unor noi instalații și tehnologii mai complexe, adaptate la utilizarea acestui tip de energie.

În primul caz, optimizarea trebuie văzută ca un instrument de examinare a avantajelor economice în utilizarea energiei geotermale prin comparație cu resursele clasice de energie. Această optimizare este determinată atât temporal cât și spațial. Optimizarea în interiorul sistemului însuși are scopul de a examina care dintre metodele utilizate în aplicarea energiei geotermale la echipamentul tehnologic deja existent este mai eficientă. Există două metode:

- utilizarea directă a fluidului geotermal tratat chimic;
- utilizarea schimbătoarelor de căldură ce folosesc fluidul geotermal pentru încălzirea circuitului secundar.

Planurile de eficientizare trebuie să includă anumite schimbări în procesul tehnologic, pentru a permite folosirea energiei geotermale concomitent cu asigurarea unui nivel maxim de energie.

În al doilea caz, optimizarea trebuie să cuprindă analiza matematică a numărului mare de factori decisivi în dezvoltarea unei anumite tehnologii industriale. Cei mai importanți dintre acești factori sunt: parametrii fluidului geotermal; structura chimică a acestuia; calitatea și prețul instalațiilor; parametrii și regimul procesului tehnologic însuși. Echipamentele pentru protecția mediului trebuie avute, de asemenea, în vedere.

În practica mondială, utilizarea energiei geotermale ca sursă de energie alternativă, poate fi de mare importanță. Aceasta, mai ales, în țările unde există un potențial geotermal ridicat. Contribuția majoră la dezvoltarea echipamentului tehnologic specific în utilizarea acestui tip de energie (foraje, pompe, echipament de transport, tratamentul chimic al fluidului, schimbătoarele de căldură, etc.) se realizează în țările avansate tehnologic, precum SUA și țările vest-europene.

Utilizarea industrială a energiei geotermale este încă la început în Europa. Totuși, existența unor câmpuri geotermale, precum și resursele insuficiente de energie convențională reprezintă provocarea pentru investigații viitoare în acest domeniu. Calitatea resurselor geotermale disponibile în Europa, dictează utilizarea acestui tip de energie în cadrul proceselor tehnologice la temperatură joasă. Aceste procese sunt semnificativ prezente în diferite ramuri ale industriei, preocuparea pentru diversificarea lor fiind întru totul legitimă.

C. Utilizări agricole

În toate țările lumii necesarul de legume se manifestă pe toată durata anului. Acest deziderat se poate îndeplini fie pe baza producției, fie prin preocuparea continuă pentru asigurarea unui consum ridicat de legume din import, fie folosind ambele posibilități. În țările mari producătoare de legume se observă, în ultimii ani, o creștere continuă a producției legumicole, care are loc însă nu pe seama extinderii suprafețelor cultivate, ci prin intensificarea sistemelor de cultură.

Exprimare corectă a acestei dezvoltări, limitată de data aceasta la nivelul legumiculturii, constă în concentrarea și specializarea producției, în folosirea rațională și intensivă a mijloacelor și forțelor de producție, precum și în perfecționarea tehnologiilor pe baza celor mai noi cuceriri ale științei și tehnici.

Serele acoperite au apărut în urma unui larg proces evolutiv, pornind de la adăposturi simple, construite din zid, cu un perete sau acoperișuri din sticlă. Astfel Fontanus (1426-1503) semnaleză, în perioada renașterii, apariția serelor încălzite pentru cultura lămâilor și portocalilor.

Delimitarea legumiculturii ca știință de sine stătătoare s-a produs pe măsură ce s-a trecut la aplicarea tehnologiei din ce în ce mai perfecționate, odată cu apariția și dezvoltarea culturilor forțate în sere și răsadnițe, sau protejate, în adăposturi din mase plastice sau sticlă fără o sursă permanentă de încălzire, unde marea majoritate a factorilor de mediu pot să fie dirijați de către om, cu trecerea la cultivarea plantelor legumicole după principii noi industriale, cu accentuarea tendințelor de specializare a producției și valorificarea acesteia. Această transformare a fost posibilă ca urmare a dezvoltării și perfecționării continue a bazei materiale. În același timp, odată cu trecerea de la cultura tradițională din câmp la cultura modernizată în sere, solarii etc., a crescut considerabil și nivelul de folosire intensivă a terenului, aceasta fiind exprimată prin coeficienți de echivalență cu culturile cerealiere revenind 12 ha pentru 1 ha cultivat cu legume de câmp, 150 ha pentru 1 ha cultivat cu legume în solarii și 200 ha pentru 1 ha cultivat cu legume în sere.

La producerea legumelor se utilizează o serie de spații cu condiții de mediu artificiale, create și dirijate în dependență de specificul producției. Astfel, la noi în țară se folosesc: *sere de tip industrial*, pentru cultura plantelor legumicole; *sere înmulțitor*, pentru producerea răsadurilor; *răsadnițe* cu încălzire tehnică și biologică, pentru culturi și producerea răsadurilor; *adăposturi înalte individuale și joase* din mase plastice transparente, pentru culturi și răsaduri; *suprafețe neprotejate cu încălzire subterană*, pentru culturi timpurii, amenajării cu soluții nutritive; *spații speciale* pentru cultura ciupercilor; *spații pentru păstrarea și etiolarea* unor legume.

Cu ajutorul unor astfel de mijloace cultura legumelor se poate efectua în tot cursul anului. Totodată, apelarea la mijloacele moderne de cultivarea legumelor a permis trecerea de la caracteristica activității sezoniere la aceea de activitate industrială, care se desfășoară în tot cursul anului pe baza unor fluxuri tehnologice specifice.

D. Aplicații medicale. Balneologie

Terapia balneară operează cu sisteme de excitanți aplicați ritmic și repetat asupra organismului, de obicei prin intermediul pielii, care este un organ bogat în receptori-senzori având importanță deosebită datorită funcției sale de barieră, atât față de agresiunile fizice (termice, mecanice, etc.), cât și față de agresiunile biologice (inclusiv funcția imunologică de apărare). Terapia cu apele balneare acționează prin dirijarea funcțiilor organismului, pe când cura internă cu apele minerale acționează farmacologic prin substanțele chimice conținute de apele minerale respective.

Metodele balneoclimatologiei fac parte din metodele terapeutice ce acționează prin intermediul proceselor de reglare neurovegetative, lor fiindu-le caracteristic faptul că funcționează printr-o alternanță fazică de procese diametral opuse și ritmice repetate periodic pe o durată de aproximativ 20 de zile. Curele balneare pot fi împărțite după obiectivele lor în trei mari grupe: cure profilactice, cure terapeutice și cure de recuperare medicală.

Curele profilactice

Condițiile îmbunătățite de muncă și locuit, datorită revoluției industriale și urbanizării, au dus la reducerea capacității de efort, sedentarism și instalarea *sindromului hipokinetic* care constă în diminuarea maselor musculare, reducerea capacității de efort și nu rareori la creșterea în greutate prin acumularea în exces a țesutului adipos.

Sindromul hipokinetic reprezintă un factor de risc pentru o serie de boli ale sistemului locomotor (tulburări de postură, afecțiuni ale tendoanelor, țesuturi periarticulare, etc.), boli cardiovasculare, respiratorii, digestive, renale, endocrine și chiar boli ale sistemului nervos.

Acțiunea continuă a stimulilor kinetici (mișcarea, presiuni discontinue, acțiunea gravitației, stimuli mecanici, ș.a.) este strict necesară menținerii organismului la un nivel funcțional corespunzător pentru a face față solicitărilor activității profesionale și condițiilor de viață ale fiecărui om. Cercetările experimentale au dovedit că animalele private de mișcare se dezvoltă mai greu, au o greutate mai mică, sunt expuse riscului îmbolnăvirilor și au o durată de viață mult mai redusă decât celelalte. Un interes deosebit prezintă adaptarea la rece, aflată în legătură cu capacitatea de apărare a organismului față de boli "a frigore": guturai, gripă, infecții streptococice, afecțiuni reumatismale inflamatorii, degenerative și articulare, etc. S-a dovedit că fiind eficientă expunerea unor suprafețe cât mai mari ale corpului în perioada verii la factori contrastanți (cald-rece) succesiv de câteva ori pe zi, minim 14 zile.

Cura balneară contribuie și prin dietoterapie și crenoterapie cu ape minerale pentru un bun drenaj biliar, diureză crescută, bună evacuare a tubului digestiv, secreție adecvată clorhidropeptică a stomacului. Pe lângă profilaxia primară, curele se utilizează și în profilaxia secundară și prevenirea recidivelor afecțiunilor cronice ale sistemului locomotor, aparatului digestiv, respirator, cardiovascular, etc. Curele profilactice urmăresc creșterea capacității adaptative a unor funcții sau a organismului în ansamblu, eventual înlăturarea unor tulburări de reglare neuroendocrine ale organismului.

Curele terapeutice

Terapia balneară completează medicina clinică, punând accent pe terapia de reacție și de reglare. Indicația nu se face doar ținând cont de afecțiunea predominantă, ci luând în considerare organismul în ansamblu cu toate "problemele" sale; asemenea asocieri se întâlnesc mai frecvent la vârstnici. Pentru unele categorii de bolnavi curele balneo-climaterice sunt contraindicate. Există contraindicații generale și relative, pe care le stabilește medicul curant. În concluzie, cura într-o anumită stațiune și perioada de cură se alege în funcție de particularitățile bolii, stadiul ei de evoluție, bolile asociate, etc.

Curele de recuperare

De acestea beneficiază în special bolnavii cronici, persoanele cu incapacitate de muncă, invalide. Prin cura balneară se preia o parte din aspectele recuperării medicale, aici aplicându-se metode corespunzătoare de prevenire și terapie a modificărilor secundare ce însoțesc boala de bază.

Principalele profile de patologie care pot fi recuperate sunt: afecțiunile sistemului locomotor posttraumatice ale membrilor, afecțiunile reumatismale inflamatorii și degenerative articulare și abarticulare, unele afecțiuni neurologice periferice și centrale (hemipareze, hemiplegii limitative, parapareze, paraplegii), afecțiuni cardiovasculare, afecțiuni cronice respiratorii.

E. Utilizarea în cascadă

Utilizarea în cascadă a energiei geotermale reprezintă utilizarea directă a energiei apelor geotermale provenite de la o sursă de energie geotermală de către mai mulți beneficiari (vezi figura 2.15.) și anume:

Beneficiari primari de energie geotermală, care folosesc fluidul geotermal provenit de la sondă, ca sursă de energie;

Beneficiari secundari de energie geotermală, care folosesc apa geotermală uzată termic provenită de la utilizatorii primari, ca sursă de energie;

Alți beneficiari de energie geotermală, beneficiari care nu sunt obligatorii, și care folosesc apa geotermală uzată termic provenită de la utilizatorii secundari ca sursă de energie (conștienți de multe ori de necesitățile impuse de protecția mediului).

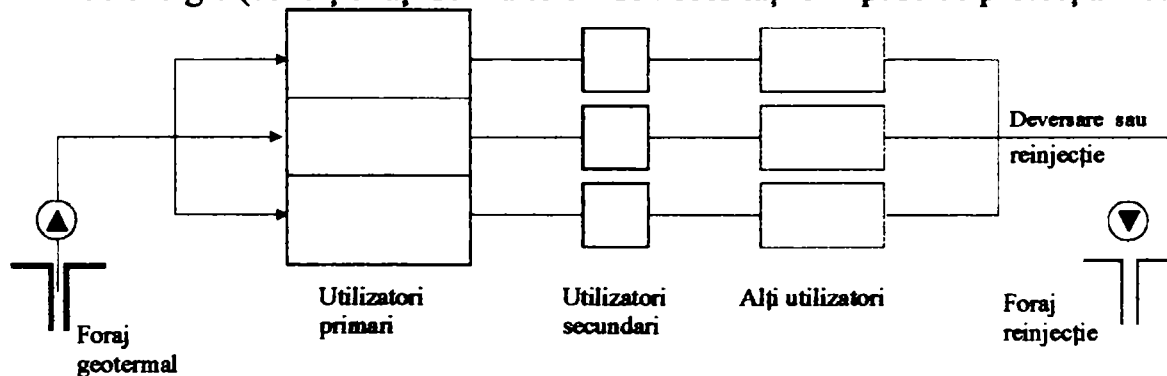


Figura 2.15. Utilizarea în cascadă a energiei geotermale

Baza de resurse reprezintă totalitatea energiei geotermale din scoarța terestră până la o anumită adâncime (de obicei până la 10 km). Evaluarea resurselor geotermale presupune estimarea la un moment dat a energiei termice conținute în scoarță într-o anumită regiune și fracțiunea din aceasta care poate fi recuperată în condiții economice, legislative și tehnologice date. Scopul principal al evaluării unei resurse energetice este de a o compara cu alte resurse de energie. În acest scop, este necesar ca și terminologia utilizată pentru alte resurse energetice să fie unitară și comparabilă de la o țară la altă. Terminologia utilizată pentru resurse geotermale a fost propusă de Muffer și Cataldi în 1978 și se bazează pe diagrama McKelvey folosită și la evaluarea altor tipuri de resurse (figura 2.16.). Diagrama nu este reprezentată la scară, ea având doar un caracter orientativ. Pe axa orizontală este reprezentat gradul de siguranță geologică, iar pe axa verticală gradul de fezabilitate economică.

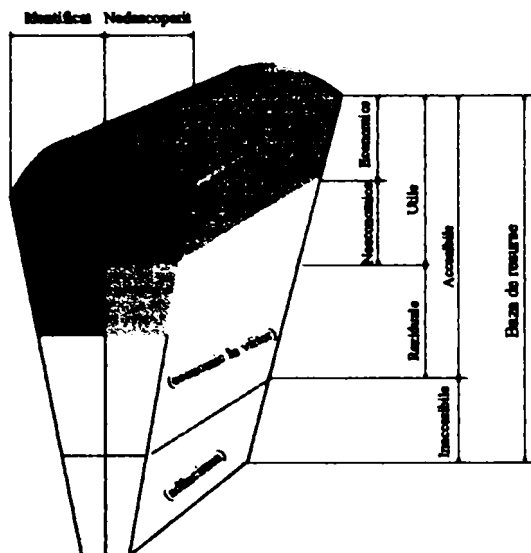


Figura 2.16. Diagrama McKelvey pentru resurse geotermale

La baza stabilirii strategiei de utilizare în cascadă pentru un sistem dat stă diagrama Lindal (figura 3.1.), iar alegerea variantei optime se face pe baza criteriilor de randament energetic și a eficienței economice.

Capacitatea maximă de exploatare a zăcămintului se consideră producția de fluid geotermal constantă pe o perioadă suficient de lungă (alesă în general de 20-25 de ani), astfel încât presiunea și temperatura fluidului să nu scadă sub limita economică de exploatare.

În continuare, se prezintă un exemplu concret în ceea ce privește modalitățile de utilizare în cascadă a energiei geotermale în orașul Husavik–Islanda.

Husavik este al doilea mare oraș din nord-estul Islandei (figura 2.17.), atestat documentar din 1614, a cărui populație a ajuns în prezent la 2.500 de locuitori. Economia din Husavik se bazează și în prezent pe pescuit și industria piscicolă dar asigură și servicii de turism, mai ales că în ultimii ani turismul a cunoscut o amploare deosebită jucând un rol important în dezvoltarea economică a orașului. Husavik fiind un port, zona de pescuit este ușor accesibilă; la aceasta se adaugă energia geotermală din zonă și apa proaspătă și pură, astfel încât acesta dispune de resurse naturale din abundență.

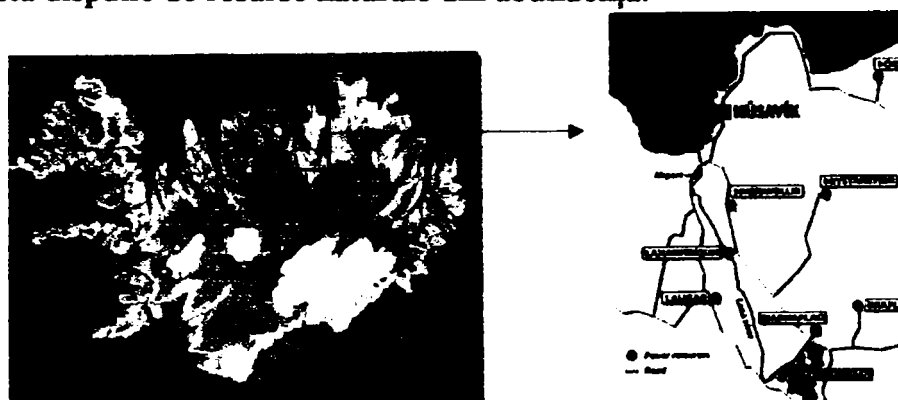


Figura 2.17. Iceland – Husavik

Apa proaspătă a fost utilizată în permanență în industria piscicolă, iar de câteva decenii se utilizează și în crescătoriile de pești (fish farming). Cu toate acestea rezerva de apă proaspătă rămâne disponibilă și poate fi utilizată mai ales în sectorul producției alimentare. Debitul de apă disponibil este de 300 l/s din care se utilizează în prezent 90 l/s.

În zona Husavik există 2 zone (bazine) geotermale distincte una în Peistareykir situată la aproximativ 25 km. est de Husavik, iar cealaltă la Hveravellir situată la 20 km sud-

est de Husavik. În zona Peistareykir apa geotermală se exploatează la suprafață, temperatura ei fiind de 250–300°C. Inițial, apa geotermală din zona Peistareykir a fost utilizată în mina de sulf, dar în prezent s-a trecut la utilizarea ei pentru producerea energiei electrice și în alte aplicații industriale. În zona Hveravellir apa geotermală se utilizează de mult timp pentru asigurarea energiei necesare serelor din zonă și pentru încălzirea gospodăriilor din apropiere. Zona Hveravellir este una dintre cele mai largi și puternice zone din Islanda, cu izvoare de apă geotermală cu temperatură joasă (<150°C). Apa geotermală din această zonă este de calitate ridicată, astfel încât ea poate fi utilizată direct atât pentru încălzire, cât și ca apă caldă menajeră.

Utilizarea energiei geotermale în Husavik datează din 1960 când ștrandul orășenesc a fost conectat direct la unul din izvoarele de apă geotermală din zonă. În același timp, în perioada 1960–1965, a început forarea a 5 puțuri de captare a apei geotermale. Apa captată din forarea celor 5 puțuri putea asigura 50% din totalul necesar pentru încălzire. Cu toate că temperatura apei captate din puțuri varia între 80–110°C, calitatea apei nu a fost corespunzătoare utilizării ei pentru încălzire datorită concentrației ridicate de sare.

În anul 1969, firma Fjarhitun Consulting Engineers a fost angajată să realizeze un studiu de fezabilitate referitor la sistemul de încălzire din Husavik. Concluzia raportului a fost aceea că utilizarea energiei geotermale din zona Hveravellir este atât economică cât și fezabilă. Construcția sistemului de încălzire—elementele necesare în zona geotermală, țevile care asigurau legătura dintre Hveravellir și Husavik, sistemul de distribuție din Husavik—a început în anul 1970.

La început s-a utilizat debitul artezian al izvoarelor de apă geotermală cu temperatura de 100°C din zonă, dar în anul 1974 s-a forat un puț de 450 m adâncime. Debitul artezian al apei geotermale din acest puț a fost de 40 l/s, iar temperatura de 128°C. Din 1974 se utilizează apa geotermală din puț cu debitul de 40 l/s, iar restul necesar de aproximativ 30 l/s este asigurat folosind debitul artezian al izvoarelor geotermale. Apa geotermală a fost utilizată pentru încălzirea tuturor clădirilor din Husavik, pentru asigurarea necesarului de apă caldă menajeră a orașului, precum și pentru asigurarea necesarului de apă caldă a ștrandului orășenesc. Deoarece diferența de altitudine dintre Husavik și Hveravellir este de aproximativ 100 m, nu a fost necesară pomparea apei, Husavik fiind în zona mai puțin înaltă.

Un aspect negativ al utilizării apei geotermale îl reprezenta cantitatea mare de energie care se pierdea. Astfel aproximativ 2,2 kg/sec de abur erau eliberați în atmosferă pentru a aduce apa geotermală fierbinte de la 128°C la 100°C. De asemenea, erau pierderi mari și pe țeava lungă de 18 km dintre Hveravellir și Husavik, deoarece țeava îngropată de azbest-ciment era neizolată. Singura izolație a țevii era pământul care o acoperea. Temperatura pe care o pierdea apa prin traversare de la Hveravellir la Husavik era de 15°C, deci ajungea în Husavik în rețeaua de distribuție la o temperatură de 85°C.

În anul 1990 s-a constatat că aprovizionarea cu apă se realiza cu probleme (debit insuficient) în perioadele foarte reci ale iernii. Acest lucru a determinat luarea deciziei de a se foră un nou puț în Hveravellir în anul 1997. Acest puț a fost forat și el asigură și în prezent un debit de aproximativ 60 l/s, la o temperatură de 128°C și iese cu o presiune de 2 bar.

În anul 1998 au început pregătirile pentru reabilitarea vechii țevi de azbest-ciment dintre Hveravellir și Husavik. Temperatura apei geotermale din zona Hveravellir este destul de ridicată fiind posibil ca energia geotermală înmagazinată în ea să fie utilizată pentru încălzirea clădirilor dar și pentru alte aplicații industriale. Astfel, s-a decis să se realizeze în paralel cu reabilitarea țevii și utilizarea multiplă sau în cascadă a acesteia. Beneficiile utilizării în cascadă ale energiei geotermale sunt multe; producerea energiei electrice ar fi benefică pentru Husavik, astfel orașul nu ar mai fi obligat să achiziționeze curent. De asemenea, se creează noi locuri de muncă, realizându-se, în același timp, o diversificare a locurilor de muncă. Producerea energiei electrice combinată cu utilizarea izvoarelor de apă geotermală de

diferite temperaturi pentru încălzirea clădirilor, industrie și crescătorii de pești (fish farms) duce la creșterea valorii energiei utilizate, deci pierderile sunt mult mai reduse.

Principalele diferențe între noua propunere și cea existentă constau în faptul că apa este adusă de la puțurile/izvoarele din zona Hveravellir la Husavik utilizând o țevă izolată de oțel de tip DN400 la temperatura la care iese din izvor în loc să fie răcită până la 100°C. Conform noii strategii apa geotermală care ajunge în Husavik se va utiliza întâi pentru operațiunile care necesită temperaturi ale apei geotermale mai mari de 120°C (în domeniul industrial și pentru producerea curentului electric). În momentul în care temperatura apei geotermale ajunge la 80°C ea se va utiliza ca agent la intrarea în sistemul de distribuție fiind utilizată analog vechii strategii.

Energia produsă/generată prin utilizarea apei geotermale depinde de cantitatea de apă geotermală utilizată, temperatura apei geotermale și tipul aplicației în care este utilizată. În unele cazuri eficiența utilizării energiei geotermale poate ajunge la 100% în unele aplicații industriale; în cazul producerii energiei electrice eficiența nu este mai mare de 10-12%. Energia geotermală este utilizată mai eficient în cazul în care este utilizată în aplicații industriale și nu pentru producerea curentului electric. În schimb, această diferență de eficiență este contrabalansată prin diferențele de pe piață. Piața pentru curentul electric este una sigură și stabilă pe când cea corespunzătoare utilizării apei calde geotermale în aplicațiile industriale este limitată. În Husavik în momentul de față cererea de apă caldă în sectorul industrial nu este așa de mare încât să se utilizeze toată cantitatea disponibilă de apă caldă geotermală. Figura 2.18. prezintă schematic noul sistem geotermal din Husavik.

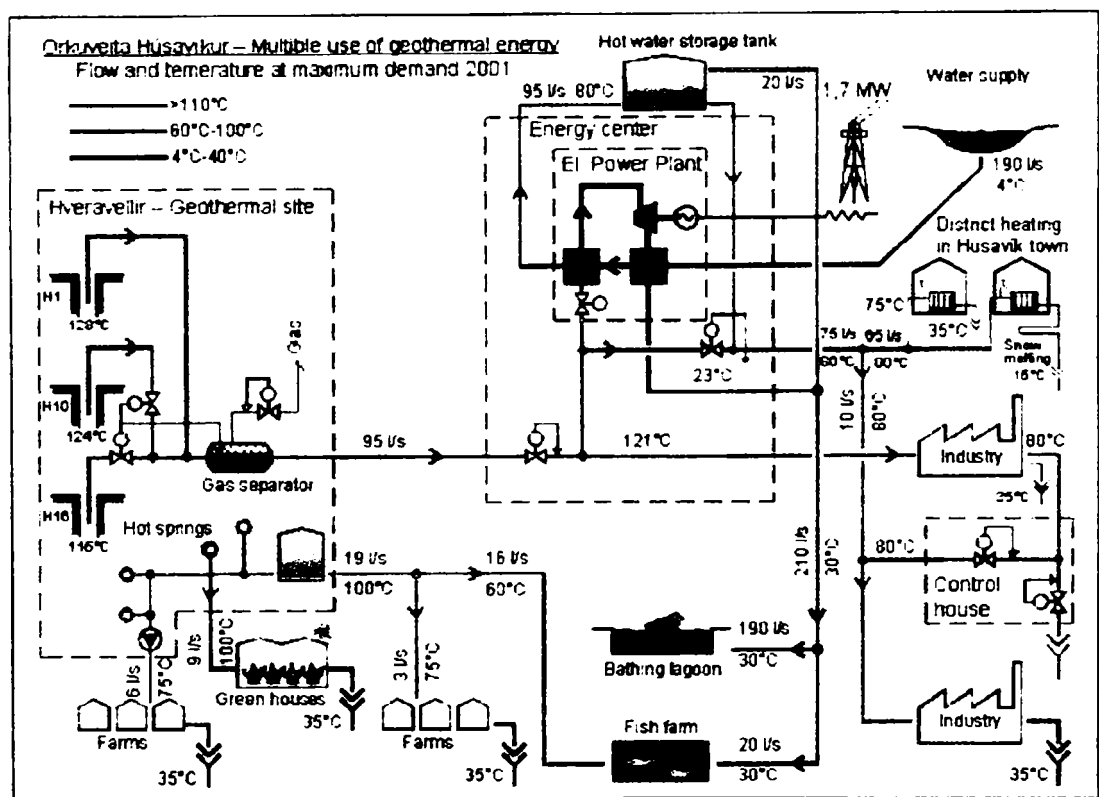


Figura 2.18. Energia din Husavik: utilizarea în variată multiplă a energiei geotermale—diagrama procesului

Producerea energiei electrice

În anul 1998 s-a luat decizia de a se construi o centrală electrică geotermală în Husavik. Documentele pentru construirea centralei au fost trimise și s-au obținut oferte de la trei companii. Două dintre opțiuni se bazau pe un ciclu binar convențional (conventional binary cycle (ORC) power plant) care utilizează izopentan sau fluide similare în cadrul ciclului intern. Amândouă ofertele asigurau producerea a 1,5 MW energie electrică. A treia

oferă se baza pe tehnologia de decupare a marginilor (cutting edge technology) numită și tehnologie Kalina, care utilizează amoniac și apă care înlocuiesc izopentanul în cadrul ciclului intern. Această alternativă asigură producerea a 2 MW energie electrică. Cu toate că tehnologia Kalina se utiliza de câțiva ani ea nu era prea cunoscută, și erau prea puține date referitoare la tehnologie și experimente realizate. A fost angajată o echipă de consultanță în domeniul ingineriei mecanice din Islanda numită VGK care să hotărască dacă este indicat să se utilizeze această tehnologie pentru centrala electrică geotermală. Decizia a fost în favoarea tehnologie Kalina și astfel s-a trecut la construirea primei centrale electrice geotermale de acest tip.

În anul 1999 a început construirea centralei electrice geotermale și a țevelor de transportare a apei geotermale. La mijlocul anului 2000 a început operarea noului sistem. Noul sistem de încălzire funcționa foarte bine cu unele mici probleme datorate deaerării apei geotermale. Aceste probleme sunt rezolvate în momentul de față. În schimb au apărut unele probleme în cazul centralei electrice geotermale în momentul în care aceasta a fost pusă în funcțiune. Problemele apărute se datorau instalațiilor din centrala electrică geotermală care nu au fost alese cu grijă. Cele mai multe probleme apărute se datorau unui separator de abur care nu funcționa conform specificațiilor. Apa geotermală care scăpa prin separator distrugea lamelele/paletele turbinei. La sfârșitul anului 2001 separatorul a fost înlocuit cu unul cu performanțe mai ridicate decât cel anterior utilizat. Centrala electrică geotermală produce în prezent 1,7 MW energie electrică, o valoare mai mică decât 2 MW specificați prin contract de către producător. Principalul motiv al acestei diferențe îl reprezintă temperatura reală a apei geotermale care este cu 3°C mai mică decât cea specificată în proiect.

Costul total al proiectului din Husavik a fost de 12 milioane euro, din care 2/3 s-au utilizat pentru reînnoirea sistemului de încălzire al orașului, iar restul de 1/3 pentru realizarea centralei electrice geotermale.

Schema centralei electrice geotermale este prezentată în Figura 2.19. Apa geotermală vine prin conductă de la Hveravellir cu o temperatură de 121°C și ajunge la centrala electrică geotermală unde este răcită la 80°C, fiind utilizată pentru sistemul de încălzire.

Căldura extrasă din răcirea apei geotermale care vine direct din sonda geotermală este utilizată pentru a încălzi un mediu fluid într-un circuit închis. Fluidul în cauză este un amestec de apă și amoniac. S-a ales această mixtură deoarece una dintre proprietățile ei o reprezintă faptul că își schimbă temperatura în timpul fierberii/vaporizării și a condensării față de o temperatură constantă, obținută la o vaporizare și condensare a unei substanțe pure. În schimbătorul de căldură temperatura mixturii se mărește cu același număr de grade cu care apa se răcește. Temperatura la care se realizează condensarea mixturii se poate modifica prin varierea raportului apă/amoniac din cadrul mixturii. Prin modificarea raportului de substanțe din cadrul unei mixturii se pot modifica și alte caracteristici ale fluidului și anume punctul de fierbere, temperatura de condensare. Aceste modificări ale caracteristicilor lichidelor în amestec se utilizează pentru creșterea eficienței producției.

După ce se realizează încălzirea mixturii aceasta intră într-un separator/schimbător de căldură (heat exchanger) care realizează separarea lichidului de vapori. Vaporii bogăți în amoniac sunt introduși într-o turbină (turbine) care se dilată (expand) la scăderea presiunii. Energia care este produsă este transformată în energie electrică prin intermediul generatorului (generator) conectat la turbină. Fluidul separat în schimbătorul de căldură de vaporii care au fost dirijați către turbină este utilizat pentru preîncălzirea mixturii fluide care e dirijată către schimbătorul de căldură. În acest mod, fluidul separat și vaporii sunt din nou amestecați.

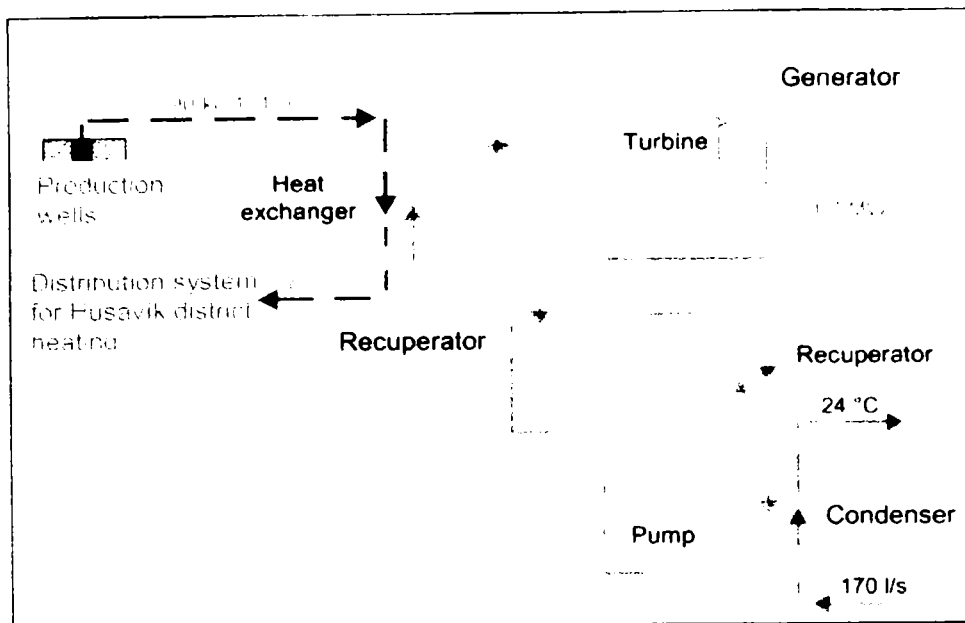


Figura 2.19. Centrala electrică geotermală—diagrama de proces

Mixtura de amoniac/apă astfel formată care conține atât vapori cât și fluid este trimisă la un recuperator (recuperator) unde este răcită din nou, apoi ea intră într-un condensator (condenser) unde prin condensare se transformă din nou în lichid. Condensatorul este răcit folosind apă cu debitul 170 l/s la temperatura de 5°C. Apa utilizată pentru răcire părăsește condensatorul la o temperatură de aproximativ 24°C (23–27°C în funcție de producție), temperatură ideală pentru a fi utilizată la o crescătorie de pești (fish farm). Odată ce mixtura apă/amoniac din circuit a fost condensată, se utilizează o pompă (pump) pentru a realiza creșterea presiunii mixturii, care este apoi introdusă în două recuperatoare înainte de a fi reintrodusă în schimbătorul de căldură și a fi reintrodusă în circuit.

Industria piscicolă/crescătoriile de pești din Husavik utilizează în prezent aproximativ un debit 4–6 l/s apă caldă la temperatura de 80°C la care se adaugă un debit de 20 l/s apă de răcire la temperatura de 24°C obținută din condensatoarele centralei electrice geotermale. Crescătoriile de pești din Husavik produc în mod curent 1,5 milioane de tone de puiet de somon (somon smolt) și 140 tone de păstrăv. Se prevede o creștere a numărului de păstrăvi care se dorește să ajungă la 200 tone. În prezent, în crescătoriile de pești numărul personalului angajat este de 10 persoane.

Acum câțiva ani s-a construit o uscătorie de lemn de esență tare în Husavik. Pentru uscarea lemnului se utiliza apă fierbinte la 80°C pentru uscare, iar apoi lemnul uscat era transformat în cherestea. Astăzi, în acest domeniu sunt angajate 5 persoane dar în momente de vârf, când uscătoria lucrează la capacitate maximă, numărul personalului angajat ajunge la 20.

Anul trecut compania GPG a deschis o filială în Husavik pentru a realiza uscarea peștelui. În mod curent 2.500 de tone de capete de pește și alte părți ale peștilor inclusiv pești plați (flat-fish) sunt uscați și trimiși la export în Nigeria. Procesul de uscare al peștilor se realizează în compartimente specializate pentru uscare care utilizează apă fierbinte la 80°C pentru a încălzi aerul înainte de a fi introdus în compartimentele de uscare pentru a realiza uscarea peștelui. În jur de 8-10 persoane sunt angrenate în această activitate de uscare a peștilor, activitate care utilizează un debit de aproximativ 3 l/s de apă fierbinte în cadrul procesului de uscare.

Compania Glucomed a dus tratative pentru a realiza o filială de producere a glucozei în Husavik. Se dorește să se realizeze glucoză prin utilizarea apei geotermale/fierbinți, glucoză care se utilizează în industria farmaceutică ca și componentă în realizarea medicamentelor contra artritei. Contractul semnat între compania Glucomed și Husavik Energy presupune asigurarea prin vânzare către Glucomed a următoarelor debite de apă: 7 l/s

apă geotermală la 80°C și 2 l/s apă geotermală la 120°C, apă necesară în cadrul procesului de producție. Materia primă necesară realizării glucozei este în mare parte chitina (chitin) care se obține din carcasele de crabi și creveți. Construcția filialei a început în iunie 2002 estimându-se că această filială va asigura loc de muncă pentru 12-15 persoane în toamna anului 2003 când va începe producția.

Compania Ice Tec (Icelandic Technological Institution) și UA Seafood Group din Akureyri realizează în prezent un studiu de fezabilitate referitor la utilizarea apei proaspete în crescătoriile de pești din Husavik. Studiul s-a realizat luând în considerare peștii de tip momeală (bait-fish) numiți tilapia. Studiul preliminar arată că este posibilă utilizarea a 170 l/s de apă de răcire la temperatura 24°C pentru a produce 5.000 tone de tilapia. Deoarece temperatura ideală pentru creșterea peștilor tilapia este 27°C cu 3°C mai mult decât temperatura apei de răcire, trebuie să se mai utilizeze și 10 l/s de apă geotermală fierbinte la 80°C pentru a aduce temperatura apei de răcire la temperatura ideală necesară, adică 27°C. Fondurile necesare pentru implementarea unei crescătorii care să realizeze 5.000 tone de tilapia costă în jur de 12 milioane de euro. În cazul în care va fi construită, ea va asigura loc de muncă pentru 50 de persoane.

Politica guvernului islandez este aceea de a dezvolta zonele urbane din Islanda și anume este vorba de orașele Reykjavik și Akureyri, acest lucru realizându-se în detrimentul altor zone rurale. Construcția centralei electrice geotermale din Husavik a determinat dezvoltarea vieții economice din această localitate.

CAPITOLUL 3. VALORIFICAREA EFICIENTĂ A ENERGIEI GEOTERMALE ÎN CADRUL PUNTELOR TERMICE

3.1. Considerații generale privind sistemele de încălzire și prepararea apei calde menajere. Puncte termice.

Punctele termice reprezintă ansamblul instalațiilor situate la limita între rețeaua de distribuție a căldurii și instalațiile consumatorilor. Tipul punctelor termice depinde, în principal de:

- natura și mărimea consumatorilor de căldură;
- natura și parametrii agentului termic de transport, față de agentul termic utilizat de consumatori;
- sistemul de transport al căldurii (număr de conducte).

Punctele termice pot asigura distribuția căldurii numai pentru un anumit tip de consum (încălzire, ventilație sau apă caldă), sau pot distribui căldură mai multor tipuri de consumatori, de exemplu încălzire și apă caldă. Astfel, în cazul cel mai complex punctul termic servește la prepararea centralizată a apei calde de consum, la transformarea parametrilor pentru instalațiile de încălzire și ca punct de plecare pentru distribuția apei calde spre instalația de încălzire a consumatorilor.

Pentru o mai clară înțelegere a proceselor de schimb de căldură care se petrec într-un punct termic, în figura 3.1. se prezintă schematic fluxurile de căldură care intervin în această situație.

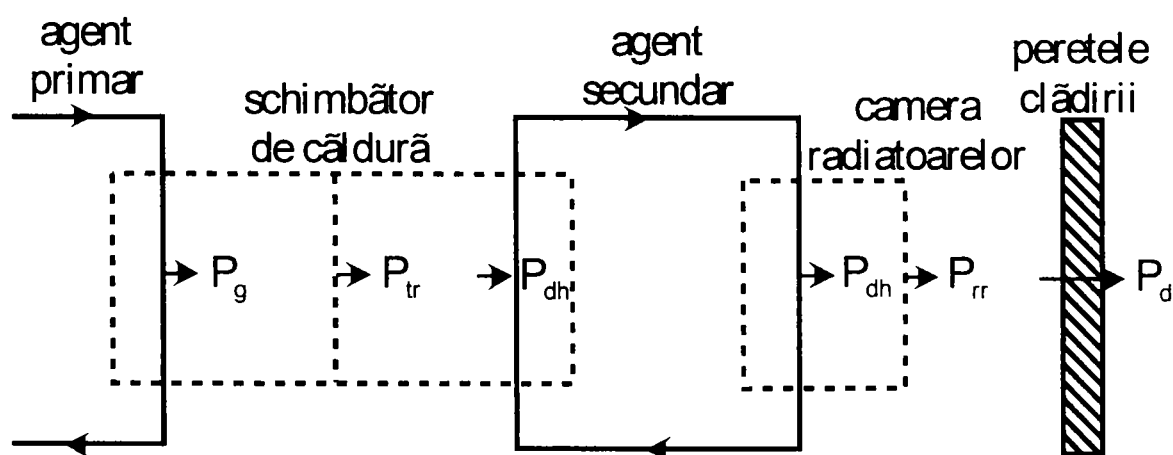


Figura 3.1. Fluxul de căldură pentru sistemul de încălzire

Principalele probleme pe care le avem în vedere în cadrul acestui subcapitol sunt:

- Sisteme de încălzire și prepararea apei calde menajere;
- Tipuri constructive de puncte termice;
- Centrale de producere a energiei termice

A. Sisteme de încălzire și prepararea apei calde menajere

Pe lângă problema asigurării confortului, omul contemporan își pune și problema legată de eficiența economică în care cheltuielile de investiții inițiale să fie recuperate din cheltuielile de exploatare care la o locuință se materializează prin cheltuieli minime cu energia termică, energia electrică și combustibilii utilizați.

Se determină astfel pragul economic până la care se poate merge cu cheltuielile investite în elementele de construcție propriu-zise, pentru obținerea unei rezistențe termice (R), care asigură protecția termică corespunzătoare unor pierderi de căldură reduse.

În afară de construcția propriu-zisă, care în modul de alcătuire trebuie să corespundă unor performanțe termotehnice (definită prin rezistența termică R), un alt element important, care vine să-l completeze pe primul, în vederea obținerii unui confort optim, este sistemul de încălzire al locuinței.

În prezent se utilizează două sisteme de încălzire:

- *Încălzirea locală*, a cărei caracteristică principală este că locul de obținere al căldurii este chiar încăperea care urmează să beneficieze de această căldură. Generatorul, purtând denumirea de sobă, cedează direct căldura produsă prin arderea unui combustibil sau prin efect Joule (cazul încălzirii electrice);
- *Încălzirea centrală*, care se caracterizează prin aceea că producerea căldurii se realizează în echipamente speciale (cazane) și este distribuită printr-un sistem de țevi sub formă de agent termic în toate încăperile ce urmează să fie încălzite și care sunt echipate cu corpuri de încălzire corespunzătoare să cedeze căldura necesară.

Ceea ce se urmărește în principal la un sistem de încălzire este ca el să poată asigura temperatura cât mai uniformă în încăperea, în limite cât mai apropiate de cele normale, fără variații mari în plus sau în minus care să influențeze negativ starea generală din interior.

Criteriile care se i-au în considerare la alegerea unei soluții de încălzire sunt:

- clădirea este veche sau nouă;
- clădirea corespunde sau nu din punct de vedere termic, adică are gradul de izolare termică corespunzător;
- de ce combustibil se poate beneficia și ce posibilități de aprovizionare există;
- gradul de complexitate al clădirii (numărul de nivele, numărul și dimensiunile încăperilor etc.);
- gradul de utilizare, respectiv cu ce echipament poate fi prevăzută instalația de încălzire (de la o instalație simplă la o instalație complet automatizată);
- posibilitățile materiale de care dispune beneficiarul.

Având în vedere toate aceste criterii, la alegerea soluției de încălzire este necesar să se țină seama de următoarele aspecte:

- *tehnic*, adică instalația preconizată a fi utilizată să poată asigura în toate încăperile locuinței, indiferent de destinație, poziții și utilare, condițiile solicitate;
- *economic*, adică atât cheltuielile de investiții, cât și cele de exploatare să fie cât mai reduse, primele putându-se recupera într-un timp cât mai scurt.

Ca recomandări de soluții de încălzire pot fi luate în considerație:

- pentru clădiri vechi, uzate fizic, după o reabilitare a părții de construcții, utilizarea în continuare a încălzirii existentă (încălzirea locală cu sobe cu combustibili clasici);

- pentru clădiri vechi cu unul sau cu două nivele și cu un număr mare de încăperi se poate adapta încălzirea locală cu sobe utilizând gaze naturale, după cum se poate utiliza și încălzirea centrală de apartament (cu sursă proprie);
- pentru clădiri de asemenea vechi și complexe, prevăzute cu încălzire centrală cu circulație prin gravitație soluția poate fi înlocuită cu încălzire centrală cu circulație prin pompare;
- pentru clădirile noi, soluția cea mai utilizată este de încălzire centrală de apartament cu circulație forțată;
- pentru clădirile de locuit cu arhitectură mai specială (holuri și livinguri mari) se poate adapta o combinație între încălzire locală (cu șemineuri) și încălzirea centrală (corpuri statice, radiație etc.)

ÎNCĂLZIREA LOCALĂ A LOCUINTELOR

Încălzirea locală este sistemul cel mai vechi utilizat în locuințe, până la apariția încălzirii centrale. Și astăzi acest sistem de încălzire este utilizat în proporție de aproape 100% în localități rurale și de peste 50% în orașele mai mici ale țării.

Sistemele de încălzire locală pot fi:

- a) sobe cu acumulare de căldură (sobe de zid, teracotă, șemineu);
- b) sobe fără acumulare de căldură (godine, sobe metalice etc.);

ÎNCĂLZIREA CENTRALĂ A LOCUINTELOR UTILIZÂND CORPURI DE ÎNCĂLZIRE CLASICE

Încălzirea centrală joacă principalul rol în asigurarea confortului termic în perioada rece, deoarece realizează:

- o stabilitate termică a elementelor de construcții, respectiv o temperatură cât mai uniformă a suprafețelor interioare;
- o stabilitate termică a încăperilor, adică posibilitatea menținerii variației temperaturii interioare în limitele cerute de confort;
- o repartizare cât mai uniformă a temperaturii aerului pe înălțimea încăperilor și chiar în zona de activitate sau de ședere a locatarului;
- o încălzire a tuturor încăperilor locuinței, eliminând senzația neplăcută pe care o simte omul într-un apartament când acesta este încălzit parțial;
- scăderea vitezei curenților de aer din încăperi sub limita normală de 0,5 m/s;
- o reglare calitativă a parametrilor agentului termic (apa caldă) în funcție de necesitățile de căldură;
- realizarea unei temperaturi scăzute a corpurilor de încălzire;
- inerție termică mare;
- circulație naturală a apei în conducte sub acțiunea presiunii termice care ia naștere în instalație prin răcirea apei în corpurile de încălzire și în conducte;
- realizarea reglării cantitative, calitative și calitativ-cantitative a apei calde în funcție de parametrii aerului din interior sau condițiile climatice exterioare;
- asigurarea unei exploatare ușoare a instalației de încălzire de către locatari.

Ca dezavantaje ale instalațiilor de încălzire centrală pot fi menționate:

- inerția termică mare, impune o perioadă mare de timp pentru atingerea parametrilor necesari agentului termic, în cazul opririi instalației;
- pericolul de îngheț a apei din instalație în cazul opririi pe o perioadă mai lungă a acesteia, cu temperaturi exterioare scăzute;
- costuri de investiții ridicate.

Încălzirea incintelor utilizând sistemul cu preparare, distribuție și racordare centralizată a apartamentelor

Acest tip de sistem (figura 3.2.) cuprinde trei părți principale:

I – centrala termică, cu întregul echipament de preparare și distribuție a apei calde, amplasată într-o încăpere special amenajată la subsol, parter sau ultimul nivel (figura 3.2.a);

II – rețeaua de conducte de alimentare cu apă caldă compusă din rețeaua de distribuție amplasată la subsol, parter sau ultimul nivel și coloanele de alimentare a corpurilor de încălzire (figura 3.2.b);

III – corpurile de încălzire racordate direct din coloane (figura 3.2.c)

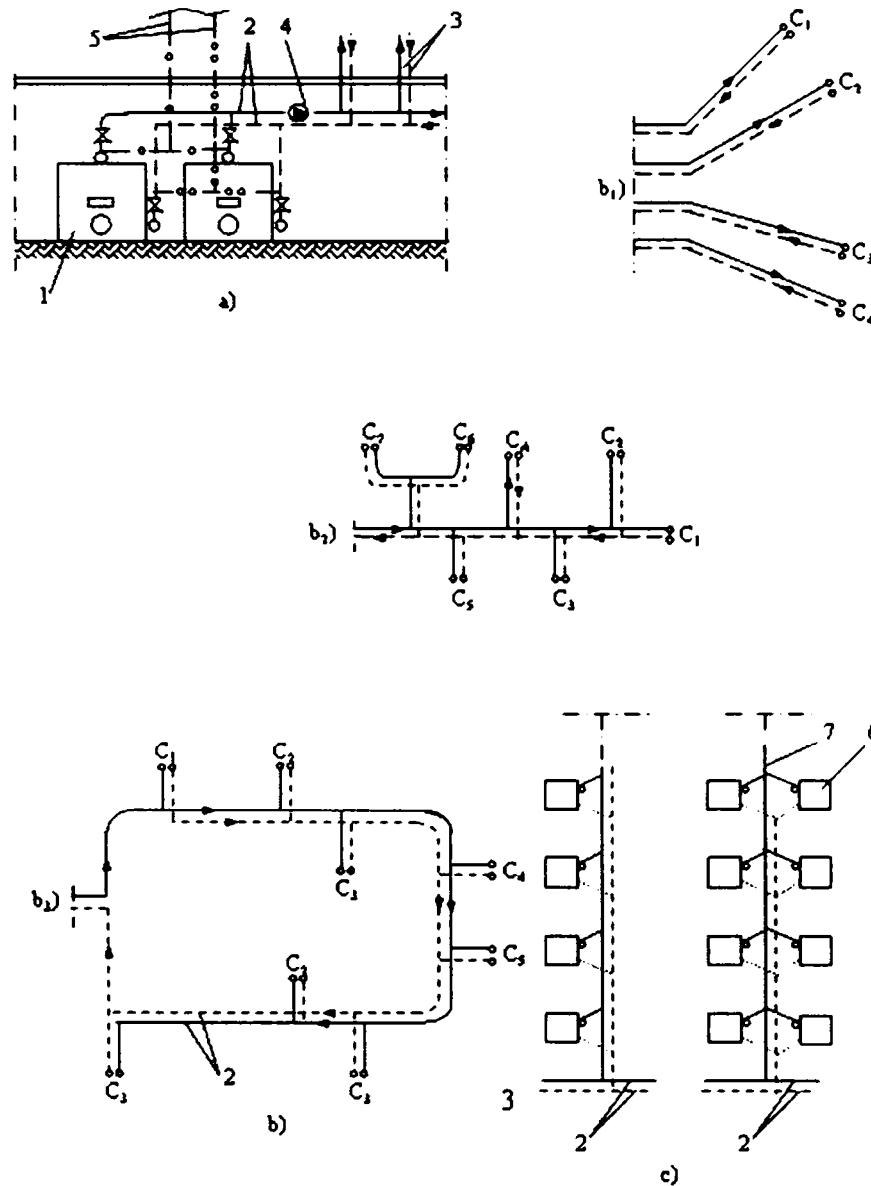


Figura 3.2. Sisteme de încălzire cu preparare, distribuție și racordare centralizată:
a) sursa termică; b) rețea de distribuție: radială, arborescentă, inelară; c) racordarea corpurilor de încălzire la coloane: 1 – cazane; 2- rețea de distribuție; 3 – coloane; 4 – pompă de circulație; 5 – conducte de siguranță; 6 – corpuri de încălzire; 7 – conducte de dezaerisire.

Rezultatele obținute cu acest sistem au fost în general mulțumitoare, iar costurile nu au fost prea ridicate, dar, cu toate acestea, el este din ce în ce mai puțin utilizat deoarece:

- nu asigură dependența funcțională pentru fiecare apartament, adică nu dă posibilitatea gestionării energiei de fiecare proprietar, în funcție de necesități;
- nu dă posibilitatea contorizării consumurilor de energie termică pe fiecare apartament;
- presiunea termică influențează negativ regimul hidraulic din coloane, adică modul de repartizare a debitelor de apă caldă în corpurile de încălzire, mai ales la clădirile de locuit cu multe nivele și circulație forțată.

După modul de circulație a apei calde în instalație se disting:

- a) instalații cu circulație naturală (figura 3.3.) compuse dintr-un cazan amplasat într-o încăpere la subsol, o rețea de distribuție (în general arborescentă) și coloanele de alimentare a corpurilor de încălzire. Majoritatea instalațiilor s-au executat cu două conducte de alimentare a corpurilor de încălzire, iar distribuția conductelor principale ducere și întoarcere se face fie la partea inferioară – plafon subsol, nivel pardoseală la parter - (figura 3.3.a), fie mixtă – numai conducta de ducere la plafonul ultimului nivel – (figura 3.3.b).
- b) instalații cu circulație prin pompare a apei calde sunt utilizate la blocurile de locuințe încă neterminate, sau cu număr mic de apartamente

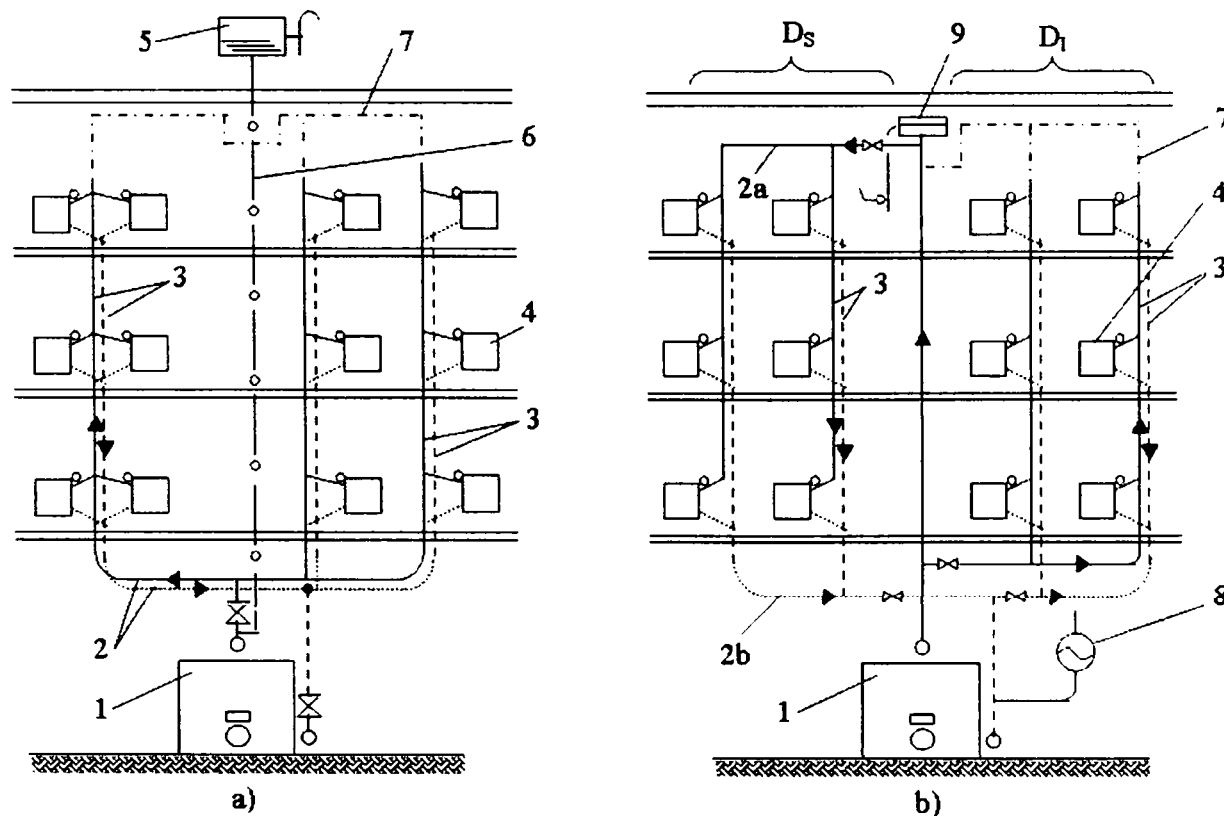


Figura 3.3. Schema de instalații de încălzire cu circulație naturală a apei calde:

a) varianta cu distribuție inferioară; b) varianta cu distribuție mixtă

1 – cazan; 2 – rețea de distribuție; 3 – coloane; 4 – corpuri de încălzire;

5 – vas de expansiune deschis; 6 – conductă de siguranță; 7 – conductă de dezaerisire;

8 – vas de expansiune închis; 9 – vas de dezaerisire

Încălzirea locuințelor utilizând sistemul de preparare și distribuție centralizată și racordare individuală cu module termohidraulice de apartament

Sistemul de încălzire (figura 3.4.) cuprinde patru părți principale, cu modificări esențiale, privind modul de racordare a corpurilor de încălzire la rețeaua de alimentare cu apă caldă.

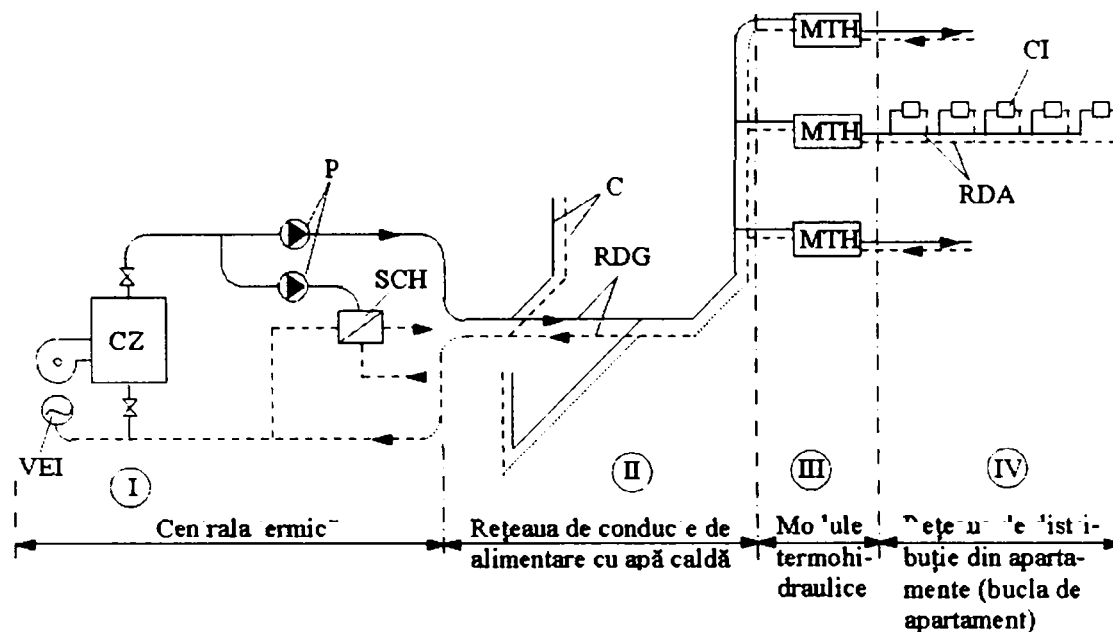


Figura 3.4. Schema de principiu a sistemului de încălzire cu preparare și distribuție centralizată și racordare individuală cu module termice a apartamentelor: CZ – cazan; VEI – vas de expansiune; P – pompe de circulație; SCH – schimbător de căldură; RDG – rețea de distribuție generală; C – coloane; MTH – modul termohidraulic; RDA – rețea de distribuție de apartament; CI – corpuri de încălzire

ÎNCĂLZIREA LOCUINTELOR CU PANOURI RADIANTE DE JOASĂ, MEDIE ȘI ÎNALTĂ TEMPERATURĂ

În ultimii 15-20 de ani, ca urmare a măsurilor luate de reducere a consumurilor de căldură din clădiri prin creșterea gradului de izolare termică și de utilizare de agenți termici cu parametri scăzuți, s-a căutat ca pe lângă sistemele clasice de încălzire să se introducă în clădirile de locuit și încălzire prin radiație [SREE'2005]. La început s-a adoptat soluția de încălzire cu panouri radiante de plafon, care nu a fost prea agreată din cauza dificultăților privind modul de execuție a panourilor radiante, încălzirea prin radiație cu panouri de pardoseală fiind cea care este în ultima perioadă de timp cel mai des utilizată.

În general, încălzirea prin radiație prezintă o serie de avantaje:

- asigurarea unui grad de confort mai ridicat;
- un schimb direct de căldură între suprafața radiantă și om;
- variații mici ale temperaturii aerului pe verticala încăperii;
- lipsa curenților de aer convectivi;
- repartizarea căldurii cedate în încăperi este mai uniformă;
- economisirea spațiului din încăperea prin folosirea elementelor de construcții ca suprafețe radiante (pardoseală, plafon etc.);
- utilizarea agenților termici (apă caldă) cu parametri scăzuți, cu temperaturi sub 60...70°C.

Dezavantajele acestor sisteme sunt:

- costul mai ridicat decât cel al încălzirii clasice până la 30...40°C;
- o execuție mult pretențioasă, în special în realizarea panourilor radiante;
- influența mobilierului din cameră asupra fluxului de căldură cedat de panourile radiante de pardoseală.

Încălzire prin radiație de joasă temperatură

Astfel de sisteme de încălzire utilizează planșeele radiante cu unde având valori mari ale lungimii de undă și temperatura de suprafață între 29 și 36°C. Planșeul radiant este un element de încălzire rezultat din adaptarea elementului de construcție (planșeu) nevoilor de încălzire ale unei incinte: deasupra plăcii din beton este prevăzut un strat de șapă în care este înglobată o serpentină prin care circulă fluidul încălzitor, sau conductoare electrice; între stratul de șapă cu serpentină și placă din beton este prevăzut un strat de izolație.

Stratul de izolație termică îndeplinește rolul de “direcționare” a fluxului termic și pe cea de izolație fonică.

Algoritmul de alegere al unui planșeu încălzitor cuprinde etapele:

1. se identifică caracteristicile constructive și termotehnice ale planșeului radiant considerat, pentru încălzirea unei clădiri colective de locuit cu mai multe nivele.
2. se identifică categoria încăperilor ce urmează a fi încălzite prin radiație de joasă temperatură din punctul de vedere al poziției în cadrul clădirii și din punctul de vedere al suprafețelor radiante care le deservește (tabelul 3.1)
3. se stabilesc valorile pentru coeficienții convenționali de transfer termic convectiv la suprafață. Se determină mărimile constructiv-funcționale.

Încălzire prin radiație de medie temperatură

Până la apariția sistemului de încălzire prin radiație de medie temperatură (unde întunecoase), încălzirea cu aer cald a fost cea mai utilizată pentru spațiile aferente halelor cu volum mare și implicit înălțime mare.

În cazul încălzirii cu aer cald a unei hale cu înălțimea de 12 m, temperatura aerului variază pe verticală de la simplu la dublu, astfel că la nivelul planului de lucru este de 20°C, iar la partea superioară a halei, sub acoperiș, de 37°C.

Spre deosebire de încălzirea cu aer cald, la cea cu unde întunecoase, variația temperaturii pe verticală este foarte mică (la pardoseală 20°C, iar sub acoperiș numai 22,5°C).

Datorită temperaturilor mici, la același grad resimțit de confort, pierderea de căldură prin ventilare precum și cea transmisă prin pereții halelor poate fi redusă substanțial. Undele radiante sunt dirijate către pereții laterali până la înălțimi utile de 1,5...2 m și către pardoseală, urmând apoi ca acestea să radieze căldură către ocupanți.

Avantajele încălzirii prin radiație de medie temperatură sunt:

- concentrare maximă de energie termică la nivelul zonei de lucru;
- viteza aerului interior de 0,15 m/s;
- gradientul de temperatură pe verticală nu depășește 0,2°C/m, ceea ce conduce la o reducere a încălzirii zonei superioare în raport cu zona de lucru;
- permite încălzirea locală, zonală sau totală a unui spațiu de producție, inclusiv posibilitatea realizării unei temperaturi de gardă, necesară protejării instalațiilor care transportă alte fluide;
- sistemul de reglare al energiei termice facilitează gestionarea ei;
- realizează o economie anuală de combustibil cuprinsă între 20...50%;

- instalația este ușor de executat datorită gradului ridicat de prefabricare a componentelor de bază ale instalației.

Energia termică este livrată cu ajutorul panourilor radiante din clasa “INFRA” care au fost concepute pentru puteri termice nominale mici, cuprinse între 17 și 29 kW, cărora le corespund lungimi standard ale tuburilor radiante de 6, 9 și 12 m. Panourile radiante din clasa OHA pot furniza puteri termice cuprinse între 85 și 215kW, pentru lungimi radiante de 60...120 m.

Tabelul 3.1. Categoria încăperilor încălzite cu planșee radiante

Categoria	Descriere
C.1	Încăpere plasată la ultimul etaj și încălzită prin radiație de pardoseală (delimitată inferior printr-un planșeu încălzitor)
C.2	Încăpere plasată la un etaj intermediar și încălzită prin radiație de pardoseală și tavan (delimitată de două planșee încălzitoare)
C.3	Încăpere plasată la un etaj intermediar și încălzită prin radiație de pardoseală (delimitată inferior de un planșeu încălzitor)
C.4	Încăpere plasată la un etaj intermediar și încălzită prin radiație de tavan (delimitată superior de un planșeu încălzitor)
C.5	Încăpere plasată la parter și încălzită prin radiație de pardoseală (delimitată inferior de un planșeu încălzitor)
C.6	Încăpere plasată la parter și încălzită prin radiație de tavan (delimitată superior de un planșeu încălzitor)
C.7	Încăpere plasată la parter și încălzită prin radiație de pardoseală și tavan (delimitată inferior de două planșee încălzitoare)

Tabelul 3.2. Valori ale coeficienților convenționali de convecție

Nr. crt.	Categoria încăperii	α_p [W/(m ² K)]	α_t [W/(m ² K)]
1	C1, C3, C5	9,0	6,0
2	C2, C7	9,0	7,0
3	C4, C6	7,0	7,0

Un sistem radiant, este format, în principiu, din trei zone:

- **grupul de combustie** este individualizat pentru arderea combustibililor: lichid ușor, gaze naturale, GPL. Arzătorul este echipat cu componente de reglare continuă, condiționate și de temperaturile gazelor de ardere de ducere și de întoarcere, asigurând protecție față de temperaturile excesive sau absența combustibilului. Montarea grupului de combustie se poate face în interiorul spațiului de încălzit sau în exterior;
- **zona radiantă**, cuprinde circuitul gazelor de ardere, împărțit convențional în zona caldă – ducere și zona răcită – întoarcere. Acest circuit este realizat cu conducte rezistente la șocuri termice, dilatările fiind preluate de dispozitive lenticulare. Zona radiantă inferioară este separată de zona superioară prin plăci reflectorizante clasice, prevăzute la partea superioară cu termoizolație. Temperaturile medii ale suprafeței radiante sunt cuprinse între 120 și 290°C;
- **racordurile la sursele de energie** se referă la alimentarea cu combustibil, în funcție de tipul combustibilului disponibil și la alimentarea cu energie electrică a ventilatoarelor și a aparatelor de măsură și control.

Încălzire prin radiație de înaltă temperatură

Sistemele de încălzire prin radiație de înaltă temperatură pot fi utilizate în următoarele cazuri:

- încăperi având înălțime mare sau medie, cu sau fără izolație;
- încăperi industriale cu procese tehnologice care impun o încălzire locală;
- este necesară o încălzire rapidă a încăperii, ceea ce implică un timp redus de funcționare și, deci, economie de combustibil;
- încăperi caracterizate de pierderi mari de căldură prin pereți sau schimburi de aer importante.

Există două soluții tehnologice de încălzire prin radiație cu gaz natural, utilizat direct:

a) panourile radiante luminoase – sunt emițătoare luminoase caracterizate printr-o combustie externă efectuată pe o suprafață la temperatură înaltă 750...900°C. Lungimea de undă corespunzătoare intensității maxime spectrale este de ordinul 3 μm. Principiul de funcționare se bazează pe principiul injecției unui amestec de gaze-aer la traversarea unei plăci refractare, constituind deschiderea unor canale fine, calibrate. Deoarece materialul refractar acumulează căldură, amestecul gaze-aer care îl traversează se va preîncălzi, rezultând o creștere a vitezei de ieșire a amestecului gaze-aer. Aparatele de acest tip sunt constituite din:

- *dală refractară*, compusă din plăcuțe juxtapuse, prinse solidar cu ajutorul unor garnituri inserate într-un cadru metalic ce poate suporta dilatări importante;
- *grilă fină* din nichel-crom care este plasată de obicei, în fața suprafeței de ardere, care intervine ca limitator al zonei arderii, împiedicând intrările aerului secundar și ca element radiant secundar spre receptor;
- *etaj de amestec aer-gaz*, alcătuit dintr-un tub de aer și un injector de gaz;
- diverse aparate anexe cum sunt: mecanismul de aprindere la distanță, de control al flăcării și electrovana de admisie a gazului combustibil.

Astfel de panouri sunt indicate pentru clădiri de înălțime mare, superioară valorii de 7 m. Puterea termică nominală a acestor panouri variază, în funcție de model, de la 4 la 45 kW.

b) radianții ceramici – utilizați în clădirile cu înălțimi mai mari de 5 m. Suprafețele ceramice ale radianților, încălzite prin arderea gazului natural, sunt emițătoare de radiații. Acestea se transformă în căldură în contact cu suprafețele receptoare, încălzind pardoseala, utilajele și ocupanții, fără a supraîncălzi părțile superioare ale construcției.

Principalele avantaje ale încălzirii ceramice sunt:

- radiația se propagă natural, în direcția aleasă fără a cheltui energie de transmitere;
- se încălzesc suprafețe și nu volume, aerul fiind încălzit indirect prin retransmiterea căldurii de către corpurile încălzite;
- pierderile de căldură sunt limitate;
- radiația este silențioasă și nu determină circulația aerului sau a prafului.

Materialul ceramic este refractar, fără uzură, permițând montarea “în câmpuri încruciate”.

Tabelul 3.3 Caracteristici ale radianților ceramici

Model	Puterea termică, [kW]		Masa [kg]
	PCI	PCS	
B6SX	2,5	2,8	2,5
B8SX	3,3	3,65	2,9
B10SX	3,8	4,25	3,1
B12SX	5,1	5,65	3,4
B16SX	6,75	7,5	4,1
B20SX	7,6	8,45	5,0
B24SX	10,2	11,35	5,5
B32SX	13,5	15,0	6,7
B32 -2SX	13,5	15,0	6,7
B64 -2SX	27,0	30,0	12,2

ÎNCĂLZIREA LOCUINTELOR CU AER CALD

Sistemele de încălzire cu aer cald sunt echipate cu generatoare cu aer cald a căror avantaj este compactitatea și lipsa energiei termice.

Componentele principale ale unui generator cu aer cald sunt:

- 1) **Camera de combustie** – confecționate din oțel inoxidabil. Gazele de ardere sunt trecute printr-un schimbător de căldură tubular și apoi sunt colectate într-un compartiment de fum și, în final, sunt evacuate în atmosferă;
- 2) **Bateria de ventilatoare** – formată din unul sau două ventilatoare acționate de un motor electric, temperatura aerului crescând cu 30...40°C. Aerul cald este livrat în încăperea până în momentul în care termostatul ambiental comandă oprirea acestuia;
- 3) **Carcasa** – este formată din panouri demontabile și are rolul de a proteja arzătorul termoacustic;
- 4) **Termostatele de comandă și siguranță** – în număr de trei și conectate electric. Termostatul “fan” comandă pornirea ventilatorului în momentul în care temperatura aerului intern atinge valoarea aproximativă de 40°C, evitându-se astfel trimiterea unui jet de aer rece în încăperea, comandând totodată oprirea arzătorului la atingerea temperaturii necesare. Termostatul “limită” comandă oprirea arzătorului în momentul în care temperatura aerului depășește 90°C. Termostatul “de siguranță”, cu rearmare manuală, întrerupe funcționarea arzătorului în cazul supraîncălzirii anormale a aerului;
- 5) **Racordul la coș** – este prevăzut cu un racord la care se poate atașa un tub metalic pentru evacuarea gazelor de ardere în exterior.

Generatoarele de aer cald de tip MET-MANN au următoarele caracteristici tehnice:

- Seria MINOR – concepute pentru încălzirea clădirilor de locuit și comerciale. Arzătorul este complet închis de carcasa aparatului; pot fi utilizate ca și combustibil atât motorina și propanul cât și gazele de furnal. Puterea termică se află în domeniul 30...58 kW, iar presiunea disponibilă la refulare este de 10 mmH₂O;
- Seria MM - concepute pentru încălzirea halelor industriale. Combustibilul utilizat este: motorina, propanul, gazele naturale. Gama de puteri este cuprinsă în domeniul 35...930 kW, iar presiunea la refulare de 10...18 mmH₂O;
- Seria AM-CI – concepute pentru a fi transportate în zona pe care utilizatorul dorește să o încălzească. Pot fi instalate pe perete sau suspendat, combustibilul

- utilizat putând fi motorina, propanul sau gazele naturale. Gama de puteri este cuprinsă în domeniul 46...145 kW, iar presiunea la refulare de 11...15 mmH₂O;
- Seria EP – concepute pentru a fi utilizate în ateliere de tâmplărie sau în orice industrie unde în urma proceselor de fabricație rezultă deșeuri solide combustibile cum ar fi: palete din lemn, rumeguș etc. Deșeurile pot fi folosite drept combustibil pentru încălzirea incintei și are puterea termică de 58 kW, iar presiunea disponibilă este de 5 mmH₂O.

PREPARAREA APEI CALDE MENAJERE

Instalațiile sanitare asigură furnizarea apei reci și a apei calde la punctele de consum ale obiectelor sanitare din clădire; apele uzate rezultate după folosire sunt colectate și evacuate la exterior în sistemul de canalizare.

Instalațiile sanitare interioare din clădiri se compun din:

- sursa de apă (rețeaua orășenească, care trebuie să asigure presiunea și debitul necesare);
- rețeaua conductelor de alimentare cu apă din clădire: conducta de distribuție, coloanele și legăturile la obiectele sanitare;
- obiectele sanitare și armăturile de utilizare a apei;
- rețeaua conductelor de canalizare (cu funcționare prin gravitație).

În cazul în care rețeaua orășenească nu poate asigura presiunea apei, necesară unei bune utilizări la consumator, se prevede la intrarea apei în clădire o stație de pompare cu recipient de hidrofor.

Apa caldă menajeră este furnizată, fie de la un punct termic sau centrală termică, exterioare clădirii deservite, fie de la surse locale amplasate în clădire (cazane cu gaze, preparatoare electrice etc.).

Conceperea și realizarea instalațiilor sanitare se face în conformitate cu prevederile Normativului I 9-94 “Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor sanitare”.

Consumul de energie al instalațiilor sanitare se datorează consumului de apă (energie electrică de pompare) și preparării apei calde menajere (energia termică pentru încălzirea apei). Elementele semnificative ale instalației sanitare, care prezintă un interes major pentru reducerea consumurilor energetice sunt:

- pompele și sistemele de ridicare a presiunii apei / hidroforul (randament, parametrii punctului de funcționare pe curba caracteristică, numărul de porniri - opriri într-o oră etc.);
- armăturile obiectelor sanitare (etanșeitătea, consumul specific de apă, timpul de folosire la o utilizare);
- încălzitoarele de apă caldă (randament);
- rețeaua de distribuție a apei (etanșeitătea);
- conductele de apă caldă menajeră (izolarea termică);
- rețeaua de recirculare a apei calde menajere (funcționalitatea pompei de recirculare, izolarea termică a conductelor, locul de la care se face recircularea apei calde);
- contoarele de apă rece și de apă caldă (la nivel de imobil și la nivelul consumatorului);

- elemente de automatizare (la pompe și stațiile de hidrofor; la instalația de preparare a apei calde menajere);
- sisteme solare de încălzire a apei (eficiența termică; conlucrarea cu sistemele “clasice” de preparare a apei calde menajere).

B. Tipuri constructive de puncte termice

Cel mai adesea, cele două categorii de consumatori (sistemele de încălzire și prepararea apei calde menajere) se racordează la rețeaua de apă fierbinte în cadrul aceluiași punct termic. Schemele de racordare utilizate în aceste cazuri depind în primul rând de sistemul folosit pentru prepararea apei calde menajere (închis, deschis sau mixt) și de numărul de conducte folosite pentru transport și distribuție. Ele cuprind, în general, atât instalațiile de racordare ale consumatorilor de încălzire, cât și cele pentru prepararea apei calde menajere, numindu-se *puncte termice centralizate*.

Puncte termice centralizate în sisteme bitubulare închise

Aceste puncte termice centralizate se caracterizează prin racordarea închisă a instalațiilor pentru prepararea apei calde menajere și racordarea directă sau indirectă pentru încălzire. Ambele tipuri de consumatori sunt asigurate din aceleași conducte, ducere și întoarcere.

Din categoria punctelor termice centralizate în sisteme bitubulare închise, în continuare, se vor trata următoarele variante:

- o treaptă paralel;
- o treaptă serie;
- două trepte mixt.

Punct termic centralizat, o treaptă paralel, pentru prepararea apei calde

Avantaje: independența variației consumatorului de căldură pentru încălzire și cel pentru prepararea apei calde.

Dezavantaje: debit mare de apă fierbinte din rețea aferent punctului termic centralizat.

Se recomandă în cazurile în care consumul de căldură pentru prepararea apei calde este mai mare decât cel pentru încălzire.

Punct termic centralizat, o treaptă serie, pentru prepararea apei calde

Avantaje: folosirea succesivă a apei fierbinți în cele două trepte reduce debitul maxim de apă din rețea.

Dezavantaje: cantitatea de căldură primită este influențată de consumul de căldură pentru prepararea apei calde.

Se recomandă pentru consumuri maxime de căldură pentru prepararea apei calde sub circa 30% (în special, sub 10%) din cel maxim pentru încălzire.

Punct termic centralizat, două trepte mixt, pentru prepararea apei calde

Avantaje: prin căldura preluată pentru preîncălzirea apei calde de consum în treapta I, scade temperatura apei de întoarcere din rețea, reducând debitul de apă fierbinte din rețea pentru punctul termic.

Dezavantaje: încălzirea apei calde de consum în treapta II necesită un debit suplimentar de apă fierbinte din rețea, față de cel necesar instalațiilor de încălzire.

Se recomandă pentru cazurile în care consumul maxim de căldură pentru prepararea apei calde reprezintă 30÷100% față de consumul maxim pentru încălzire. Utilizarea acumulatorilor de apă caldă diminuează dezavantajele menționate.

Puncte termice centralizate în sisteme bitubulare deschise

Se caracterizează prin folosirea unei conducte de ducere comună pentru încălzire și apă caldă menajeră. Ea asigură transportul agentului termic necesar celor două tipuri de consumatori. Conducta de retur asigură returnarea numai a diferenței între debitul instalației de încălzire și cel folosit pentru prepararea apei calde de consum.

Din categoria punctelor termice centralizate în sisteme bitubulare deschise, în continuare, se vor trata următoarele variante:

- racordare independentă;
- racordare dependentă cu regulator de debit, RD;
- racordare dependentă cu diafragmă de laminare, D.

Puncte termice centralizate-independente, în sisteme bitubulare deschise

Avantaje: independența regimurilor hidraulice ale consumatorilor de căldură pentru încălzire, față de cel pentru prepararea apei calde. Aceasta se realizează prin montarea regulatorului de debit după punctele de racord ale consumatorilor de apă caldă. Ca urmare, cei doi consumatori (încălzire și apă caldă) funcționează independent. Astfel, consumul de căldură pentru încălzire este satisfăcut prin intermediul regulatorului de debit, iar cel de apă caldă cu ajutorul regulatorului de temperatură.

Dezavantaje: crește debitul de calcul al apei fierbinți din rețea.

Se folosește în cazul racordării deschise a consumatorilor de apă caldă.

Puncte termice centralizate-dependente, în sisteme bitubulare deschise

Se caracterizează printr-o dependență a cantității de căldură primită pentru încălzire, de consumul de căldură pentru prepararea apei calde. Aceasta se datorează montării regulatorului de debit înaintea punctelor de racord ale consumatorilor de apă caldă. Ca urmare, regulatorul de debit reglează întregul debit de apă fierbinte intrat în punctul termic. Din acest debit este preluată cota necesară preparării apei calde menajere, în funcție de comanda regulatorului de temperatură, iar diferența reprezintă debitul aferent instalațiilor de încălzire. În ipoteza existenței, la majoritatea punctelor termice, a aceleiași structuri a sarcinii termice, rezultă că în cursul zilei debitul de apă în rețea variază aproximativ între aceleași limite la toți consumatorii. În aceste condiții se poate renunța la regulatorul de debit și introduce în schimb diafragmele de laminare; acestea au rolul de a mări stabilitatea hidraulică a sistemului, prin introducerea unor rezistențe locale suplimentare la acele puncte termice centralizate unde structura sarcinii termice este diferită de cea considerată pentru majoritatea punctelor termice.

Avantaje: scade debitul de calcul al apei fierbinți din rețea. Regimul hidraulic este mai stabil decât în schema independentă.

Dezavantaje: debitul de căldură pentru încălzire este dependent de consumul momentan de căldură sub formă de apă caldă.

Se folosesc în cazurile racordării deschise a consumatorilor de apă caldă cu o pondere mică a valorii maxime a acestui consum, față de cel maxim pentru încălzire. Schema fără regulator se utilizează când majoritatea punctelor termice centralizate au aceeași structură a sarcinii termice.

Puncte termice centralizate, în sisteme bitubulare mixte

Sistemele deschise de preparare a apei calde de consum sunt, din multe puncte de vedere mai avantajoase decât sistemele închise. Instabilitatea regimului hidraulic al rețelei termice este determinată de variația bruscă a debitelor de apă în rețea, atât în conducta de ducere, cât și în aceea de întoarcere. Pentru înlăturarea dezavantajelor celor două sisteme s-a recurs la sisteme bitubulare mixte în variantele închis–deschis, respectiv deschis–închis.

Puncte termice centralizate, închis-deschis, în sistemele bitubulare mixte

Cele mai frecvente puncte termice de acest tip sunt:

- cu regulator de debit;
- fără regulator de debit.

Avantaje: în întreaga perioadă de încălzire, alimentarea cu apă caldă se face numai cu apă care a fost folosită în instalația de încălzire. Schema cu regulator de debit permite menținerea constantă a debitului de apă din rețea, schema fără regulator de debit nu permite acest lucru, conducând și la creșterea debitului mediu de apă fierbinte din rețea. Variațiile debitului de apă fierbinte sunt reduse, stabilitate hidraulică ridicată.

Dezavantaje: utilizând apa din retur ca apă caldă de consum, se ridică probleme sanitaro–biologice.

Se recomandă acolo unde calitatea apei de rețea permite folosirea sa ca apă caldă de consum, iar sistemul bitubular deschis nu este oportun tehnico-economic.

Puncte termice centralizate, deschis-închis, în sistemele bitubulare mixte

Avantaje: se reduce debitul de apă din conducta de întoarcere și cel de apă de adaos pentru compensarea apei calde consumate, se îmbunătățește calitatea apei calde de consum.

Dezavantaje: crește costul punctelor termice centralizate, crește debitul de apă potabilă, crește pericolul coroziunii instalațiilor de consum de apă caldă.

Se recomandă funcție de rezultatele calculelor tehnico–economice, ținând seama de condițiile locale, privind mărimea consumului de căldură pentru apă caldă și calitatea apei potabile.

Puncte termice centralizate - în sisteme tritubulare închise

Caracteristica principală a acestor tipuri de puncte termice o reprezintă racordarea închisă a instalațiilor pentru prepararea apei calde dintr-o conductă cu un regim termic corespunzător cerințelor acesteia, iar instalațiile de încălzire se racordează la o altă conductă cu un regim termic mai ridicat decât în prima; returul agentului termic este comun.

Avantaje: crește producția de energie termică în regim de termoficare. Asigură o independență totală a regimurilor termice și hidraulice în conductele alimentate cu căldură a celor două categorii de consumatori.

Dezavantaje: cresc investițiile pentru rețeaua de transport și consumul de energie pentru vehicularea agentului termic.

Această soluție poate deveni eficientă în condițiile unor consumuri mari de căldură sub formă de apă caldă de consum, cu nivele termice mult diferite de cele necesare consumatorilor de încălzire.

Puncte termice centralizate - în sisteme monotubulare deschise

Odată cu creșterea consumului urban de căldură și a ponderii consumului sub formă de apă caldă menajeră, precum și a distanțelor de transport, sistemul monotubular de transport permite o serie de avantaje tehnico-economic importante. Cele mai frecvent utilizate sisteme

de acest tip sunt sistemul monotubular deschis de transport și distribuție precum și sistemul monotubular deschis de transport și distribuție bitubulară.

Puncte termice centralizate în sistemul monotubular deschis de transport și distribuție

Caracteristica de bază a acestui sistem de transport și distribuție constă în utilizarea integrală a apei de rețea care vine din instalația de încălzire, în vederea alimentării cu apă caldă. Aceasta permite renunțarea la conducta de întoarcere, reducând sensibil investițiile și cheltuielile aferente rețelei de transport.

Avantaje: reduce investițiile și consumul de energie pentru pompe în rețea.

Dezavantaje: evacuarea la canal a apei calde nefolosite.

Se recomandă în condițiile unei sarcini mari de alimentare cu apă caldă, când la toți sau la marea majoritate a abonaților, debitul mediu zilnic pentru alimentare cu apă caldă este egal sau depășește debitul de calcul al apei pentru încălzire, pentru distanțe mari de transport.

Puncte termice centralizate în sistemul monotubular deschis de transport și distribuție bitubulară

Principiul funcționării sistemului de alimentare cu căldură este: din conducta monotubulară de transport la distanță apa ajunge în zona de distribuție, la intrarea căreia este instalat un regulator de debit. Circulația apei în rețeaua bitubulară de distribuție este asigurată de stația de pompe.

Avantaje: magistrala de transport și rețelele de distribuție pot funcționa cu regimuri termice și hidraulice diferite. Debitul din magistrala de transport este egal cu debitul de apă caldă necesar.

Dezavantaje: regimul termic al apei fierbinți în rețeaua de transport la distanță este mai mare decât în sistemul monotubular și crește odată cu reducerea sarcinii termice pentru alimentarea cu apă caldă, față de aceea necesară încălzirii; necesită instalații suplimentare de acumulare a apei din conducta de retur și de pompare.

Se recomandă în funcție de rezultatele calculelor tehnico-economice, în care o influență mare o are distanța de transport și ponderea consumului de căldură pentru prepararea apei calde.

C. Echipamente specifice punctelor termice.

Dezvoltarea remarcabilă care s-a produs în ultimii 20-30 de ani în ceea ce privește concepția și execuția de echipamente în industria mondială, a atras dezvoltarea echipamentelor specifice punctelor termice, firme specializate concurând cu succes pentru realizarea unor echipamente performante, tehnologii de execuție, materiale și strategii moderne de automatizare. Trebuie menționate, de la început, eficiența tehnico-economică sporită a noilor echipamente precum și posibilitatea utilizării întregului potențial termic al agentului primar. O altă problemă rezolvată de către firmele specializate o reprezintă modularizarea punctelor termice și utilizarea în cascadă a energiei agentului primar. Dintre firmele specializate amintim: Vicarb; ALFA LAVAL; Sontdex; Schmidt-Bretten; Danfoss.

Plaja de temperatură la care poate fi livrat agentul termic secundar, în prezent, s-a extins mult (vezi tabelul 3.4.) crescând eficiența utilizării agentului termic primar.

Tabelul 3.4. Plaja de temperatură la care poate fi livrat agentul termic secundar

		Încălzire cu corpuri statice	Încălzire cu aer cald	Încălzire prin radiație	Preparare apă caldă menajeră
Temperatura agentului termic secundar	Tur	90-60°C	70-40°C	50-30°C	60-40°C
	retur	70-50°C	50-30°C	30-20°C	10-15°C

În figurile următoare se prezintă trei variante de puncte termice cu exemplificarea variației temperaturii agentului primar în punctul termic ([www.energia.bme.com/...](http://www.energia.bme.com/)):

- Punct termic – serie (figura 3.5.);
- Punct termic – paralel (figura 3.6.);
- Punct termic – mixt (figura 3.7.).

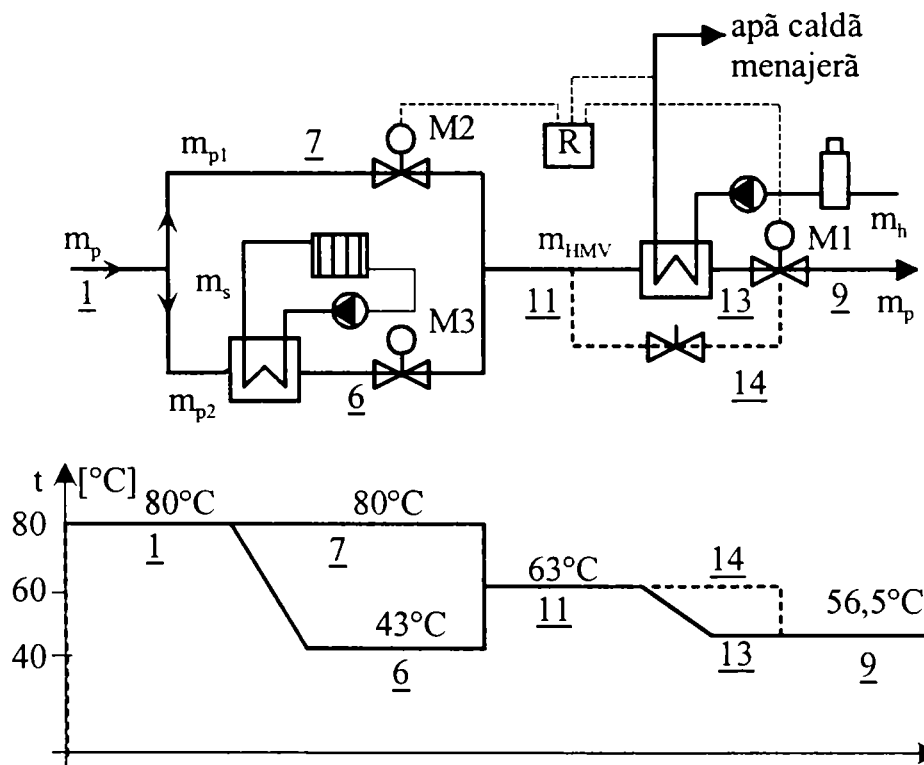


Figura 3.5. Punct termic – serie

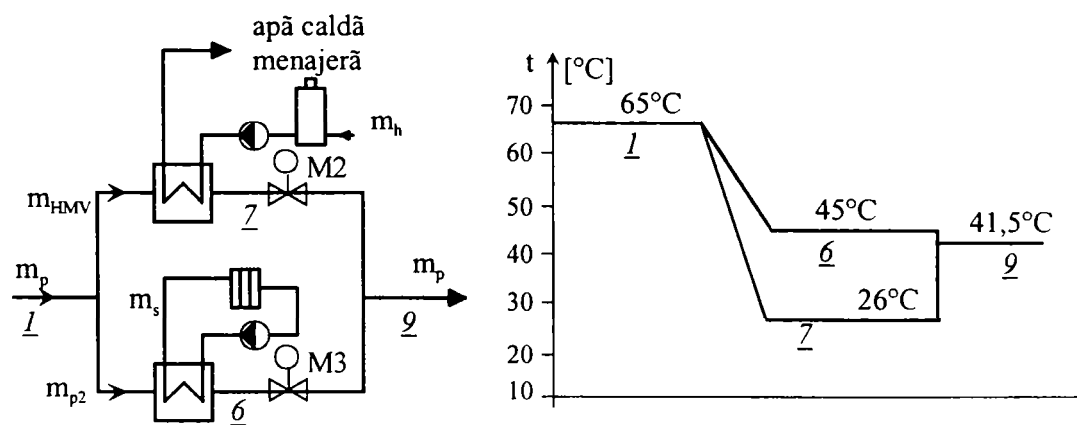


Figura 3.6. Punct termic – paralel

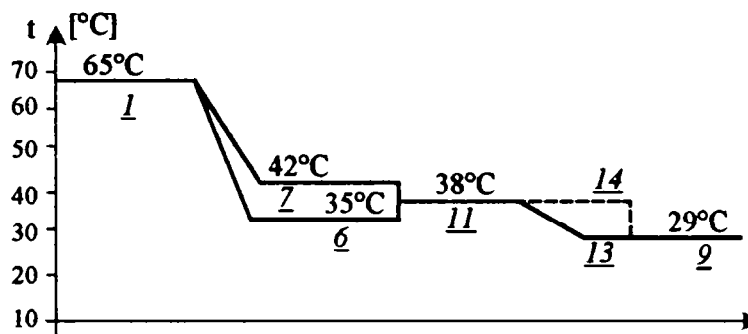
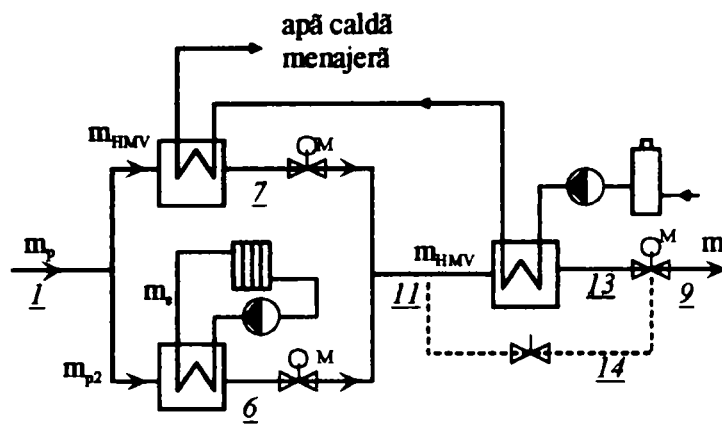


Figura 3.7. Punct termic – mixt

În urma analizei sistemelor de puncte termice prezentate anterior, se constată că punctul termic – mixt (figura 3.7.) este cel mai eficient din punctul de vedere al utilizării energiei termice a agentului primar.

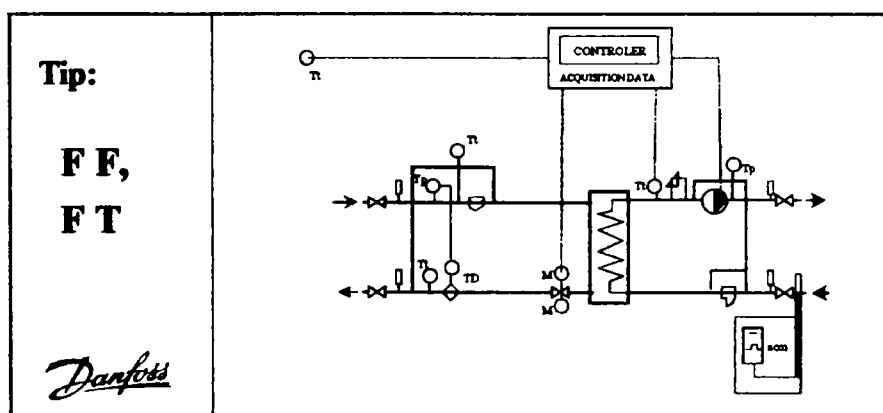
În tabelul 3.5. se prezintă rezultatele analizei utilizării disponibilului de energie termică a agentului primar, având în vedere că cele trei situații prezentate folosesc debite egale, atât pentru agentul primar cât și pentru agentul secundar.

Tabelul 3.5. Utilizarea energiei agentului termic primar pentru 3 variante de puncte termice

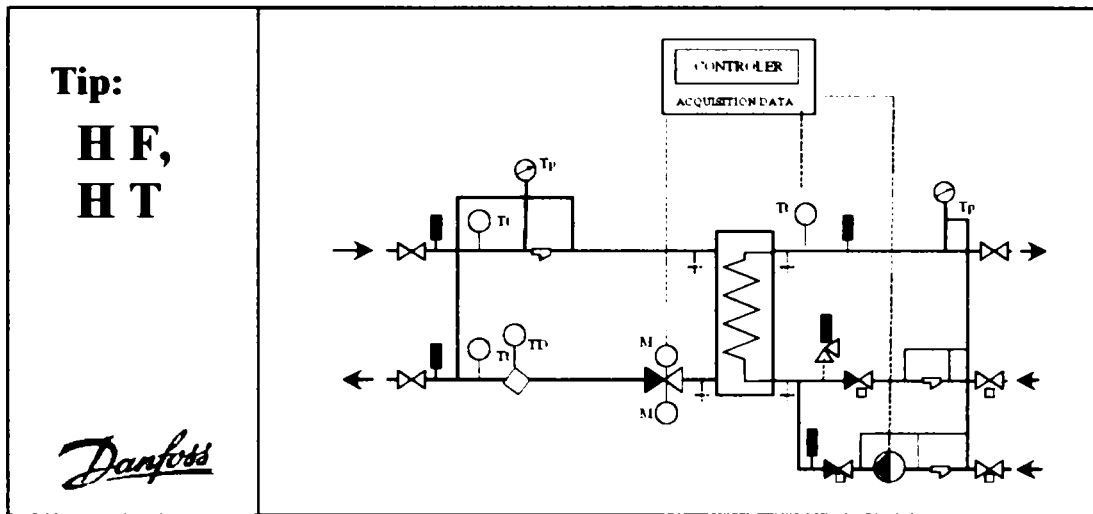
Tipul de punct termic	Utilizarea procentuală a energiei agentului termic primar		
	Total	Încălzire	Apă caldă menajeră
Punct termic – serie	39%	28%	11%
Punct termic – paralel	52%	44%	8%
Punct termic –mixt	80%	67%	13%

În continuare, se vor prezenta câteva dintre realizările firmei Danfoss în ceea ce privește modulele compacte de puncte termice pentru încălzire și preparare apă caldă menajeră, cu datele tehnice oferite de către firma producătoare [www.danfoss].

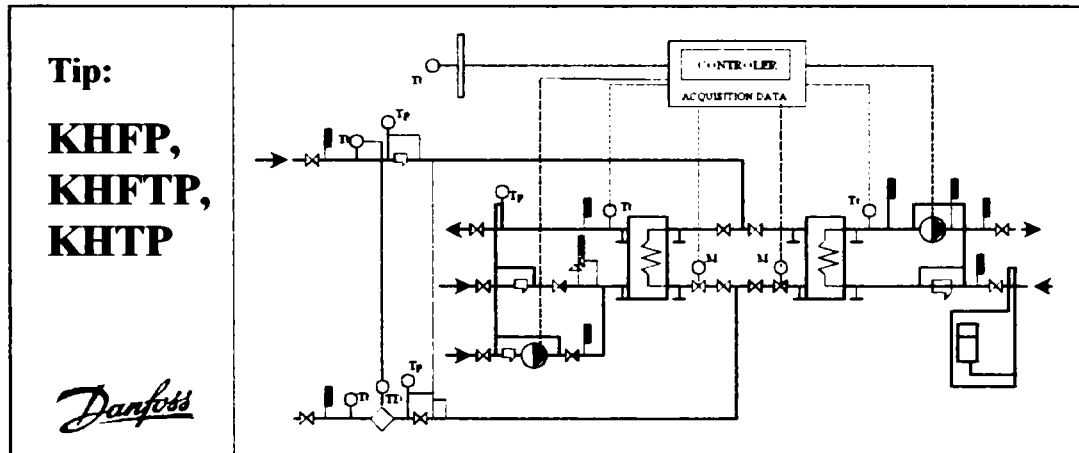
Punct termic pentru încălzire



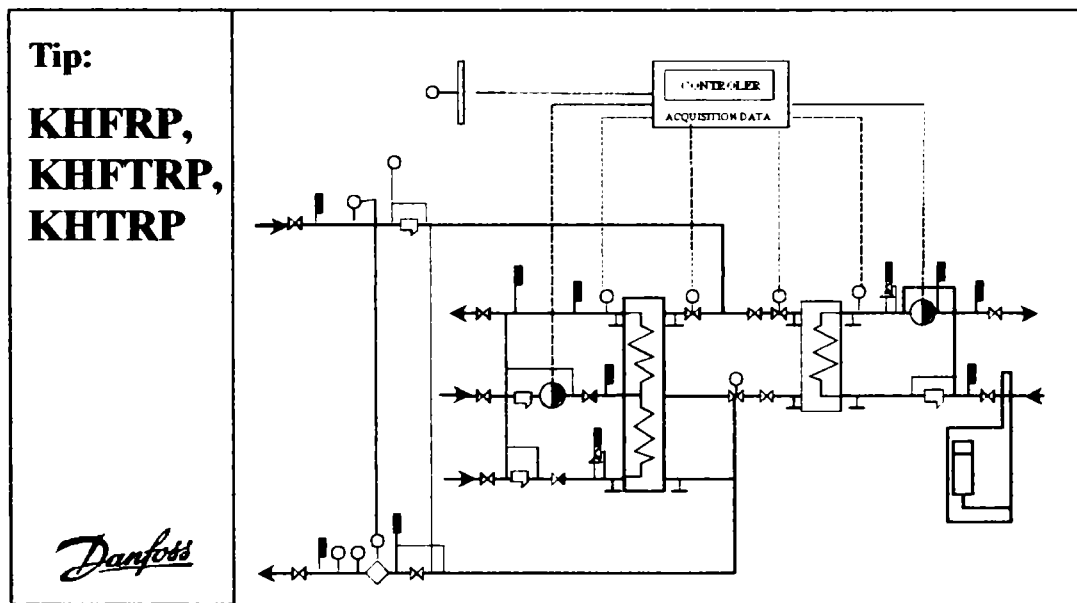
Punct termic pentru prepararea apei calde menajere



Punct termic paralel, pentru încălzire și prepararea apei calde menajere



Punct termic pentru încălzire și prepararea apei calde menajere cu preîncălzitor

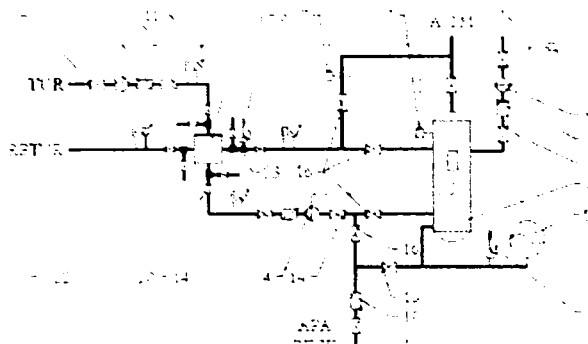


Datele tehnice ale modulelor compacte de puncte termice – „tip Danfoss”

Type	Pressure	Heating				Power HMV			
		Power heating	Maximum heating gradient for winter	Minimal heating gradient	Secure heating gradient	Power	Heating gradient for summer	Scale	Secured circulation for water or oil
		kW	°C	°C	kPa	kW	°C	°C	kPa
FF, FT	100	50	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	100	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	150	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	200	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	250	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	300	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	350	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	400	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	450	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	500	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	550	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	600	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	650	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	700	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	750	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	800	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	850	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	900	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	950	100/60	70/50	50	-	-	-	-
	100	1000	100/60	70/50	50	-	-	-	-
KHFP, KHFTP, KHTP	100	100	100/60	70/50	50	75	65/30	10/50	30
	100	150	100/60	70/50	50	100	65/30	10/50	30
	100	200	100/60	70/50	50	150	65/30	10/50	30
	100	300	100/60	70/50	50	200	65/30	10/50	30
	100	400	100/60	70/50	50	250	65/30	10/50	30
	100	500	100/60	70/50	50	300	65/30	10/50	30
	100	600	100/60	70/50	50	300	65/30	10/50	30
	100	750	100/60	70/50	50	350	65/30	10/50	30
	100	800	100/60	70/50	50	350	65/30	10/50	30
	100	1000	100/60	70/50	50	400	65/30	10/50	30
KHFRP, KHFRP, KHTRP	100	100	100/60	70/50	50	75	65/30	10/50	30
	100	150	100/60	70/50	50	100	65/30	10/50	30
	100	200	100/60	70/50	50	150	65/30	10/50	30
	100	300	100/60	70/50	50	200	65/30	10/50	30
	100	400	100/60	70/50	50	250	65/30	10/50	30
	100	500	100/60	70/50	50	300	65/30	10/50	30
	100	600	100/60	70/50	50	300	65/30	10/50	30
	100	750	100/60	70/50	50	350	65/30	10/50	30
	100	800	100/60	70/50	50	350	65/30	10/50	30
	100	1000	100/60	70/50	50	400	65/30	10/50	30

Din datele prezentate reies performanțele remarcabile obținute de firma Danfoss menționând că aceasta este una dintre cele mai performante în domeniu.

Un alt exemplu îl constituie oferta firmei Romstal care are o ofertă amplă de module de puncte termice atât pentru încălzire cât și pentru preparare apă caldă menajeră.

MODUL PREPARARE A.C.M. CU SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ ÎN PLĂCI ȘI ACCUMULATOR Debit a.c.m. = 7,0 mc/h						
DESCRIERE: • Modul de preparare a.c.m. (+10/+60°C) cu schimbător de căldură cu plăci și acumulator. • Agent primar: apă caldă 80/+60°C 		4	Electropompă circulație între schimbător și acumulator: DAB - BPH60280-50M, Q = 7,0 mc/h, H = 4,4 mCA	73P 0020	buc	1
		4.1	Kit lanțe pompă DN 40	73FP0001	per	1
		5	Vas de expansiune închis VAREM - MANT/VAREM L2 - 200 litri	41VH0200	buc	1
		6	Supeșă de siguranță BIANCHI FI-FI - 6 bar	40194471	buc	2
		7	Termometr: Technology Group "GI (interio)	19T 0002	buc	2
		OPTIONAL:				
		5	Electropompă recirculare a.c.m. DAB model: A65150M, Q = 2,1 mc/h, H = 2,1 mCA	73P 0020	buc	1
		8	Hoțender - DAB, 1"	74C 0001	per	1
9	Termometr: Technology Group "GI	19T 0016	buc	1		
10	Manometru 6 bar	39NF0001	buc	1		
11	Termometru DMIT	19T 0001	buc	1		
12	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 1/2"	40160425	buc	2		
13	Robinet de reținere BIANCHI FI-FI 1/2"	40G60442	buc	1		
14	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 1/4"	40160425	buc	2		
15	Robinet de reținere BIANCHI FI-FI 1/4"	40G60442	buc	1		
16	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 3/8"	40160425	buc	2		
17	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 1/2"	40160425	buc	2		
18	Robinet de reținere BIANCHI FI-FI 1/2"	40G60442	buc	1		
19	Robinet de reținere BIANCHI FI-FI 3/8"	40G60442	buc	1		
20	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 1/2"	40160425	buc	1		
LEGENDA		21	Teu redus 2" x 1 1/2" x 2"	45R15019	buc	1
			Manșon reductiv 1 1/2" x 1 1/2"	45O14004	buc	1
Nr. Crt.	DENUMIRE	COD	UM	Ct		
1	Schimbător de căldură cu plăci - T3-33 plăci 350/500 Kcal/h	38241033	buc	1	22	Robinet de trecere BIANCHI FI-FI 1/2" pentru spălare chimică
2	Rezervor de acumulare a.c.m. tip 20CC - 116P - 5.000 litri	73P 0020	buc	1		
3	Electropompă circulație primar schimbător DAB, BPH60280-50M, Q = 7,0 mc/h, H = 4,8 mCA	73P 0020	buc	1		
4.1	Kit lanțe pompă DN 40	73FP0001	per	1		
					23	Teu redus 2" x 1 1/2" x 2" pentru panoul 6 l
						Manșon reductiv 1 1/2" x 1 1/2" pentru panoul 6 l

205

romstal

CATALOG MODULE, EDIȚIA VII-2006

* Acest catalog este preparat prin intermediul sistemului DEX S.R.L. Dincolo de copertă este prezentat în caracteristici tehnice și prețurile modulelor.

De asemenea, se vor prezenta realizările firmei *Schmidt-Bretten România*, în ceea ce privește modulele compacte de puncte termice pentru încălzire și preparare apă caldă menajeră.

Construcție: Modulele de punct termic sunt ansambluri prefabricate, complet echipate și automatizate, care utilizează agentul termic produs de o sursă centralizată de căldură, pentru producerea și distribuția apei calde pentru instalații de încălzire și preparare a apei calde menajere.

Date tehnice

Modulele de punct termic Schmidt-Bretten România sunt produse în patru variante constructive: *module seria DHW*-preparare apă caldă menajeră în schimbător de căldură, în regim instantaneu; *module seria DH/DHW*-încălzire directă-fără schimbător de căldură, cu reglaj calitativ al sarcinii termice și preparare apă caldă menajeră în schimbătorul de căldură, în paralel cu încălzirea; *module seria P-H/DHW*-încălzire indirectă-cu schimbător de căldură, cu reglaj calitativ al sarcinii termice și preparare a apei calde menajere în schimbător de căldură, în paralel cu încălzirea; *module seria S-H/DHW*-încălzire indirectă-cu schimbător de căldură, cu reglaj calitativ al sarcinii termice și preparare a apei calde menajere în schimbător de căldură, în serie cu încălzirea.



Figura 3.8. Modul de punct termic S-H DHW pentru încălzire și preparare a apei calde menajere

Modulele standard sunt dimensionate pentru furnizare agent termic pentru încălzire 70/90°C (agent termic primar 110/80°C) și apă caldă menajeră 10/60°C (agent termic primar 70/45°C), presiuni nominale 6, 10 și 16 bar (figura 3.8.).

Funcție de condițiile specifice și de opțiunile clientului, specialiștii Schmidt-Bretten România proiectează și execută modulul adaptat necesităților aplicației-grad de echipare, proprietăți termice și chimice ale agenților termici, spațiu de montaj disponibil, etc. (figura 3.9.).

Tip	DHW		DH/DHW			P-H/DHW			S-H/DHW		
	Capacitate termică		Capacitate termică încălzire	Capacitate termică a.a.m.	Debit apă caldă menajerie	Capacitate termică încălzire	Capacitate termică a.a.m.	Debit apă caldă menajerie	Capacitate termică încălzire	Capacitate termică a.a.m.	Debit apă caldă menajerie
	kW	l/h									
2	45	780	30	45	780	30	45	780	30	45	780
4	75	1300	45	75	1300	45	75	1300	45	75	1300
6	90	1600	55	90	1600	55	90	1600	55	90	1600
8	110	1900	75	110	1900	75	110	1900	75	110	1900
12	132	2300	90	132	2300	90	132	2300	90	132	2300
16	160	2770	110	160	2770	110	160	2770	110	160	2770
20			132	200	3470	132	200	3470	132	200	3470
24	200	3470	160	200	3470	160	200	3470	160	200	3470
28			200	200	3470	200	200	3470	200	200	3470
36			250	250	4330	250	250	4330	250	250	4330
44	250	4330	315	250	4330	315	250	4330	315	250	4330
56	315	5450				400	315	5450	400	315	5450
80						500	400	6330	500	400	6330
80	400	6330									
98						630	400	6330	630	400	6330
128	500	8660				800	500	8660	800	500	8660
160	630	10910				1000	630	10910	1000	630	10910
216						1250	800	13860	1250	800	13860
236	800	13860									
240						1500	800	13860	1500	800	13860

Figura 3.9. Caracteristici gamă standard

Modulele compacte pentru puncte termice înglobează echipamente pentru schimb termic, circulație agent termic, reglaj, contorizare și filtrare:

- schimbător de căldură preparare încălzire (HPHE) și/sau preparare apă caldă menajeră (WPHE);
- pompă circulație agent încălzire (HCP);
- pompă recirculare a apei calde menajere (opțional) (RCP);
- vană trei căi pentru reglaj încălzire (H-3WV) și apă caldă menajeră (W-3WV);
- regulator electronic (ELC);
- sondă temperatură exterioară (TE);
- sonde temperatură agent termic (T1, T2, T3);
- contor energie termică (opțional) (FM);
- regulator presiune diferențială (opțional);
- vas expansiune cu membrană (EXP);
- filtre impurități (F1-F4);
- supape de siguranță (SV1, SV2);
- ventile de închidere (V1-V12);
- ventil de reținere (CV1);
- robinete golire/aerisire (EV, DV).

Codificările se referă la schemele termo-mecanice ale modulelor *Schmidt-Bretten România*.

APARATE SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ

Centralele termice sau termoelectrice produc agentul termic primar pentru prepararea apei calde menajere și încălzirea spațiilor. Din motive binecunoscute, agentul termic primar nu se utilizează direct ca apă caldă menajeră sau ca agent pentru încălzire. Punctele termice asigură prepararea apei calde menajere și a agentului termic secundar pentru încălzire, utilizând energia termică a agentului primar (apă caldă sau abur supraîncălzit). Procesul de preparare amintit anterior se realizează prin transferul de căldură de la agentul primar către agentul termic secundar. Cei doi agenți termici sunt separați printr-o suprafață de schimb de căldură; Dimensiunile suprafeței de schimb de căldură sunt determinate de caracteristicile fizico-chimice și termodinamice ale agenților termici, precum și de caracteristicile fizico-chimice și dimensionale ale materialului din care este realizată suprafața de schimb de căldură. Literaturade specialitate clarifică în detaliu problema sus-amintită.

Problema esențială a realizării schimbului de căldură între cei doi agenți termici o constituie realizarea în condiții optime a circulației agenților termici și a realizării suprafeței de schimb de căldură. În cadrul punctelor termice, acest lucru este realizat de către echipamente specializate, numite generic „*aparate schimbătoare de căldură*”.

Aparatele schimbătoare de căldură sunt construite funcție de caracteristicile agenților termici (primar și secundar) și funcție de interese tehnico-economice materializate, în primul rând, prin caracteristica *preț / suprafață schimb de căldură*. În cadrul unui punct termic, agentul primar este apa fierbinte sau abur supraîncălzit, iar agentul secundar este apă sau aer. De aceea, aparatele schimbătoare de căldură sunt aparate: „*abur-apă*”, „*apă-apă*”, „*abur-aer*”, „*apă-aer*”.

În trecut se foloseau și se mai folosesc încă **aparate schimbătoare de căldură cu fascicul de țevi paralele**, aparate la care suprafața de schimb de căldură o constituie suprafața țevelor, agenții termici circulând prin interiorul, respectiv, exteriorul țevelor. Acest tip de aparate schimbătoare de căldură are o serie de avantaje și dezavantaje: pot fi folosite la presiuni ridicate, etanșarea între cele două fluide nu ridică probleme tehnice deosebite, dar au dimensiuni mari, costuri ridicate, iar raportul greutate/suprafața de schimb de căldură este

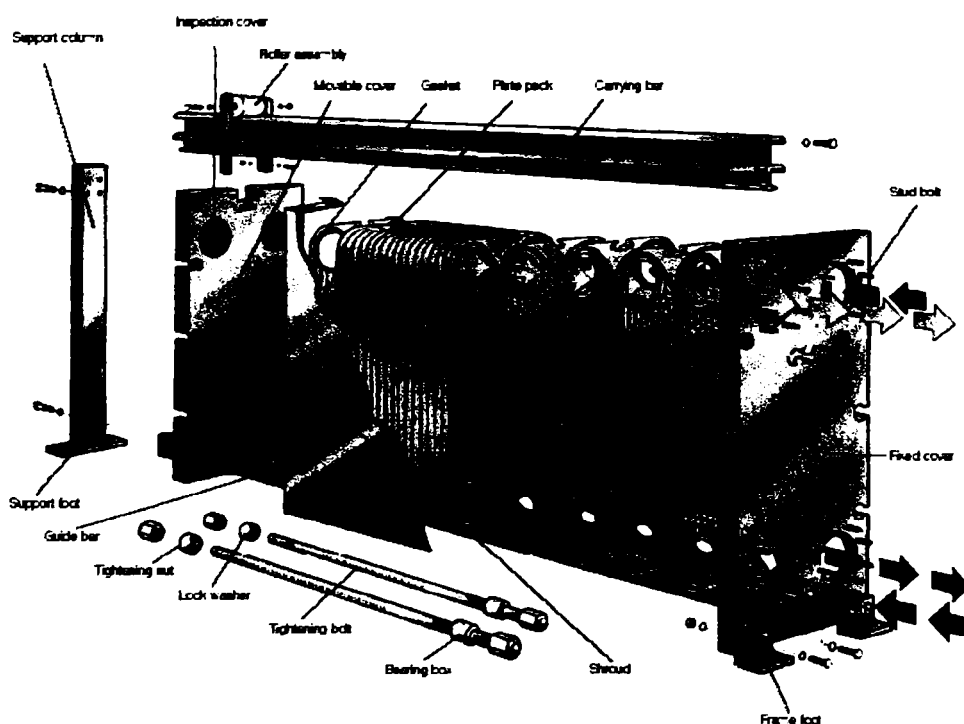
foarte mare, ridică probleme de întreținere. Din aceste motive, în ultimul timp, acest tip de schimbătoare de căldură sunt utilizate tot mai rar în echiparea punctelor termice.

Pentru a înlătura o serie dintre aceste dezavantaje, în prezent se folosesc, în cadrul punctelor termice, *aparate schimbătoare de căldură în plăci*, de construcție compactă și tipodimensiuni diverse (vezi figura 3.10.). Firmele specializate și care se află în topul mondial sunt : *Schmidt-Bretten, Vicarb, Alfa-Laval, CIAT.*



Figura 3.10. Schimbătoare de căldură cu plăci [www.alfalaval.com...]

Schema constructiv-funcțională a unui astfel de aparat este prezentată în figura 3.11. [www.alfalaval.com/...]. Elementul constructiv al acestui tip de aparat de schimbător de căldură este pachetul de plăci. Numărul de plăci, tipul și forma lor se definesc funcție de aplicația dată. Fiecare placă este prevăzută cu o garnitură ce permite atât reținerea fluidelor în schimbător, cât și separarea celor două fluide de lucru între ele. Pachetul de plăci este montat într-un batiu și strâns astfel încât să se asigure etanșarea. Batiul constă dintr-o placă fixă, o placă mobilă, bare de ghidaj și tiranți de fixare. Ideal, toate racordurile la instalație sunt situate pe placa fixă, dar pot fi prevăzute racorduri și pe placa mobilă, în cazul schimbătoarelor cu mai multe trepte sau la dorința expresă a utilizatorului. Fluidele de lucru intră și ies din pachetul de plăci prin racordurile prevăzute în batiu. Ele parcurg pachetul de plăci circulând în contracurent prin canalele formate de fiecare pereche de plăci consecutive, transferând căldura prin fiecare placă ce separă cele două fluide.



Alfa Laval - plate technology 5

Figura 3.11. Schema de principiu a unui schimbător de căldură în plăci

Oțelul inoxidabil și aluminiul sunt principalele materiale folosite pentru execuția plăcilor care reprezintă suprafața de schimb de căldură a aparatului. Plăcile sunt executate în mai multe variante constructive, fiind prevăzute cu nervuri pentru mărirea suprafeței de schimb de căldură și pentru mărirea turbulenței la curgerea agenților termici. Distanța și etanșarea între plăci este realizată prin garnituri de diverse dimensiuni și realizate din diverse materiale. În figura 3.12. [www.alfalaval.com/...] se prezintă câteva soluții constructive de plăci și etanșări, iar în figura 3.13. se prezintă detaliat sistemul de etanșare cu garnituri a plăcilor pentru asigurarea circulației agenților termici.

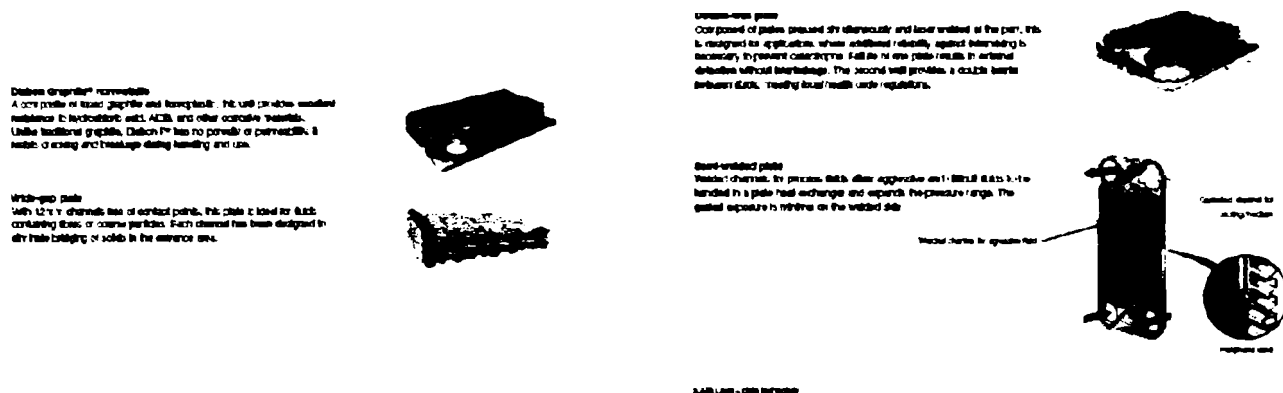


Figura 3.12. Soluții constructive de plăci pentru schimbătoare de căldură

Garniturile sunt folosite pentru etanșare la exterior și pentru separarea circuitelor. Garniturile se pot fixa pe plăci fie prin adezivi fie, pentru anumite tipuri, prin prindere cu diferite sisteme specializate, spre exemplu sistemul SIGMAFIX. Materialele utilizate curent pentru garnituri sunt elastomeri ca etilen-propilena, nitrilul, butilul, siliconul, cloro-propena, etc., precum și garnituri dure, fără azbest. Garniturile din elastomeri pot fi utilizate până la temperaturi de lucru de 170°C, iar cele dure până la 250°C. Dispunerea garniturilor pe plăcile schimbătoarelor de căldură determină atât etanșarea, cât și modul de circulație a fluidelor. În figura 3.13. este prezentat un exemplu de etanșare cu garnituri a plăcilor.

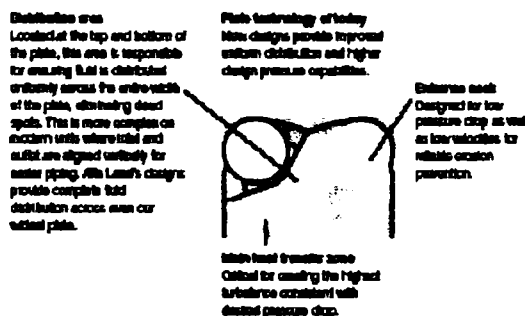


Figura 3.13. Sistem de etanșare cu garnituri a plăcilor [www.alfalaval.com/...]

Avantajele schimbătoarelor de căldură cu plăci sunt:

- coeficient de transfer termic ridicat;
- recuperare optimă a căldurii;
- conținut de lichid redus;
- construcție compactă;
- nu permit amestecul între fluidele de lucru;
- flexibilitate ridicată;
- depuneri pe suprafețele de transfer termic extrem de mici;
- întreținere ușoară.

Schimbătoarele de căldură cu plăci sunt realizate într-o varietate mare de tipodimensiuni, cele mai utilizate având următoarele caracteristici tehnice:

- presiunea maximă de lucru 10÷25 bar;
- temperatură maximă de lucru 250°C;
- temperatura minimă de lucru –120°C;
- debit maxim pentru fluidele de lucru 8,5÷450 m³/h;
- suprafața de schimb de căldură 2,5÷75 m².

Alte echipamente specifice punctelor termice sunt: pompele de circulație; vase de expansiune; robinete; stații de tratare a apei; etc

POMPE DE CIRCULAȚIE

De obicei, se utilizează pompe centrifuge, care prezintă o serie de avantaje: cost redus, spații de amplasare mici, fundații ușoare și o exploatare simplă. Pompele de circulație sunt acționate cu motoare electrice cu turație fixă sau variabilă. Pompele moderne au următoarele caracteristici tehnice: corpul pompei este confecționat din fontă, arborele rotor este din oțel-inox, camera de protecție a rotorului este din oțel-inox, rotorul, din tehnopolimer, motorul de antrenare este asincron cu 2 sau 4 poli și este protejat prin intermediul unui releu termic incorporat, nu este cerută nici o protecție împotriva suprasarcinii motorului, presiunea maximă de lucru este uzual de 10 bar, temperatura maximă de lucru este de 110°C, grad de protecție echivalent cu IP 44, puterea maximă este cuprinsă între 40 și 2.500 W. Cele mai cunoscute firme producătoare de pompe de circulație sunt: *Grundfos, Wilo, DAB, SAER, KSB*.

VASE DE EXPANSIUNE ÎNCHISE

Ca urmare a variațiilor termice la care este supusă apa, aceasta își modifică volumul. Vasele de expansiune închise proiectate pentru a funcționa în instalații de încălzire sunt concepute în așa fel încât apa din instalație nu este în contact cu pereții metalici ai vasului. În acest fel pereții vasului nu se corodează și apa rămâne într-o stare perfectă de igienă. În general, membrana vasului este confecționată din SBR, butil sau cauciuc natural și poate fi înlocuită la nevoie. Vasele de expansiune închise sunt realizate în diferite variante constructive, având capacitatea de 25÷700 litri și presiunea de lucru între 5 și 6 bar. Principalele firme producătoare sunt: *Zilmet, Maxivarem, Flatvarem*.

ROBINETE

Din punctul de vedere analizat interesează, în mod deosebit, robinetele de reglare și robinetele de separare.

Robinetele de reglare sunt folosite pentru reglarea debitului la diferite corpuri de încălzire sau în rețeaua de termoficare, pentru a compensa diferențele de presiune care rezultă din utilizarea conductelor și a schimbătoarelor de încălzire diferite, precum și pentru a permite închiderea sau deschiderea rapidă a circuitului hidraulic. În prezent, se folosesc robinete de reglare acționate cu motoare electrice care permit acționarea la distanță a robinetului. Sunt realizate pe tipodimensiuni, în concordanță cu conductele cele mai des utilizate. Cei mai importanți producători de robinete de reglare sunt: *Danfoss, Imi, Samson*.

Robinete de separare. Au rolul de a închide complet sau parțial trecerea apei, având posibilitatea să izoleze anumite porțiuni ale instalației sau să regleze debitul pe aceste porțiuni. Aceste robinete sunt acționate manual și la fel ca și robinetele de reglare sunt executate pe tipodimensiuni, în concordanță cu conductele cele mai des utilizate. Producători reprezentativi de robinete de separare sunt: *KSB, Ebro, Gestra, Giacomini*.

Pentru a se ajunge la normele impuse de standarde privind calitatea apei, în anumite puncte ale circuitului termic sau exterior acestuia, se amplasează instalații de tratare a căror funcții sunt diversificate, fiind dependente de caracteristicile apei brute. Procedeele utilizate în tratarea apei sunt: **tratare fizico-chimică** (*coagulare, coagulare și decarbonatate*); **tratare chimică** (*cu var, cu var și carbonat de sodiu, cu var și fosfat trisodic*); **tratare cu schimbători de ioni** (*dedurizare, dezalcalinizare, demineralizare parțială, demineralizare totală*); **tratare termică** (*vaporizare sub vid, vaporizare sub presiune*); **alte procedee** (*osmoză inversă, stabilizare magnetică, etc.*). În funcție de proprietățile fizico-chimice ale fluidelor de lucru și de cerințele impuse se folosesc numai acele procedee de tratare care sunt adecvate situației date; cu precădere se folosesc procedeele de dedurizare, dezalcalinizare și demineralizare parțială. Instalațiile de tratare sunt realizate în diferite tipodimensiuni, având capacități între 15 și 500 litri, pentru debite între 400 și 10.000 l/h. Dintre producătorii de echipamente de tratare a apei menționăm firmele DECAL și Lamborghini.

În componența punctelor termice intră și alte elemente, cum ar fi conductele, compensatoarele de dilatare, aerisitoare, supape de siguranță, echipamente electrice și de automatizare, etc., pentru care se așteaptă, în următorii ani, perfecționarea și lărgirea gamei de produse, atât în ceea ce privește concepția și materialele utilizate, cât și în ceea ce privește performanțele tehnico-economice.

D. Conducerea automată a punctelor termice cu ajutorul calculatorului.

Sistemele automate sunt concepute fie să realizeze o succesiune dată de evenimente, caz în care ele se numesc sisteme de comandă automată, fie să mențină la valori prescrise una sau mai multe elemente ale sistemului care au tendința de a se modifica în timp datorită unor condiții specifice, cum ar fi perturbațiile, în acest caz sistemele numindu-se sisteme de reglare automată.

Problema reglării unui proces real se prezintă astfel: acea mărime sau parametru care trebuie menținut la valoarea dorită are la un moment dat, în timpul desfășurării procesului, o anumită valoare, diferită de cea dorită. Diferența dintre valoarea de referință (V_r), care este mărimea dorită, și răspunsul sistemului, adică valoarea măsurată cu un senzor (V_m), poartă numele de eroare (e) și apariția ei se datorează diverselor perturbații care afectează procesul real.

$$e = V_r - V_m$$

Scopul principal al oricărui sistem de reglare este diminuarea acestei erori și menținerea ei cât mai aproape de zero în măsura posibilităților. Pentru a realiza acest lucru, eroarea este semnalată unui sistem fizic capabil să acționeze asupra procesului real în sensul diminuării acestei erori. Acest element poartă numele de regulator (compensator sau controler). În denumirea generică de regulator pot intra și elemente care nu fac parte din regulatorul propriu-zis dar care sunt elemente indispensabile buclei de reglare. Aceste elemente sunt: senzorul, elementul de comparație și elementul de execuție. Senzorul preia de la procesul real valoarea momentană și o transformă într-o mărime fizică care poate fi comparată cu o altă valoare a aceleiași mărimi fizice, corespunzătoare valorii dorite a mărimii fizice urmărite în proces. De acest lucru se ocupă elementul de comparație care furnizează rezultatul regulatorului propriu-zis. Acesta la rândul lui va comanda un element de acționare care va modifica starea sistemului fizic în sensul menținerii valorii reale cât mai aproape de mărimea dorită.

Pentru buna funcționare a oricărui sistem tehnic este necesară realizarea unui program de automatizare care să urmărească și să regleze parametrii funcționali ai acestuia. Elaborarea programului de automatizare necesită parcurgerea următoarelor etape:

- ◆ *stabilirea scopului automatizării*
- ◆ *identificarea procesului*
- ◆ *elaborarea schemei centralei cu buclele de automatizare și cu echipamentele de măsură și control*
- ◆ *elaborarea programului de automatizare și implementarea lui pe automatul programabil*

În general pentru sistemele de conducere industriale (pentru cazul de față punctelor termice) nu sunt utilizate calculatoare convenționale. Un calculator convențional, își ia datele de la tastatură iar rezultatele sunt vizualizate pe un ecran sau la imprimantă, iar datele manipulate sunt în general caractere sau numere. Față de acesta, calculatoarele utilizate pentru controlul proceselor în timp real sunt foarte diferite, în primul rând datorită faptului că acestea trebuie să interacționeze cu un număr foarte mare și variat de dispozitive de I/O. Un sistem de control de dimensiuni foarte reduse poate avea un număr de pînă la 20 conexiuni la semnale de I/O; cifre de ordinul a aproximativ 200 de conexiuni sunt absolut normale pentru un sistem de dimensiuni medii.

Chiar dacă este posibilă conectarea acestei cantități de semnale la un calculator convențional, aceasta implică realizarea unor conexiuni non-standard precum și realizarea de cutii externe. În mod similar, chiar dacă programarea pentru această mare cantitate de semnale de I/O poate fi realizată în limbajele convenționale cum ar fi Pascal, Basic sau C⁺⁺, acestea ar fi utilizate cu un scop pentru care nu au fost inițial proiectate și rezultatul poate fi destul de incert. De asemenea, operând în timp real, timpul este o componentă distinctă a strategiei de control: secvențe ca “deschide valva; așteaptă 2,5s; pornește pompa pentru o perioadă de 3min”, sunt greu de scris utilizând limbaje de programare convenționale.

Practic, un calculator utilizat în cadrul unui sistem de control industrial trebuie să îndeplinească următoarele cerințe [ParrE.A.'95]:

- trebuie proiectat astfel încât să poată funcționa și să supraviețuiască în mediu industrial, cu tot ceea ce implică acesta referitor la condițiile de temperatură, umiditate, praf, tensiuni de alimentare, zgomote etc.
- trebuie să fie capabil să utilizeze semnale de I/O digitale la voltajele întâlnite în industrie (de la 24 V pînă la 240 V), precum și semnale de I/O analogice; extinderea I/O să poată fi realizată simplu
- limbajul de programare trebuie să fie cât mai simplu, ca să poată fi înțeles de persoane cu relativ puțină pregătire în domeniu; programele trebuie să poată fi modificate ușor, în funcție de schimbările care apar în cadrul procesului controlat
- trebuie avut în vedere că, într-un sistem de control, multe din erorile care apar sunt nu atât erori de programare cât erori rezultate din defecțiunea unor anumiți senzori, comutatoare (switch-uri) etc., astfel încât trebuie să fie posibilă detectarea ușoară a unor astfel de erori de către calculator
- calculatorul trebuie să fie suficient de rapid pentru a realiza controlul în timp real; acest lucru depinde, atât de viteza calculatorului folosit cât și de timpul de răspuns caracteristic aplicației
- un prim considerent trebuie să fie securitatea sistemului și a personalului care îl deservește

În concluzie a fost necesară apariția unui nou echipament numeric (calculator) cu trăsături hardware și software distincte care să poată fi utilizat pentru conducerea proceselor industriale. Acest tip de calculator special numit „*automat programabil*” a fost creat pentru

prima dată de firma americană General Motors în anul 1969. Practic automatul programabil poate fi încadrat în echipamentelor de conducere numerică.

În perioada imediat următoare alte două companii: Bedford Associates (ulterior numită Modicon) și Allen Bradley au creat independent una de cealaltă automate programabile care aveau o structură asemănătoare ca cea prezentată în figura 3.14.

La ora actuală există 5 mari producători de automate programabile precum și de software aferent și anume[ParrE.A.'95]:

- *Allen Bradley* – (în prezent proprietate a firmei Rockwell) cunoscută prin automatele programabile seria 5, firmă care a dezvoltat multe dintre conceptele de bază ale funcționării automatelor programabile, producător care a asigurat o compatibilitate între modelele anterioare și cele moderne;
- *Siemens* – cunoscută prin automatele programabile Simatic S5 care au apărut pe piața europeană la începutul anilor '90;
- *ABB* – formată prin comasarea firmelor ASEA și Brown Boveri cunoscută prin automatul ASEA Master System, a cărui limbaj de programare prezintă elemente interesant și puternice;
- *GEC* – (în prezent CEGELEC parte a unui grup francez a cărui acționar majoritar este Alstom) cunoscută pentru automatul programabil GEM –80;
- *Mitsubishi* – cunoscut prin automatele programabile pentru sistemele de control de mărimi reduse dintre care se poate aminti F2-40.

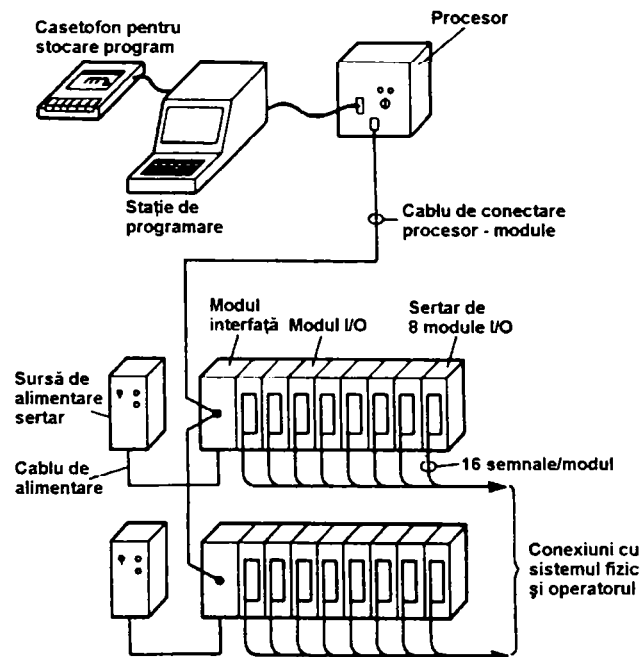


Figura 3.14. Componentele unui automat programabil

Un alt aspect important, legat indirect de calculator, îl reprezintă interfațarea. În general, companiile care furnizează calculatoare pentru control industrial (automate programabile) furnizează și propriile lor interfețe "standard" pentru diversele tipuri de dispozitive de I/O, existând în general 4 mari categorii de astfel de interfețe[RoddM.C.'89]:

- interfețe pentru dispozitive care furnizează mărimi digitale;
- interfețe pentru dispozitive care furnizează mărimi analogice;
- interfețe pentru dispozitive care furnizează trenuri de pulsuri;
- interfețe pentru telemetrie.

În ceea ce privește standardele folosite trebuie menționat faptul că, de regulă, acestea nu sunt compatibile unele cu altele datorită provenienței lor de la diferiți producători, ceea ce constituie neîndoiește o dificultate.

Încercări de a defini interfețe general suportate de cât mai mulți producători au dus la câteva reușite în acest sens. Deci, din punct de vedere practic, pentru tipul de calculator ales trebuie alese și interfețele corespunzătoare pentru I/O; acestea trebuie să fie perfect compatibile și să permită ușor o eventuală extindere.

De asemenea, pe lângă hardware-ul propriu-zis, în cadrul sistemului trebuie să existe o anumită ierarhie, stabilită astfel încât să se obțină o cât mai bună structurare a unui sistem. Un exemplu în acest sens îl reprezintă interfața cu utilizatorul: aceasta se realizează de obicei pe un calculator (sau calculatoare), altul decât cel utilizat pentru programul propriu-zis.

În cazul aplicațiilor de control a proceselor industriale, gama de facilități necesară fiind relativ mică și predictibilă, nu este lipsit de sens și nici prea dificil să li se dedice un software de aplicație sau un limbaj special.

În acest sens, există trei abordări[Benn.'94], și anume:

- *software “table-driven”*;
- *software “block-structured”*;
- *limbaje specializate*.

Software-ul “table-driven”, se bazează pe ideea că există anumite segmente de cod care se reutilizează, eventual cu alți parametri, și în alte aplicații. De exemplu, segmentul de cod pentru reglarea PID trebuie scris doar o singură dată[Astr.'84], și toate referințele către parametri și date să fie realizate apoi indirect.

Un astfel de sistem conține un program de control care comunică cu o tabelă de date și parametri. Programul de control trebuie să conțină toate tipurile de control (bucle, I/O etc.) care se doresc a fi utilizate.

Acest program se inserează la configurarea sistemului și nu poate fi schimbat de utilizator. În schimb, utilizatorul poate modifica datele și eventual parametri prezenți în structurile de control prin intermediul accesului la tabela de date. Anumite sisteme permit utilizatorilor să scrie programe de aplicație, într-un limbaj uzual (Fortran sau Basic) care să interacționeze cu programul de control.

Dacă software-ul “table-driven” este foarte simplu de utilizat, totuși acesta este foarte restrictiv, în sensul că programul de control este predefinit la configurare.

În acest sens, varianta “block-structured” aduce un plus de flexibilitate prin utilizarea unor biblioteci de blocuri de funcții (rutine de scanare, rutine pentru controlul PID, rutine pentru ieșiri, funcții aritmetice, blocuri pentru scalare, rutine pentru alarme și afișare) precum și a unor modalități de manipulare a acestor blocuri de funcții.

Astfel, se poate programa o schemă de control prin interconectarea diferitelor blocuri de funcții și introducerea parametrilor corespunzători pentru fiecare bloc. Aceasta se realizează în mod curent utilizând un terminal pe care se pot reprezenta grafic conexinile între blocuri.

Diferite tipuri de *software “block-structured”* sunt utilizate într-o largă varietate de sisteme actuale, de la automate programabile simple utilizate pentru controlul secvențial și pînă la sisteme de control ale proceselor foarte complexe, cu câteva sute de bucle de control și multiple stații de operare.

Gama de automate programabile disponibile în acest sens, împreună cu facilitățile software respectiv hardware poate fi sintetizată prin tabelul 3.6.[Benn.'94]:

Tabelul 3.6: Blocuri de funcții în automatele programabile

Funcții software:	<i>De bază</i>	<i>Avanate</i>	<i>De proces</i>
	Booleene Timer-e Counter-e Mutări de date Comparații Aritmetice	Transferuri de blocuri Salturi Fișiere Rotiri de registre Secvențiere Virgulă mobilă	Semnalizare Monitorizare Control PID Comunicare Achiziție Afișare
Funcții hardware:		<i>Automate progr. mici</i>	<i>Automate progr. mari</i>
	Intrări Ieșiri Timer-e Counter-e Pogram utilizator Timpul unui ciclu (per 1K)	16 16 8 8 2K 100 ms	4096 4096 256 256 48 K 1 ms

Limbajele specializate pentru diferite tipuri de aplicații, variază de la simple interpretoare, care permit interacțiunea cu sisteme de tip “table-driven” sau “functional-block” la limbaje complexe de nivel înalt, care trebuie compilate. Cea mai importantă caracteristică a acestora este aceea că ele furnizează o sintaxă care reflectă natura aplicației.

Practic putem considera că programul unui automat programabil rulează permanent, reluând același ciclu. Instrucțiunile utilizatorului sunt executate secvențial, după ultima instrucțiune a programului continuându-se cu prima instrucțiune. Deci un automat programabil nu comunică continuu cu exteriorul[Parr.'98].

Această acțiune de execuție continuă a programului se numește “scanare” iar intervalul de timp necesar execuției setului de instrucțiuni utilizator o singură dată se numește “*perioadă de scanare*” (scan time). Acesta depinde de mărimea programului și de viteza procesorului, mărimile tipice fiind $2-5ms/Kprogram$. O “perioadă de scanare” de valoare medie se situează între limitele 10–50ms. Un automat programabil nu citește de fiecare dată valorile tuturor mărimilor de intrare care s-au modificat; ar fi o pierdere de timp. Astfel la începutul fiecărui interval de scanare se citesc valorile tuturor mărimilor de intrare care sunt stocate în memoria automatului programabil. Valoarea mărimilor de ieșire este modificată în memorie de către program iar la sfârșitul perioadei de “scanare” sunt actualizate simultan. Deci ciclul are următoarea structură: *citire intrări, execuție program, actualizare ieșiri*.

Practic putem considera memoria unui automat programabil împărțită în patru zone distincte. Datele de intrare sunt memorate într-o zonă, cele de ieșire în altă zonă, o altă zonă e utilizată pentru mărimi interne ale programului (utilizată pentru numărătoare, temporizatoare, stocare biți, semnale de eroare) și apoi zona care conține programul[Gab.'96]. Pentru referirea la primele trei zone menționate se utilizează termenul “*tabela de date*” (data table).

Inițial, automatele programabile au fost programate utilizând o interfață grafică care permitea descrierea funcțiilor de control într-o manieră asemănătoare cu cea utilizată la proiectarea circuitelor cu relee. Această metodă, deși familiară multor ingineri, nu acceptă modalitatea de programare structurată; de aceea au apărut și modalități alternative de programare. Din acest motiv nu există o standardizare în cazul metodelor de programare.

În anul 1993 Comisia Electrotehnică Internațional (International Electrotechnical Commission) a elaborat un standard pentru a realiza o uniformitate în domeniul PLC-urilor. Acesta este *IEC 1131: Programmable Controllers* iar partea a 3-a a acestui document se referă la limbajele de programare [IEC.'93]. Datorită faptului că în acel moment existau și se utilizau deja câteva tehnici, s-a considerat necesară incorporarea diverselor metode de programare utilizate decât să se specifice o singură metodă preferată. Acest standard descrie 2

metode grafice și 2 limbaje de de tip text precum și o tehnică grafică utilizată pentru generarea structurilor secvențiale.

Metodele de programare definite de acest standard sunt [IEC.'93]:

- *diagrame ladder* (diagrame scară) – o metodă grafică bazată pe metodele utilizate în proiectarea circuitelor cu relee. Acest mod nu oferă posibilitatea de a realiza o programare structurată;
- *diagrame de blocuri funcționale* (function block diagrams) – metodă grafică care definește un program pe baza blocurilor de control. Oferă suport pentru o construirea unei structuri ierarhice, dând posibilitatea utilizatorului de a crea biblioteci cu blocuri de control;
- *listă de instrucțiuni* (instruction list) – limbaj de tip text, nu e de nivel înalt, asemănător limbajului de asamblare. Nu asigură utilizatorului un suport pentru programarea structurată;
- *text structurat* (structured text) – un limbaj de tip text, de nivel înalt, structurat.
- *hărți ale succesiunii de funcții* (sequential function charts) – metodă grafică de nivel înalt, ce poate fi utilizată pentru structurarea elementelor programului, scrisă în unul din limbajele anterior menționate, pentru a executa secvențe de funcții de control.

Majoritatea automatelor programabile sunt programate prin încărcarea aplicației soft printr-o conexiune serială. Programul utilizator este stocat în memoria RAM prevăzută cu baterii în cazul căderilor de tensiune. Pentru aplicațiile critice din punctul de vedere al siguranței în funcționare e preferabilă stocarea programelor în memorii care se defectează mai greu (de tip EPROM sau EEPROM). Foarte multe dintre automatele programabile au prevăzut acest tip de memorie. Deoarece ele sunt utilizate în medii ostile din punct de vedere electric, producătorii pun mare accent pe acest aspect în faza de proiectare și execuție.

În ultimii ani automatele programabile au fost utilizate și în aplicații foarte critice; ele includ echipamente care prezintă siguranță față de defecțiuni precum și unități tolerante la defectare. Automatele programabile securizate sunt proiectate pentru a fi utilizate în aplicații care admit stări sigure [Store.'96]. Aceste conțin de obicei 2 procesoare identice și o metodă de comparare a operării acestora care să detecteze orice discrepanță. Deoarece ambele canale recepționează aceleași date de intrare, orice diferență apărută semnifică apariția unei defectări. *In acest caz întregul sistem se va opri într-o stare sigură cunoscută.* Se utilizează surse de alimentare și interfețe de I/O diferite pentru fiecare procesor pentru a micșora riscul ca o singură eroare să afecteze ambele canale. În această configurație este foarte puțin probabil ca o eroare hardware aleatoare să devină periculoasă pentru sistem. Dacă cele 2 canale sunt identice, această configurație nu realizează protecție împotriva erorilor sistematice, cum ar fi cele datorate utilizatorilor sau cele apărute în cadrul programului (soft).

Automatele programabile tolerante la defecte utilizează în mod obișnuit trei procesoare într-o structură redundantă triplu modulară. Un automat utilizează procesoare identice cu module de intrare și ieșire multiplicat de trei ori. Se utilizează pentru fiecare o sursă de alimentare separată pentru a micșora defectele de tip comun (*common-mode failure*) [Vin.'93]. Un mecanism de votare (voter) compară ieșirile canalelor și maschează practic efectul apariției unei singure defectări. Deci rezultă un nivel de detectare a defectului comparabil cu cel abordat securizat, la care se adaugă și cel de mascare a defectului (*fault-masking*). Deci această configurație poate fi utilizată în aplicații critice care nu au stări securizate, deoarece sistemul poate funcționa corect și în cazul prezenței unui defect [Store.'96]. Prețul plătit pentru această facilitate este creșterea complexității sistemului ceea ce are ca efect scăderea fiabilității.

E. Centrale de producere a energiei termice

Centrala termoelectrică este un ansamblu sistemic de instalații care realizează un lanț de transformări energetice, în scopul obținerii de energie electrică și termică, care se distribuie centralizat (Athanasovici, 1981).

Criteriul principal de clasificare a centralelor termoelectrice îl constituie felul energiei primare care stă la baza lanțului de transformări. Conform acestui criteriu, centralele termoelectrice se clasifică în:

a) *Clasice*, care utilizează energia primară din:

- surse convenționale: cărbuni superiori, cărbuni inferiori, combustibili minerali lichizi derivați din țiței, gaze naturale sau gaze asociate din petrol;
- surse neconvenționale: resurse energetice secundare (lichide, solide, gazoase) din industrie, deșeuri industriale, deșeuri menajere.

În aceste termocentrale energia primară se transformă în căldură (energie termică) prin ardere (energie chimică). Succesiunea lanțului de transformări în continuare este: energie stereomecanică (rotirea turbinei), energie electrică (antrenarea generatorului) și termică.

b) *Nuclear electrice*, care folosesc ca energie primară energia combustibililor nucleari naturali, îmbogățiți sau obținuți prin reproducere. În aceste centrale, transformarea energiei primare în căldură se face prin fisiune nucleară. Succesiunea lanțului de transformări este: energie nucleară, energie termică, energie stereomecanică și energie electrică și termică. Pentru aceste centrale electrice se utilizează notația prescurtată CNE.

c) *Geotermo-electrice*, care utilizează ca energie primară căldura din scoarța pământului asociată unor purtători naturali ca apa sau gazele fierbinți. În centralele geotermo-electrice energia primară termică (căldura) se transferă fluidului de lucru Succesiunea lanțului de transformări este: energie termică, energie stereomecanică și, în final, energie electrică și termică. Pentru aceste centrale se folosește notația prescurtată CGTE.

d) *Helio-electrice*, care utilizează ca energie primară radiația solară. Transformarea energiei primare în căldură se face prin transfer de căldură. Succesiunea lanțului de transformări: energie solară, energie termică, energie stereomecanică și, în final, energie electrică și termică.

Centrala termică este un ansamblu sistemic de instalații care au drept scop producerea de căldură sub diferite forme (abur, apă fierbinte, apă caldă) pe care o distribuie centralizat.

Criteriile de clasificare a centralelor termice sunt:

- după felul purtătorului termic de căldură (abur de diferite presiuni, apă fierbinte, apă caldă);
- după natura consumatorului căruia îi este distribuită căldura (industrial sau urban);
- după felul combustibilului folosit pentru producerea căldurii.

O centrală termică cuprinde instalații de cazane (de abur sau apă fierbinte) împreună cu anexele lor, instalații de pompare, eventual schimbătoare de căldură, etc; ca un element caracteristic fiind lipsa instalațiilor de producere a forței (turbine, mașini termice de forță, etc.).

Termoficarea, (numită la ora actuală cogenerare), reprezintă producerea simultană a căldurii și a energiei electrice utilizând aceleași instalații energetice și aceeași sursă de combustibil (organic, nuclear, deșeu, energie regenerabilă).

Din punctul de vedere al producerii, cogenerarea presupune livrarea din aceeași instalație (TA, TG, sau MD ori cu gaz) în același timp și în interdependență a celor două forme de energie: căldura și lucrul mecanic (transformat cel mai adesea în energie electrică).

Simultaneitatea producerii celor două forme de energie din aceeași instalație și aceeași sursă de energie primară (combustibil) este o condiție sine qua non a noțiunii de cogenerare.

Interdependența cantitativă și calitativă a celor două forme de energie produse, este determinată de natura tehnologiilor de cogenerare utilizate (TA, TG, ori MD ori cu gaz) și de concepția tehnică de realizare și dimensionare a acestora.

Avantajele cogenerării față de producerea separată – independentă – a căldurii din surse numai de căldură și a energiei electrice din surse specializate pentru producerea numai a energiei electrice sunt următoarele:

- *termodinamic,*

Producerea numai a energiei electrice în cel mai performant ciclu – cel combinat gaze/abur – se poate face cu un randament maxim de 50%.

Producerea numai a căldurii, în centralele termice cu cazanele cele mai performante, se poate face cu randamente maxime de circa 93%.

$$[\text{Randament global, } \eta_{\text{COGE}}] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Energie electrica} \\ \text{livrată, } W \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Caldura} \\ \text{livrată, } Q \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Echivalent energie primara total} \\ \text{consumată pentru producerea celor} \\ \text{două forme de energie } CB(W, Q) \end{array} \right]}$$

Ca urmare, randamentul global de producere separată a celor două forme de energie poate atinge maxim 68÷69%. Față de producerea separată, indiferent de natura ciclului utilizat (cu abur, cu gaze), *cogenerarea* conduce la un randament global de producere a celor două forme de energie (η_{COGE}) în medie de 80÷90%, respectiv cu 25÷60% mai mare față de producerea separată.

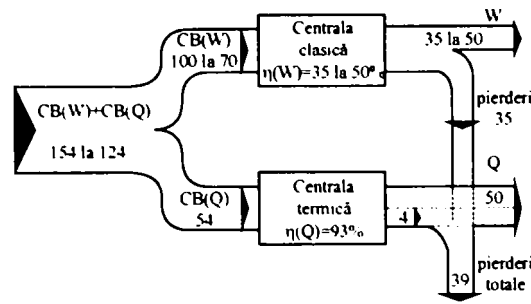
- *economia de energie primară*

Economia de energie primară (de combustibil) aferentă producerii celor două forme de energie, care este:

$$0,3...0,6 \cdot \left(\frac{\text{kJ energie primara economisita}}{\text{kJ energie totală livrată}} \right) \\ (\text{caldura și energia electrica})$$

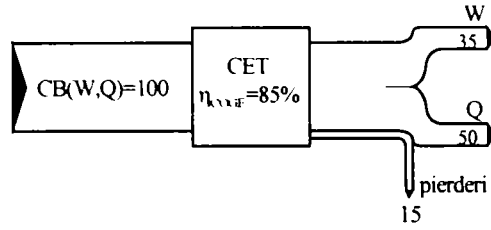
- *reducerea emisiilor poluante*

Reducerea emisiilor poluante, ca o consecință a reducerii consumului de combustibil. În consecință, emisiile de CO₂ scad în medie de la 820 la 380g/kWh_{el}, emisiile de SO₂ scad de la 600 la 0g/kWh_{el} și emisiile NO₂ scad de la 600 la 350g/hWh_{el}.



$\eta(W) = 50 \text{ la } 35\%$;
 $\eta(Q) = \eta_{CT} = 93\%$
 $\eta_{sep} = 85 / (124 \text{ la } 150) = 68,5 \text{ la } 55\%$
 Consum total de energie primară:
 $CB(W)+CB(Q)=CB$
 $\eta_{sep} = 124 \text{ la } 154$

a) sistemul convențional separat



$\eta_{COGE} = 85\%$
 Consum total de energie primară:
 $CB(W,Q)=CB$
 $\eta_{COGE} = 100$

b) sistem de cogenerare

Figura 3.15. Comparația bilanțurilor energetice ale unei centrale de cogenerare față de producția convențională separată

$CB(W)$, $CB(Q)$ – combustibilul consumat pentru producția energiei electrice, respectiv a căldurii; $CB(W,Q)$ – combustibilul consumat pentru producerea ambelor forme de energie; W,Q – energie electrică, respectiv căldură; $\eta(W)$, $\eta(Q)$ – randamentul producerii energiei electrice, respectiv a căldurii; η_{sep} , η_{COGE} – randament global de producere a celor două forme de energie în soluție separată, respectiv în cogenerare

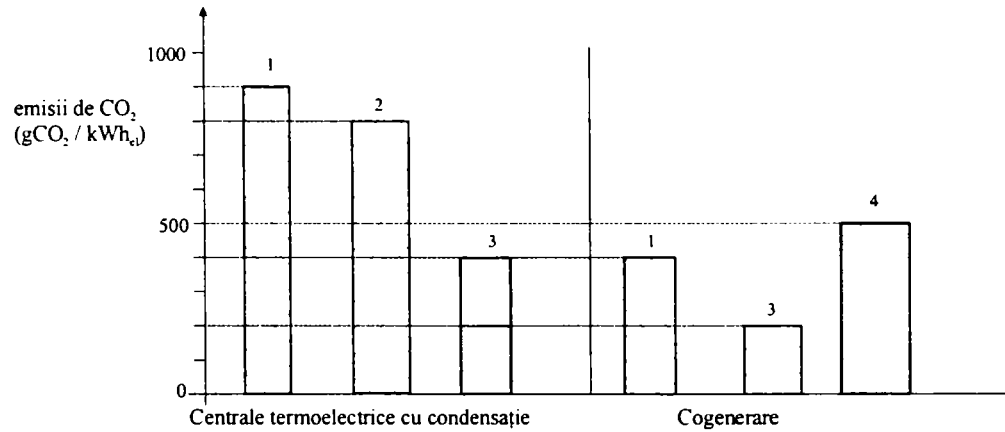


Figura 3.16. Reducerea emisiilor de CO_2 în centralele de cogenerare față de cele termoelectrice de producere numai a energiei electrice utilizarea cogenerării ca sursă de siguranță de alimentare cu energie electrică.

Tot ca urmare a economiei de combustibil organic se reduce indirect poluarea globală a sistemului ecologic (determinată de extracția, transportul și manipularea combustibilului).

- *reducerea costurilor de producție*

Reducerea costurilor de producție aferente producerii celor două forme de energie, determină o diminuare a costului specific de producție al acestora (lei/kWh_{el+term}).

- *reducerea pierderilor de energie electrică*

Reducerea pierderilor de energie electrică la transportul de la sursă până la consumator, datorită reducerii distanței de transport. Valoarea acestei reduceri este cu atât mai mare cu cât CET este mai aproape de consumator.

Cogenerarea de mică putere

Cogenerarea de mică putere – CMP (include și microcogenerarea – MCC și minicogenerarea – MIC) [SREE'2005], apelează la diferite tehnologii, în funcție de mulți factori, printre care cei mai importanți sunt: puterea electrică nominală cerută, structura cererii maxime și anuale de energie (raportul între cererea de energie electrică și căldură), tipul combustibilului avut la dispoziție, condițiile de dimensionare și de funcționare avute în vedere pentru instalațiile de cogenerare alese.

Tehnologiile de cogenerare diferă în funcție de *instalațiile de cogenerare de bază* utilizate pentru producerea simultană a celor două forme de energie care sunt:

- TVCP – turbină cu vapori cu contrapresiune (pură sau și cu priză reglabilă);
- TG – turbine cu gaze cu cazan recuperator clasic (CR);
- MT – motor termic cu gaze sau diesel ori “dual fuel” cu recuperarea căldurii din circuitul de răcire și din gazele de ardere;
- TG/TV – instalații cu ciclu mixt cu turbine cu gaze și turbine cu vapori.

Ca instalații termice de vârf, în funcție de tipul instalațiilor de cogenerare de bază, de modul lor de dimensionare corelat și cu mărimea și structura cererii de căldură, pe de o parte și de raportul între cererea de energie electrică și de căldură, pe de altă parte, se pot folosi:

- CV – cazane de vârf clasice, de abur sau apă fierbinte, deci tehnologia va fi: TVCP+CV iar tipul CMP, $P_{COGE}^n \leq 4MW_e$;
- CRPA și CRAS – cazane recuperatoare cu postardere și/sau cu ardere suplimentară, deci tehnologia va fi: (TG+CR)+CV și/sau (TG+CRPA)+CV și (TG+CRAS)+CV de tip $P_{COGE}^n = 50MW_e \dots 12MW_e$

Când se utilizează în tehnologia de bază (MT+CR)+CV puterea ce se poate obține $P_{COGE}^n = 10MW_e \dots 6MW_e$, iar în cazul tehnologiilor (TG+TVCP)+CV, $P_{COGE}^n \geq 6MW_e$.

Tehnologiile de CMP utilizate sunt determinate în primul rând de puterea electrică nominală de dimensionare, precum și de natura combustibilului ce poate fi utilizat.

Astfel, în timp ce tehnologia bazată pe utilizarea turbinelor cu abur permite folosirea, în principiu, a oricărui tip de combustibil, celelalte tehnologii impun utilizarea gazului metan (CH_4 la minim 15bar) sau a combustibilului lichid ușor (CLU).

În plus, instalațiile cu turbine cu gaze, cu puteri de peste $1MW_{el}$ necesită, în cazul utilizării gazului metan drept combustibil, presiuni ale acestuia de (8-12)bar, ceea ce este o condiție restrictivă, uneori decisivă, pentru posibilitatea practică de aplicare a tehnologiei respective.

Randamentul producerii celor două forme de energie

Orice instalație de cogenerare este caracterizată de următoarele valori nominale ale randamentelor[SREE'2005]:

- randamentele nominale ale producerii energiei electrice η_w ;
- randamentele nominale ale producerii căldurii η_Q ;
- randamentul total de producere a celor două forme de energie η_{TOT} , definit ca raportul între totalul energiei produse sub formă de căldură și energie electrică W și Q , și conținutul de căldură al combustibilului consumat în acest scop CB: $(W+Q)/CB$. Pentru instalațiile de cogenerare se poate defini un randament η_w și η_{TOT} , iar pentru instalațiile termice de vârf se definește randamentul acestora de producere a căldurii η_Q .

Pentru ansamblul instalației de cogenerare, care include și instalațiile termice de vârf, η_{TOT} ține seama atât de căldura produsă de instalațiile de cogenerare propriu-zise, Q_{COGE} , cât și de aceea dată de instalațiile termice de vârf, Q_{CV} (unde $Q=Q_{COGE}+Q_{CV}$), precum și de consumul total de combustibil aferent instalației de cogenerare CB_{COGE} și cel pentru instalațiile de vârf CB_{CV} (unde $CB=CB_{COGE}+CB_{CV}$).

Dacă se ține seamă că, în funcție de tehnologia de bază de cogenerare, diversele instalații pot produce simultan sau alternativ, energie electrică în strânsă dependență de: $Q_{COGE}-W_{COGE}$ și/sau independent de Q_{COGE} (între anumite limite) – W_{SEP} (unde $W=W_{COGE}+W_{SEP}$), atunci forma cea mai generală a randamentului total al unei centrale de cogenerare este:

$$\eta_{TOT} = \frac{W_{COGE} + W_{SEP} + Q_{COGE} + Q_{CV}}{CB_{COGE} + CB_{CV}}$$

La funcționarea în cogenerare W_{COGE} este în strânsă legătură cu Q_{COGE} și atunci η_{TOT} ia forma η_{COGE} .

$$\eta_{COGE} = \frac{W_{COGE} + Q_{COGE}}{CB_{COGE}}$$

Orice instalație de cogenerare (de bază și mai ales de vârf) în cursul anului este obligată să funcționeze și la sarcini parțiale, atât din punct de vedere termic cât și/sau din punct de vedere electric. De aceea la alegerea tehnologiilor, precum și la dimensionarea instalațiilor de bază, trebuie să se țină seama și de dependența randamentului nominal de producere a energiei electrice η_w , de mărimea puterii nominale a instalației respective, P_{COGE} , $\eta_w=f(P_{COGE})$.

Aceasta este foarte importantă pe măsură ce tehnologia de cogenerare utilizează instalații cu puteri electrice nominale mici. Ea se accentuează odată cu scăderea acestei puteri.

Indicele de cogenerare Y_{COGE}

O caracteristică importantă a instalațiilor de cogenerare este raportul[SREE'2005]:

$$Y_{COGE} = \frac{W_{COGE}}{Q_{COGE}} \left[\frac{kWh_{el}}{kWh_Q} \right]$$

Acesta arată câtă energie electrică produce instalația respectivă (W_{COGE}) pe seama căldurii furnizate de instalație (Q_{COGE}), în dependență una de cealaltă, în același timp, din aceeași instalație și pe baza aceluiași combustibil.

Din acest punct de vedere, ordinea crescătoare a valorilor nominale ale indicilor de cogenerare este următoarea: ciclul mixt gaze–abur, motoarele termice, turbinele cu gaze și, în final, ciclul cu turbine cu abur.

Trebuie reținut că valorile curente – la funcționarea la sarcini parțiale – ale indicelui de cogenerare sunt în strânsă legătură cu randamentul producerii energiei electrice η_w , deci ele se reduc o dată cu scăderea încărcării echipamentului de cogenerare de bază.

Aspectul este cu atât mai important cu cât crește ponderea producției de energie electrică în regim de “necogenerare” cum este cazul curent al turbinelor cu gaze și al motoarelor termice (prin evacuarea directă, parțială sau totală a gazelor în atmosferă).

Acest efect este sintetizat matematic prin “gradul de recuperare” reală a căldurii disponibile. În cazul turbinelor cu abur (unde gradul de recuperare a căldurii nu mai are sens, dar dacă totuși se calculează el este unitar) variația indicelui de cogenerare în funcție de încărcare este determinată de fapt de variația randamentului intern al acesteia.

3.2. Punct termic geotermal de eficiență crescută. Studiu de caz.

Rezumativ, în tabelele 3.7 și 3.8 sunt prezentate resursele geotermale cu actualul parc de sonde respectiv, parametrii zăcămintelor geotermale din România [Ros.'05].

Tabelul 3.7. Resursele geotermale ale României (cu actualul parc de sonde) la 31.12.2004

Localitatea	Tipul	Utilizare la maximum			Capacitate		Utilizare anuală	
		(kg/s)	temperatura (°C)		(MWt)	(kg/s)	Energie (TJ/an)	Factor capacitate
			intrare	ieșire				
Satu Mare	HB	12	65	30	1.8	7	32.3	0.58
Carei	BI	5	45	30	0.3	3	5.9	0.60
Acăș	GB	15	65	30	2.2	8	36.9	0.53
Tășnad	HBG	10	70	25	1.9	7	41.5	0.70
Beltiug	B	6	75	30	1.1	4	23.7	0.67
Săcuieni	HGBFID	22	80	25	5.1	12	87.1	0.55
Marghita	HB	12	65	25	2.0	10	52.8	0.83
Boghiș	BH	12	45	25	1.0	10	26.4	0.83
Mihai Bravu	GF	6	65	25	1.0	3	15.8	0.50
Borș	GD	25	115	40	7.8	12	118.7	0.48
Oradea	IHGBFD	85	83	30	18.8	65	415.0	0.69
Livada	Hbfd	10	88	35	2.2	5	35.0	0.50
Felix	BH	140	45	25	11.7	115	216.0	0.54
Mădăras	BH	5	46	25	0.4	3	8.3	0.60
Ciumeghiu	GD	12	92	35	2.9	6	45.1	0.50
Cighid	HBG	10	72	25	2.0	6	37.2	0.60
Beiuș	HBD	25	83	30	5.5	15	104.9	0.60
Macea	HGB	15	65	25	2.5	8	42.2	0.53
Curtici	HGB	22	63	25	3.5	14	70.2	0.64
Dorobanți	GB	18	60	25	2.6	9	41.5	0.50
Șofronea	HB	6	42	25	0.4	3	6.7	0.50
Irațoș	IB	5	40	20	0.4	3	7.9	0.60
Arad	B	12	40	25	0.8	7	13.8	0.58
Nădlac	IHBD	10	78	30	2.0	8	50.6	0.80
Sănnicolau Mare	IHBG	50	78	30	10.0	35	221.6	0.70
Saravale	HB	8	75	25	1.7	5	33.0	0.62
Tomnatic	GBD	45	80	30	9.4	22	145.1	0.49
Lovrin	HGB	40	81	30	8.5	30	132.0	0.49
Periam	HB	10	70	25	1.9	6	35.6	0.60
Jimbolia	IHGB	50	82	30	10.9	35	240.1	0.70
Teremia Mare	IHBD	15	85	30	3.5	6	43.5	0.40
Comloșu Mic	HBD	10	81	25	2.3	6	44.3	0.60
Grabăț	IB	6	80	30	1.3	3	19.8	0.50
Beregsău Mic	IB	6	75	25	1.3	3	19.8	0.50
Timișoara	HB	15	45	25	1.3	10	26.4	0.67
Herculane	B	75	52	25	8.5	50	148.0	0.67
Valea Oltului	HB	25	92	30	6.5	16	130.8	0.64
București Nord	HB	35	62	25	5.4	15	65.0	0.43
Total:	-	890	-	-	152.4	585.0	2870.7	-

În acest tabel sunt folosite următoarele notații pentru direcțiile de valorificare:

I - procese de încălzire din industrie; C - aer condiționat; A - procese de uscare din agricultură; F - ferme piscicole și zootehnice; D - încălzire spațială și preparare apă caldă de consum menajer; B - baze de tratament, băi și piscine; G - încălzirea serelor; O - alte aplicații.

Tabelul 3.8. Parametrii principali ai zăcămintelor geotermale din România

	U.M.	Oradea	Borș	Câmpia de Vest	Valea Oltului	Otopeni
Parametrul						
<i>Colectorul</i>	-	<i>carbonate fisurate</i>	<i>carbonate fisurate</i>	<i>gresii poroase</i>	<i>gresii poroase</i>	<i>carbonate fisurate</i>
Suprafața	km ²	75	12	2500	28	300
Adâncimea	km	2.2 - 3.2	2.4 - 2.8	0.8 - 2.1	2.1 - 2.4	1.9 - 2.6
Sonde forate	nr.	14	6	88	3	11
Sonde utilizate	nr.	12	5	37	2	5
Temperatura	°C	70 - 105	115	50 - 85	92 - 96	58 - 75
Gradientul termic	°C/100 m	3.5 - 4.3	4.5 - 5.0	3.8 - 5.0	4.6 - 4.8	2.8 - 3.4
Mineralizația	g/l	0.8 - 1.4	12.0 - 14.0	2.0 - 7.0	13.0	2.2
Gaze dizolvate	Nm ³ /m ³	< 0.1	5.0 - 6.5	0.5 - 2.5	2.0 - 2.8	0.1
Tipul producției	-	artezian	artezian	artezian + pompaj	artezian	pompaj
Debit/sondă	l/s	4 - 20	10 - 15	4 - 18	12 - 25	22 - 28
Utilizări	nr.	11	2	37	2	2
Economie anuală	tep	9700	3200	18500	2600	1900
Putere instalată	MW _t	58	25	210	18	32
Rezerve exploatabile (pentru 20 ani)	MWh _t /zi	570	110	4700	190	310
Principale utilizări:						
încălzire spații	apt.	2000	-	2460	600	1900
apă caldă menajeră	apt.	6000	-	2200	600	1900
sere	ha	1.8	6.0	34.0	-	-
procese industriale	nr.	6	-	7	-	-
balneoterapie	nr.	5	-	8	3	2

Conform diagramei Lindal energia geotermală se pretează a fi utilizată pentru încălzirea spațiilor și pentru prepararea apei calde menajere pentru situațiile în care temperatura apei este cuprinsă între 70÷120°C. Datele din tabele evidențiază faptul că România dispune de resurse geotermale care pot fi utilizate pentru asigurarea confortului termic al populației.

3.2.1. Proiectarea constructiv – funcțională

Ca date de proiectare se consideră o sondă geotermală dotată cu o pompă de adâncime având următoarele caracteristici: apa geotermală are o temperatură de aproximativ 85°C și un debit artezian de 30 l/s; atunci când necesarul de apă geotermală depășește 30 l/s este necesară pornirea pompei de adâncime care permite mărirea producției sondei la aproximativ 50 l/s. Caracteristica de producție a sondei este prezentată în figura 3.17.

Se propune încălzirea unor spații de locuit în suprafață desfășurată de 85.000m² (Volum construit V_{cl.tot}=220.000m³) și un necesar de apă caldă menajeră de 6l/s (21m³/h).

Considerând temperatura de 30°C, temperatură la care apa geotermală este uzată termic, sonda geotermală are o capacitate instalată de aproximativ 7MW în regim artezian sau 10,5 MW dacă se utilizează pompa de adâncime.

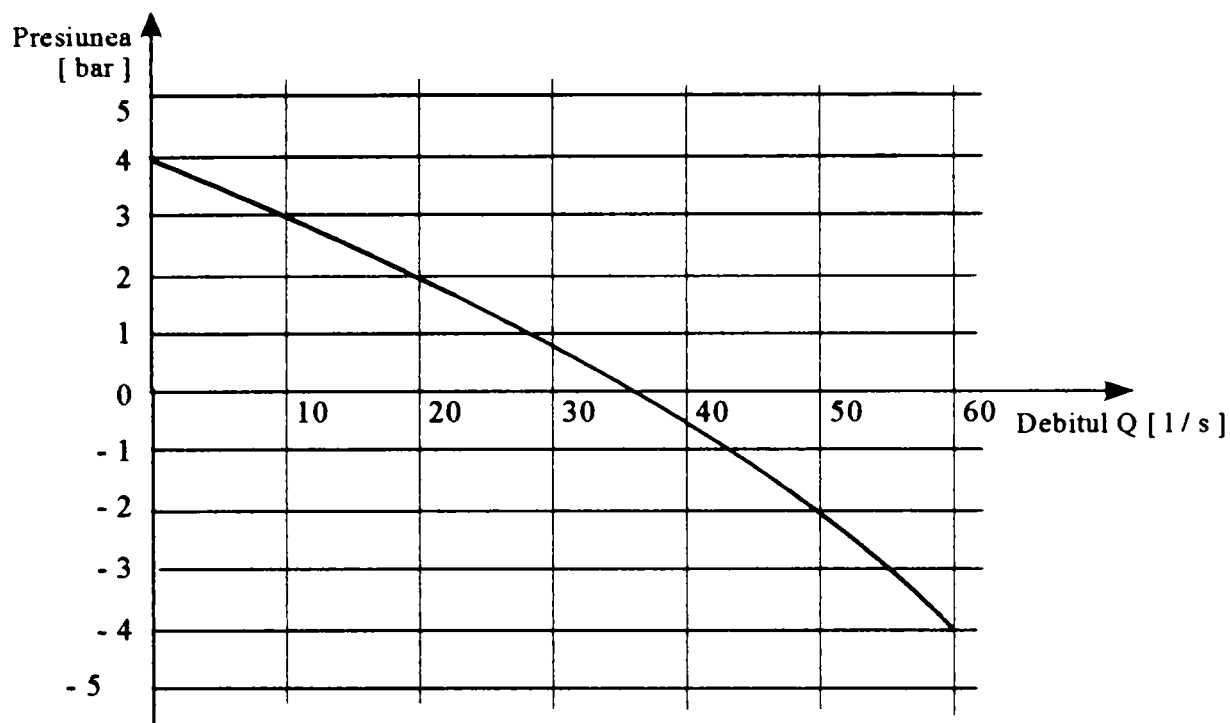


Figura 3.17. Caracteristica de producție a sondei geotermale

În condițiile rezultate din datele de proiectare, conform diagramei Lindal se poate observa că, la această temperatură (85°C), apa geotermală poate fi folosită ca sursă energetică pentru mai multe utilizări.

Dintre utilizările posibile, reținem pentru studiu posibilitatea de utilizare în cascadă prezentată în figura 3.18, schemă care cuprinde:

- utilizarea unui debit de apă geotermală de 140 m³/h (39 l/s), având temperaturile de 85/50°C (intrare/ieșire), pentru încălzirea construcțiilor folosind circuit secundar cu corpuri statice de încălzire; construcții cu suprafață desfășurată de 70.000m² (volum construit V_{cl1}=160.000m³);
- utilizarea unui debit de apă geotermală de 30 m³/h (8,5 l/s), având temperaturile de 85/50°C (intrare/ieșire), pentru prepararea apei calde menajere; asigurând necesarul de apă caldă menajeră de 6l/s (21m³/h);
- utilizarea unui debit de apă geotermală de 170 m³/h (47,5 l/s), având temperatura de intrare în schimbătorul de căldură de 50°C, pentru încălzirea construcțiilor folosind circuit secundar pentru încălzirea de pardoseală; construcții cu suprafață desfășurată de 15.000m² (volum construit V_{cl1}=60.000m³)

Menționăm că, până în prezent, în România, nu există sisteme de utilizare în cascadă a energiei apelor geotermale.

Prin utilizarea în cascadă a energiei geotermale se înțelege folosirea apei geotermale uzate termic de la un utilizator de energie geotermală, denumit utilizator primar, ca sursă energetică pentru alți utilizatori de energie geotermală, denumiți utilizatori secundari (figura.3.18.). De mare ajutor pentru analiza posibilităților de utilizare în cascadă a energiei geotermale este diagrama Lindal, care specifică temperaturile la care se utilizează apa geotermală în diferite scopuri.

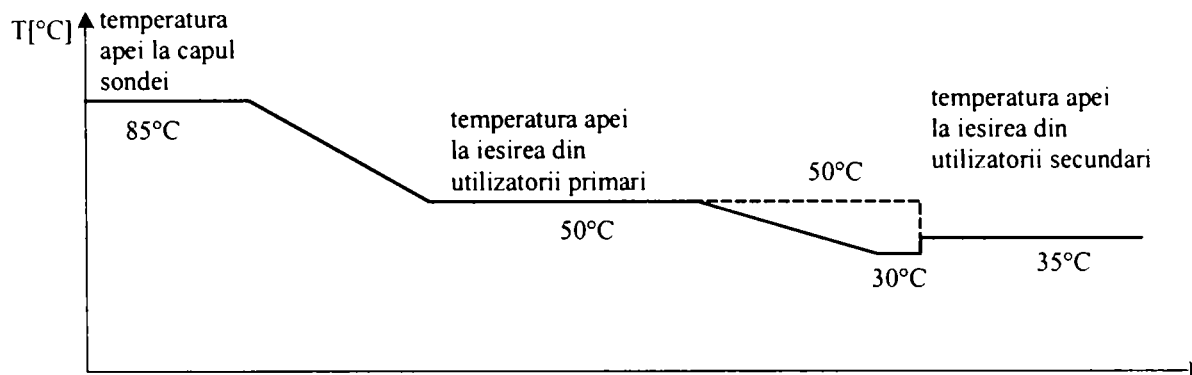
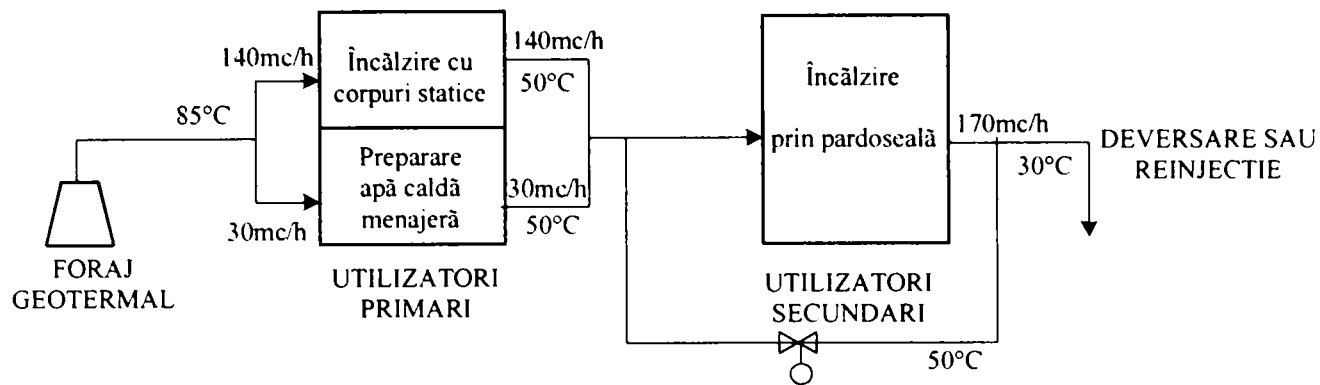


Figura 3.18. Schema utilizării în cascadă a energiei geotermale

În continuare, se va face o analiză detaliată în ceea ce privește concepția de ansamblu și calculele de dimensionare pentru cele două grupuri de utilizatori, și anume *utilizatorii primari* și *utilizatorii secundari*.

PROIECTAREA UTILIZATORILOR PRIMARI

Pentru o temperatură interioară constantă, puterea termică necesară depinde de condițiile climatice (temperatura exterioară, viteza vântului, umiditate, etc.) specifice zonei pentru care se proiectează punctul termic. Temperatura exterioară (ambientă) t_{ext} este parametrul principal care determină necesarul de putere.

Influența vitezei vântului w_v , în situațiile în care aceasta este relativ considerabilă ($>2\text{m/s}$), asupra necesarului de căldură pentru încălzirea încăperilor, determină, în aceste condiții, calcularea unei temperaturi exterioare echivalente $t_{ext.echiv.}$ care va înlocui, în calcule și în funcționarea punctului termic, temperatura exterioară; temperatura exterioară echivalentă se calculează cu formula:

$$t_{ext.echiv.} = t_{ext} - [1 + 0,022 \cdot (t_{ext} - 10,4)] \cdot (1,94 \cdot w_v)^{0,5}$$

Scopul principal al calculelor este obținerea unei estimări anuale a consumului de energie pentru încălzire și prepararea apei calde menajere. Calculele au fost făcute pentru un an statistic reprezentativ.

În acest scop, s-au utilizat date statistice ale temperaturii exterioare pentru zona geografică a Oradei. Datele disponibile pentru zona Oradea arată că temperatura exterioară standard de calcul este de -12°C . În figura 3.19. se prezintă curba clasată a temperaturii exterioare pentru zona Oradea.

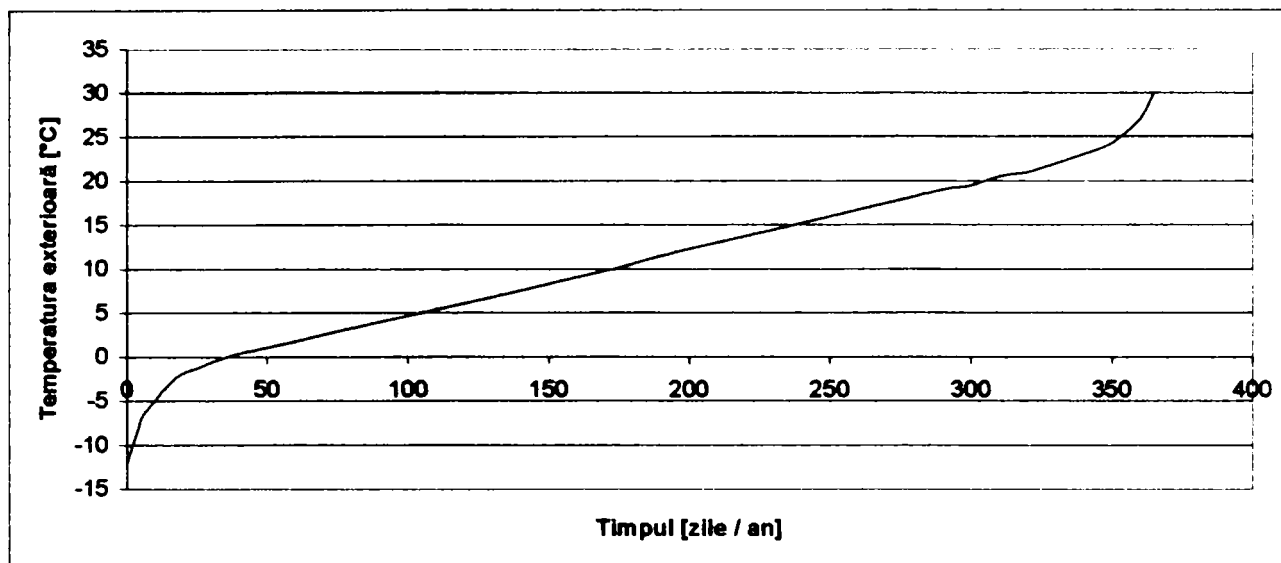


Figura 3.19. Curba clasată a temperaturii exterioare pentru zona Oradea

Nevoile urbane de energie pentru încălzire și prepararea apei calde menajere, în scopul realizării unei estimări cât mai eficiente, se împart în următoarele categorii:

- pentru încălzire,
- pentru ventilație,
- pentru apă caldă menajeră.

Consumul de căldură pentru încălzire- Q_{inc}^h -depinde de temperatura exterioară a aerului, deci de factorii climatici. Notând cu:

$V[m^3]$ - volumul construit deservit prin termoficare

$q_u [kcal / m^3h \text{ grad}]$ - caracteristica termică unitară:

$$q_u = (0,5 \div 2) \text{ kcal} / m^3h \text{ grad}$$

$t_i [^\circ C]$ - temperatura aerului din încăperi

$t_e [^\circ C]$ - temperatura exterioară

consumul de căldură pentru încălzire este: $Q_{inc}^h = q_u \cdot V \cdot (t_i - t_e)$ [kW; kcal/h]

Cantitatea de căldură maximă se determină pentru o temperatură exterioară standard de calcul, definită pe baze statistice pentru fiecare localitatea din țară.

Consumul de căldură pentru ventilație- Q_{vent}^h -este diferit în funcție de destinația încăperilor. La clădirile de locuit fără instalații speciale de ventilație el are valoarea $(5 \div 20)\% Q_{inc}^h$ și poate fi inclus în aceasta în primă aproximație. Pentru clădiri sociale, comerciale și industriale, consumul de căldură pentru ventilație atinge $(20 \div 30)\% Q_{inc}^h$ și se consideră separat.

Consumul de căldură pentru apă caldă- Q_{acm}^h -este variabil în cursul unei zile. Practic, livrarea apei calde se face prin intermediul unor schimbătoare de căldură care au un efect de acumulare: cu suficientă exactitate practică pentru producător, acest consum se poate considera constant.

Curba clasată anuală a consumului de căldură reprezintă un element de bază în ceea ce privește calculele tehnico-economice comparative și studiul comportării sistemului de încălzire și prepararea apei calde menajere în timp; această curbă prezintă:

- consumurile orare pentru încălzire Q_{inc}^h și ventilație Q_{vent}^h (sunt dependente de temperatura exterioară),
- consumul orar pentru apă caldă menajeră- Q_{acm}^h -(apă sanitară),
- consumul orar total rezultat $Q_T^h = (Q_{inc}^h + Q_{vent}^h + Q_{acm}^h)$.

Sezonul de încălzire are o durată dependentă de climă: conform STAS 4839/91 acesta începe când trei zile consecutiv temperatura medie exterioară a zilei scade sub 10°C între orele 18^{00} și 6^{00} și se termină când se depășește această valoare.

Diferite durate ale sezonului de încălzire sunt:

- cca. 4.000 h/an la București
- cca. 4.500 h/an la Suceava
- cca. 3.500 h/an la Timișoara
- cca. 4.100 h/an la Oradea

Durata de utilizare a vârfului consumului de căldură este redusă, ea nu depășește $2000 \div 2200 \text{ h / an}$.

Consumatorii de energie termică din cadrul cazului analizat au următoarele caracteristici:

- volum total: $V_{cl.tot} = 160.000 \text{ m}^3$
pereți din cărămidă eficientă cu goluri (grosime 37,5cm), ferestre duble cuplate din lemn
- caracteristica termică unitară: $q_u = 0,85 \text{ kcal / m}^3 \text{ h grad}$
- temperatura aerului din încăperi: $t_i = 20^{\circ}\text{C}$
- temperatura exterioară de calcul: $t_e = -12^{\circ}\text{C}$
- perioada de încălzire: 172 de zile pe an ($15/10 \div 15/4$)
- necesarul mediu de apă caldă menajeră: $15 \text{ m}^3/\text{h}$
- temperatura necesară pentru apă caldă menajeră: 60°C
- temperatura apei de la rețea: 10°C .

Pentru aceste condiții, s-a calculat necesarul de energie termică și s-au obținut următoarele rezultate:

- consumul orar de căldură pentru încălzire (puterea necesară):

$$Q_{inc}^h = 4.200.000 \text{ kcal / h (4900 kW)}$$

- consumul orar de căldură pentru ventilație (puterea necesară):

$$Q_{vent}^h = 0.15 \cdot Q_{inc}^h = 620.000 \text{ kcal / h (720 kW)}$$

- consumul orar total de căldură pentru încălzire (puterea necesară):

$$Q_{inc.tot}^h = Q_{inc}^h + Q_{vent}^h = 4.820.000 \text{ kcal / h (5600 kW)}$$

- consumul orar de căldură pentru apă caldă menajeră (puterea necesară):

$$Q_{acm}^h = 750.000 \text{ kcal / h (870 kW)}$$

- consumul orar total de căldură (puterea necesară):

$$Q_T^h = 5.570.000 \text{ kcal / h (6500 kW)}$$

Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru consumatorii primari este prezentată în figura 3.20. Curba a fost trasată în concordanță cu curba clasată a temperaturii exterioare pentru zona Oradea (figura 3.19.).

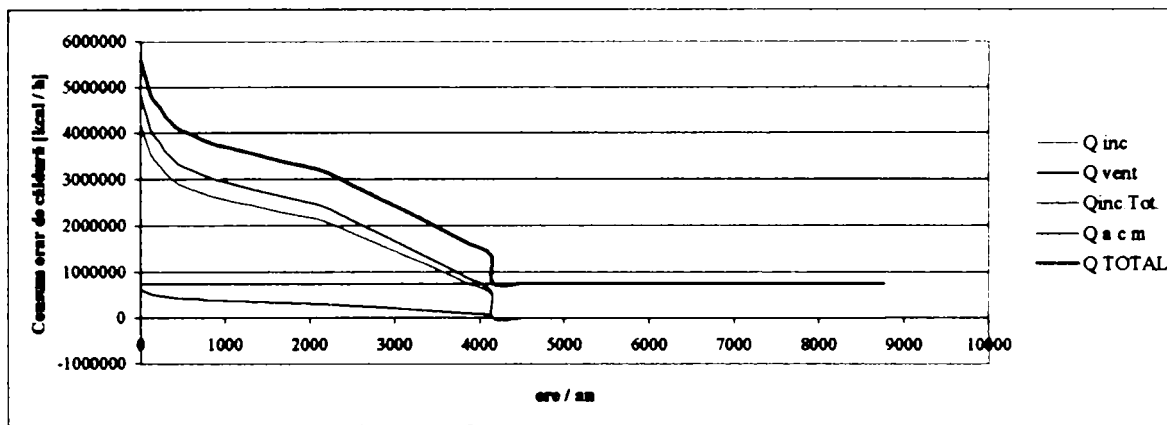


Figura 3.20. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru utilizatorii primari

Pentru determinarea parametrilor constructiv-funcționali ai punctului termic temperatura apei geotermale: 85°C

- pentru circuitul de încălzire:
 - ◆ agent secundar: apă caldă
 - debit: 160 m³/h
 - temperaturi (tur/retur): 70°/40°C
 - presiuni (tur/retur): 3,5/1,5 bar
 - ◆ agent primar: apa geotermală
 - debit: 140 m³/h (39 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 85°/50°C
 - presiuni (tur/retur): 2,5/0,8 bar
- pentru circuitul de preparare apă caldă menajeră:
 - ◆ agent secundar-apă caldă
 - debit: 15 m³/h (4 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 60°/10°C
 - presiune de livrare: 4 bar
 - ◆ agent primar: apa geotermală
 - debit: 20 m³/h (6 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 85°/50°C
 - presiuni (tur/retur): 2,5/1,6 bar

În scopul stabilirii parametrilor constructiv-funcționali și de eficiență, s-a elaborat metodologia de calcul pentru punctul termic, care presupune stabilirea sistemului de ecuații care definesc desfășurarea proceselor avute în vedere, atât în regim static cât și în regim dinamic, precum și stabilirea parametrilor funcționali în regim de funcționare constant.

Pentru ușurarea abordării problemei, se ia în considerare un sistem de două schimbătoare de căldură legate în paralel (figura 3.21.), sistem care aproximează în condiții bune punctul termic analizat.

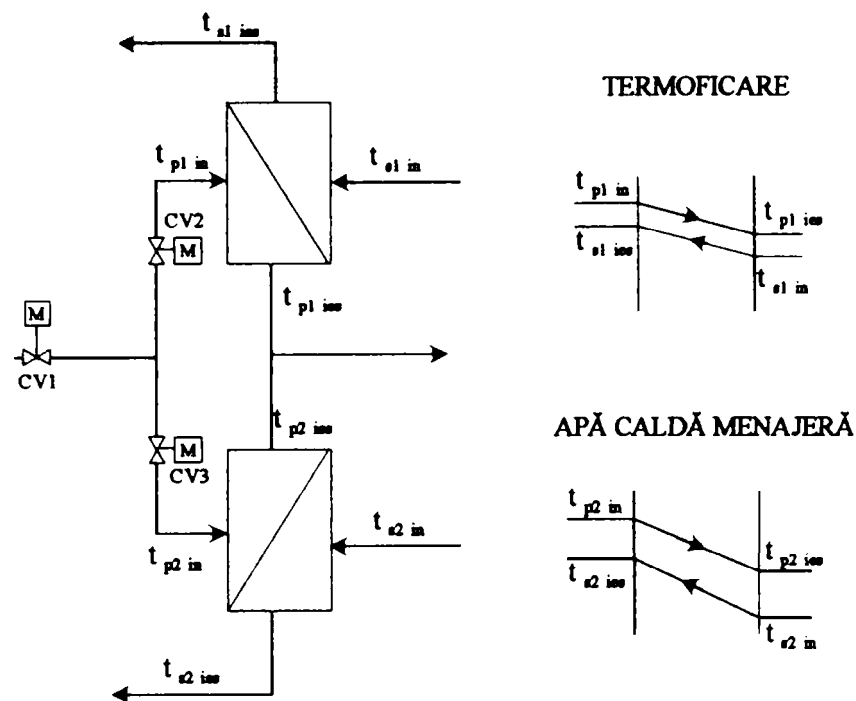


Figura 3.21. Schema simplificată a punctului termic – utilizatori primari

Ecuțiile termodinamice care caracterizează procesele desfășurate în punctul termic sunt:

$$\dot{m}_{p1} \cdot c \cdot (t_{p1in} - t_{p1ies}) = \dot{m}_{s1} \cdot c \cdot (t_{s1ies} - t_{s1in}) = K_1 \cdot S_1 \cdot \frac{(t_{p1in} - t_{s1ies}) + (t_{p1ies} - t_{s1in})}{2}$$

$$\dot{m}_{p2} \cdot c \cdot (t_{p2in} - t_{p2ies}) = \dot{m}_{s2} \cdot c \cdot (t_{s2ies} - t_{s2in}) = K_2 \cdot S_2 \cdot \frac{(t_{p2in} - t_{s2ies}) + (t_{p2ies} - t_{s2in})}{2}$$

Consumul de apă geotermală pentru termoficare și prepararea apei calde menajere se ridică, în condițiile de calcul impuse, la aproximativ 130÷145 m³/h (37÷40 l/s).

De asemenea, s-a trasat curba clasată anuală a consumului de apă geotermală, care este prezentată în figura 3.22.

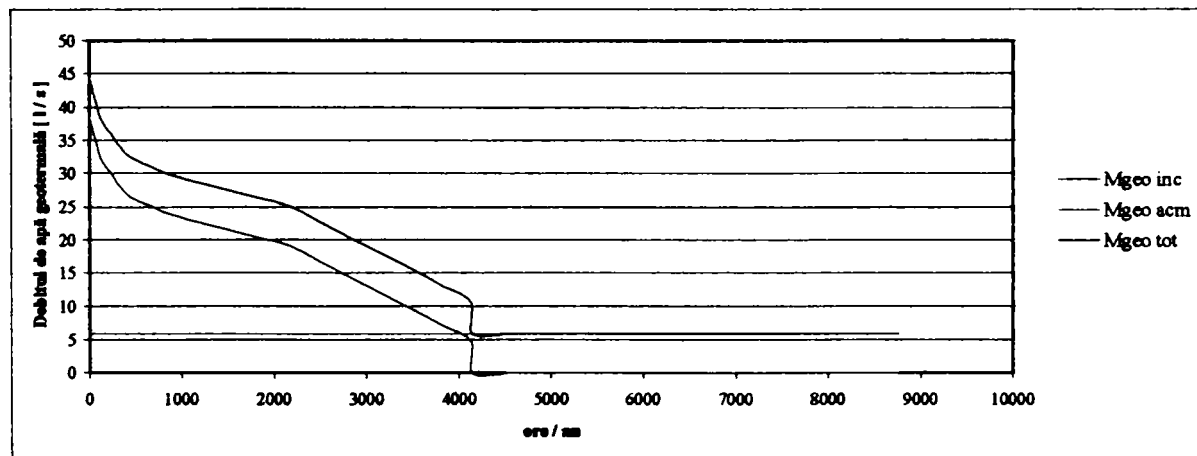


Figura 3.22. Curba clasată anuală a consumului de apă geotermală

Pentru alegerea schimbătoarelor de căldură (schimbătoare de căldură în plăci) care echipează punctul termic se ține seama de datele tehnice furnizate de firmele producătoare. Ecuția care influențează alegerea schimbătoarelor de căldură și care caracterizează schimbul de căldură din acestea este:

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta t_{med}$$

unde:

$$\Delta t_{med} = \frac{(t_{pin} - t_{sies}) + (t_{pies} - t_{sin})}{\ln\left(\frac{t_{pin} - t_{sies}}{t_{pies} - t_{sin}}\right)} \approx \frac{(t_{pin} - t_{sies}) + (t_{pies} - t_{sin})}{2}$$

Q – fluxul de căldură schimbat de apa din cele două circuite (primar/secundar)

S – suprafața de schimb de căldură

K – coeficientul global de schimb de căldură (pentru schimbătoarele de căldură în plăci $K = 1 \div 7 \text{ kW/m}^2\text{K}$)

Pentru cazul analizat: $Q_{inc} = 5.600 \text{ kW}$, fluxul de căldură pentru încălzire,

$Q_{acm} = 870 \text{ kW}$, fluxul de căldură pentru apă caldă menajeră,

$\Delta t_{med} = 10^\circ\text{C}$, pentru încălzire,

$\Delta t_{med} = 30^\circ\text{C}$, pentru prepararea apei calde menajere.

se obțin suprafețele necesare de schimb de căldură, funcție de coeficientul global de schimb de căldură. Rezultatele calculelor sunt prezentate în figura 3.23.

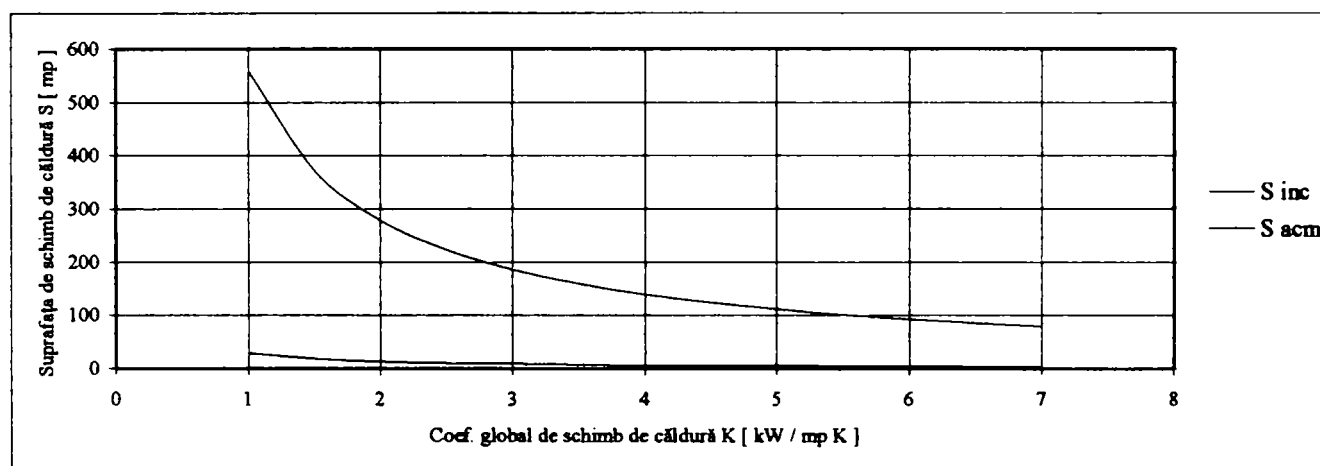


Figura 3.23. Dependenta dintre suprafața de schimb de căldură și coeficientul global de schimb de căldură pentru punctul termic

PROIECTAREA UTILIZATORILOR SECUNDARI

Consumatorii de energie termică prevăzuți pentru soluția de încălzire prin pardoseală vor avea, conform proiectelor tehnice, următoarele caracteristici:

- volum total: $V_{cl,tot} = 60.000 \text{ m}^3$
pereți din cărămidă eficientă cu goluri (grosime 37,5 cm)
ferestre duble cuplate din lemn
- caracteristica termică unitară: $q_u = 0,95 \text{ kcal} / \text{m}^3 \text{ h} \text{ grad}$
- temperatura aerului din încăperi: $t_i = 20^\circ\text{C}$
- temperatura exterioară de calcul: $t_e = -12^\circ\text{C}$
- perioada de încălzire: 172 de zile pe an (15/10 ÷ 15/4)

Pentru aceste condiții, s-a calculat necesarul de energie termică și s-au obținut următoarele rezultate:

- consumul orar de căldură pentru încălzire (puterea necesară):

$$Q_{inc}^h = 2.100.000 \text{ kcal} / \text{h} (2.500 \text{ kW})$$

- consumul orar de căldură pentru ventilație (puterea necesară):

$$Q_{vent}^h = 0.15 \cdot Q_{inc}^h = 320.000 \text{ kcal} / \text{h} (370 \text{ kW})$$

- consumul orar total de căldură pentru încălzire (puterea necesară):

$$Q_{inc.tot}^h = Q_{inc}^h + Q_{vent}^h = 2.420.000 \text{ kcal/h (2.870 kW)}$$

Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru consumatorii avuți în vedere este prezentată în figura 3.24. Curba a fost trasată în concordanță cu curba clasată a temperaturii exterioare pentru zona Oradea (figura 3.19).

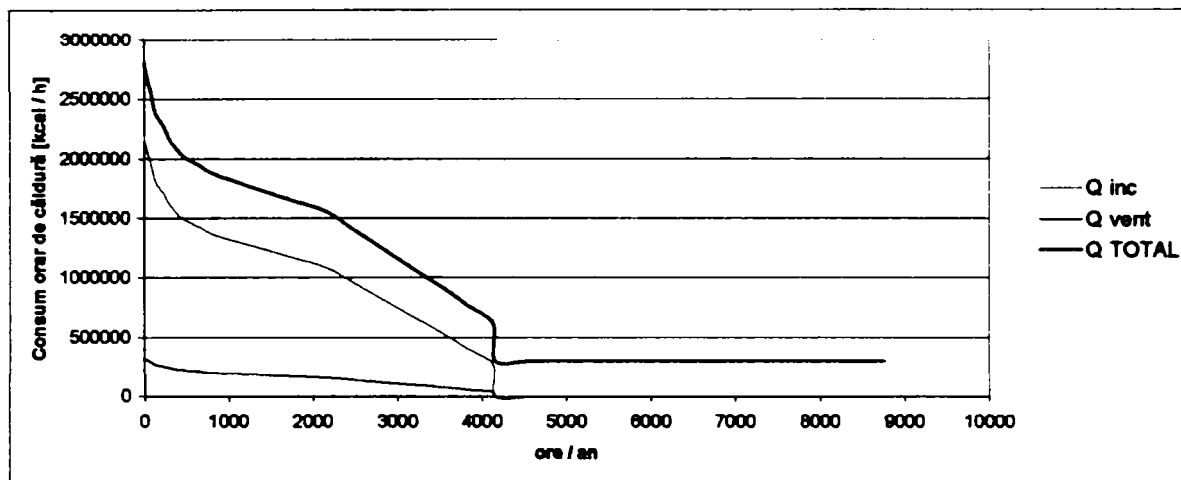


Figura 3.24. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru utilizatorii secundari

În figura 3.25 este prezentată schema de principiu a utilizării în cascadă a energiei geotermale în cadrul punctului termic.

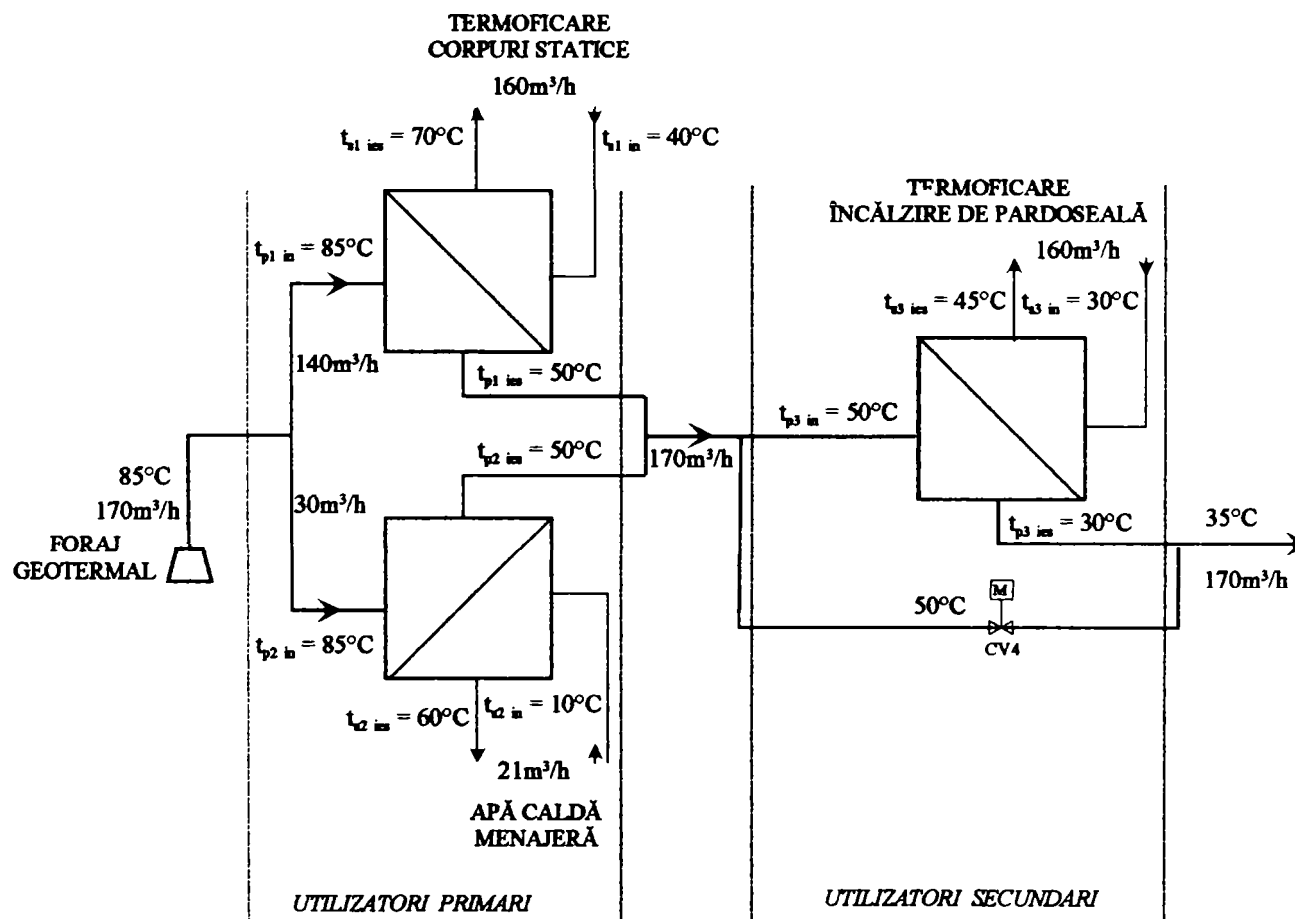


Figura 3.25. Schema de principiu a utilizării în cascadă a energiei geotermale

Pentru utilizatorii secundari se prezintă, în continuare, calculele termice, care au la bază ecuațiile de transmitere a căldurii și de bilanț termic.

Consumul orar total de căldură pentru încălzire (puterea necesară):

$$Q_{inc.tot}^h = 2.420.000 \text{ kcal / h (2.870 kW)}$$

Temperatura tur/retur pentru agentul secundar se alege de 45°C, respectiv 30°C, situație în care debitul necesar de agent secundar este:

$$\dot{m}_{sec} = \frac{Q_{inc.tot}^h}{c \cdot (t_{sies} - t_{sin})} = \frac{2.420.000}{1000 \cdot (45 - 30)} = 160 \text{ m}^3 / \text{h} = 45 \text{ l / s}$$

Având în vedere că debitul de agent primar (apă geotermală) este de 170 m³/h (47,5l/s) cu temperatura de intrare $t_{pin}=50^\circ\text{C}$, se determină temperatura de ieșire din schimbătorul de căldură t_{pies} (de deversare) a apei geotermale precum și suprafața de schimb de căldură necesară S_{nec} (se impune circulația în contracurent a celor două fluide de lucru).

$$t_{pies} = t_{pin} - \frac{Q_{inc.tot}^h}{\dot{m}_p \cdot c} = 50 - \frac{2.420.000}{170 \cdot 1000} = 35^\circ\text{C}$$

Pentru determinarea suprafeței necesare de schimb de căldură (S_{nec}) se va considera un schimbător de căldură cu un coeficient global de schimb de căldură $K = 2,5 \text{ kW / m}^2\text{K}$; în aceste condiții, se obține:

$$S_{nec} = \frac{Q_{inc.tot}^h}{K \cdot \Delta t_{med}} = \frac{2.870}{2,5 \cdot 5} = 230 \text{ m}^2$$

unde:

$$\Delta t_{med} = \frac{(t_{pin} - t_{sies}) + (t_{pies} - t_{sin})}{2} = 5^\circ\text{C}$$

De asemenea, s-a determinat curba clasată anuală a consumului de căldură (figura 3.26.) pentru punctul termic analizat.

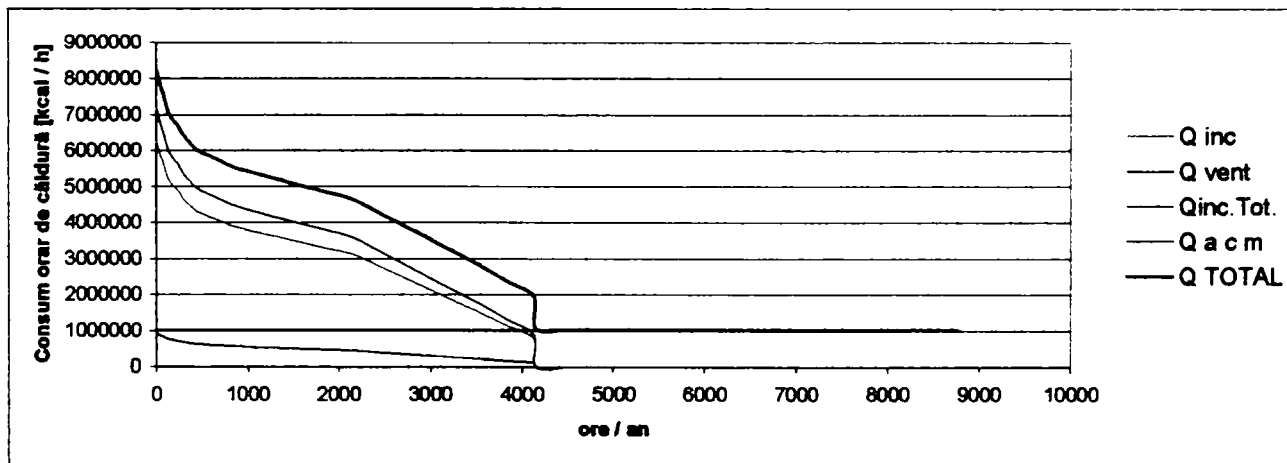


Figura 3.26. Curba clasată anuală a consumului de căldură pentru punctul termic

Parametrii principali ai punctului termic sunt:

- putere instalată de 8.600.000 kcal/h (10.000 kW_i);
- volumul total construit care trebuie încălzit: 220.000 m³;
- debitul de apă caldă menajeră 21 m³/h;
- cantitatea de căldură livrată anual pentru încălzirea spațiilor: 14.000Gcal (5.000Gcal pentru viitoarele construcții);
- cantitatea de căldură livrată anual pentru prepararea apei calde menajere: 9.200Gcal;
- consumul anual de apă geotermală: 465.000 m³;
- temperatura tur/retur pentru apa geotermală: 85/35°C.

De menționat că, apa geotermală cu temperatura de 35°C care părăsește punctul termic, poate fi utilizată în continuare, în cascadă, pentru balneologie sau piscicultură.

În urma analizei efectuate, se propune utilizarea:

UTILIZATORI PRIMARI

- pentru circuitul de încălzire cu corpuri statice a două aparate tip *S41-IS10-171-TKTM99-LIQUII* (montate în paralel)(vezi figura 3.27)

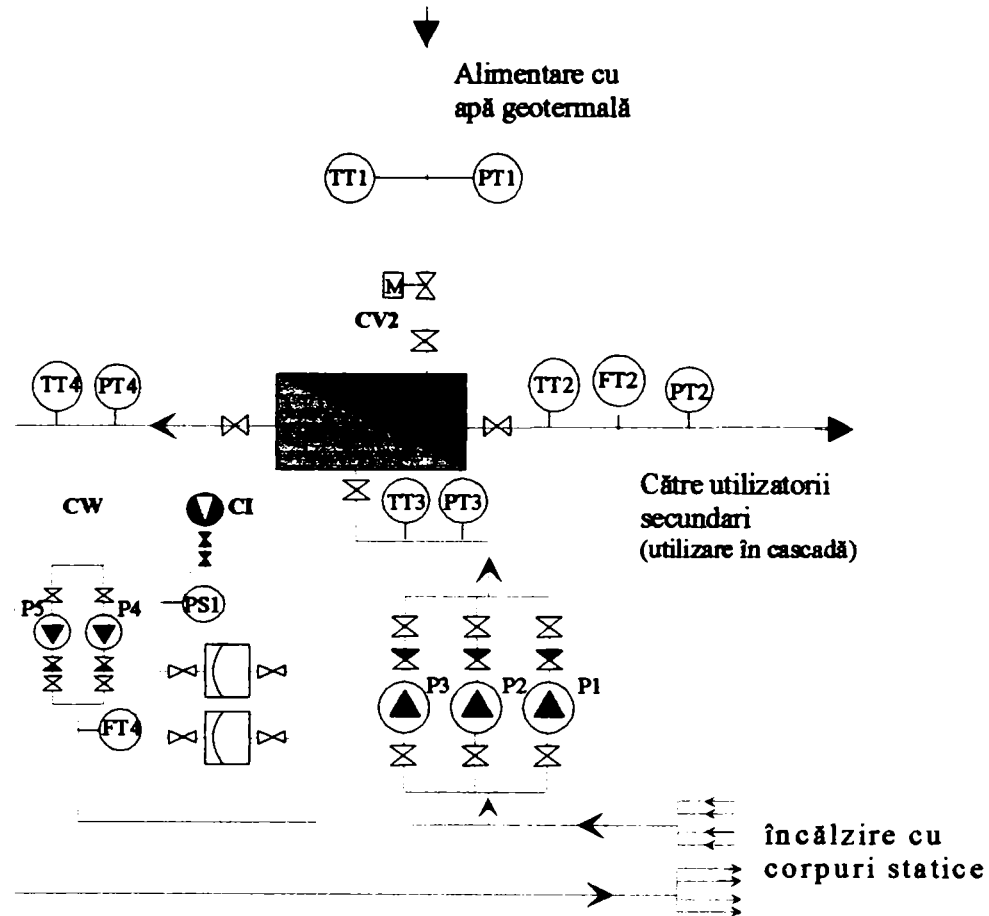


Figura 3.27. Schema constructiv-funcțională:

UTILIZATORI PRIMARI – încălzire cu corpuri statice

- pentru circuitul de preparare a apei calde menajere un aparat tip *S47-IG10-102-TKTM71-LIQUII* și a unu i rezervor tampon pentru apa caldă menajeră (VTacm) de 10 m³ (vezi figura 3.28)

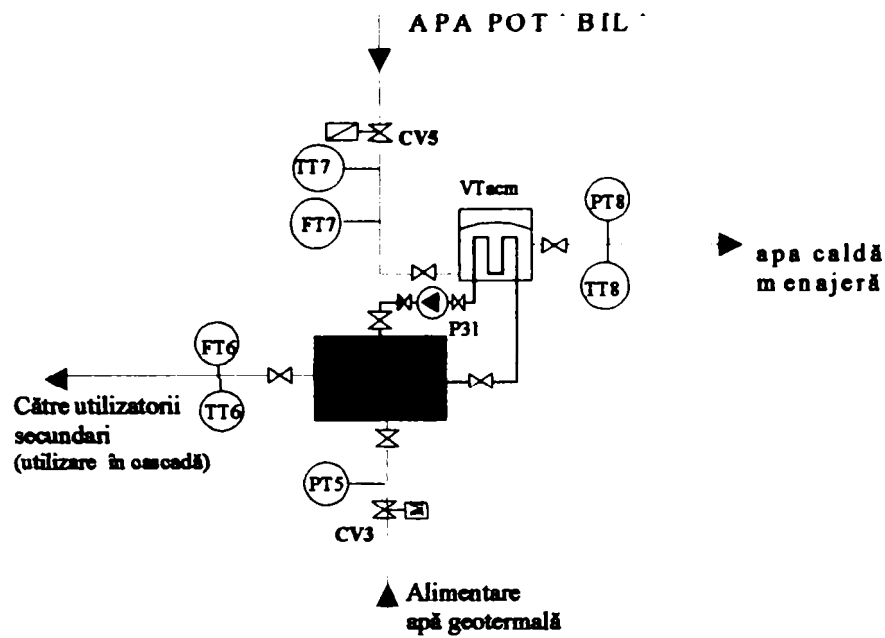


Figura 3.28. Schema constructiv-funcțională:

UTILIZATORI PRIMARI – preparare apă caldă menajeră

UTILIZATORI SECUNDARI

- pentru sistemul de încălzire de pardoseală a două aparate (montate în paralel) tip S41- IS10-171- TKTM99- LIQUII (vezi figura 3.29)

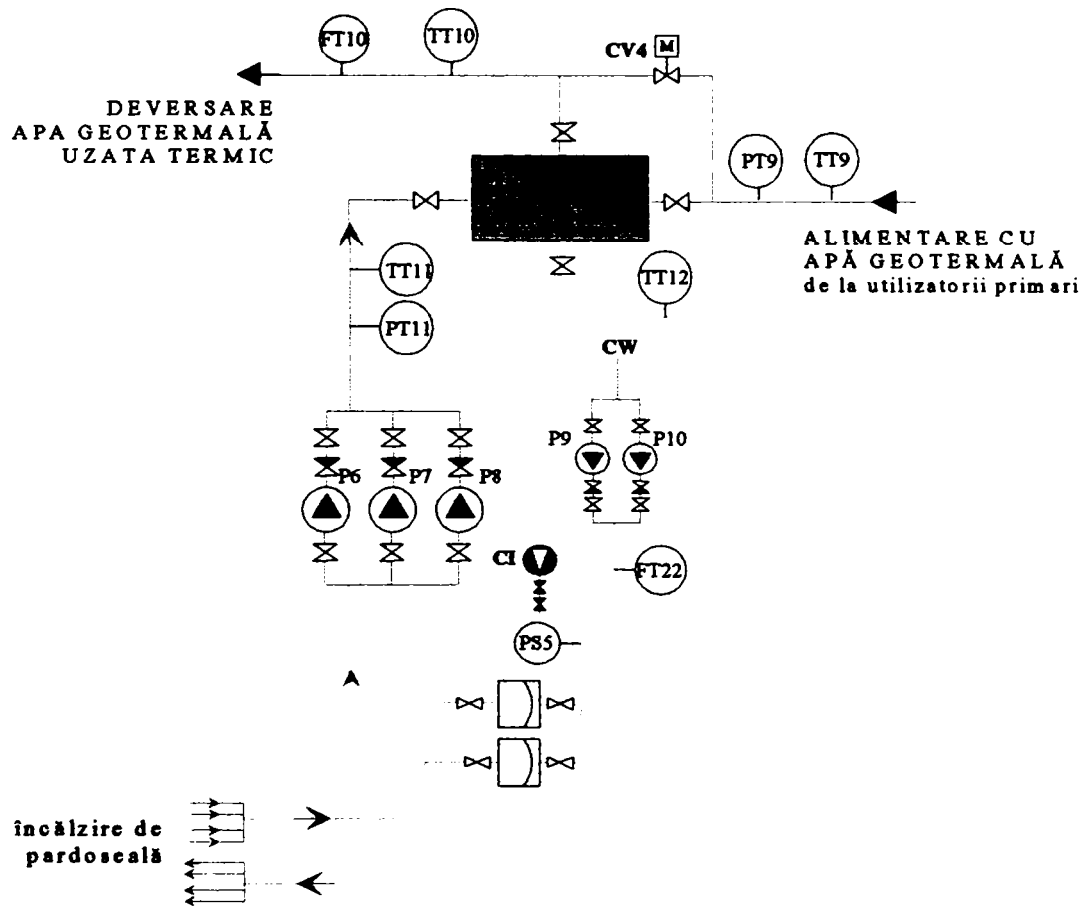


Figura 3.29. Schema constructiv-funcțională:

UTILIZATORI SECUNDARI – încălzire de pardoseală

Caracteristicile tehnice ale aparatelor schimbătoare de căldură sunt:

- ◆ aparat tip *S41 – IS10 – 171 – TKTM99 – LIQUII* pentru circuitul de încălzire:
 - capacitatea termică 3,6 Gcal/h;
 - debit agent termic primar 105 m³/h;
 - temperatura intrare/ieșire agent termic primar 85/40°C;
 - debit agent termic secundar 183 m³/h;
 - temperatura intrare/ieșire agent termic secundar 40/70°C;
 - temperatura max. de lucru 120°C;
 - căderea de presiune maximă în primar și secundar 0,5 bar;
 - presiunea max. de lucru (primar și secundar) 15 bar;
 - diferența de presiune max. între primar și secundar 10 bar;
 - suprafața de schimb de căldură: 76,3 m²;
 - coeficient global de schimb de căldură 5635 kcal/m²hK.
 - Aranjament plăci (pașixcanale): 85 primar și secundar;
 - Număr de plăci: 171;
 - Material plăci: 0,5mm AISI 316;
 - Material garnituri: EPDM SONDER LOOK (S) / 150;
 - Tip batiu: IS No 4;
 - Racorduri primar/secundar: DN 150 Flanșe St.37PN10;
 - Lungime batiu: 1400mm;
 - Masa netă: 1210kg.

- ◆ aparat tip *S47 – IG10 – 102 – TKTM71 – LIQUII* pentru circuitul de preparare a apei calde menajere:
 - capacitatea termică 1,25 Gcal/h;
 - debit agent termic primar 55 m³/h;
 - temperatura intrare/ieșire agent termic primar 50/30°C;
 - debit agent termic secundar 43 m³/h;
 - temperatura intrare/ieșire agent termic secundar 10/45°C;
 - temperatura max. de lucru 120°C;
 - căderea de presiune maximă în primar și secundar 0,5 bar;
 - presiunea max. de lucru (primar și secundar) 15 bar;
 - diferența de presiune max. între primar și secundar 10 bar;
 - suprafața de schimb de căldură: 50 m²;
 - coeficient global de schimb de căldură 3362 kcal/m²hK.
 - Aranjament plăci (pașixcanale): 51 (primar); 50(secundar);
 - Număr de plăci: 102;
 - Material plăci: 0,5mm AISI 316;
 - Material garnituri: EPDM SONDER LOOK (S) / 150;
 - Tip batiu: IG No 5;
 - Racorduri primar/secundar: DN 100 Flanșe rubberlined PN16;
 - Lungime batiu: 11034mm;
 - Masa netă: 665kg.

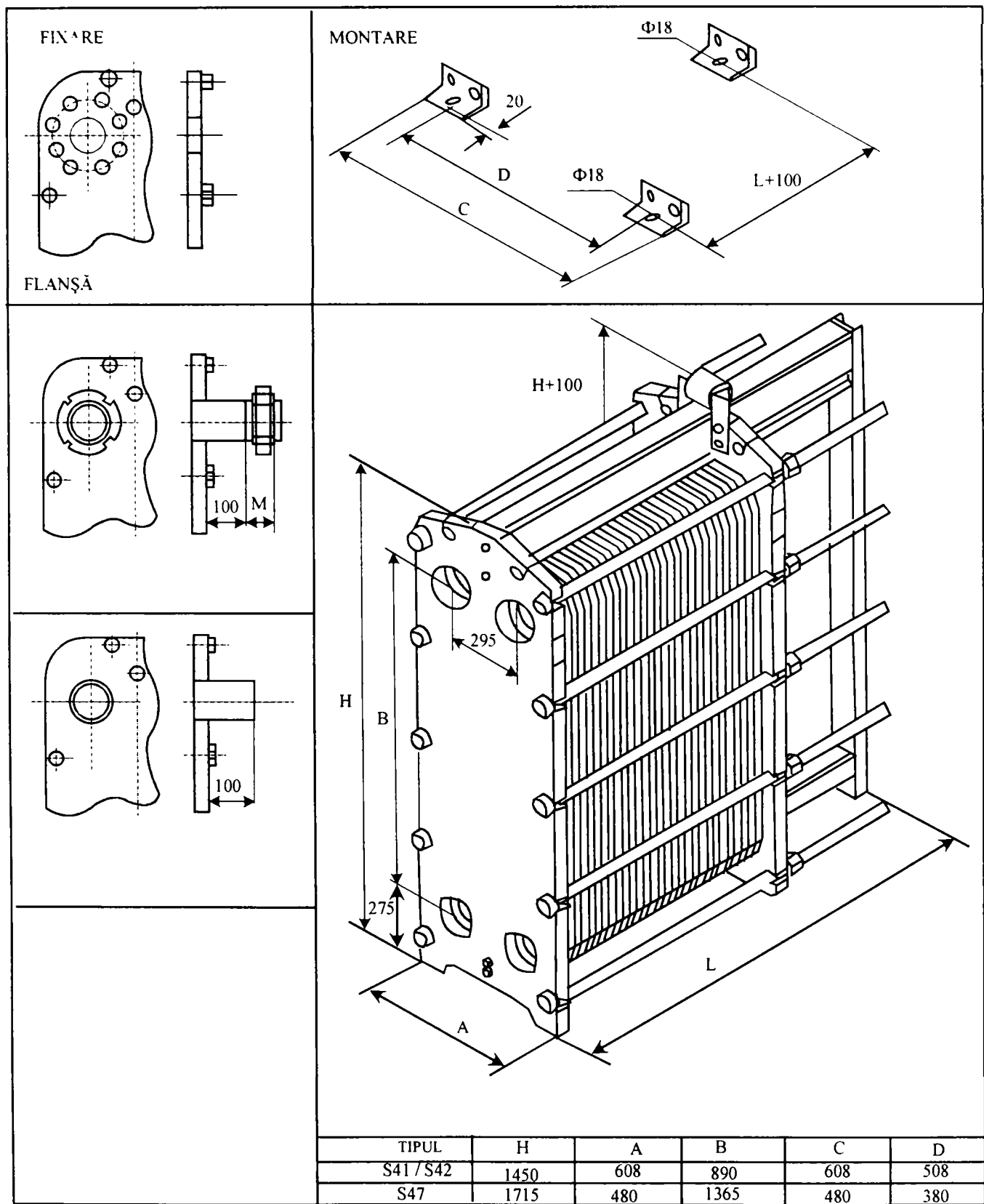


Figura 3.30. Schema constructiv-funcțională a schimbătoarelor de căldură:
 S41 – IS10 – 171 – TKTM99 – LIQUII respectiv S47 – IG10 – 102 – TKTM71 – LIQUII

De asemenea, trebuie menționat faptul că punctul termic are în dotare, printre altele, următoarele echipamente:

- pompe de circulație de tip Grundfos AM 135, 50Hz;
- vas de expansiune, 2 m³, Giacomini;
- compresor de tip ECR, Uzinele Timpuri Noi București;
- robinete de reglare antrenate de electromotoare, S.C. Mecanica Vaslui S.A.;
- electrovalve, Danfoss;
- traductoare de presiune Rosemount Model E 713 de max.6 bar;
- traductoare de temperatură Trade Pedersen&COA/S, tip Pt 100, pt. 20-100°C;
- traductoare de debit Danfoss, tip MAG 2500;
- senzori de umiditate;
- senzori de temperatură interioară Danfoss;
- ventilator;
- tablou de comandă.

De asemenea, din figurile 3.27. și 3.29. se constată că circuitele secundare sunt dotate cu pompe de circulație și sisteme cu hidrofor, iar din figura 3.28. reiese folosirea unui vas tampon de expansiune de 2m³ pentru apa caldă menajeră VT_{acm}.

3.2.2. Modelarea matematică a elementelor componente

Un model matematic al unui proces real constă dintr-un set de ecuații matematice, care descriu relații între diferiți parametri care caracterizează sistemul. În general, este vorba de ecuații diferențiale având ca variabilă independentă timpul, deoarece problema reglării privește tendința de evoluție în timp a valorilor parametrului sistemului. Un proces sau sistem real poate fi descris prin mai multe modele matematice ținând cont de parametrii pe care îi considerăm esențiali, de elementele perturbatoare luate în considerare și de aspectele evoluției procesului real. Astfel, pentru un același sistem fizic se pot scrie atât modele matematice simple, cât și modele matematice complexe, în funcție de elementele de care se ține seama la conceperea modelului. În general, sistemul fizic nu poate fi descris complet de nici un model matematic, modelele complexe apropiindu-se cu o precizie mulțumitoare de modelul complet al sistemului real. Datorită inexactității inerente cu care modelele matematice sunt capabile să aproximeze evoluțiile reale ale parametrilor sistemului fizic, în cazul în care testele efectuate în mod real pentru verificarea funcționării sistemului proiectat nu dau rezultate corespunzătoare, se revine la alegerea modelului matematic, încercându-se descrierea mai complexă și cât mai completă a sistemului (procesului real).

MODELUL MATEMATIC AL ELEMENTELOR COMPONENTE

Modelul matematic al punctului termic este un model de complexitate ridicată, pentru elaborarea căruia s-a ținut seama de ecuațiile care definesc elementele componente ale punctului termic, cum ar fi: schimbătoare de căldură, robinete (acționate de motoare electrice), pompe centrifuge (de circulație), motoare electrice (de antrenare), etc. În continuare, se prezintă ecuațiile care definesc, atât în regim static, cât și în regim dinamic, elementele componente ale modelului asociat punctului termic, ecuații care au stat la baza elaborării modelului matematic al punctului termic.

SCHIMBĂTOARELE DE CĂLDURĂ

MODELUL MATEMATIC AL PROCESELOR DE TRANSFER TERMIC

În regim static:

$$\dot{m}_p \cdot c_p \cdot (t_{pin} - t_{pies}) = \dot{m}_s \cdot c_s \cdot (t_{sies} - t_{sin}) = K \cdot S \cdot \Delta t_{med}$$

În regim dinamic:

$$\frac{d}{dt} [\dot{m}_p \cdot c_p \cdot (t_{pin} - t_{pies})] = \frac{d}{dt} [\dot{m}_s \cdot c_s \cdot (t_{sies} - t_{sin})] = \frac{d}{dt} [K \cdot S \cdot \Delta t_{med}]$$

$$d(t_{pies}) = \dot{m}_p \cdot \frac{t_{pin} - t_{pies}}{M_p} + \frac{(t_{sin} + t_{sies}) - (t_{pin} + t_{pies})}{2 \cdot R_1 \cdot M_p \cdot c_p}$$

$$d(t_{sies}) = \dot{m}_s \cdot \frac{t_{sin} - t_{sies}}{M_s} - \frac{(t_{sin} + t_{sies}) - (t_{pin} + t_{pies})}{2 \cdot R_1 \cdot M_s \cdot c_s}$$

$$R_1 = R_{1nom} \cdot \left(\left(\frac{\dot{m}_p^{nom}}{\dot{m}_p} \right)^{0.8} + \left(\frac{\dot{m}_s^{nom}}{\dot{m}_s} \right)^{0.8} \right); \quad R_{1nom} = \frac{1}{K \cdot S}$$

$$t_{pies} = \int d(t_{pies}) \quad t_{sies} = \int d(t_{sies})$$

unde: \dot{m} - debitul de agent termic;
 c - capacitatea calorică;
 t - temperatura;
 K - coeficient global de transfer termic;
 S - suprafața de schimb de căldură;
 Δt_{med} - diferența medie logaritmică de temperatură;
 M - cantitatea de fluid din schimbător;
 p indice - circuitul primar;
 s indice - circuitul secundar.

MODELUL MATEMATIC AL PROCESELOR HIDRAULICE

În regim static:

$$\dot{m} = k_i \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad k_i = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i^2}}}$$

În regim dinamic:

$$\frac{d\dot{m}}{dt} = \frac{d}{dt} [k_i \cdot \sqrt{\Delta p}]$$

ROBINETELE DE REGLARE

În regim static:

$$\dot{m} = k \cdot \sqrt{\Delta p} \quad k = k_{\max} \cdot h, \quad h \in (0,1)$$

În regim dinamic:

În condițiile deschiderii sau închiderii robinetului cu o anumită valoare u (deschidere comandată de regulatorul de tip proporțional-integral-diferențial PID), se introduce o întârziere τ care ține seama de viteza de deplasare a elementelor mecanice ale robinetului. În această situație rezultă:

$$d(h) = \frac{u - h}{\tau} \quad u, h \in (0,1)$$

$$h = \int d(h)$$

$$k = k_{\max} \cdot h$$

Debitul de apă care trece prin robinet se calculează cu relația:

$$\dot{m} = k \cdot \sqrt{\Delta p}$$

unde: Δp reprezintă diferențe de presiune, aval-amonte, pe robinet.

Notă:

Curgerea fluidelor prin sisteme de rezistențe hidraulice, se caracterizează prin ecuații de forma:

$$\dot{m} = k \cdot \sqrt{\Delta p}$$

unde: \dot{m} – debitul de fluid ce trece prin rezistența hidraulică,
 Δp – căderea de presiune pe rezistența hidraulică,

k – coeficientul de debit (invers proporțional cu rezistența hidraulică.)

Legarea a două rezistențe hidraulice în serie respectiv în paralel, se caracterizează prin următoarele relații:

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{k_1^2} + \frac{1}{k_2^2}}}, \text{ respectiv } k_c = k_1 + k_2$$

Orice robinet se caracterizează prin coeficientul de debit k (inversul rezistenței hidraulice) care permite determinarea debitului care trece prin robinet la un moment dat, pentru o anumită deschidere a robinetului h .

POMPELE CENTRIFUGE

Caracteristica reală $H = H(\dot{m})$ pentru înălțimea de pompare a pompei exprimată printr-un trinom de gradul doi în funcție de \dot{m} și n (n reprezintă turația pompei):

$$H = A_2 \cdot n^2 + B_2 \cdot n \cdot \dot{m} + C_2 \cdot \dot{m}^2$$

Caracteristica reală $P = P(\dot{m})$ pentru puterea absorbită de pompă:

$$P = A_3 \cdot n^2 \cdot \dot{m} - B_3 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + D_3 \cdot n^3$$

Caracteristica reală $\eta = \eta(\dot{m})$ pentru randament a pompei:

$$\eta = \frac{\rho}{100} \cdot \frac{A_2 \cdot n^2 \cdot \dot{m} + B_2 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + C_2 \cdot \dot{m}^3}{A_3 \cdot n^2 \cdot \dot{m} - B_3 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + D_3 \cdot n^3}$$

Caracteristica randamentului pompei $\eta = \eta(\dot{m})$ prezintă un maxim, care determină domeniul rațional de folosire a pompei, adică domeniul corespunzător acelor valori \dot{m} și H (considerând $n = \text{constant}$), pentru care randamentul se menține în limite optime.

În regim static

$$\begin{aligned} H &= A_2 \cdot n^2 + B_2 \cdot n \cdot \dot{m} + C_2 \cdot \dot{m}^2 \\ P &= A_3 \cdot n^2 \cdot \dot{m} - B_3 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + D_3 \cdot n^3 \\ \eta &= \frac{\rho}{100} \cdot \frac{A_2 \cdot n^2 \cdot \dot{m} + B_2 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + C_2 \cdot \dot{m}^3}{A_3 \cdot n^2 \cdot \dot{m} - B_3 \cdot n \cdot \dot{m}^2 + D_3 \cdot n^3} \end{aligned}$$

În regim dinamic

$$\begin{aligned} d(n) &= \frac{u-n}{\tau} & u, n \in (0,1) \\ n &= \int d(n) \end{aligned}$$

În cazul pompelor centrifuge cuplate cu o rețea de transport, se întâlnesc două situații distincte, și anume:

- funcționarea pompei împreună cu o rețea de transport fără înălțime statică;
- funcționarea pompei împreună cu o rețea de transport cu înălțime statică.

Funcționarea pompei împreună cu o rețea de transport fără înălțime statică de pompare

La variația turației în domeniul Δn se modifică caracteristica pompei, iar la intersecția acestei caracteristici cu caracteristica rețelei de transport rezultă diferite puncte de funcționare. Parametrii hidraulici corespunzători acestor puncte $\dot{m}_A = f(n)$ și $H_A = f(n)$ se pot afla dacă se rezolvă sistemul:

$$\begin{cases} H = A_2 \cdot n^2 + B_2 \cdot n \cdot \dot{m} + C_2 \cdot \dot{m}^2 \\ H = R \cdot \dot{m}^2 \end{cases}$$

în raport cu \dot{m} și se obține:

$$(R - C_2) \cdot \dot{m}^2 - B_2 \cdot n \cdot \dot{m} - A_2 \cdot n^2 = 0$$

de unde rezultă:

$$\dot{m} = \left[\frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 + 4 \cdot A_2 \cdot (R - C_2)}}{2(R - C_2)} \right] \cdot n$$

Astfel, se constată că *debitul furnizat de pompă \dot{m} este proporțional cu turația n* . Ca urmare, se poate scrie:

$$\frac{\dot{m}}{\dot{m}_n} = \frac{n}{n_n} \quad \dot{m} = k_m \cdot n$$

Rezolvând sistemul anterior în raport cu H , se obține:

$$\left(1 - \frac{C_2}{R}\right) \cdot H - \frac{B_2}{\sqrt{R}} \cdot n \cdot \sqrt{H} - A_2 \cdot n^2 = 0$$

de unde rezultă:

$$H = \left[\frac{\frac{B_2}{\sqrt{R}} + \sqrt{\frac{B_2^2}{R} + 4 \cdot A_2 \cdot \left(1 - \frac{C_2}{R}\right)}}{2 \cdot \left(1 - \frac{C_2}{R}\right)} \right]^2 \cdot n^2$$

Astfel, se constată că *înălțimea de pompare dezvoltată de pompă H este proporțională cu pătratul turației*. Ca urmare, se poate scrie:

$$\frac{H}{H_n} = \left(\frac{n}{n_n}\right)^2 \quad H = k_H \cdot n^2$$

De asemenea, se poate constata că *puterea utilă a unei pompe P este proporțională cu cubul turației*. Astfel, rezultă:

$$\frac{P}{P_n} = \left(\frac{n}{n_n}\right)^3 \quad P = k_p \cdot n^3$$

Pentru randament, se poate scrie:

$$\eta = \frac{\rho}{100} \cdot \frac{(A_2 \cdot k_m + B_2 \cdot k_m^2 + C_2 \cdot k_m^3)}{(A_3 \cdot k_m - B_3 \cdot k_m^2 + D_3)}$$

Prin urmare, *randamentul pompei nu depinde de turație*.

Deoarece puterea utilă a pompei este proporțională cu cubul turației, iar la modificarea turației randamentul nu se modifică, rezultă că *puterea absorbită de pompă este și ea proporțională cu cubul turației*.

$$\frac{P_a}{P_{an}} = \left(\frac{n}{n_n}\right)^3 \quad P_a = k_p \cdot n^3$$

Funcționarea pompei împreună cu o rețea de transport cu înălțime statică de pompare

La variația turației în domeniul Δn se modifică caracteristica pompei, iar la intersecția acestei caracteristici cu caracteristica rețelei de transport rezultă diferite puncte de

funcționare. Parametrii hidraulici corespunzători acestor puncte $\dot{m}_B = f(n)$ și $H_B = f(n)$ se pot afla dacă se rezolvă sistemul:

$$\begin{cases} H = A_2 \cdot n^2 + B_2 \cdot n \cdot \dot{m} + C_2 \cdot \dot{m}^2 \\ H = H_s + R \cdot \dot{m}^2 \end{cases}$$

în raport cu \dot{m} și se obține:

$$\dot{m} = \frac{B_2 \cdot n - \sqrt{B_2^2 \cdot n^2 + 4 \cdot (R - C_2) \cdot (A_2 \cdot n^2 - H_s)}}{2 \cdot (R - C_2)}$$

în care dacă $H_s = H_0$, debitul $\dot{m} = 0$.

Rezolvând sistemul de ecuații în raport cu H , se obține:

$$H = H_s + \frac{R}{2 \cdot (R - C_2)^2} \cdot \left[B_2^2 \cdot n^2 + 2 \cdot (R - C_2) \cdot (A_2 \cdot n^2 - H_s) - B_2 \cdot n \cdot \sqrt{B_2^2 \cdot n^2 + 4 \cdot (R - C_2) \cdot (A_2 \cdot n^2 - H_s)} \right]$$

Se constată că cele două relații obținute au o formă destul de complexă. Un set de relații simplificate sunt propuse în continuare.

Astfel, asimilând caracteristica $H(\dot{m})$ a pompei cu o parabolă, aceasta poate fi exprimată analitic cu o relație de forma:

$$H = H_0 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - C_4 \cdot \dot{m}^2$$

unde: H_0 - este înălțimea de pompare de debit zero;

$C_4 = \frac{H_0 - H_n}{\dot{m}_n^2}$ - reprezintă coeficientul a cărui valoare rezultă din valorile

nominale ale parametrilor pompei. Regimul de funcționare al pompei este determinat de cele două caracteristici, și anume: a pompei și a rețelei de transport. Rezolvând în comun aceste două ecuații în raport cu debitul \dot{m} , se obține:

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{H_0 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - H_s}{R + C_4}}$$

Caracteristica puterii absorbite a pompei $P = f(\dot{m})$ poate fi aproximată cu o linie dreaptă și are ecuația:

$$P_t = P_{t0} \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 + A_4 \cdot \dot{m} \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^2$$

unde: P_{t0} - este puterea absorbită pentru debit zero;

$A_4 = \frac{P_{tn} - P_{t0}}{\dot{m}_n}$ - coeficient calculat utilizând valorile nominale ale parametrilor pompei.

Pentru punctul termic s-au analizat și s-a realizat modelul matematic pentru fiecare dintre utilizatori:

Utilizatori primari:

încălzirea cu corpuri statice;

preparare apă caldă menajeră;

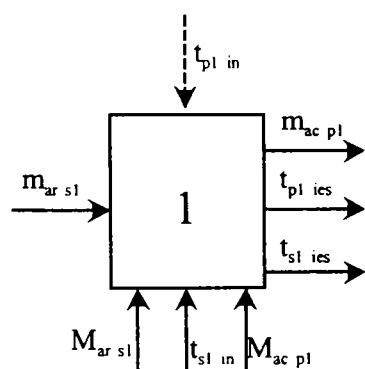
Utilizatori secundari

încălzirea prin pardoseală.

UTILIZATORI PRIMARI

ÎNCĂLZIREA CU CORPURI STATICE

Pentru calculul temperaturii $t_{sl\ ies}$, măsurată de traductorul *TT4*, la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii $t_{pl\ ies}$, măsurată de traductorul *TT2*, de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, care se desfășoară în schimbătoarele de căldură, în regim dinamic, este definit de următoarele relații:



$$\frac{dt_{sl\ ies}}{d\tau} = \dot{m}_{ar\ sl} \cdot \frac{t_{sl\ ies} - t_{sl\ in}}{M_{ar\ sl}} + \frac{(t_{pl\ in} + t_{pl\ ies}) - (t_{sl\ in} + t_{sl\ ies})}{2 \cdot R_1 \cdot M_{ar\ sl} \cdot c_a}$$

$$\frac{dt_{pl\ ies}}{d\tau} = \dot{m}_{ac\ pl} \cdot \frac{t_{pl\ in} - t_{pl\ ies}}{M_{ac\ pl}} - \frac{(t_{pl\ in} + t_{pl\ ies}) - (t_{sl\ in} + t_{sl\ ies})}{2 \cdot R_1 \cdot M_{ac\ pl} \cdot c_a}$$

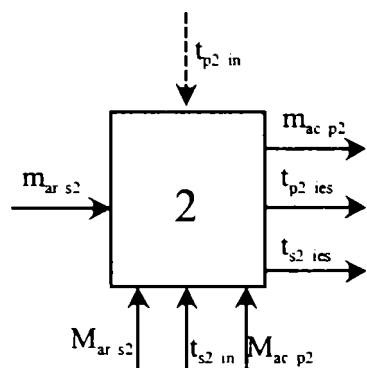
$$R_1 = \frac{1}{K_1 \cdot S_1}$$

unde:

- $t_{sl\ in}, t_{sl\ ies}$ – temperatura de intrare /ieșire agent secundar,
- $t_{pl\ in}, t_{pl\ ies}$ – temperatura de intrare /ieșire apă geotermală,
- $M_{ar\ sl}, M_{ac\ pl}$ – cantitatea de agent secundar și de apă geotermală din schimbătorul de căldură,
- K_1 – coeficientul global de schimb de căldură.
- S_1 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{ar\ sl}, \dot{m}_{ac\ pl}$ – debitele masice de agent secundar, respectiv apă geotermală
- c_a – căldura specifică pentru apă,

Aceste ecuații matematice sunt utilizate în cadrul procesului de simulare în blocul de calcul $t_{sl\ ies}$ în funcție de debit apă caldă, care este prezentat schematic mai sus – bloc (1).

Pentru calculul temperaturii $t_{s2\text{ ies}}$, măsurată de traductorul *TT8*, la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii $t_{p2\text{ ies}}$, măsurată de traductorul *TT6*, de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, care se desfășoară în schimbătoarele de căldură, în regim dinamic, este definit de următoarele relații:



$$\frac{dt_{s2\text{ ies}}}{d\tau} = \dot{m}_{ar\ s2} \cdot \frac{t_{s2\text{ ies}} - t_{s2\text{ in}}}{M_{ar\ s2}} + \frac{(t_{p2\text{ in}} + t_{p2\text{ ies}}) - (t_{s2\text{ in}} + t_{s2\text{ ies}})}{2 \cdot R_2 \cdot M_{ar\ s2} \cdot c_a}$$

$$\frac{dt_{p2\text{ ies}}}{d\tau} = \dot{m}_{ac\ p2} \cdot \frac{t_{p2\text{ in}} - t_{p2\text{ ies}}}{M_{ac\ p2}} - \frac{(t_{p2\text{ in}} + t_{p2\text{ ies}}) - (t_{s2\text{ in}} + t_{s2\text{ ies}})}{2 \cdot R_2 \cdot M_{ac\ p2} \cdot c_a}$$

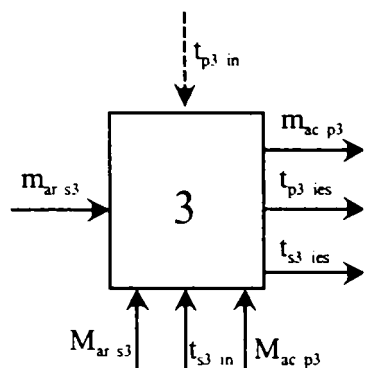
$$R_2 = \frac{1}{K_2 \cdot S_2}$$

unde:

- $t_{s2\text{ in}}, t_{s2\text{ ies}}$ – temperatura de intrare /ieșire apă caldă menajeră,
- $t_{p2\text{ in}}, t_{p2\text{ ies}}$ – temperatura de intrare /ieșire apă geotermală,
- $M_{ar\ s2}, M_{ac\ p2}$ – cantitatea de agent secundar și de apă geotermală, din schimbătorul de căldură,
- K_2 – coeficientul global de schimb de căldură,
- S_2 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{ar\ s2}, \dot{m}_{ac\ p2}$ – debitele masice de apă caldă menajeră, respectiv apă geotermală,
- c_a – căldura specifică pentru apă.

Aceste ecuații matematice sunt utilizate în cadrul procesului de simulare în blocul de calcul $t_{s2\text{ ies}}$ în funcție de debit apă caldă, care este prezentat schematic mai sus – bloc (2).

Pentru calculul temperaturii $t_{s3\text{ ies}}$, măsurată de traductorul *TT12*, la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii $t_{p3\text{ ies}}$, măsurată de traductorul *TT10*, de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, care se desfășoară în schimbătoarele de căldură, în regim dinamic, este definit de următoarele relații:



$$\frac{dt_{s3\text{ ies}}}{d\tau} = \dot{m}_{ar\ s3} \cdot \frac{t_{s3\text{ ies}} - t_{s3\text{ in}}}{M_{ar\ s3}} + \frac{(t_{p3\text{ in}} + t_{p3\text{ ies}}) - (t_{s3\text{ in}} + t_{s3\text{ ies}})}{2 \cdot R_3 \cdot M_{ar\ s3} \cdot C_a}$$

$$\frac{dt_{p3\text{ ies}}}{d\tau} = \dot{m}_{ac\ p3} \cdot \frac{t_{p3\text{ in}} - t_{p3\text{ ies}}}{M_{ac\ p3}} - \frac{(t_{p3\text{ in}} + t_{p3\text{ ies}}) - (t_{s3\text{ in}} + t_{s3\text{ ies}})}{2 \cdot R_3 \cdot M_{ac\ p3} \cdot C_a}$$

$$R_3 = \frac{1}{K_3 \cdot S_3}$$

unde:

- $t_{s3\text{ in}}, t_{s3\text{ ies}}$ – temperatura de intrare /ieșire agent secundar,
- $t_{p3\text{ in}}, t_{p3\text{ ies}}$ – temperatura de intrare /ieșire apă geotermală,
- $M_{ar\ s3}, M_{ac\ p3}$ – cantitatea de agent secundar și de apă geotermală din schimbătorul de căldură,
- K_3 – coeficientul global de schimb de căldură.
- S_3 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{ar\ s3}, \dot{m}_{ac\ p3}$ – debitele masice de agent secundar, respectiv apă geotermală
- C_a – căldura specifică pentru apă,

Aceste ecuații matematice sunt utilizate în cadrul procesului de simulare în blocul de calcul $t_{s3\text{ ies}}$ în funcție de debit apă caldă, care este prezentat schematic mai sus – bloc (3).

3.2.3. Calculul schimbului de căldură pentru punctul termic

Pentru procesele de schimb de căldură care se produc în schimbătoarele de căldură din cadrul punctului termic proiectat se realizează o serie de calcule în „EXCEL” în scopul determinării temperaturilor de ieșire pentru apa geotermală și agentul secundar pentru fiecare dintre utilizatorii de energie geotermală.

UTILIZATORI PRIMARI

ÎNCĂLZIREA CU CORPURI STATICE

Pentru calculul debitului de apă geotermală necesar în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, sau pentru determinarea temperaturii t_{slies} la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{plies} de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, este definit de următoarele relații:

$$\dot{m}_{acpl} \cdot c_a \cdot (t_{plin} - t_{plies}) = \dot{m}_{arsl} \cdot c_a \cdot (t_{slies} - t_{slin}) = K_1 \cdot S_1 \cdot \Delta t_{med1}$$

$$\dot{m}_{acpl} = \dot{m}_{arsl} \cdot \frac{t_{slies} - t_{slin}}{t_{plin} - t_{plies}}$$

$$t_{plies} = t_{plin} - \frac{K_1 \cdot S_1 \cdot \Delta t_{med1}}{\dot{m}_{acpl} \cdot c_a}$$

$$t_{slies} = t_{slin} + \frac{K_1 \cdot S_1 \cdot \Delta t_{med1}}{\dot{m}_{arsl} \cdot c_a}$$

$$K_1 = \frac{2 \cdot K_{nom1}}{\left(\frac{\dot{m}_{acplnom}}{\dot{m}_{acpl}}\right)^{0,8} + \left(\frac{\dot{m}_{arslnom}}{\dot{m}_{arsl}}\right)^{0,8}}$$

unde:

- t_{slin}, t_{slies} – temperatura de intrare /ieșire agent secundar,
- t_{plin}, t_{plies} – temperatura de intrare /ieșire apă geotermală,
- K_1 – coeficientul global de schimb de căldură.
- S_1 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{arsl}, \dot{m}_{acpl}$ – debitele masice de agent secundar, respectiv apă geotermală
- c_a – căldura specifică pentru apă,

Ca urmare a efectuării calculului referitoare la stabilirea necesarului de apă geotermală în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, așa cum rezultă din figura 3.31. debitul de apă geotermală variază aproximativ proporțional cu debitul de agent termic secundar, cu un coeficient de proporționalitate de aproximativ 1,15.

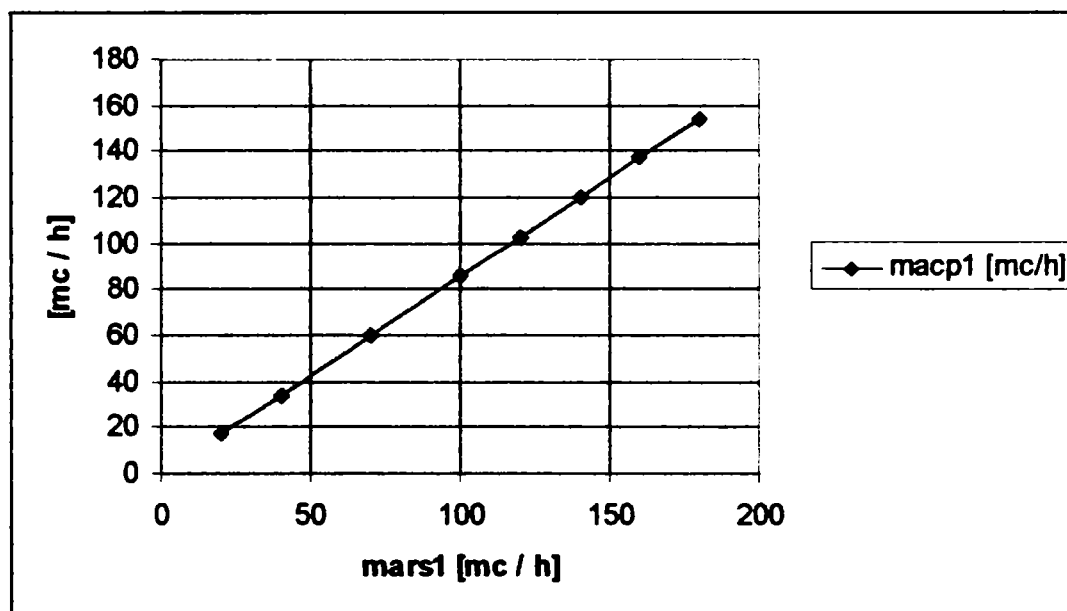


Figura 3.31. Variația debitului de apă geotermală m_{acp1} funcție de debitul de agent secundar m_{ars1}

Rezultatele calculului teoretic pentru determinarea temperaturii t_{s1ies} la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{p1ies} de ieșire a apei geotermale sunt prezentate în tabelul 3.9. iar graficele privind dependența temperaturii de ieșire a agentului termic secundar t_{s1ies} funcție de debitul de apă geotermală, precum și a temperaturii de ieșire a apei geotermale t_{p1ies} funcție de debitul de agent secundar sunt prezentate în figura 3.32. , respectiv în figura 3.33.

Tabelul 3.9. Rezultatele calculului teoretic pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice

macp1 [mc/h]	20	40	60	80	100	120	140	160
mars1 [mc/h]	20	40	70	100	120	140	160	180
ca [kcal/mch]	1	1	1	1	1	1	1	1
K1nom [kcal/mphK]	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
S1 [mp]	250	250	250	250	250	250	250	250
tp1in [°C]	85	85	85	85	85	85	85	85
ts1in [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40
Δtmed1 [°C]	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
K1 [kcal/mphK]	247,0588	494,1176	801,8182	1105,263	1354,839	1603,636	1851,969	2100
ts1ies [°C]	71,10294	71,10294	72,11364	72,56579	72,29839	72,11364	71,97835	71,875
tp1ies [°C]	53,89706	53,89706	52,88636	52,43421	52,70161	52,88636	53,02165	53,125

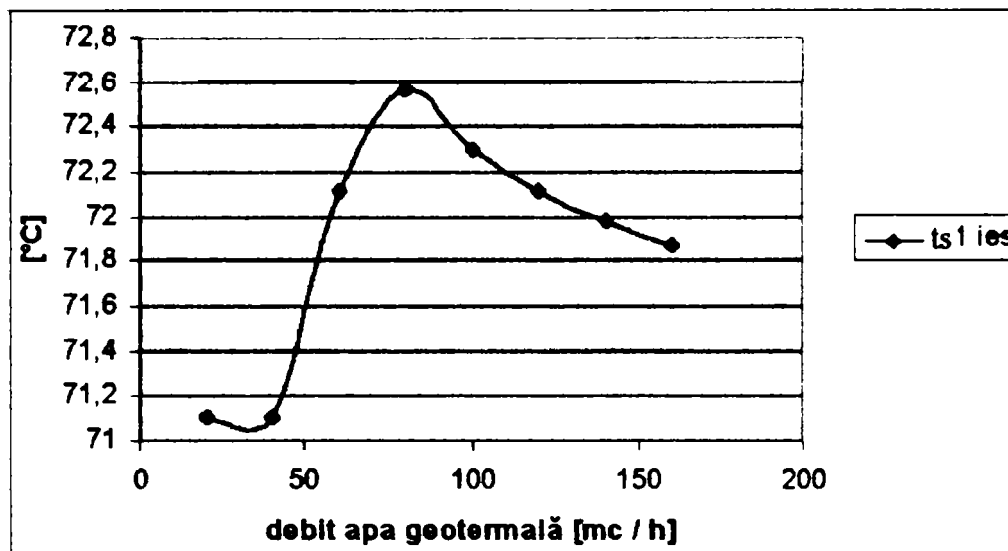


Figura 3.32. Variația temperaturii t_{s1ies} funcție de debitul de apă geotermală

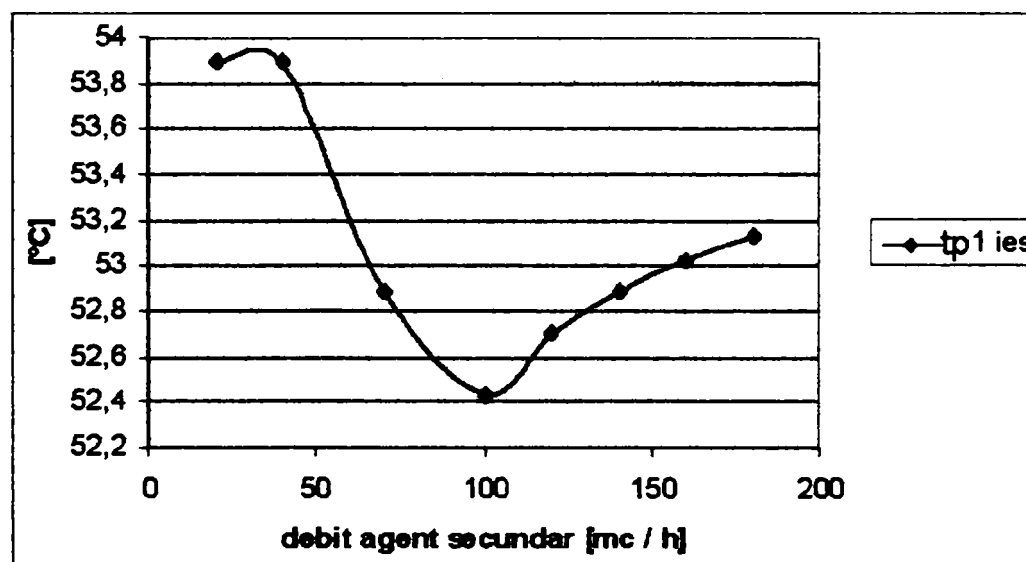


Figura 3.33. Variația temperaturii t_{p1ies} funcție de debitul de agent secundar

PREPARAREA APEI CALDE MENAJERE

Pentru calculul debitului de apă geotermală necesar în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, sau pentru determinarea temperaturii t_{s2ies} la ieșirea apei calde menajere din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{p2ies} de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, care se desfășoară în schimbătoarele de căldură, este definit de următoarele relații:

$$\dot{m}_{acp2} \cdot c_a \cdot (t_{p2in} - t_{p1ies}) = \dot{m}_{ars2} \cdot c_a \cdot (t_{s2ies} - t_{s2in}) = K_2 \cdot S_2 \cdot \Delta t_{med2}$$

$$\dot{m}_{acp2} = \dot{m}_{ars2} \cdot \frac{t_{s2ies} - t_{s2in}}{t_{p2in} - t_{p2ies}}$$

$$t_{p2ies} = t_{p2in} - \frac{K_2 \cdot S_2 \cdot \Delta t_{med2}}{\dot{m}_{acp2} \cdot c_a}$$

$$t_{s2ies} = t_{s2in} + \frac{K_2 \cdot S_2 \cdot \Delta t_{med2}}{\dot{m}_{ars2} \cdot c_a}$$

$$K_2 = \frac{2 \cdot K_{nom2}}{\left(\frac{\dot{m}_{acp2nom}}{\dot{m}_{acp2}}\right)^{0.8} + \left(\frac{\dot{m}_{ars2nom}}{\dot{m}_{ars2}}\right)^{0.8}}$$

unde:

- t_{s2in}, t_{s2ies} – temperatura de intrare /ieșire apă caldă menajeră,
- t_{p2in}, t_{p2ies} – temperatura de intrare /ieșire apă geotermală,
- K_2 – coeficientul global de schimb de căldură.
- S_2 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{ars2}, \dot{m}_{acp2}$ – debitele masice de agent secundar, respectiv apă geotermală
- c_a – căldura specifică pentru apă,

Urmare a efectuării calculelor referitoare la stabilirea necesarului de apă geotermală în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, așa cum rezultă din figura 3.34. debitul de apă geotermală variază aproximativ proporțional cu debitul de apă caldă menajeră, cu un coeficient de proporționalitate de aproximativ 1,2.

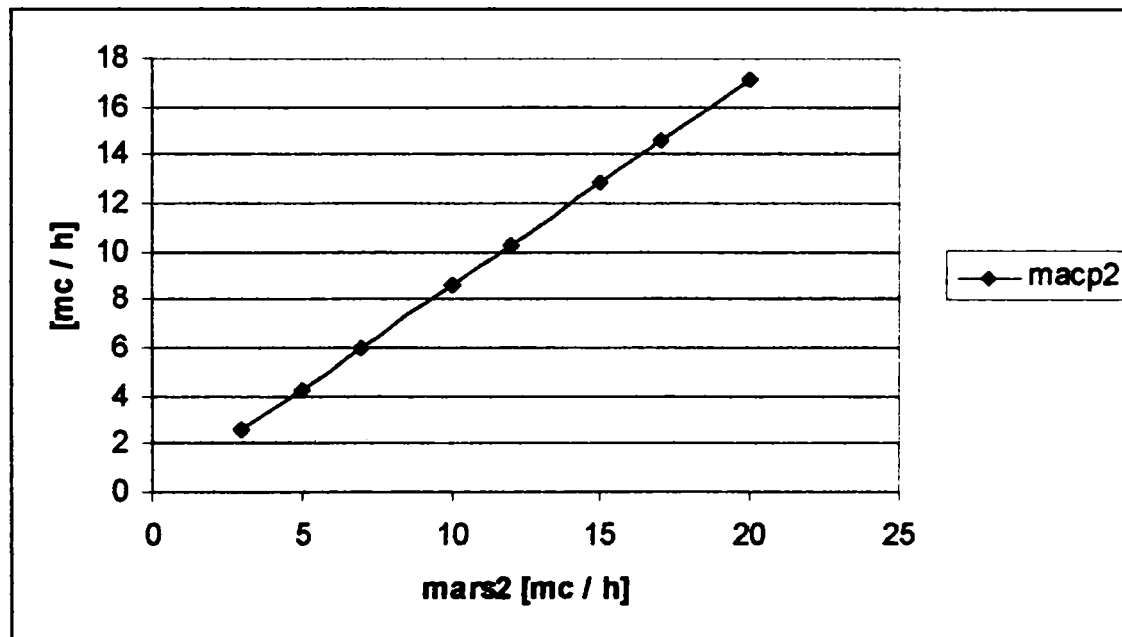


Figura 3.34. Variația debitului de apă geotermală m_{acp2} funcție de debitul de apă caldă menajeră m_{ars2}

Rezultatele calculelor teoretice pentru determinarea temperaturii t_{s2ies} de ieșire a apei calde menajere din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{p2ies} de ieșire a apei geotermale sunt prezentate în tabelul 310. iar graficele privind dependența temperaturii de ieșire a apei calde manajere t_{s2ies} funcție de debitul de apă geotermală, precum și a temperaturii de ieșire a apei geotermale t_{p2ies} funcție de debitul de agent secundar sunt prezentate în figura 3.35. , respectiv în figura 3.36.

Tabelul 3.10. Rezultatele calculelor teoretice pentru sistemul de preparare apă caldă menajeră

m_{acp2} [mc/h]	2,5	4	6	8	10	12	15	17
m_{ars2} [mc/h]	3	5	7	10	12	15	17	20
c_a [kcal/mch]	1	1	1	1	1	1	1	1
$K2_{nom}$ [kcal/mphK]	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
$S2$ [mp]	50	50	50	50	50	50	50	50
t_{p2in} [°C]	85	85	85	85	85	85	85	85
t_{s2in} [°C]	10	10	10	10	10	10	10	10
Δt_{med2} [°C]	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
$K2$ [kcal/mphK]	447,7612	727,2727	1063,291	1454,545	1791,045	2181,818	2628,866	3022,222
t_{p2ies} [°C]	51,41791	52,27273	50,82278	52,27273	51,41791	52,27273	50,20619	51
t_{s2ies} [°C]	43,58209	42,72727	44,17722	42,72727	43,58209	42,72727	44,79381	44

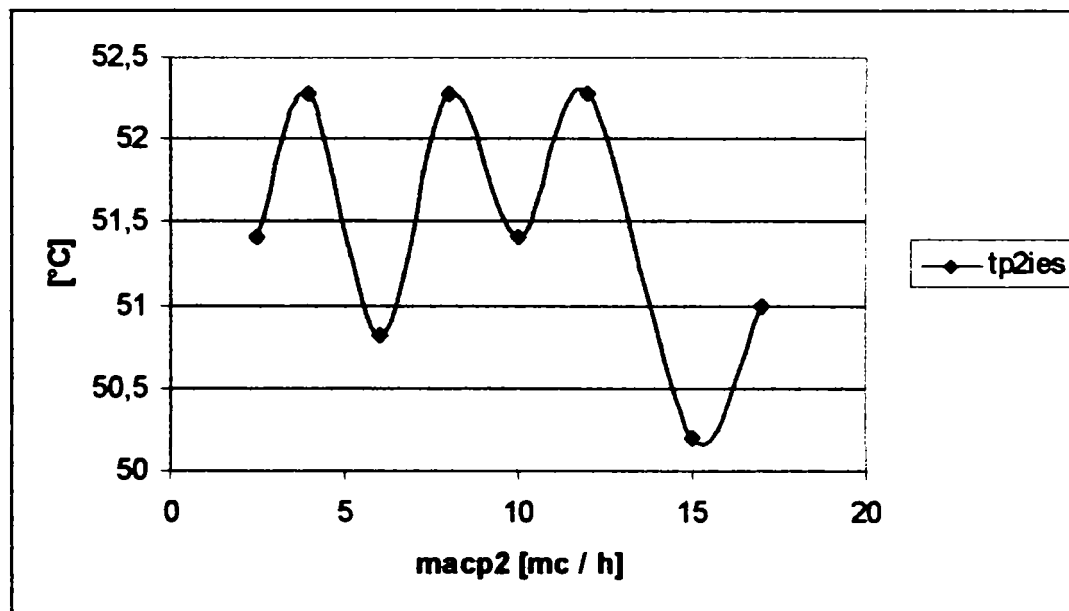


Figura 3.35. Variația temperaturii t_{p2ies} funcție de debitul de apă geotermală

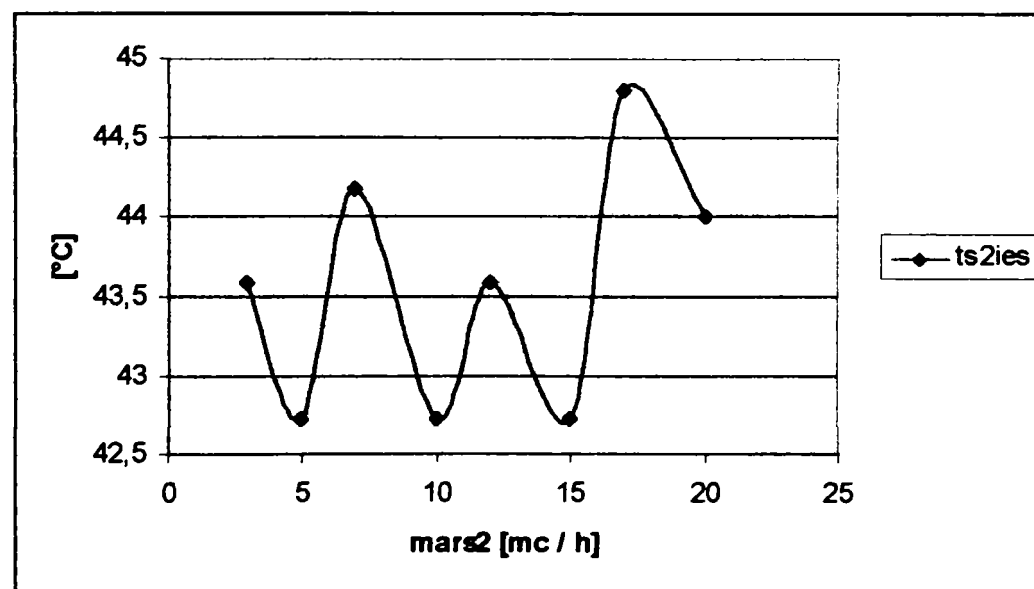


Figura 3.36. Variația temperaturii t_{s2ies} funcție de debitul de apă caldă menajeră

ÎNCĂLZIREA PRIN PARDOSEALĂ

Pentru calculul debitului de apă geotermală necesar în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, sau pentru determinarea temperaturii t_{s3ies} la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{p3ies} de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură se ține seama de faptul că procesul de schimb de căldură, care se desfășoară în schimbătoarele de căldură, este definit de următoarele relații:

$$\dot{m}_{acp3} \cdot c_a \cdot (t_{p3in} - t_{p3ies}) = \dot{m}_{ars3} \cdot c_a \cdot (t_{s3ies} - t_{s3in}) = K_3 \cdot S_3 \cdot \Delta t_{med3}$$

$$\dot{m}_{acp3} = \dot{m}_{ars3} \cdot \frac{t_{s3ies} - t_{s3in}}{t_{p3in} - t_{p3ies}}$$

$$t_{p3ies} = t_{p3in} - \frac{K_3 \cdot S_3 \cdot \Delta t_{med3}}{\dot{m}_{acp3} \cdot c_a}$$

$$t_{s3ies} = t_{s3in} + \frac{K_3 \cdot S_3 \cdot \Delta t_{med3}}{\dot{m}_{ars3} \cdot c_a}$$

$$K_3 = \frac{2 \cdot K_{nom3}}{\left(\frac{\dot{m}_{acp3nom}}{\dot{m}_{acp2}} \right)^{0.8} + \left(\frac{\dot{m}_{ars1nom}}{\dot{m}_{ars2}} \right)^{0.8}}$$

unde:

- t_{s3in}, t_{s3ies} – temperatura de intrare /ieșire agent secundar,
- t_{p3in}, t_{p3ies} – temperatura de intrare /ieșire apa geotermală,
- K_3 – coeficientul global de schimb de căldură.
- S_3 – suprafața de schimb de căldură,
- $\dot{m}_{ars3}, \dot{m}_{acp3}$ – debitele masice de agent secundar, respectiv apă geotermală
- c_a – căldura specifică pentru apă,

În urma efectuării calculelor referitoare la stabilirea necesarului de apă geotermală în scopul menținerii la valorile impuse a temperaturilor de ieșire din schimbătorul de căldură a celor doi agenți termici, așa cum rezultă din figura 3.37. debitul de apă geotermală variază aproximativ proporțional cu debitul de agent termic secundar.

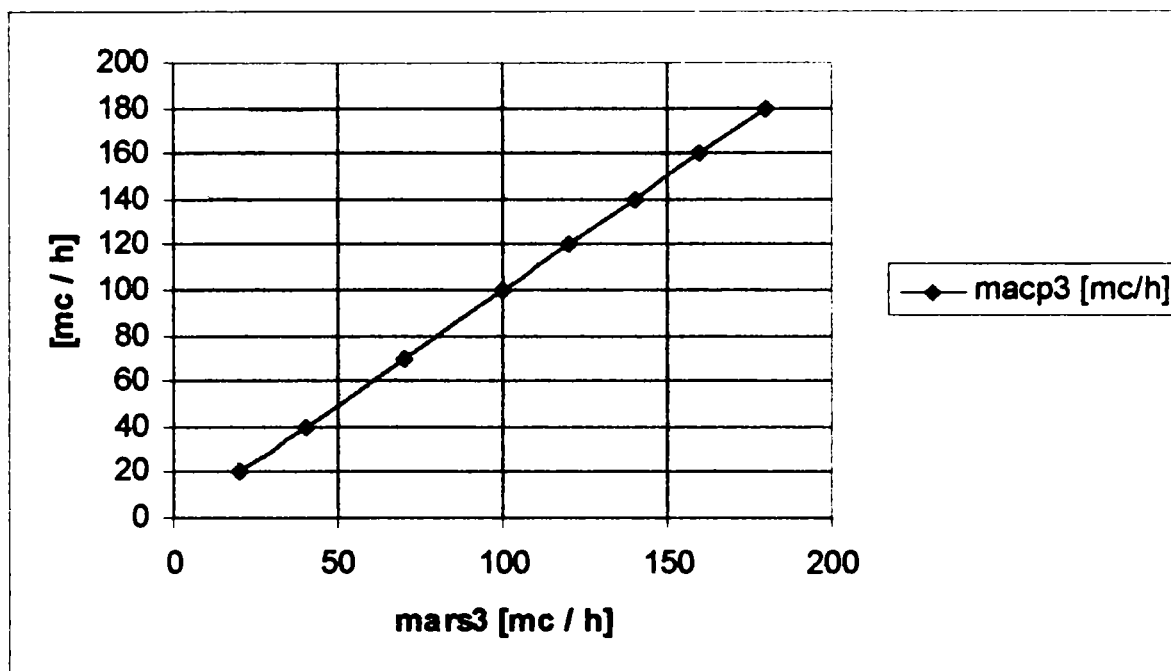


Figura 3.37. Variația debitului de apă geotermală m_{acp3} funcție de debitul de agent secundar m_{ars3}

Rezultatele calculelor teoretice pentru determinarea temperaturii t_{s3ies} la ieșirea agentului termic secundar din schimbătorul de căldură și a temperaturii t_{p3ies} de ieșire a apei geotermale sunt prezentate în tabelul 3.11. iar graficele privind dependența temperaturii de ieșire a agentului termic secundar t_{s3ies} funcție de debitul de apă geotermală, precum și a temperaturii de ieșire a apei geotermale t_{p3ies} funcție de debitul de agent secundar sunt prezentate în figura 3.38. , respectiv în figura 3.39.

Tabelul 3.11. Rezultatele calculelor teoretice pentru sistemul de încălzire prin pardoseală

macp3 [mc/h]	20	40	60	80	100	120	140	160
mars3 [mc/h]	20	40	70	100	120	140	160	180
ca [kcal/mch]	1	1	1	1	1	1	1	1
K3nom [kcal/mphK]	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
S3 [mp]	300	300	300	300	300	300	300	300
tp3in [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50
ts3in [°C]	30	30	30	30	30	30	30	30
Δtmed1 [°C]	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
K3 [kcal/mphK]	247,0588	494,1176	801,8182	1105,263	1354,839	1603,636	1851,969	2100
tp3ies [°C]	33,32353	33,32353	34,53636	35,07895	34,75806	34,53636	34,37402	34,25
ts3ies [°C]	46,67647	46,67647	45,46364	44,92105	45,24194	45,46364	45,62598	45,75

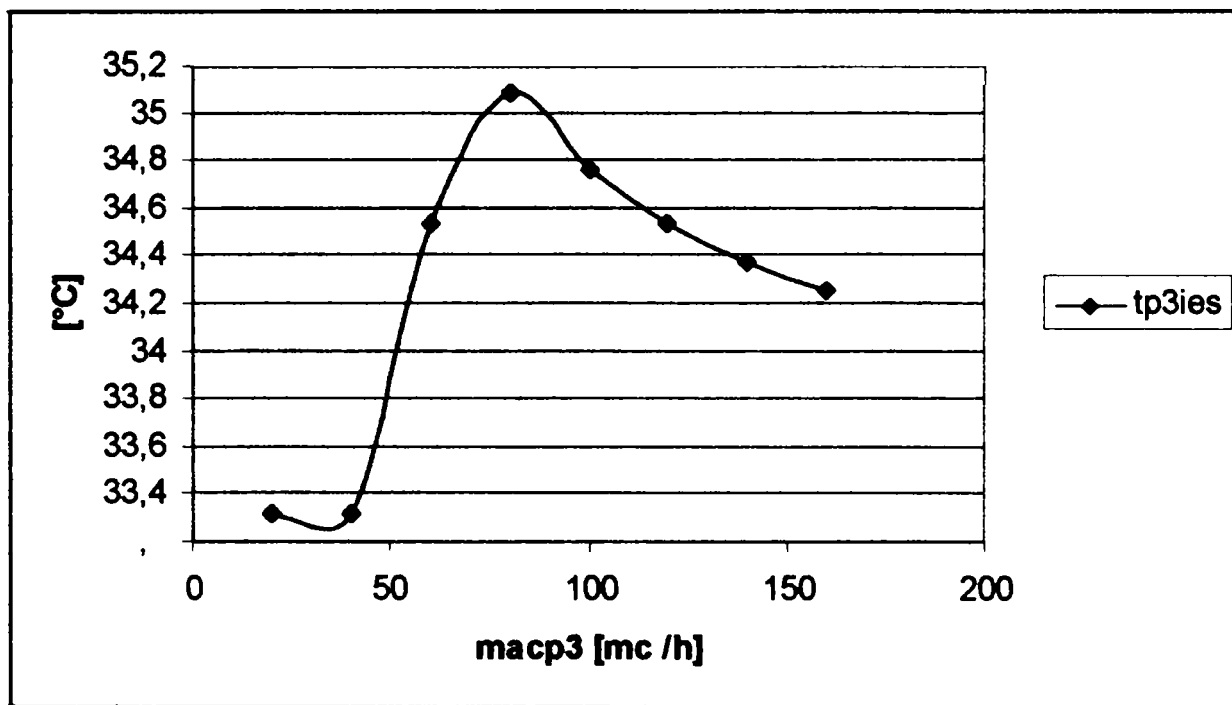


Figura 3.38. Variația temperaturii t_{p3ies} funcție de debitul de apă geotermală

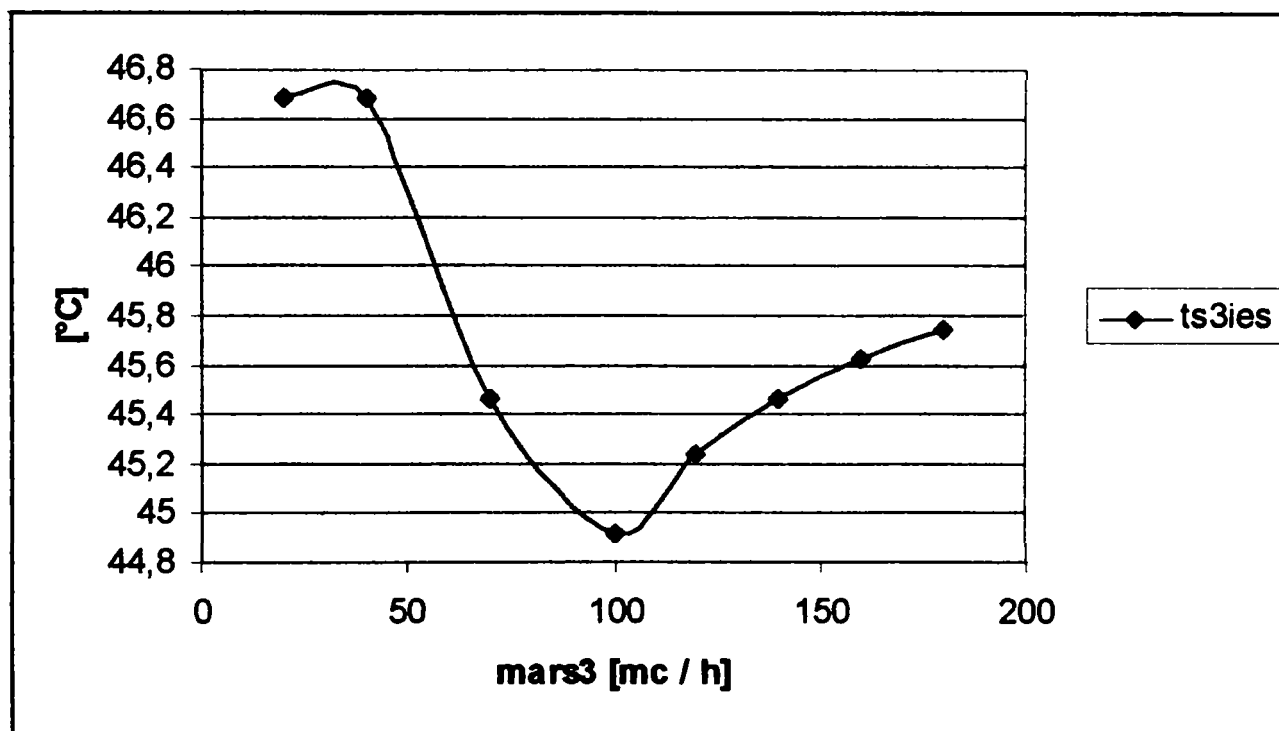


Figura 3.39. Variația temperaturii t_{s3ies} funcție de debitul de agent secundar

3.2.4. Automatizarea punctului termic

Problema studiului comportamentului sistemelor are întotdeauna ca punct de pornire un sistem real, sistem fizic, creat pentru a rezolva diferite probleme care apar în toate domeniile activității umane. Capacitatea sistemelor fizice de a rezolva un anumit tip de problemă depinde de caracteristicile intrinseci ale acestor sisteme. În general, sistemul fizic intră în legătură cu activitatea umană ca o unealtă capabilă să-i ușureze munca, acest lucru realizându-se prin modificarea în timp a unor parametri interni.

Deși putem considera ca sistem fizic orice mulțime de corpuri, obiecte reale aflate în interacțiune reciprocă, pentru această lucrare prezintă interes acele sisteme menite să înlocuiască observația, decizia și acțiunea omului, numite sisteme automate. Sistemele automate sunt concepute, prin alegerea corespunzătoare a elementelor componente, pentru a realiza o succesiune dată de evenimente, caz în care ele se numesc sisteme de comandă automată, sau pentru a menține valori prescrise unuia sau mai multor elemente ale sistemului, care au tendința de a se modifica în timp datorită unor condiții specifice, cum ar fi perturbațiile. În acest caz sistemele se numesc sisteme de reglare automată.

Deoarece, în cazul de față se urmărește menținerea constantă a unor parametri, sistemele fizice create în vederea obținerii acestui obiectiv sunt, în principal, sisteme de reglare automată. De aceea, în continuare prin sistem fizic se va înțelege sistem fizic de reglare automată de fiecare dată când nu se menționează explicit acest lucru.

Problema reglării unui proces real se prezintă astfel: acea mărime sau parametru care trebuie menținut la valoarea dorită are, la un moment dat, în timpul desfășurării procesului, o anumită valoare, diferită de cea dorită, valoare care va fi numită răspunsul sistemului. Diferența dintre răspunsul sistemului, adică valoarea măsurată cu un senzor și valoarea de referință, care este mărimea dorită, poartă numele de eroare, iar apariția ei se datorează diverselor perturbații care afectează procesul real. Scopul principal al oricărui sistem de reglare este diminuarea acestei erori și menținerea ei cât mai aproape de zero. Pentru a realiza acest lucru, eroarea este semnalată unui sistem fizic capabil să acționeze asupra procesului real în sensul diminuării acestei erori. Acest element poartă numele de *regulator*. În denumirea generică de regulator pot intra și elemente care nu fac parte din regulatorul propriu-zis, dar care sunt elemente indispensabile buclei de reglare. Aceste elemente sunt: *senzorul*, *elementul de comparație* și *elementul de execuție*. Senzorul preia de la procesul real valoarea momentană și o transformă într-o mărime fizică care poate fi comparată cu o altă valoare a aceleiași mărimi fizice, corespunzătoare valorii dorite a mărimii fizice urmărite în proces. De acest lucru se ocupă elementul de comparație care furnizează rezultatul regulatorului propriu-zis. Acesta, la rândul lui, va comanda un element de acționare care va modifica starea sistemului fizic în sensul menținerii valorii reale cât mai aproape de mărimea dorită.

Rezolvarea problemei reglării automate presupune:

1. Alegerea senzorilor corespunzători pentru culegerea mărimii reale din proces (răspunsul sistemului);
2. Alegerea elementelor de acționare capabile să modifice starea și comportamentul sistemului;
3. Descrierea elementelor componente cu ajutorul ecuațiilor matematice;
4. Proiectarea regulatorului propriu-zis, bazată pe aceste ecuații matematice;
5. Evaluarea analitică a proiectului de reglare (eventual prin simulare) și verificarea comportării sistemului real.

În cadrul acestui subcapitol vor fi analizate problemele legate de optimizarea conducerii automate a utilizatorilor primari ai sistemului de utilizare în cascadă a energiei termice a apelor geotermale din cadrul punctului termic proiectat.

În scopul asigurării necesarului de energie termică pentru încălzirea unor spații de locuit în suprafață desfășurată de 85.000m² (Volum construit $V_{cl.tot}=120.000m^3$) și un necesar de apă caldă menajeră de 6l/s (21m³/h), a fost prezentată varianta de utilizare în cascadă a energiei termice a apei geotermale de la sonda 4796. În acest sens a fost adoptată varianta optimă de utilizare care cuprinde:

- sistemul de încălzire a spațiilor care se realizează cu corpuri statice;
- sistemul de încălzire a spațiilor care se realizează prin sistemul de încălzire prin pardoseală;
- sistemul pentru asigurarea necesarului de apă caldă menajeră.

Varianta adoptată presupune utilizarea apei geotermale uzate termic, rezultată din procesul de încălzire a clădirilor care se realizează cu corpuri statice și din sistemul de preparare a apei calde menajere, ca agent termic primar pentru sistemul de încălzire prin pardoseală. Pentru realizarea acestui deziderat a fost concepută și se prezintă în continuare strategia de conducere propusă.

A) OPTIMIZAREA CONDUCERII AUTOMATE A UTILIZATORILOR PRIMARI

Conducerea sistemului de încălzire a clădirilor cu corpuri statice

Pentru încălzirea clădirilor cu corpuri statice, strategia de conducere presupune:

- determinarea, în urma măsurătorilor meteorologice (realizate cu ajutorul traductorului de temperatură $TTel$ și a teaductorului pentru măsurarea vitezei vântului $WTeI$), a temperaturii necesare a agentului termic pentru încălzire (temperatură cuprinsă între 40 și 70°C);

$$\text{dacă: } t_{ext\ med} \leq -12^{\circ}C$$

$$t_{s1\ ies} = 70^{\circ}C;$$

$$\text{dacă: } t_{ext\ med} \in (-12, 10)^{\circ}C$$

$$t_{s1\ ies} = (53,5 - 1,35 \cdot t_{ext\ med})^{\circ}C;$$

$$\text{dacă: } t_{ext\ med} \geq 10^{\circ}C$$

$$t_{s1\ ies} = 40^{\circ}C$$

Acest algoritm este valabil pentru perioada de funcționare a sistemului de termoficare, perioadă care corespunde, în general, intervalului 15octombrie–15aprilie.

- asigurarea temperaturii agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, temperatură măsurată de traductorul $TT4$, prin controlarea debitului de apă geotermală care circulă prin schimbător. Acest lucru este realizat de regulatorul $RG1$, care comandă deschiderea robinetului $CV2$;
- funcționarea alternativă a pompelor de circulație $P1$, $P2$, $P3$ (câte două simultan) în scopul evitării suprasolicitării motoarelor electrice de antrenare;
- asigurarea presiunii statice în sistem prin comanda pompelor de completare $P4$, $P5$ și a compresorului CI .

Schema constructiv-funcțională a sistemului de încălzire folosind corpuri statice, cuprinzând și buclele de conducere, este prezentată în figura 3.40.

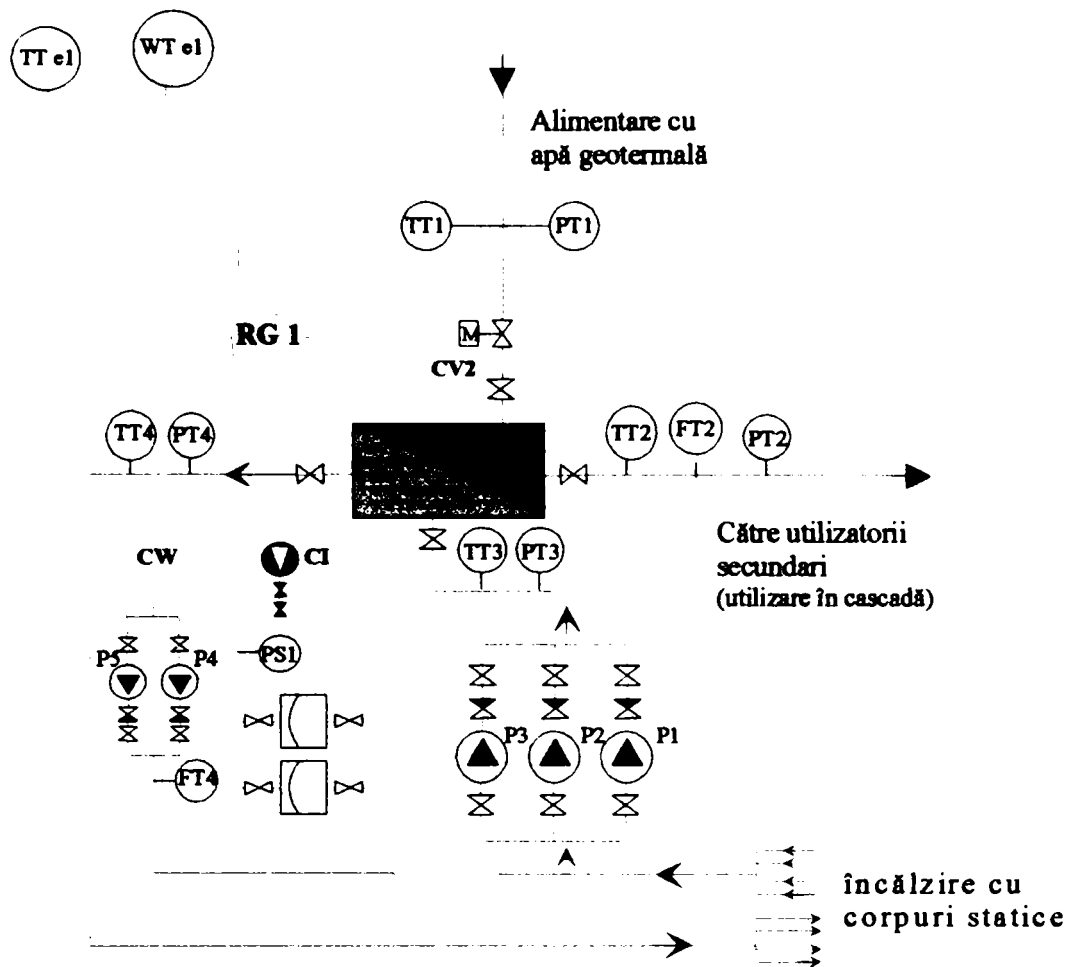


Figura 3.40. Schema sistemului de încălzire a clădirilor folosind corpuri statice, cu buclele de conducere

Conducerea sistemului de preparare a apei calde menajere

Apa caldă menajeră este obținută prin încălzirea apei reci provenită din sursa de apă potabilă și stocată într-un vas tampon pentru apă caldă menajeră, vas tampon de expansiune care are o capacitate de 2 m³ (vezi figura 3.41.).

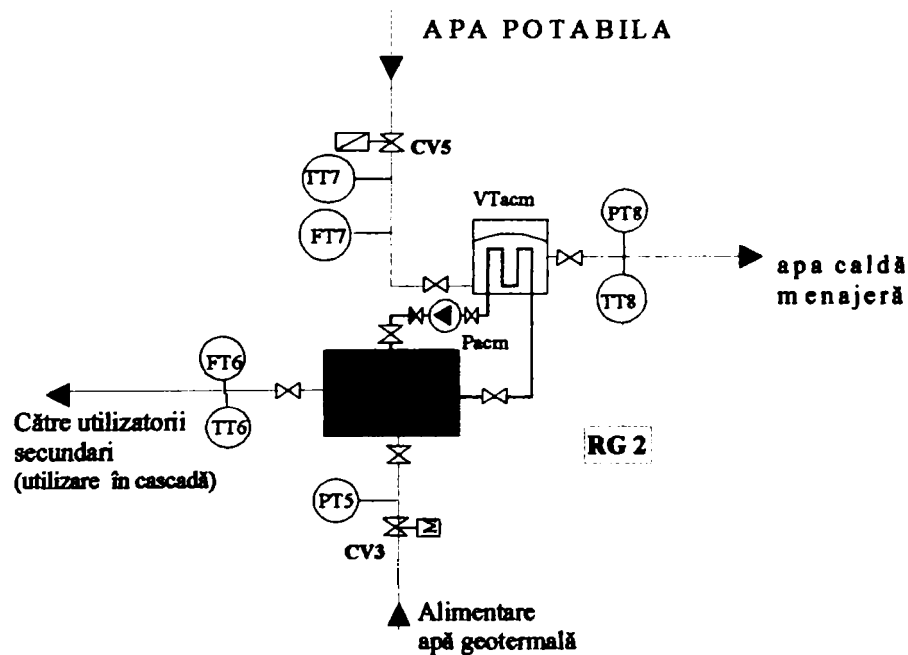


Figura 3.41. Schema sistemului de preparare a apei calde menajere cu buclele de conducere

Temperatura de livrare a apei calde menajere este măsurată permanent de către traductorul de temperatură $TT8$. Regulatorul $RG2$ compară permanent valoarea măsurată cu valoarea prescrisă a temperaturii (60°C) și comandă robinetul $CV3$.

Prin comanda robinetului $CV3$ este controlat debitul de apă geotermală care trece prin schimbătorul de căldură. Sistemul mai cuprinde valva unidirecțională $CV5$ care îl protejează de variații neprevăzute de presiune. Vasul tampon pentru apă caldă menajeră VT_{acm} , prin volumul de apă stocat, atenuează variațiile temperaturii de livrare a apei calde menajere odată cu variațiile consumului; prin aceasta, robinetul $CV3$ este protejat de comenzi repetate.

B) OPTIMIZAREA CONDUCERII AUTOMATE A UTILIZATORILOR SECUNDARI

Conducerea sistemului de încălzire a clădirilor utilizând varianta „prin pardoseală”

Pentru sistemul de încălzire prin pardoseală poate fi utilizată apa geotermală uzată termic anterior ca sursă de energie.

Strategia de conducere concepută presupune:

- determinarea temperaturii agentului termic pentru încălzire în funcție de temperatura exterioară medie corespunzătoare zilei anterioare (realizate cu ajutorul traductorului de temperatură $TTe1$ și a traductorului pentru măsurarea vitezei vântului $WTe1$). Determinarea se realizează după următorul algoritm:

$$\begin{aligned} \text{dacă: } t_{ext\ med} \leq -12^{\circ}\text{C} & \quad t_{s3\ ies} = 45^{\circ}\text{C} ; \\ \text{dacă: } t_{ext\ med} \in (-12, 10)^{\circ}\text{C} & \quad t_{s3\ ies} = (36,8 - 0,68 \cdot t_{ext\ med})^{\circ}\text{C} ; \\ \text{dacă: } t_{ext\ med} \geq 10^{\circ}\text{C} & \quad t_{s3\ ies} = 30^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Acest algoritm este valabil pentru perioada de funcționare a sistemului de termoficare, perioadă care corespunde, în general, intervalului 15 octombrie–15 aprilie.

- controlul temperaturii agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, temperatura măsurată de traductorul de temperatură $TT12$, cu temperatura calculată anterior $t_{s2\ ies}$, control realizat de regulatorul $RG3$, care comandă deschiderea robinetului $CV4$. După cum reiese din figura 3.42, robinetul $CV4$ este montat în paralel cu schimbătorul de căldură și îl scurtcircuitează pe acesta, prin robinet trecând debitul de apă geotermală care nu este necesar;
- funcționarea alternativă a pompelor de circulație $P6$, $P7$, $P8$ (câte două simultan) în scopul evitării suprasolicitării motoarelor electrice de antrenare;
- asigurarea presiunii statice în sistem prin comanda pompelor de completare $P9$, $P10$ și a compresorului CI .

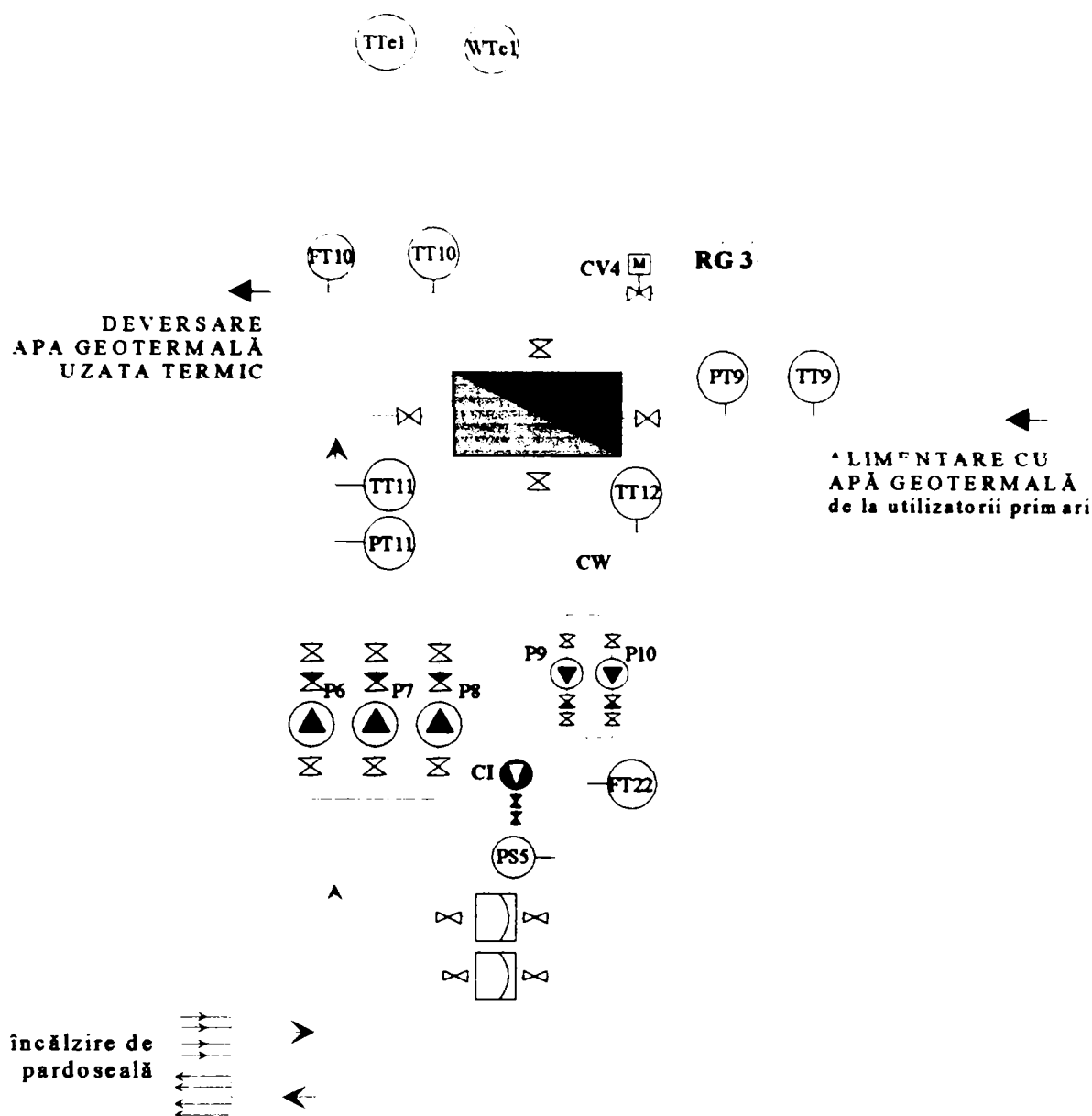


Figura 3.42. Schema sistemului de încălzire a clădirilor folosind sistemul „prin pardoseală” cu bucle de conducere

Prin utilizarea în cascadă a energiei apei geotermale se realizează încălzirea suplimentară a unui volum construit de 62.000 m³, folosind același debit de apă geotermală, practic aceeași cantitate de combustibil. Din punctul de vedere al conducerii, deși teoretic nu ar fi nevoie de o conducere distinctă a sistemului de asigurare a energiei termice pentru încălzirea de pardoseală a viitoarelor construcții, a fost introdusă bucla de conducere care cuprinde traductorul de temperatură *TT12*, regulatorul *RG3* și robinetul cu acționare electrică *CV4*. A fost necesară conducerea distinctă deoarece nu se poate realiza o echilibrare perfectă pentru cele trei sisteme de utilizare a energiei geotermale (încălzirea cu corpuri statice, încălzirea de pardoseală și prepararea apei calde menajere); de asemenea, fluctuațiile debitului de apă geotermală rezultate în urma variației necesarului de apă caldă menajeră determină un debit variabil de agent primar pentru sistemul de încălzire prin pardoseală. Deoarece 95% din debitul de apă geotermală uzată termic în sistemele amonte (încălzirea cu corpuri statice și prepararea apei calde menajere) este utilizat ca sursă energetică pentru sistemul de încălzire prin pardoseală, în schema de conducere a fost prevăzută scurtcircuitarea schimbătorului de căldură pe circuitul de apă caldă menajeră; debitul de scurtcircuitare este controlat prin comanda dată robinetului *CV4* prin care, practic, circulă surplusul de debit de apă geotermală uzată termic; acest surplus este amestecat în conducta de deversare cu debitul de apă geotermală care străbate schimbătorul de căldură.

STRUCTURA HARDWARE

Din punctul de vedere al hardware-ului utilizat s-a ales opțiunea, a cărei schemă bloc este prezentată în figura 3.43. Caracteristicile opțiunii alese sunt:

- utilizarea unui automat programabil (PLC) pentru realizarea programului de control, echipat cu mai multe module de I/O prin intermediul cărora se realizează legăturile către procesul fizic, precum și cu o sursă neîntreruptibilă de tensiune;
- utilizarea a două calculatoare PC Pentium prevăzute cu monitoare de 20" pentru realizarea interfeței grafice cu utilizatorul (într-o schemă minimală era suficient un sigur PC dar și în acest caz pentru mărirea securității sistemului se utilizează o structură redundantă); dintre acestea PC1 comunică direct cu PLC-ul pe linie serială fiind în același timp conectat în rețea cu PC2;
- utilizarea unui modul DTAM Micro, care realizează o interfață cu utilizatorul (MMI) în mod text, pentru cazul în care interfața grafică nu funcționează.

Un calcul estimativ realizat a arătat că sunt necesare aproximativ 40 intrări analogice, 160 intrări digitale, 4 ieșiri analogice și respectiv 40 ieșiri digitale. Evident, acest număr este orientativ, fiindcă trebuie ținut cont și de o eventuală expansiune (între anumite limite) a sistemului. De asemenea, a rezultat că este necesară, pentru cel mai rapid proces, o viteză de reacție de ordinul minutelor; astfel, a fost ales procesorul Allen Bradley SLC-5/03 din familia SLC-500, care nu este neapărat cel mai performant din gama automatelor produse de firma mai sus menționată [Rock. '95], dar satisface pe deplin cerințele performanță/cost ale aplicației date.

Familia SLC 500 este o familie de automate programabile mici, în general potrivite pentru aplicații dedicate, având însă o mare flexibilitate în realizarea de expansiuni ulterioare, incluzând abilitatea de a comunica cu alte automate programabile Allen Bradley de dimensiuni mai mari (Rockwell Automation, 1994/1). Acestea oferă 20, 30 sau 40 de puncte de I/O discrete fixe, cu posibilități de adăugare până la 64 puncte de I/O modulare pentru modulele de I/O discrete, analogice sau speciale.

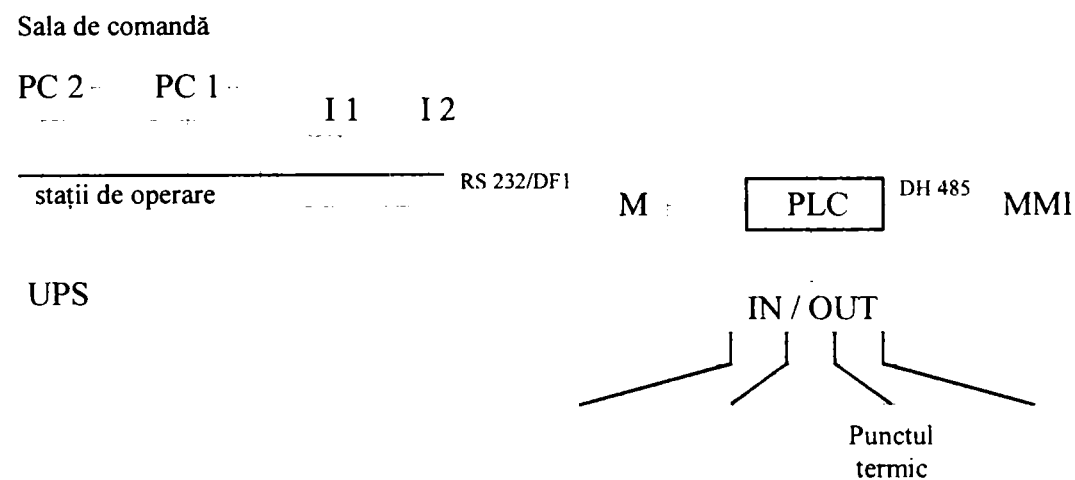


Figura 3.43. Schema bloc a sistemului hardware. PC 1, PC 2 – calculatoare pentium; I 1, I 2 – imprimante; M – modem; PLC – procesor automat programabil; IN/OUT – module de intrare/ieșire; MMI – Modul DTMA; UPS – sursă neîntreruptibilă de tensiune

Unul dintre avantajele separării interfeței cu utilizatorul de programul de control este că, pe de o parte acesta este degrevat de realizarea unor prelucrări necesare procesului de afișare (ex: scalări), și pe de altă parte, se pot astfel stoca mari cantități de date utilizând hard-disk-ul PC-ului, date care pot fi utilizate ulterior pentru a urmări evoluția în timp a anumitor parametri (grafice, calcule statistice). Acest lucru poate fi realizat de asemenea prin intermediul interfeței utilizator, cantitatea de date disponibilă la un moment dat nefiind limitată decât de spațiul disponibil pe disc. Tot aici pot fi realizate și anumite calcule (ex: totalizări, scalări) necesare pentru a obține anumite date de ansamblu asupra procesului, programul de control fiind astfel redus la minimum necesar.

Pentru cazul în care PC-ul care conține interfața grafică se defectează, a fost prevăzut modulul DTAM Micro Operator Interface, cu ajutorul căruia se poate realiza monitorizarea și controlul unui număr redus de parametri, în mod text (maximum 50 de ferestre sunt permise de memoria existentă: afișare date, alarme, configurare). Utilizarea acestui mod e opțională, dublând (într-o mai mică măsură, evident), interfața grafică de pe PC. Comunicarea cu PLC-ul este realizată utilizând portul de comunicare DH-485.

Caracteristicile principale ale procesorului Allen Bradley SLC-5/03 sunt prezentate în continuare, caracteristici care justifică alegerea făcută [Cris.'90]: structură modulară, formată din module funcționale care pot fi introduse într-un rack (sertar); numărul maxim de rack-uri care pot fi adresate este 3 (locale); modulele de I/O sunt astfel construite încât pot fi legate direct la traductoarele și senzorii corespunzători, fără circuite intermediare de izolare și condiționare a semnalelor; oferă maxim 960 I/O dintre care 96 de semnale analogice; memorie 12K pentru instrucțiuni, și suplimentar încă 4K pentru date; după definitivarea programului acesta poate fi stocat într-o memorie single-chip EEPROM utilizând facilitatea existentă în acest sens; numărul de timer-e/counter-e (numărătoare/temporizatoare) este limitat numai de cantitatea de memorie disponibilă; tabela de date este configurabilă de către utilizator; timpul de scanare: 1ms/Kcuvânt; timpul de scanare pentru I/O: 0,225 ms; furnizează un port RS-232 standard pentru comunicație serială (utilizat, în cazul nostru, pentru comunicația cu PC-ul); furnizează un port DH-485 (utilizat în cazul acesta pentru realizarea legăturii cu modulul DTAM).

Pentru a satisface necesarul de I/O pentru aplicația dată, precum și pentru a prevedea posibilitatea unei ulterioare extensii, s-au considerat necesare următoarele module de I/O[Rock.'94/1]:

- 12 module analogice de intrare: furnizează 4 canale de intrare analogice ($\pm 10V, \pm 20 mA$) pe 16 biți; nu necesită sursă de alimentare externă,
- 1 modul analogic de ieșire: furnizează 4 canale de ieșire analogice (0...20 mA) pe 16biți; nu necesită sursă de alimentare externă,
- 5 module de intrare digitale: furnizează 32 de canale de intrare digitale (24Vcc),
- 2 module de ieșire digitale: furnizează 32 de canale de ieșire digitale (10/50 Vcc) dintre care unul este momentan neutilizat.

Structura software

Din analiza făcută a rezultat că software-ul aplicației trebuie să realizeze următoarele funcții:

1. monitorizarea și/sau controlul diferiților parametri; în cazul controlului, acesta este realizat utilizând diferite dispozitive: valve, comutatoare, motoare, variatoare de turație, etc.
2. tratarea situațiilor de alarme inclusiv oprirea/pornirea sistemului;
3. trecerea sistemului din regim automat în regim manual și invers;
4. alte calcule.

Pentru dezvoltarea programului din PLC s-a ales mediul de programare Advanced Programming Software (APS), care permite realizarea de programe pentru toate automatele programabile din familia Allen Bradley [Rock.'94/2]. APS face parte din categoria softwar-elor dedicate pentru controlul industrial, de tip block-structured [Benn.'94].

În ceea ce privește interfața utilizator, realizarea unei interfețe conform standardelor actuale n-ar putea fi făcută fără unelte corespunzătoare. Tipice în acest caz sunt așa numitele "sisteme de management a interfețelor utilizator". Astfel de sisteme furnizează, în general, un set de obiecte de bază (icoane, meniuri, bare de defilare, etc.), care pot fi utilizate pentru particularizarea anumitelor interfețe precum și biblioteci de rutine și obiecte predefinite. De asemenea, mai furnizează o modalitate de a se lega la programul de aplicație corespunzător pentru a putea suporta intrări/ieșiri [Boy.'93].

Astfel de unelte sunt în general alcătuite din două părți: o componentă de dezvoltare și o componentă run-time. Componenta run-time facilitează realizarea legăturilor între structurile interne de date și prezentarea externă a acestora. Componenta de dezvoltare este utilizată în faza de realizare a interfeței, de obicei utilizând un editor grafic în combinație (eventual) cu un limbaj de programare.

Pentru cazul de față se propune utilizarea pachetului SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) InTouch al firmei Wonderware cu cele două componente ale acestuia: InTouch WindowMaker (pachetul de dezvoltare) și respectiv InTouch Window Viewer (componenta run-time). Comunicarea cu PLC-ul se realizează utilizând aplicația DDE Allen Bradley Serial Server. DDE este un protocol de comunicație (Dinamic Data Exchange) proiectat de Microsoft pentru a permite aplicațiilor Windows să transmită/primească date și instrucțiuni unele de la altele (Wonderware Corporation, 1990). Acesta implementează o relație client-server între două aplicații care rulează în mod concurrent. Aplicația care acționează ca server furnizează date și acceptă cereri de la aplicațiile client. Unele aplicații, ca de exemplu InTouch sau Excel, pot fi atât server cât și client. În cazul software-ului Wonderware Allen Bradley Serial Server comunicarea se realizează prin intermediul unei interfețe de comunicare serială (Rodd M.C., Deravi F, 1989).

În cazul în care calculatoarele PC1 și PC2 nu funcționează se poate utiliza pentru monitorizarea și controlul sistemului modulul DTAM Micro Operator Interface din familia Allen Bradley. Acesta este prevăzut cu același număr de ferestre (mai puțin fereastra de evoluție instantanee) cu aceeași organizare ierarhică ca și a ferestrelor SCADA. Diferența constă în faptul că pe cele 2 linii de 20 de caractere sunt afișate doar valorile mai importante din fiecare fereastră.

LIMBAJE DE SIMULARE

GENERALITĂȚI

Modelarea este o metodă de studiu a unor procese și fenomene prin substituția obiectului real al cercetării. Studiul variantelor de decizie pe modele scurtează durata de obținere a soluției satisfăcătoare, permite analizarea unui număr mare în condiții modificabile controlat cu posibilitatea revenirii la aceeași stare inițială spre deosebire de experimentarea pe sistemul real legată de ireversibilitatea transformării și nu în ultimul rând costul prohibitiv. Astfel modelele utilizate în fundamentarea deciziilor constituie un instrument eficace, indispensabil datorită creșterii gradului de complexitate a problemelor decizionale.

Metoda simulării, ca și alte metode ale cercetării operaționale, presupune parcurgerea următoarelor faze: *formularea problemei* care de cele mai multe ori se confundă cu formularea obiectivului atașat unei descrieri adesea vagi a condițiilor de funcționare a procesului studiat; *construirea modelului* care implică identificarea relațiilor dintre parametrii definatori ai procesului și exprimarea cantitativă a obiectivului în funcție de acești parametri; *validarea modelului* și determinarea clasei soluțiilor posibile; *căutarea unei soluții* care să satisfacă restricțiile funcționale reprezentate în model și care să conducă la calitatea cerută funcției obiectiv (valoare maximă, minimă sau într-o plajă de valori admisă); *implementarea soluției* determinate ca satisfăcătoare.

Construirea unui model care să reprezinte cât mai fidel procesul real reclamă parcurgerea etapei de analiză de sistem care cuprinde următoarele etape: identificarea activităților elementare care intervin direct sau indirect și a legăturilor dintre ele; determinarea caracterului acestor legături și exprimarea lor cantitativă; stabilirea modului în care variațiile în cadrul unor plaje de valori ale unor parametri ai modelului se reflectă în funcționarea sistemului.

Analiza de sistem poate încadra problema în una din următoarele clase: *probleme deterministe* (în care relația de cauzalitate este o corespondență biunivocă ce poate fi descrisă satisfăcător de model; valorile luate de elementele modelului sunt bine determinate în virtutea unor relații de tip funcție), *probleme stochastice* (în care unele variabile ce descriu procesul modelat sunt variabile aleatoare cu distribuție cunoscută sau determinabilă), *probleme vag definite* (în care nu se pot caracteriza nici măcar în probabilitate unele variabile, ci se pot realiza doar aprecieri calitative ale valorii sau plajei de valori în care se află).

Limbajele de simulare au fost create pentru scrierea mai operativă a programelor pentru studiul modelelor de simulare pe calculatoare. Ele sunt limbaje specializate care simplifică relația utilizator calculator și cantitatea de muncă necesară scrierii unui program chiar dacă utilizăm un limbaj de nivel înalt cum este FORTRAN.

Astfel utilizatorul se poate concentra asupra analizei procesului simulat, asupra definirii variabilelor aleatoare ce intervin în model - definire bazată pe studiul unor date experimentale sau de istoric privind procesul și validate prin teste de concordanță - precum și asupra ipotezelor de lucru vor fi luate în considerare în timpul simulării.

Variatatea mare a problemelor a generat diferite limbaje sau sisteme de simulare. Limbajele de simulare pot fi clasificate după diferite criterii. Astfel putem clasifica limbajele de simulare după tipul sistemelor studiate și pot fi continue sau discrete, deterministe sau stochastice, complet sau vag definite. Modelele sistemelor tehnice continue și deterministe în special cele ale sistemelor de reglare au condus la crearea unor pachete de programe și chiar a unor limbaje specializate. Astfel de limbaje specializate pentru studiul sistemelor dinamice

tehnice sunt **CSL** (*Continuous System Language* – limbaj pentru sistemele continue) și **CSMP** (*Continuous System Modelling Program* – program pentru simularea sistemelor continue) dar ele pot fi utilizate cu succes și în studiul oricăror procese ce pot fi descrise prin ecuații de stare diferențiale.

Deoarece simularea s-a utilizat tot mai des în ultimul timp, în cadrul limbajelor de simulare există module care conțin modele matematice create deja, și care pot fi utilizate adaptându-le sistemului propriu. În acest caz trebuie întâi verificat dacă modelul creat cu ajutorul acestor module corespunde cerințelor noului model creat. Pentru un sistem există mai multe modele posibile, alegerea lor se va face în funcție de scopul pentru care s-a realizat simularea, de complexitatea sa, precum și funcție de condițiile externe sistemului.

LIMBAJUL ACSL

Limbajul pentru sisteme continue utilizat în cazul aplicației este ACSL (*Advanced Continuous Simulation Language*), și a fost dezvoltat special cu scopul de a modela sisteme descrise prin ecuații diferențiale neliniare sau funcții de transfer. Pentru ACSL, modelul trebuie exprimat în termeni matematici, ecuațiile diferențiale neliniare fiind des utilizate. De asemenea, unele părți pot fi exprimate și prin funcții de transfer din teoria sistemelor liniare; pentru sistemele reale, în afară de relațiile cauză/efect, este necesară includerea unor specificații referitoare la limitări, discontinuități, precum și alte condiții care limitează domeniul de funcționare al sistemului.

Pentru a putea observa corect evoluția unui sistem utilizând simularea, modelul trebuie astfel creat încât să includă toate cauzele care pot influența comportarea acestuia, dar în același timp să fie cât mai simplu. Software-ul ACSL furnizează metode simple de a reprezenta modelele matematice pe un calculator (PC). Practic, există două modalități de lucru cu software-ul ACSL:

- utilizând limbajul ACSL, pe baza ecuațiilor matematice, utilizatorul scrie un program care modelează sistemul (fișier .csl); programul este apoi translatat de ACSL într-un fișier Fortran (.for), care apoi este compilat (.obj) și link-editat utilizând bibliotecile ACSL și Fortran necesare, rezultând un fișier executabil (.prx);
- utilizând opțiunea Graphic Modeller care practic furnizează în plus o interfață grafică pentru crearea modelului, și care poate fi translatată automat în cod ACSL, după care procesul descris anterior se repetă.

Rularea simulării prin execuția modelului obținut poate fi ulterior realizată prin comenzi furnizate în loturi (batch), sub forma unor fișiere-scenariu predefinite, sau interactiv, una câte una. În varianta interactivă, se poate experimenta mai flexibil comportarea sistemului prin schimbarea valorii diferitelor constante și urmărirea comportării acestuia.

Din punctul de vedere al limbajului, majoritatea instrucțiunilor recunoscute de translatorul ACSL sunt echivalente cu instrucțiunile Fortran corespunzătoare, cu excepția faptului că ACSL nu are nici un fel de restricții referitoare la plasamentul pe anumite coloane a codului.

Ca orice limbaj de programare, ACSL conține instrucțiuni (operatori) pentru:

- *realizarea diferitelor operații matematice*; fiind un limbaj de simulare care se bazează în mod fundamental pe descrierea prin ecuații matematice a sistemelor, ACSL trebuie să furnizeze un puternic set de instrucțiuni și operatori în acest scop: operatori booleeni, operatori de conversie în timp real (conversie analog-digital), operatori aritmetici, operatori trigonometrici (funcții trigonometrice, hiperbolice), operatori de integrare INTEG;
- *vizualizarea pe diferite tipuri de grafice*;

- *structurarea și controlul programului*: IF, IF-THEN-ELSE, DO, precum și pentru asigurarea, declararea de variabile și constante;
- *lucrul cu fișiere*;
- *alte instrucțiuni și operatori specifici*: operatori tip regulator generic (P, PI, PD, PID), operatori neliniari: (comutator logic, zonă moartă, histereză, limitare, discretizare, etc.), operatori lineari (întârziere, amplificare, funcții de transfer generice de ordinul I și II, etc.), operatori sursă (treaptă, rampă, constantă, puls, etc.), operatori pentru generare numere aleatoare (uniform distribuite, distribuție Gauss).

Practic însă, operatorii de integrare reprezintă inima limbajului de simulare ACSL. Chiar dacă limbajul de simulare realizează integrarea, utilizatorul este cel care trebuie să precizeze algoritmul de integrare utilizat și mărimea pasului de integrare. ACSL pune la dispoziție mai multe tipuri de algoritmi de integrare: *Adams-Moulton*, *Gear's Stiff*, *Runge-Kutta*, *Runge-Kutta-Fehlberg*.

Pentru calculul variației în timp a valorii unei componente, limbajul de simulare realizează integrarea expresiei derivatei în raport cu timpul, începând cu o stare inițială cunoscută. Variabila timp este considerată în modelul matematic variabila independentă. Valoarea sa inițială este zero, și aceasta este incrementată cu o valoare egală cu pasul de integrare ales. Eficiența unei simulări este direct influențată de complexitatea sistemului și valoarea pasului de integrare.

Evoluția sistemului este urmărită prin intermediul evaluării unor mărimi. Într-un sistem dinamic, valorile variabilelor descriu comportarea acestora în timp. Viteza de variație (derivata) fiecărei componente este exprimată în modelul matematic ca o combinație algebrică a vectorilor de stare a componentelor (și eventual derivatele acestora). Ecuațiile trebuie să exprime modul în care viteza de variație a unei componente în timp depinde de celelalte componente precum și de factorii care acționează din exterior asupra sistemului.

Dacă sistemul ajunge după un anumit timp într-o stare de echilibru, în care derivatele componentelor sunt nule și nici o variabilă nu-și mai modifică valoarea, s-a obținut regimul staționar. De exemplu, stabilirea parametrilor reguletoarelor este o aplicație în acest sens: parametrii PID au fost de exemplu inițial stabiliți, în cazul aplicației date, prin simulare, astfel încât sistemul să nu fie oscilant, și să se stabilizeze în timp. Acest lucru asigură protecție la utilizarea dispozitivelor controlate (valve, motoare) și este dificil de realizat în timpul funcționării procesului.

Comportarea modelului poate fi analizată urmărind datele afișate pe ecran, sub formă numerică sau, dacă se dorește se pot trasa grafice care să evidențieze mai clar comportarea diferitelor mărimi, ACSL permițând acest lucru.

Graphic Modeller reprezintă un mediu de execuție pentru analiza modelelor ACSL, care conține inclus și un editor grafic, pentru crearea modelelor într-o formă grafică. Utilizând software-ul Graphic Modeller se pot realiza următoarele:

- analiza și proiectarea sistemelor utilizând diagrame bloc predefinite sau definite de utilizator, astfel putându-se crea biblioteci de componente reutilizabile;
- testarea unei singure componente a modelului la un moment dat, ceea ce facilitează practic crearea de modele complexe.

Deci, Graphic Modeller furnizează practic un front-end ușor de utilizat pentru a genera simulări ACSL. Modelele ACSL realizate astfel sunt păstrate în fișiere (.gm). Atunci când un astfel de model este executat, Graphic Modeller generează automat cod ACSL (fișier .csl) care în continuare este translatat în Fortran (.for), compilat și link editat rezultând fișierul executabil (.prx).

PROGRAMUL DE SIMULARE PENTRU PUNCTUL TERMIC

Implementarea programului de simulare pentru punctul termic (obiectul prezentei lucrări), a presupus utilizarea unei concepții cu nivele ierarhice și anume nivelul inferior care corespunde fiecărui element în parte și, respectiv, nivelul superior, corespunzător schemei generale. Schema corespunzătoare nivelului superior (schema bloc) este prezentată în figura 3.44. și conține următoarele blocuri:

1. calcule hidraulice pentru circuitele:
 - încălzire cu corpuri statice „DH1” (*Cold_Water_Flow_DH1*),
 - preparare apă caldă menajeră „DHW” (*Cold_Water_Flow_DHW*),
 - încălzire prin pardoseală „DH2” (*Cold_Water_Flow_DH2*);
2. calcule termice pentru cele trei circuite
 - încălzire cu corpuri statice „DH1” (*Heat_Transfer_Calculation_DH1*),
 - preparare apă caldă menajeră „DHW” (*Heat_Transfer_Calculation_DHW*),
 - încălzire prin pardoseală „DH2” (*Heat_Transfer_Calculation_DH2*);
3. controlul robinetelor
 - CV2 (*Control_Valve_CV2*),
 - CV3 (*Control_Valve_CV3*),
 - CV4 (*Control_Valve_CV4*);
4. acționarea și controlul motoarelor electrice de acționare a robinetelor
 - *Motor_Actuator*,
 - *Motor_Control*);
5. calculele hidraulice pentru circuitul de apă geotermală pentru
 - încălzire cu corpuri statice „DH1” (*Heat_Exch_Flow_DH1*),
 - preparare apă caldă menajeră „DHW” (*Heat_Exch_Flow_DHW*),
 - încălzire prin pardoseală „DH2” (*Heat_Exch_Flow_DH2*).

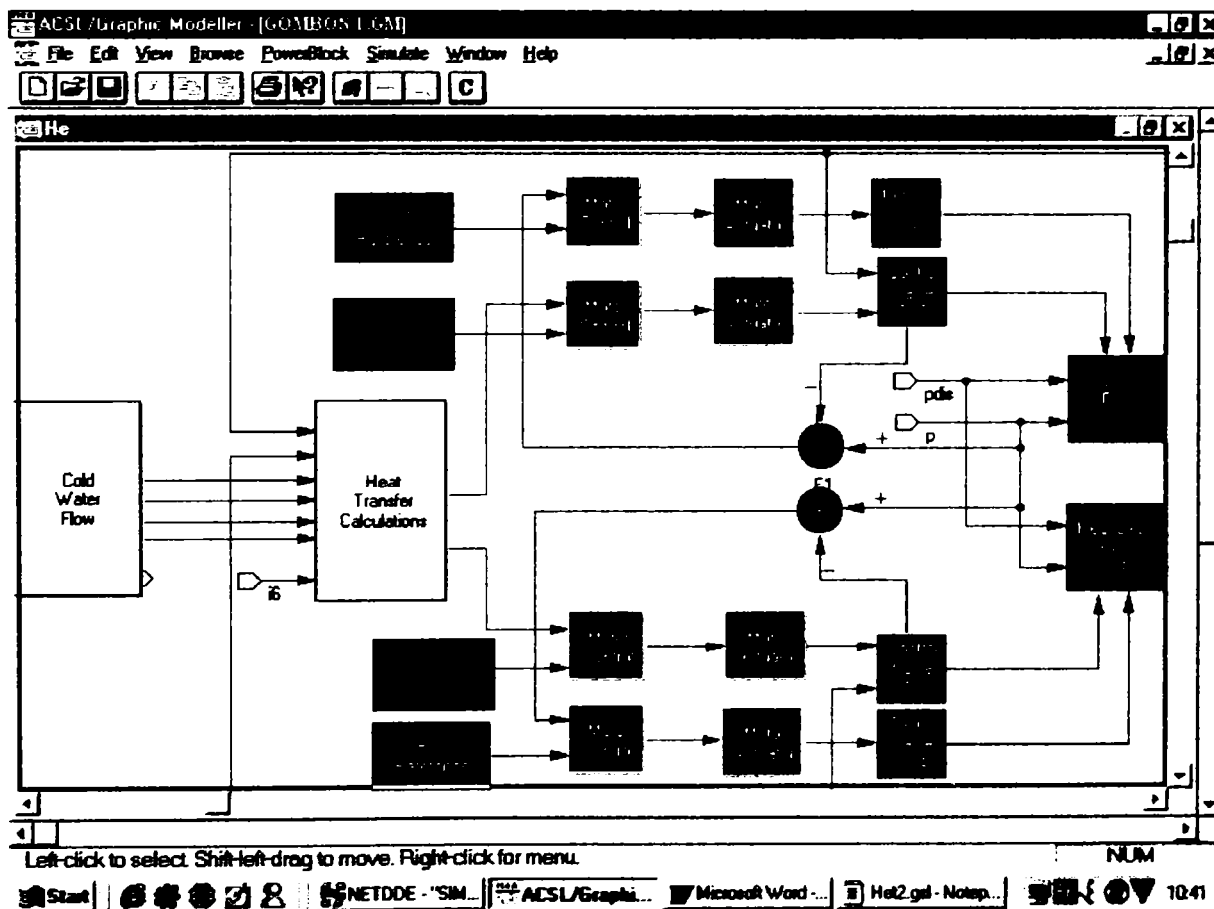


Figura 3.44. Schema bloc corespunzătoare punctului termic

Schema bloc prezentată în figura 3.44. conține, la rândul său, blocuri de nivel intermediar și blocuri de nivel inferior (în care sunt implementate, prin intermediul unui editor de texte, relațiile matematice care definesc blocul respectiv, deci modelul matematic propriu-zis) precum și modalitatea acestora de interconectare în vederea modelării elementelor din cadrul schemei de automatizare a punctului termic. De asemenea, sunt prezente blocurile corespunzătoare afișării sub formă grafică a principalelor mărimi rezultate în urma simulării.

Reglarea temperaturii de ieșire a agentului secundar corespunzătoare circuitului *DH1*, se realizează după cum urmează. Se dorește ca, la un moment dat, temperatura la ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură, măsurată de traductorul de temperatură *TT4* să aibă valoarea de 70°C (corespunzătoare unei temperaturi exterioare $t_{\text{ext}} \leq -15^{\circ}\text{C}$). Blocul *TT4_Ref* conține această valoare care se consideră valoare de referință. Reglarea temperaturii agentului secundar se realizează prin modificarea debitului de apă geotermală, prin deschiderea sau închiderea robinetului *CV2* simulat prin intermediul blocurilor *Control_Valve_CV2*, *Motor_Actuator*, *Motor_Control*, blocuri care țin cont și de inerția apărută în acționarea robinetului. În figura 3.45. este prezentată modalitatea de implementare în ACSL a blocului *Control_Valve_CV2*.

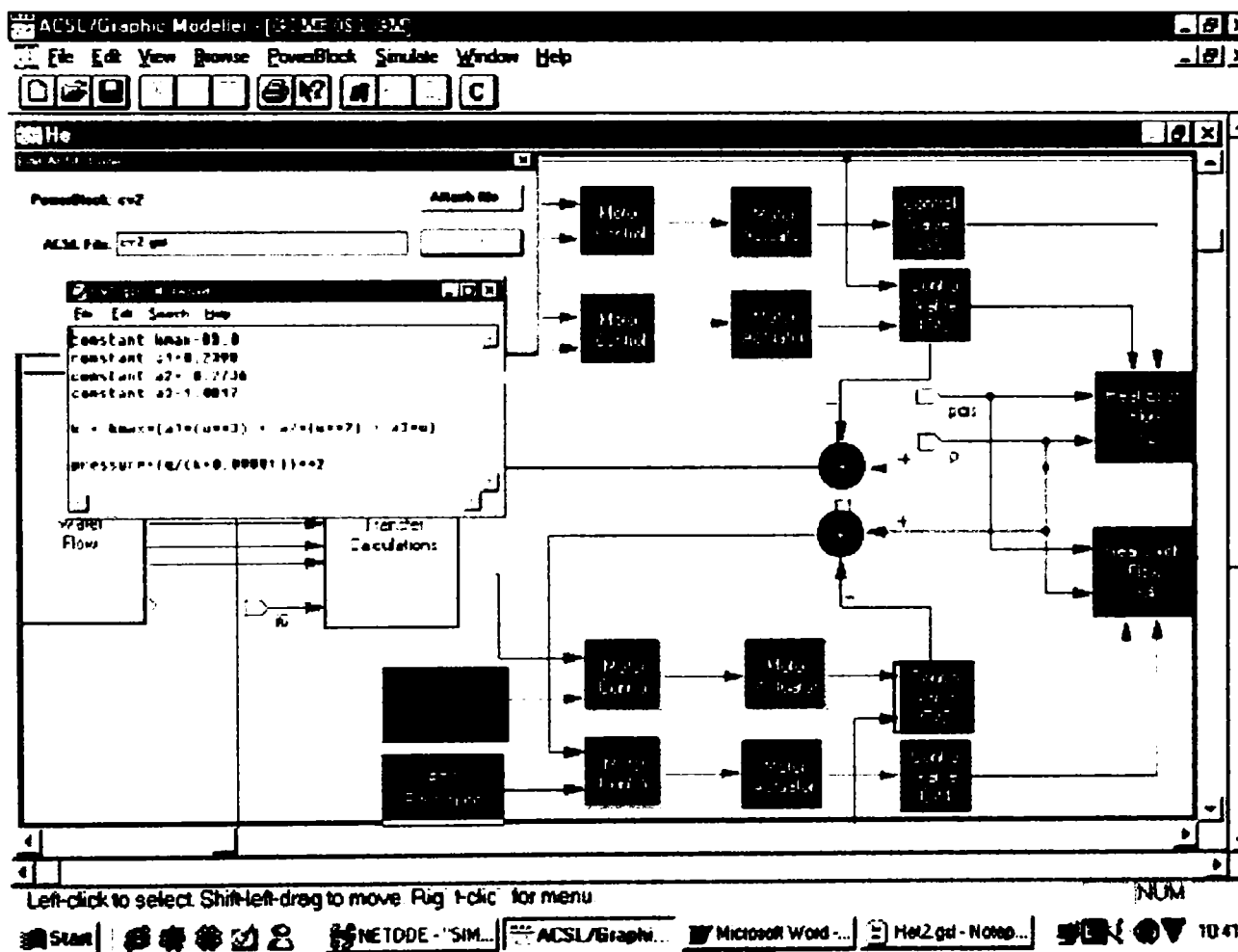


Figura 3.45. Modul de implementare a blocului *Control_Valve_CV2*

Comenzile de reglare sunt primite de la regulatorul PID (*Generic_PID_Controller*) conținut în cadrul blocului *Motor_Control*. Valorile parametrilor regulatorului PID pot fi vizualizate în secvența de program din figura 3.46.

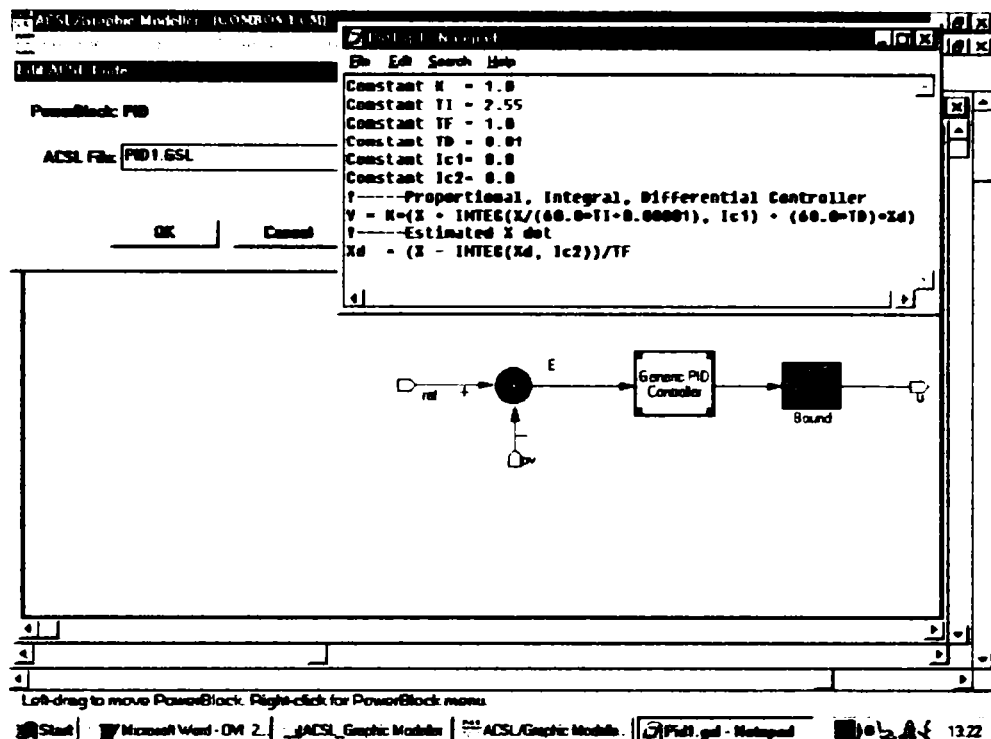


Figura 3.46. Schema bloc corespunzătoare blocului Motor_Control, incluzând regulatorul PID pentru robinetul CV2

Blocul *Bound*, care urmează regulatorului, are rolul de limitare a semnalului transmis blocului *Motor_Actuator* (bloc care comandă elementul de acționare a robinetului CV2), ținând cont de cursa de deschidere a robinetului între complet închis și complet deschis.

Calculule termice, din care rezultă temperatura de ieșire a agentului secundar din schimbătorul de căldură, se realizează în cadrul blocului *Heat_Transfer_Calculation_DH1* (figura 3.44.) în funcție de debitul de apă geotermală care trece prin robinetul CV2 și schimbătorul de căldură. Acest bloc cuprinde subblocul prezentat în figura 3.47. În cadrul acestui bloc se calculează și temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură, măsurată cu traductorul de temperatură TT2. De menționat că debitul de apă geotermală care influențează temperatura măsurată de TT2 depinde de deschiderea robinetului CV2.

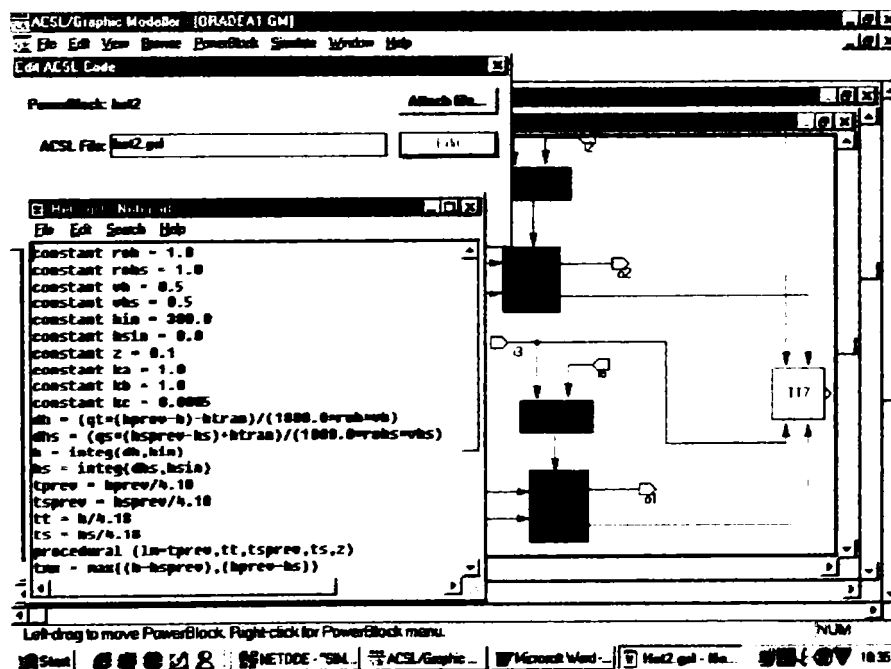


Figura 3.47. Schema bloc pentru calculele termice ale sistemului de încălzire DH 1

În cadrul blocului *Heat_Exch_Temp_DH1* este implementat modelul matematic pentru procesele de schimb de căldură (figura 3.48.). Calculele se efectuează pentru fiecare moment al procesului, până la stabilizarea acestuia, utilizându-se ecuațiile diferențiale care caracterizează procesul.

Trebuie specificat faptul că procesele hidraulice care se desfășoară în punctul termic au fost modelate separat, pentru fiecare utilizator de energie geotermală în parte (DH 1, DH 2, DHW), atât pentru circuitele primar (apă geotermală) cât și pentru circuitele secundare corespunzătoare.

În figura 3.49. se prezintă modul de implementare a modelului de calcul a debitului de apă geotermală corespunzător sistemului de încălzire *DH 1*. Debitul de apă geotermală depinde de coeficienții de debit corespunzători rezistențelor hidraulice de pe circuit (schimbătoare de căldură și robinete) și de diferența de presiune pe circuit. De menționat că, pe circuitul de apă geotermală, schimbătoarele de căldură corespunzătoare utilizatorilor de energie geotermală sunt legate astfel: *DH 1* și *DHW* în paralel, *DH 2* în serie cu celelalte două.

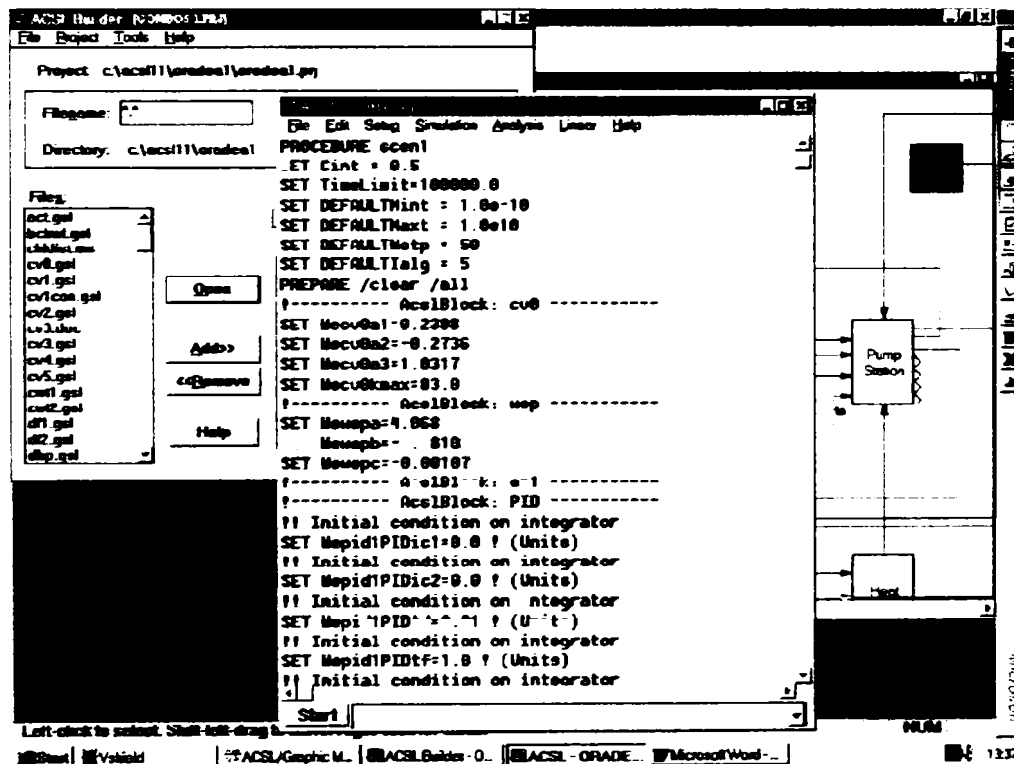


Figura 3.48. Implementarea în ACSL a modelului de calcul pentru procesele de schimb de căldură (utilizatorul de energie geotermală DH1)

În ceea ce privește circuitele secundare pentru cei trei utilizatori de energie geotermală, trebuie specificat faptul că, datorită complexității, au fost create blocuri de nivel inferior. În figura 3.50. se prezintă schema bloc a circuitului secundar pentru utilizatorul de energie geotermală *DH 1*.

S-au realizat și sunt prezentate blocurile în care au fost implementate modelele matematice pentru: pompele de circulație P5–P7(*Pump_P5-P7*); pompele de completare P8–9(*Pump_P8-P9*); calculele hidraulice prin circuitul secundar (*Heat_Exch_CW_Flow_DH1*); calculul presiunii de livrare a agentului secundar (*DH1_CW_Temp_IN*); presiunile la aspirație și refulare pentru pompele de circulație (*PT5* respectiv *Pressure_Node_PT6*), precum și modul de interconectare între blocuri.

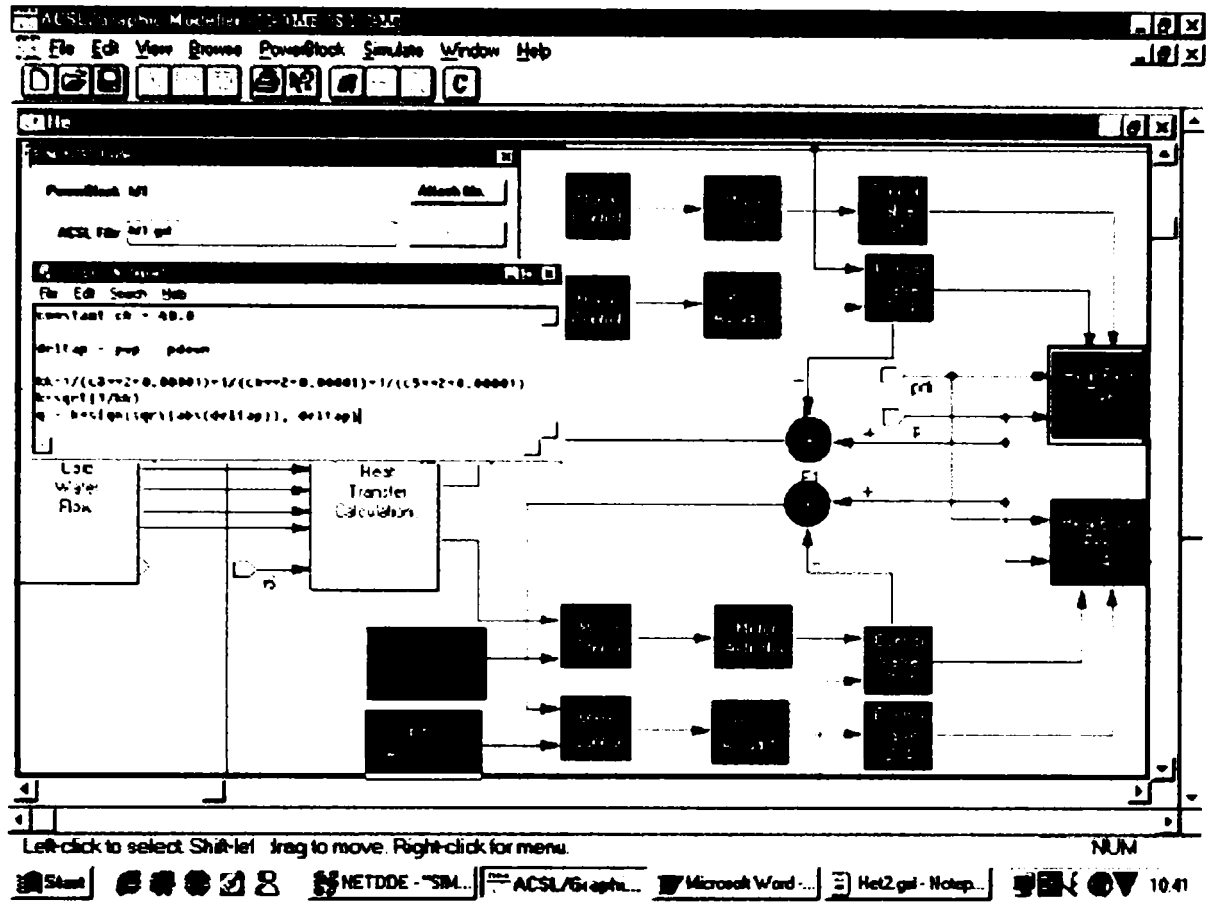


Figura 3.49. Implementarea în ACSL a modelului matematic pentru determinarea debitului de apă geotermală corespunzător circuitului DH 1

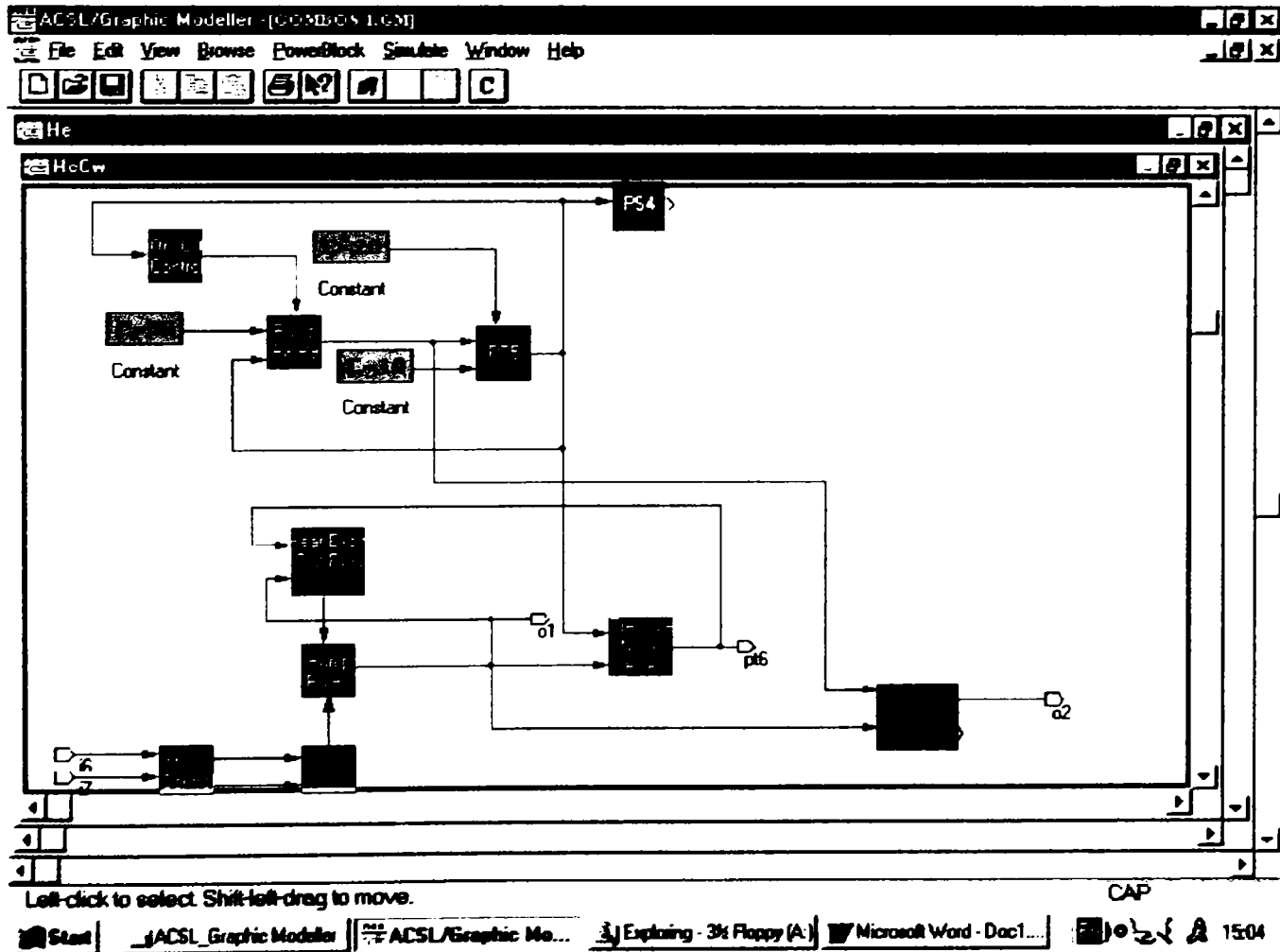


Figura 3.50. Schema bloc a circuitului secundar pentru sistemul de încălzire DH 1

Figura 3.51. prezintă detaliat implementarea în ACSL a modelului matematic al pompelor de circulație P1-P3. Se definește atât ecuația debitului cât și constantele acestea. Pompele sunt acționate de către operator astfel încât una dintre ele să fie oprită (pompa cu cele mai multe ore de funcționare).

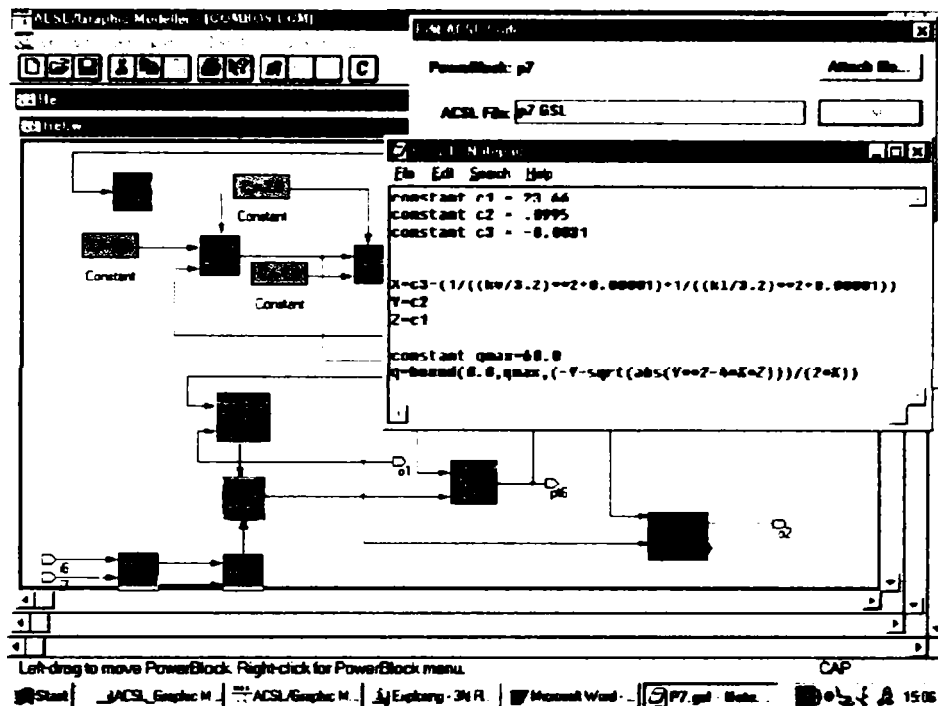


Figura 3.51. Implementarea în ACSL a modelului matematic pentru pompele P1-P3

În figura 3.52. se prezintă detaliat implementarea modelului matematic pentru motoarele de acționare a pompelor P1-P3, corespunzător blocului Motor din figura 3.51. Turația motorului este funcție de tensiunea electromotoare și de momentul rezistent la arborele motorului. Sunt definite inițial constantele care intervin în calcul, după care se definesc ecuațiile rezistenței electrice, tensiunii electromotoare, ecuația diferențială a vitezei unghiulare și, în final ecuația turației motorului ca integrală din diferențiala vitezei unghiulare înmulțită cu o constantă.

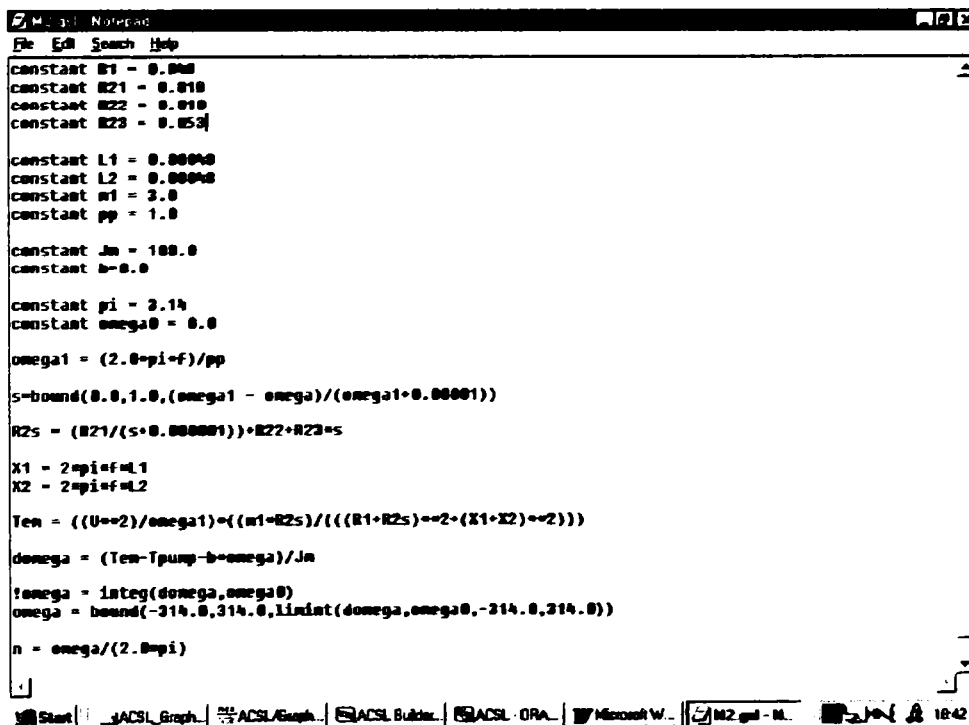


Figura 3.52. Implementarea în ACSL modelului matematic pentru motoarele de acționare a pompelor de circulație P5-P7

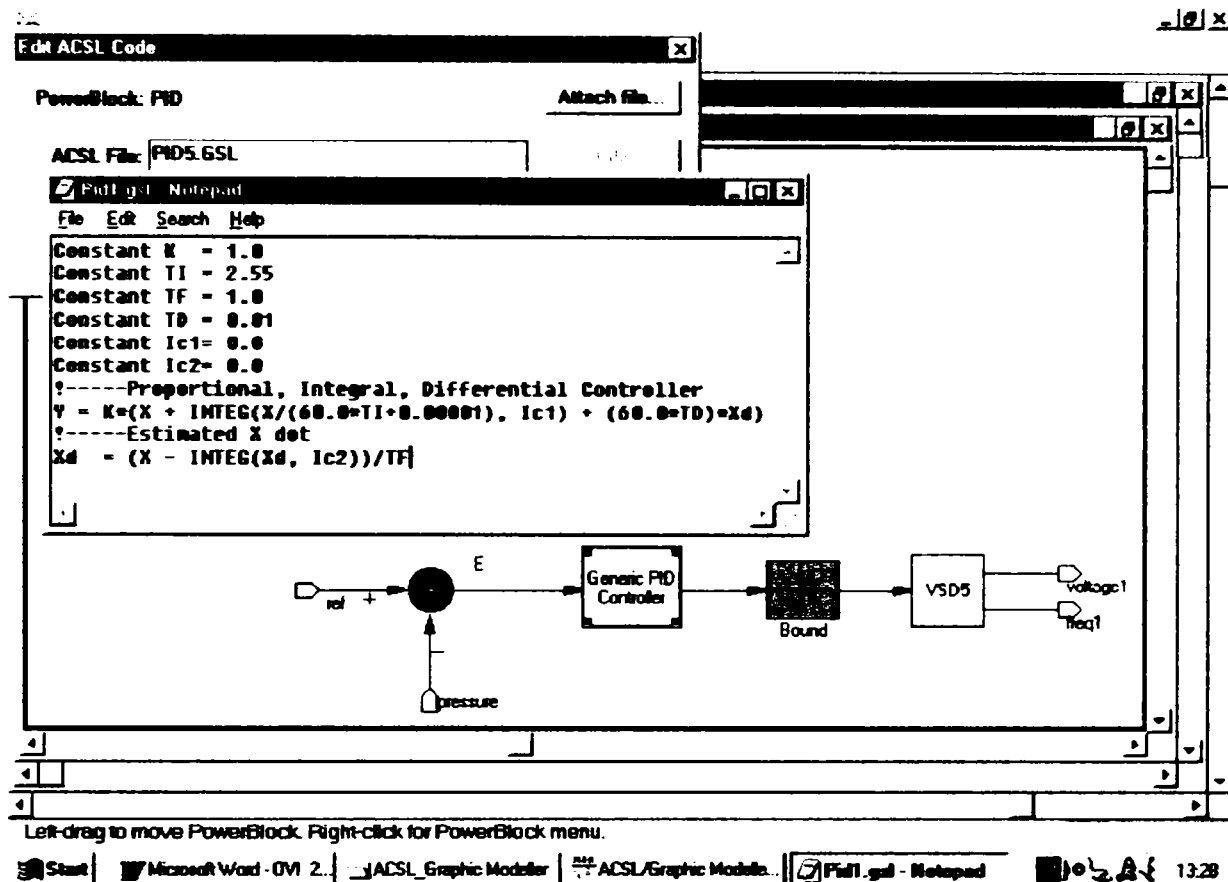


Figura 3.53. Schema bloc corespunzătoare blocului *Motor_Control*, incluzând regulatorul PID pentru motoarele de acționare a pompelor P1-P3

Blocul *Motor_Control* comandă acționarea pompelor de circulație. Comenzile de reglare sunt primite de la regulatorul PID (*Generic_PID_Controller*) conținut în cadrul blocului *Motor_Control*. Acest regulator este de tip PID, iar valorile parametrilor regulatorului pot fi vizualizate în secvența de program din figura 3.53.

Blocul *Bound*, care urmează regulatorului, are rolul de limitare a semnalului transmis blocului *VSD5* (bloc care conține implementat variatorul de turație). Comanda este transmisă blocului *Motor* care acționează pompele de circulație.

În acest paragraf a fost prezentată modalitatea de implementare a programului de simulare pentru punctul termic în care pentru prima oară în țară, energia termică a apei geotermale va fi utilizată în cascadă. Din acest motiv, simularea funcționării sistemului este deosebit de importantă, atât pentru verificarea funcționării punctului termic și a strategiei de conducere, cât și pentru acordarea reguletoarelor. A fost prezentată implementarea modelului pentru utilizatorul de energie geotermală *DH1*, menționând că implementarea modelelor corespunzătoare utilizatorilor de energie geotermală *DH2* și *DHW* s-a făcut în mod similar. Rezultatele simulării câtorva scenarii studiate referitoare la funcționarea punctului termic se prezintă în paragraful 3.2.6.

3.2.6. Rezultate obținute în urma simulării

După implementarea programului de simulare a funcționării punctului termic s-a realizat rularea acestuia, în scopul realizării obiectivelor propuse (verificarea funcționării punctului termic, a proceselor de schimb de căldură, a sistemului de conducere propus și acordarea reguletoarelor PID). Ca rezultat al simulării punctului termic, ținând cont de diferite scenarii de simulare și acordând datele obținute cu datele rezultate din analiza funcționării unui sistem existent echivalent, s-a reușit acordarea reguletoarelor PID și s-a constatat o funcționare eficientă a punctului termic, folosind strategia de conducere propusă. Se prezintă în cele ce urmează, câteva scenarii care au fost luate în considerare în studiul elaborat.

a. Regimul tranzitoriu la pornirea punctului termic – simularea schimbului de căldură

a.1. Regimul tranzitoriu pentru sistemul de încălzire folosind corpuri statice – simularea schimbului de căldură

Pentru utilizatorul de energie geotermală pentru sistemul de încălzire folosind corpuri statice (DH1), la pornirea punctului termic, sunt comandate două dintre pompele de circulație P1–P3, care asigură debitul de agent secundar pentru circuitul DH1. Traductorul de temperatură TT4, care măsoară temperatura agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, trimite semnalul corespunzător temperaturii măsurate reguletorului RG1 care, la rândul său (funcție de temperatura exterioară măsurată de traductorul de temperatură TTe1 și de viteza vântului măsurată de WTe1, temperatură exterioară și viteză a vântului care, așa cum s-a prezentat anterior, determină temperatura necesară pentru ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură) comandă deschiderea robinetului CV2.

Procesul de reglare (de comandă a robinetului CV2 de către reguletorul RG1) se desfășoară până când temperatura la ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură corespunde temperaturii necesare pentru acesta. Prin intermediul programului de simulare s-a determinat modul în care se poate ajunge în regim staționar la pornirea punctului termic și s-a realizat modificarea parametrilor corespunzători reguletorului RG1, astfel încât timpul necesar pentru ajungerea în regim staționar să fie în concordanță cu parametrii funcționali rezultați din practică.

Figura 3.54, prezintă evoluția principalilor parametri, până la atingerea regimului staționar, și anume temperatura de ieșire a agentului secundar din schimbătorul de căldură (HEHETRHEDHITS), temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură (HEHETRHEDHITP), în condițiile în care temperatura exterioară este de -12°C (OUTTETEMP).

Se constată că regimul se stabilizează după aproximativ 7.200 secunde (120minute), timp care corespunde datelor furnizate de practică. În acest caz parametrii la care se stabilizează regimul sunt de 70°C pentru agentul secundar și de 50°C pentru apa geotermală.

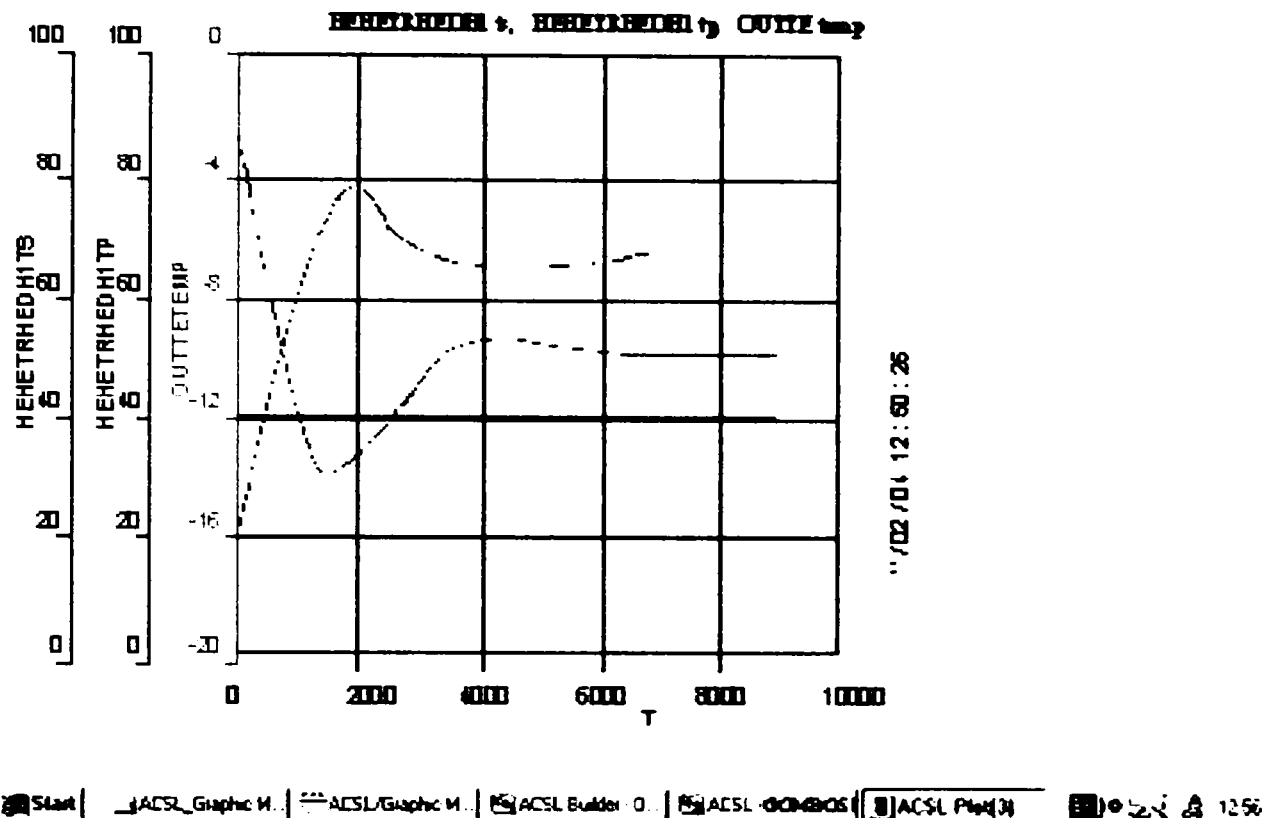


Figura 3.54. Simularea schimbului de căldură la reșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul DH1 până la atingerea regimului staționar (la pornire)

a.2. Regimul tranzitoriu pentru sistemul de preparare apă caldă menajeră – simularea schimbului de căldură

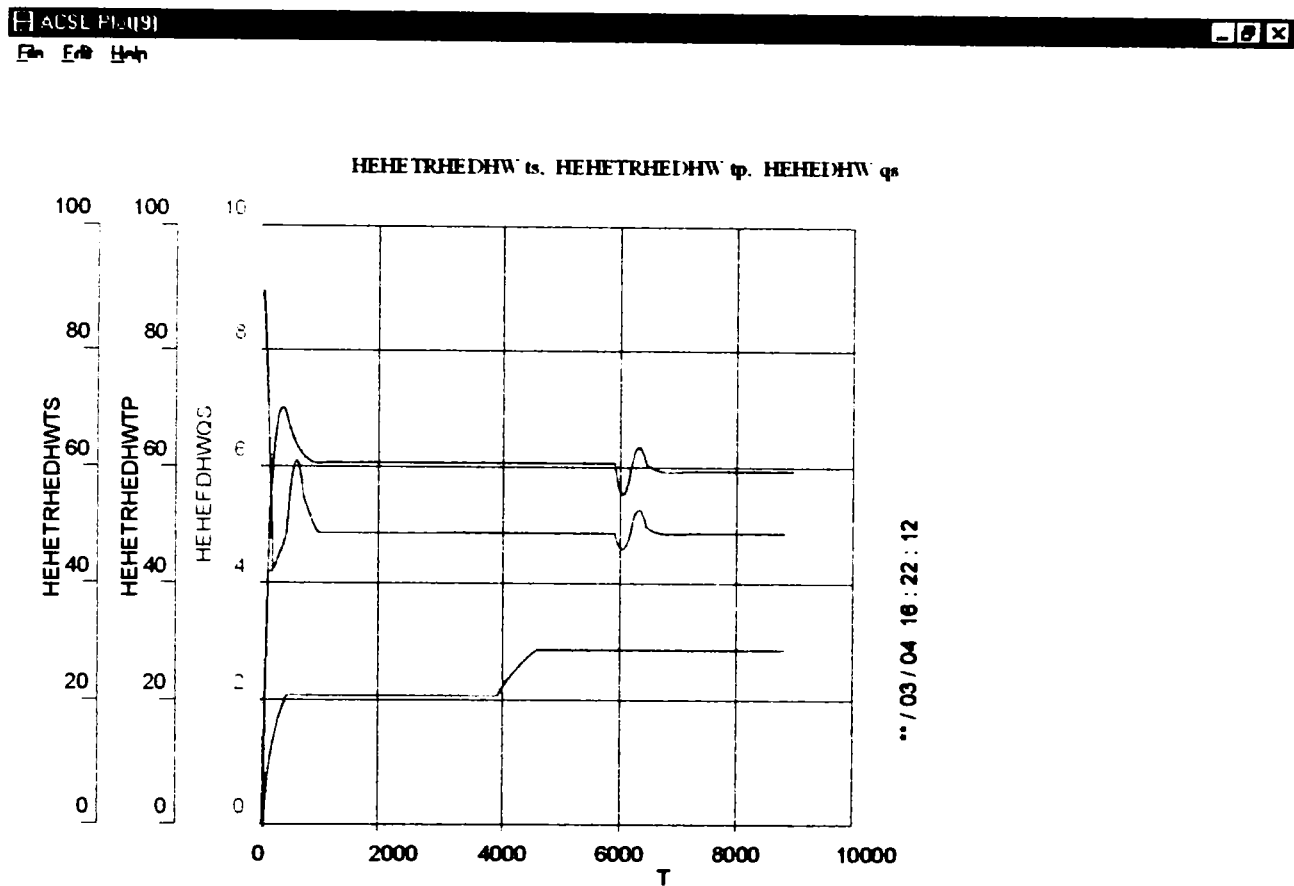
Utilizatorul de energie geotermală pentru sistemul de preparare apă caldă menajeră (DHW), funcționează tot timpul anului. Apa potabilă este încălzită în vasul tampon pentru apă caldă menajeră (*VTacm*) la temperatura de 60°C. Agentul secundar care încălzește apa potabilă este circulat forțat prin schimbătorul de căldură de către pompa de circulație *Pacm*.

Traductorul de temperatură *TT8*, care măsoară temperatura apei calde menajere la ieșirea din vasul tampon pentru apă caldă menajeră, trimite semnalul corespunzător temperaturii măsurate, regulatorului *RG2* care, la rândul său (funcție de temperatura necesară de livrare a apei calde menajere) comandă deschiderea robinetului *CT3*. Procesul de reglare (de comandă a robinetului *CT3* de către regulatorul *RG2*) se desfășoară până când temperatura la ieșirea apei calde menajere corespunde temperaturii necesare pentru acesta.

Prin intermediul programului de simulare s-a determinat modul în care se poate ajunge în regim staționar la pornirea punctului termic și s-a realizat modificarea parametrilor corespunzători regulatorului *RG2*, astfel încât timpul necesar pentru ajungerea în regim staționar să fie în concordanță cu parametrii funcționali rezultați din practică.

Figura 3.55, prezintă evoluția principalilor parametri, până la atingerea regimului staționar, și anume temperatura de ieșire a apei calde menajere (*HEHETRHEHDHWS*), temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură (*HEHETRHEHDHWTP*), în condițiile în care debitul necesar de apă menajeră (*HEHEDHWQS*) crește, în prima fază de la 0 la 2 l/s, într-un timp de 200 s, iar în al doilea caz, după aproximativ 4.000 secunde, crește de la 2 la 4 l/s, într-un timp de 400 s.

Se constată că în prima fază, regimul se stabilizează în aproximativ 900 s (15 minute). În cel de-al doilea caz, se observă că din cauza existenței vasului tampon pentru apa caldă menajeră reglarea temperaturii de ieșire a apei calde menajere apare după 2.000 s de la creșterea debitului, iar regimul se stabilizează în aproximativ 300 secunde (5 minute). În ambele cazuri, parametrii la care se stabilizează regimul sunt de 50°C pentru apa geotermală, respectiv 60°C pentru apa caldă menajeră.



Start ACSL_Gr ACSL/Gr ACSL Bul ACSL O ProImage Exploring ACSL P... 13.22

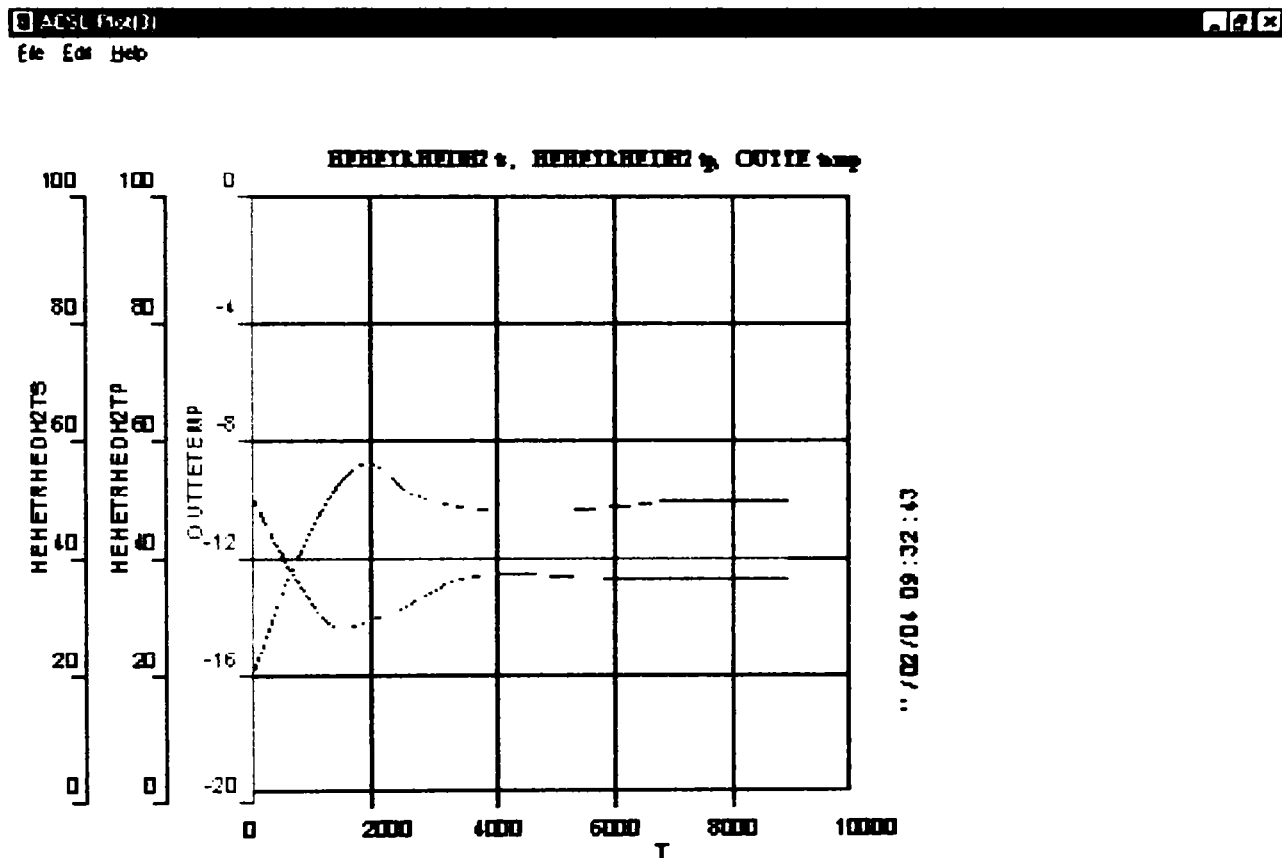
Figura 3.55. Simularea schimbului de căldură la ieșirea apei geotermale și a apei calde menajere funcție de debitul de apă caldă menajeră pentru utilizatorul DHW până la atingerea regimului staționar.

a.3. Regimul tranzitoriu pentru sistemul de încălzire prin pardoseală - simularea schimbului de căldură

În ceea ce privește utilizatorul de energie geotermală pentru sistemul de încălzire prin pardoseală (DH2), la pornirea punctului termic, sunt comandate două dintre pompele de circulație P6-P8, care asigură debitul de agent secundar pentru circuitul DH2. Traductorul de temperatură TT12, care măsoară temperatura agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, trimite semnalul corespunzător temperaturii măsurate, regulatorului RG3 care, la rândul său (funcție de temperatura exterioară măsurată de traductorul de temperatură TTe1 și de viteza vântului măsurată de WTe1, temperatură exterioară și viteză a vântului care, așa cum s-a prezentat anterior, determină temperatura necesară pentru ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură) comandă deschiderea robinetului CV4. Procesul de reglare (de comandă a robinetului CV4 de către regulatorul RG3) se desfășoară până când temperatura la ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură corespunde temperaturii necesare

pentru acesta. Prin intermediul programului de simulare s-a determinat modul în care se poate ajunge în regim staționar la pornirea punctului termic și s-a realizat modificarea parametrilor corespunzători regulatorului *RG3*, astfel încât timpul necesar pentru ajungerea în regim staționar să fie în concordanță cu parametrii funcționali rezultați din practică.

Figura 3.56, prezintă evoluția principalilor parametri, până la atingerea regimului staționar, și anume temperatura de ieșire a agentului secundar din schimbătorul de căldură (*HEHETRHEDH2TS*), temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură (*HEHETRHEDH2TP*), în condițiile în care temperatura exterioară este de -12°C (*OUTTETEMP*). Se constată că regimul se stabilizează după aproximativ 6.900 secunde (115 minute), timp care corespunde datelor furnizate de practică. În acest caz parametrii la care se stabilizează regimul sunt de 45°C pentru agentul secundar și de 35°C pentru apa geotermală.



Start | ACSL_Graphic M... | ACSL_Graphic M... | ACSL Builder - O... | ACSL - D... | ACSL Plot(3) | 12:56

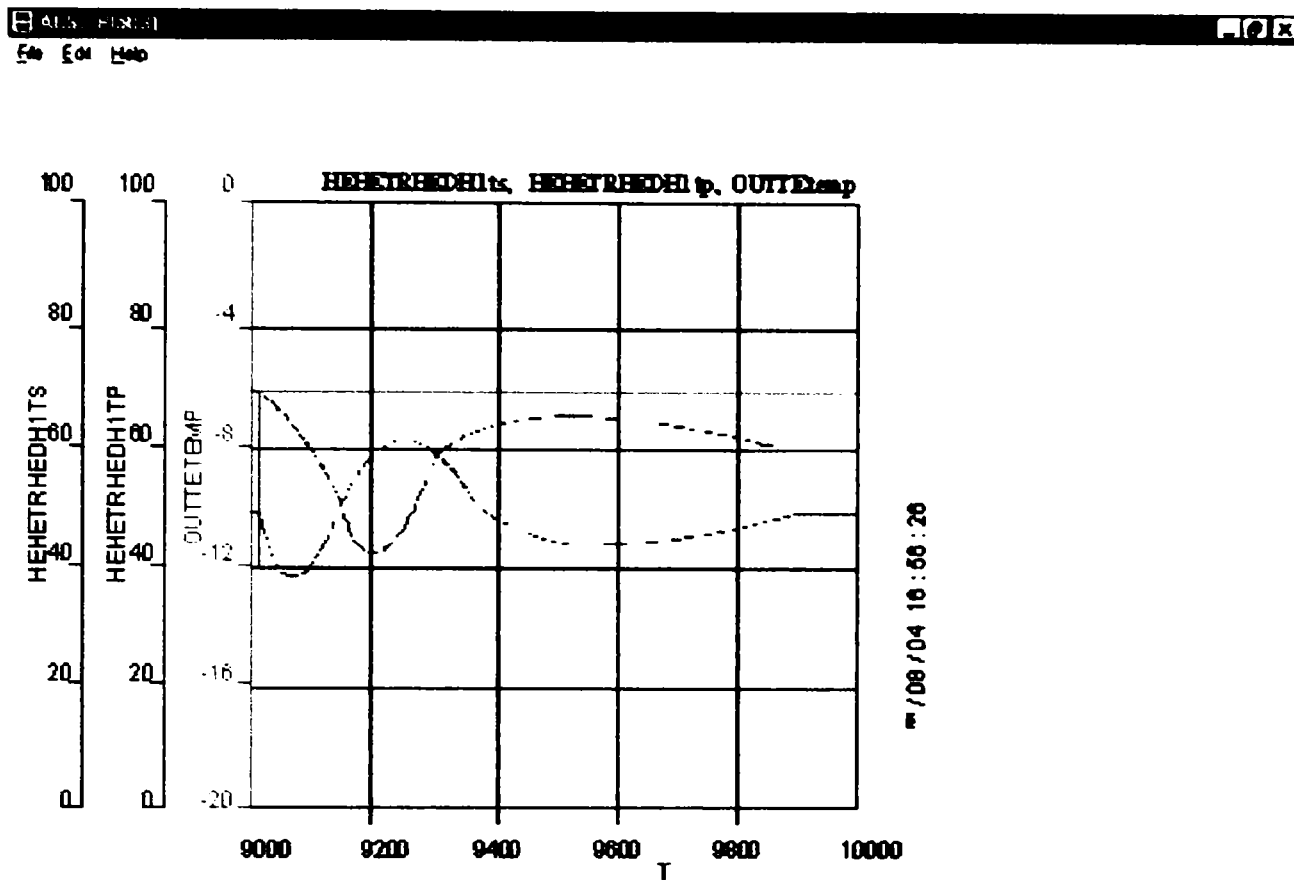
Figura 3.56. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH2 până la atingerea regimului staționar (la pornire)

b. Regimul tranzitoriu la apariția perturbațiilor în funcționarea punctului termic – simularea schimbului de căldură

b.1. Sistemul de încălzire folosind corpuri statice simularea schimbului de căldură

Se consideră situația în care temperatura exterioară crește de la -12°C la -5°C . În această situație în funcționarea echipamentelor corespunzătoare utilizatorului de energie geotermală *DH1*, care anterior funcționau în regim staționar, apar perturbații corespunzătoare regimului tranzitoriu generat de modificarea temperaturii exterioare. Traductorul de temperatură *TT4*, care măsoară temperatura agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, trimite semnalul corespunzător temperaturii măsurate, regulatorului *RG1*, care la rândul său (funcție de temperatura exterioară măsurată de traductorul de temperatură *TTel* și de viteza vântului măsurată de *WTe1*, temperatură exterioară și viteză a vântului care, așa cum s-a prezentat anterior, determină temperatura necesară pentru ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură) comandă deschiderea robinetului *CV2*. Procesul de reglare (de comandă a robinetului *CV2* de către regulatorul *RG1*) se desfășoară până când temperatura la ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură corespunde temperaturii necesare pentru acesta.

Figura 3.57, prezintă evoluția principalilor parametri, până la atingerea regimului staționar, și anume temperatura de ieșire a agentului secundar din schimbătorul de căldură (*HEHETRHEDHITS*), temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură (*HEHETRHEDHITP*), în condițiile în care temperatura exterioară (*OUTTETEMP*) crește de la -12°C la -5°C . Se constată că regimul se stabilizează după aproximativ 800 secunde (14minute), timp care corespunde datelor furnizate de practică. În acest caz parametrii la care se stabilizează regimul sunt de 60°C pentru agentul secundar și de 50°C pentru apa geotermală.



Start ACSL_Graphic M ACSL_Graphic M ACSL Builder - 0 ACSL - COMBOSI ACSL Plot(3) 12:56

Figura 3.57. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH1 până la atingerea regimului staționar (în funcționare)

b.2. Sistemul de încălzire prin pardoseală simularea schimbului de căldură

În situația în care temperatura exterioară crește de la -12°C la -5°C , în funcționarea echipamentelor corespunzătoare utilizatorului de energie geotermală DH2, care anterior funcționau în regim staționar, apar perturbații corespunzătoare regimului tranzitoriu generat de modificarea temperaturii exterioare. Traductorul de temperatură TT12, care măsoară temperatura agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură, trimite semnalul corespunzător temperaturii măsurate, regulatorului RG3 care, la rândul său comandă deschiderea robinetului CV4. Procesul de reglare (de comandă a robinetului CV4 de către regulatorul RG3) se desfășoară până când temperatura la ieșirea agentului secundar din schimbătorul de căldură corespunde temperaturii necesare pentru acesta.

Figura 3.58, prezintă evoluția principalilor parametri, până la atingerea regimului staționar, și anume temperatura de ieșire a agentului secundar din schimbătorul de căldură (HEHETRHEDH2TS), temperatura de ieșire a apei geotermale din schimbătorul de căldură (HEHETRHEDH2TP), în condițiile în care temperatura exterioară (OUTTETEMP) crește de la -12°C la -5°C . Se constată că regimul se stabilizează după aproximativ 900 secunde (15 minute), timp care corespunde datelor furnizate de practică. În acest caz, parametrii la care se stabilizează regimul sunt de 40°C pentru agentul secundar și de 35°C pentru apa geotermală.

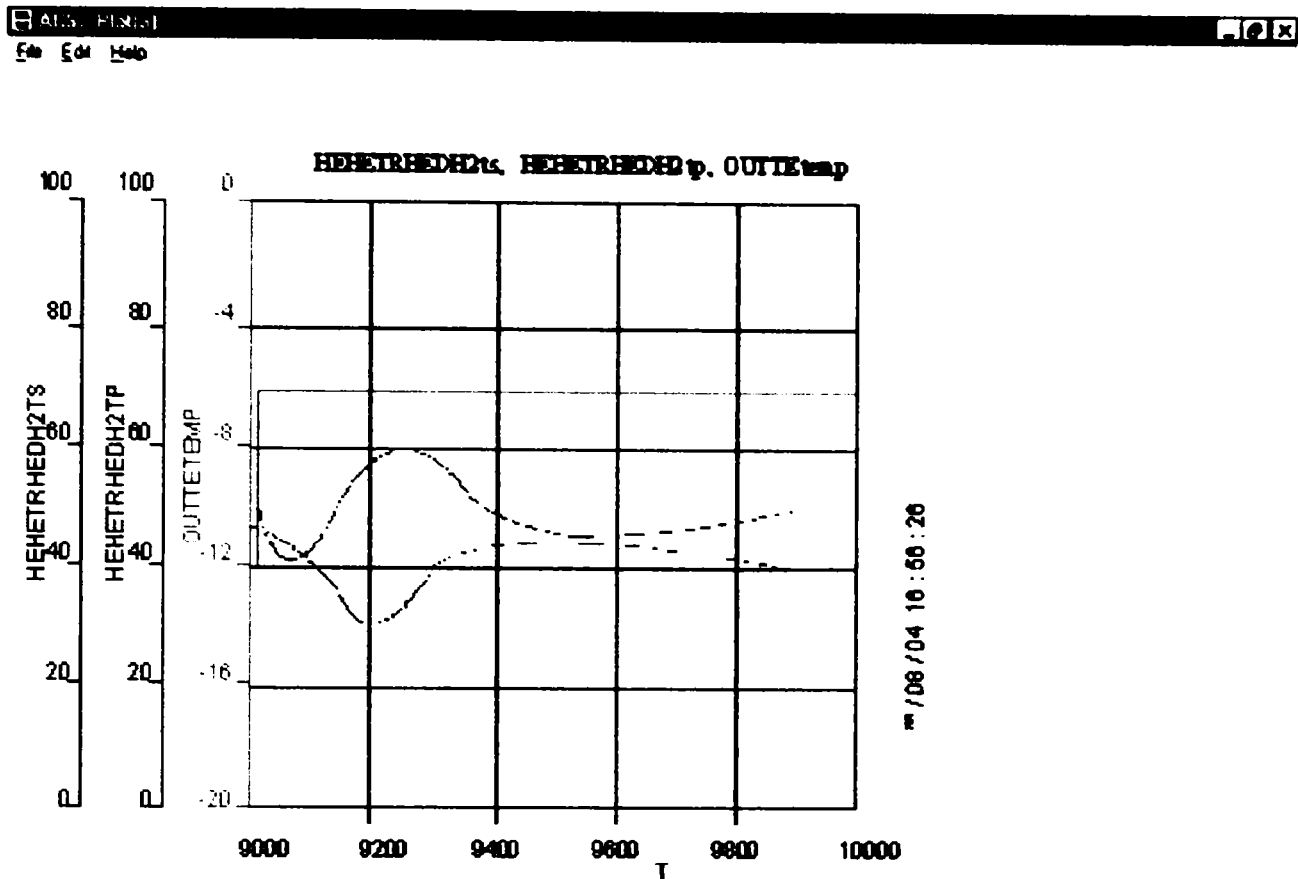


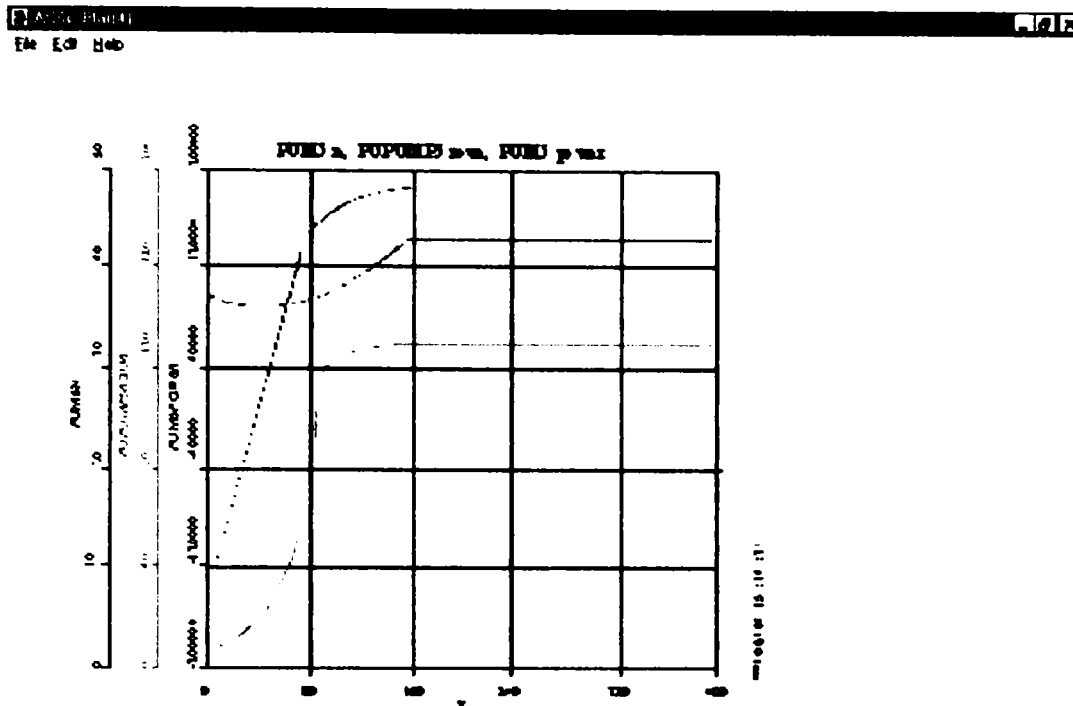
Figura 3.58. Simularea schimbului de căldură la ieșirea agenților primar și secundar pentru utilizatorul de energie geotermală DH2 până la atingerea regimului staționar (în funcționare)

c. Regimul tranzitoriu al unor echipamente specifice

Așa cum s-a prezentat anterior, în cadrul implementării programului de simulare pentru punctul termic a fost utilizată o concepție cu nivele ierarhice și anume nivelul inferior care corespunde fiecărui element în parte și, respectiv, nivelul superior, corespunzător schemei generale. A fost realizată simularea funcționării fiecărui element component în parte, rezultatele obținute fiind demne de luat în considerare; în cele ce urmează, se prezintă rezultatele obținute pentru câteva cazuri concrete și anume: *regimul tranzitoriu la pornirea motorului de acționare a pompei de circulație P5; regimul tranzitoriu pentru robinetul CV2 în cazul funcționării normale la apariția unei perturbații.*

c.1. Regimul tranzitoriu la pornirea motorului de acționare a pompei de circulație P3

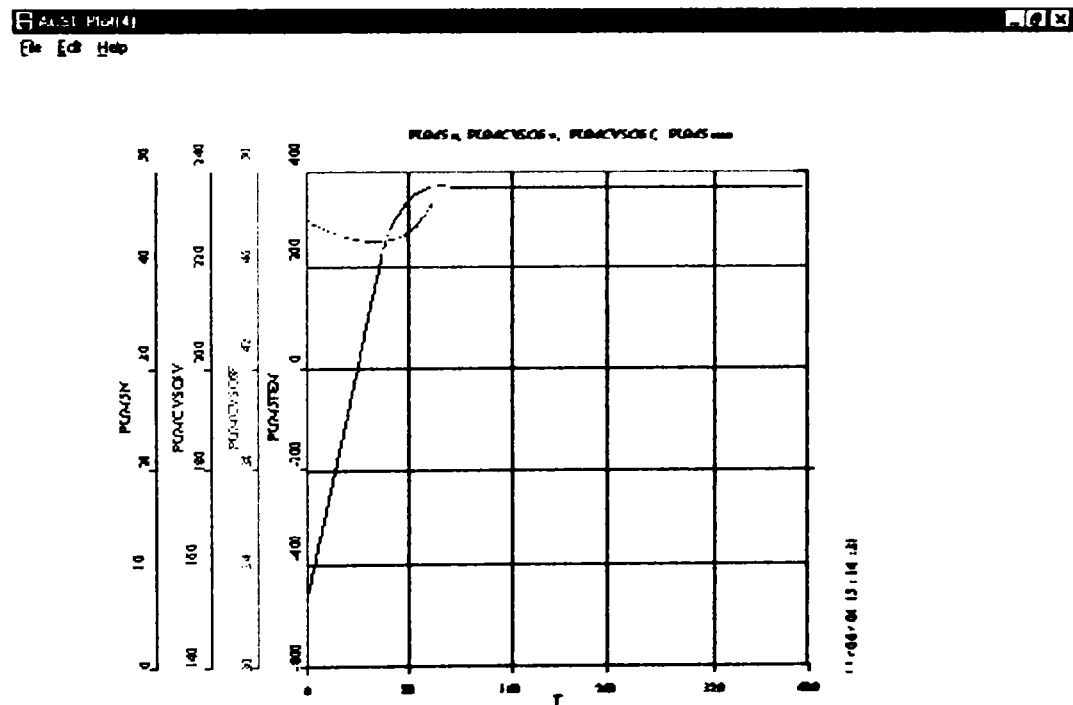
Pompa de circulație P3 este acționată de un motor electric trifazat cu turație constantă. Ca urmare a momentului rezistent la axul motorului datorat apei care este vehiculată de către pompă, precum și a momentelor de inerție ale elementelor aflate în mișcare de rotație, turația axului motorului nu ajunge instantaneu la valoarea nominală, trecând printr-un regim tranzitoriu. În figura 3.59, se prezintă evoluția în timp a turației motorului (PUM3N), momentului rezistent (PUPUMP3ROUE), puterii absorbite de către motorul electric (PUM3POWER) până la atingerea regimului staționar. Se constată că regimul se stabilizează în aproximativ 150 secunde, timp care corespunde datelor furnizate de practică.



Start ACSL Graphic M Exploring Gm ACSL Bulow O ACSL GOMICS ACSL Plot4 15:18

Figura 3.59. Evoluția turației, momentului rezistent și puterii absorbite de motorul electric de acționare a pompei P3 până la atingerea regimului staționar

Figura 3.60, prezintă evoluția parametrilor corespunzători alimentării motorului electric, până la atingerea regimului staționar, și anume tensiunea de alimentare ($PUMCVSO3I$), frecvența ($PUMCVSO3F$), tensiunea electromotoare ($PUM3TEM$), turația motorului ($PUM3N$). Se constată că regimul se stabilizează după aproximativ 140 secunde.



Start ACSL Graphic M Exploring Gm ACSL Bulow O ACSL GOMICS ACSL Plot4 15:19

Figura 3.60. Evoluția tensiunii de alimentare, frecvenței, tensiunii electromotoare și turației motorului electric de acționare a pompei P3 până la atingerea regimului staționar

c.2. Regimul tranzitoriu pentru robinetul CV2 în cazul funcționării normale la apariția unei perturbații

Robinetul CV2 are rolul de a controla debitul de apă geotermală care trece prin schimbătorul de căldură. Controlul debitului de apă geotermală este realizat prin deschiderea închiderea robinetului CV2. Comanda este dată de regulatorul RGI funcție de temperatura de ieșire a agentului secundar măsurată de traductorul de temperatură TT4 și de condițiile meteorologice. În figura 3.61. se prezintă evoluția în timp a debitului de apă geotermală (HEHFDHIQ) și deschiderea robinetului CV2 (HECV2K) în cazul în care temperatura exterioară (OUTTEMP) crește de la -12°C la -5°C , până la atingerea regimului staționar. Se constată că regimul tranzitoriu durează aproximativ 900 secunde, iar parametrii evoluează în această perioadă de la 35 l/s la 30 l/s pentru debitul de apă geotermală, respectiv de la 80% la 70% pentru deschiderea robinetului CV2.

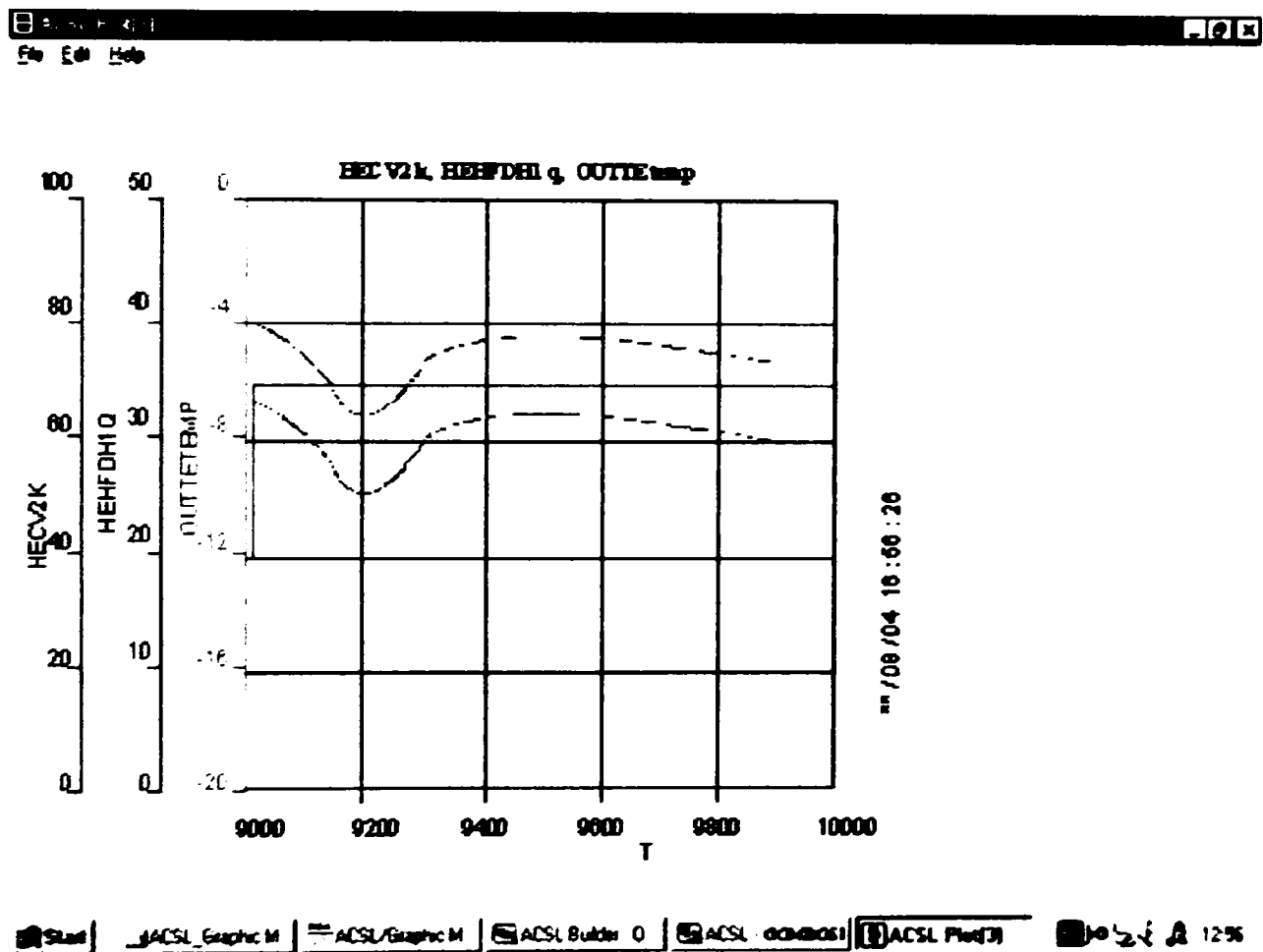


Figura 3.61. Evoluția debitului de apă geotermală și a deschiderii robinetului CV2 la creșterea temperaturii exterioare

d. Concluzii

Obiectivele principale ale programului de simulare au fost: verificarea și validarea calitativă a schimbului de căldură, a strategiei de conducere propuse pentru punctul termic, prin studierea comportării parametrilor ce definesc funcționarea acestuia și, totodată, determinarea parametrilor reguletoarelor de tip PID utilizate. Valorile corespunzătoare parametrilor reguletoarelor pot fi vizualizate consultând programul sursă .CSL prezentat în Anexă.

În acest context a fost detaliat modelul matematic al echipamentelor componente aferente, cu buclele de reglare corespunzătoare. După identificarea condițiilor corespunzătoare pornirii punctului termic și a perturbațiilor care pot să apară, s-a procedat la verificarea programului de simulare, verificându-se mai multe variante, fiecare variantă având seturi diferite de valori pentru condițiile de pornire precum și pentru perturbațiile considerate. În toate cazurile, influența directă a perturbației asupra uneia dintre mărimile reglabile (în cazurile prezentate anterior, temperatura exterioară și necesarul de apă caldă menajeră) afectează funcționarea punctului termic (debit de apă geotermală, temperaturi ale agenților secundari pentru cei trei utilizatori de energie geotermală, funcționarea pompelor de circulație și a robinetelor de reglare, etc.). Se manifestă, în consecință, o influență reciprocă a buclelor de reglare. Fiecare dintre acțiuni are în esență un caracter stabilizator. Pentru variantele prezentate, au fost reținute valorile parametrilor reguletoarelor care, în primă fază, vor fi utilizate în cadrul programului de automatizare. Modelul matematic elaborat nu descrie exact fenomenul real. Un model matematic performant trebuie să țină seama de un număr foarte mare de influențe secundare. Modelul prezentat în lucrare este perfectibil dar, în varianta existentă, oferă informații importante pentru programul real de automatizare al punctului termic.

3.3. Experimentări efectuate pe un punct termic geotermal funcțional, cu sistem de stocare de date

Având în vedere similitudinile existente între punctul termic proiectat și punctul termic geotermal de la Universitatea din Oradea precum și sistemul de monitorizare control și achiziție de date existent la punctul termic orădean, am decis experimentarea soluției propuse în cadrul prezentei lucrări, prin compararea datelor rezultate din proiectare cu cele obținute în teren.

Rolul punctului termic din cadrul campusului universitar orădean (figura 3.62.) este acela de a încălzi clădirile Universității (DH-district heating) și de a le furniza apa caldă menajeră (DHW-domestic hot water).

Aceste două procese de încălzire sunt realizate indirect, adică apa geotermală este folosită indirect în schimbătoare de căldură în plăci, loc în care cedează energia termică.

Apa geotermală uzată termic rezultată din ambele procese de încălzire părăsește stația printr-o unică conductă și este deversată în râul Peța, cu posibilitatea de a fi distribuită și altor consumatori care în momentul de față nu sunt stabiliți.

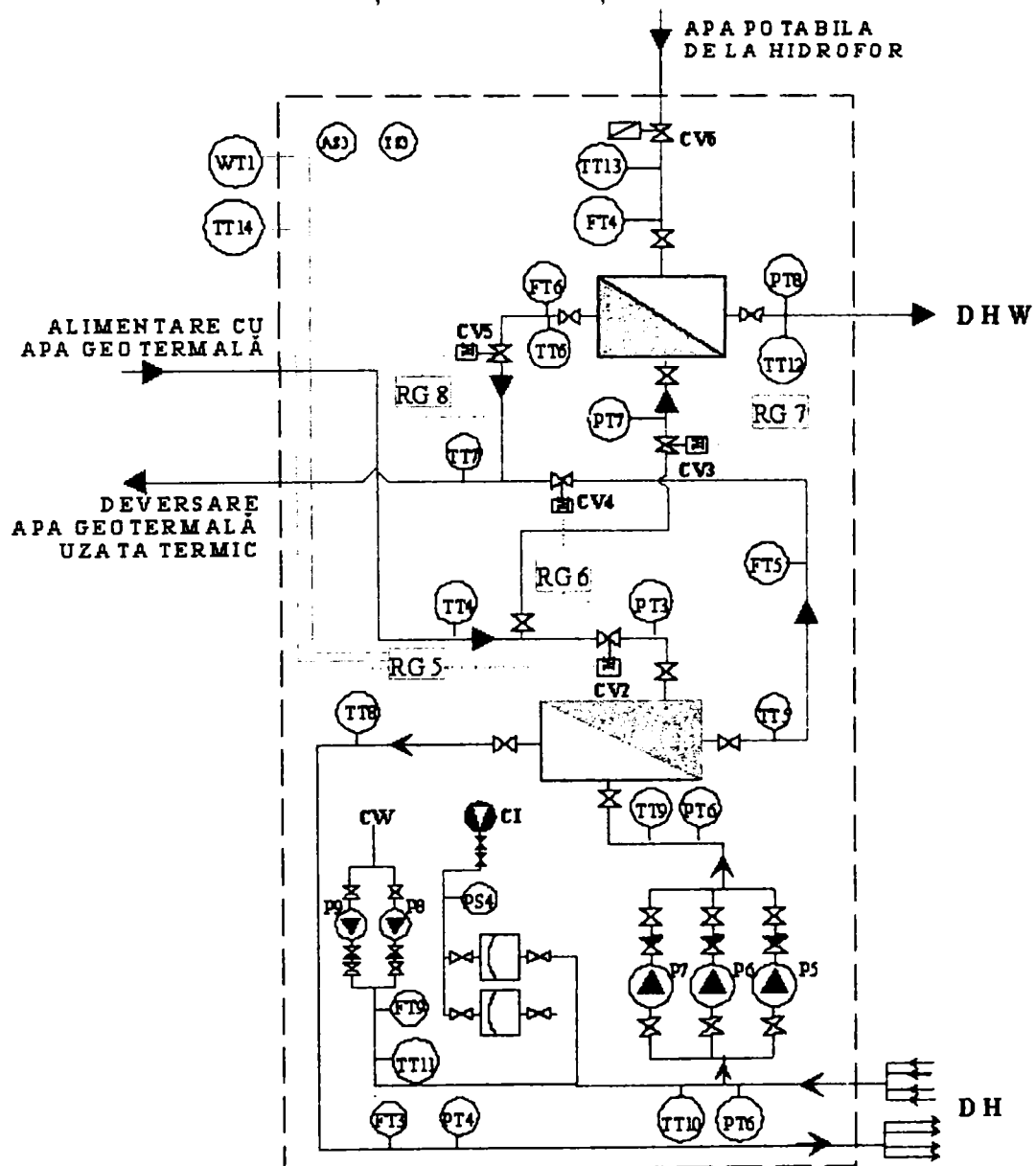


Figura 3.62. Schema constructiv - funcțională a punctului termic de la Universitatea din Oradea unde s-a notat: DH - încălzire, DHW - apă caldă menajeră

CARACTERISTICILE CONSTRUCTIV-FUNCȚIONALE

- temperatura apei geotermale: 85°C
- pentru circuitul de încălzire:
 - agent primar: apa geotermală
 - debit: 120 m³/h (33,5 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 85°/45°C
 - presiuni (tur/retur): 2,5/0,8 bar
 - agent secundar: apă caldă
 - debit: 120 m³/h
 - temperaturi (tur/retur): 80°/40°C
 - presiuni (tur/retur): 3,5/1,5 bar
- pentru circuitul de preparare apă caldă menajeră:
 - agent primar: apa geotermală
 - debit: 15 m³/h (4 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 85°/45°C
 - presiuni (tur/retur): 2,5/1,6 bar
 - agent secundar: apă caldă
 - debit: 15 m³/h (4 l/s)
 - temperaturi (tur/retur): 60°/10°C
 - presiune de livrare: 4 bar.

$Q_{inc} = 5.600 \text{ kW}$, fluxul de căldură pentru încălzire,

$Q_{acm} = 870 \text{ kW}$, fluxul de căldură pentru apă caldă menajeră.

$\Delta t_{med} = 10^\circ\text{C}$, pentru încălzire,

$\Delta t_{med} = 30^\circ\text{C}$, pentru prepararea apei calde menajere.

Punctul termic de la Universitatea din Oradea este dotat cu 6 aparate schimbătoare de căldură în plăci, tip SCP-AG-1, produse de S.C. Tehnofrig S.A. Cluj-Napoca, montate în paralel și având următoarele caracteristici constructiv-funcționale:

- capacitatea termică 1,29 Gcal/h;
- debit agent termic primar 27 m³/h;
- temperatura intrare/ieșire agent termic primar 75/25°C;
- debit agent termic secundar 26 m³/h;
- temperatura intrare/ieșire agent termic secundar 15/65°C;
- temperatura max. de lucru 150°C;
- căderea de presiune maximă în primar și secundar 1,2 bar;
- presiunea max. de lucru (primar și secundar) 7 bar;
- diferența de presiune max. între primar și secundar 2 bar;
- suprafața de schimb de căldură: 105 m²;
- coeficient global de schimb de căldură 1,4 kW/m²K.

Pentru circuitul destinat încălzirii spațiilor au fost montate 4 aparate (1 de rezervă), iar pentru circuitul destinat preparării apei calde menajere au fost montate 2 aparate (1 de rezervă).

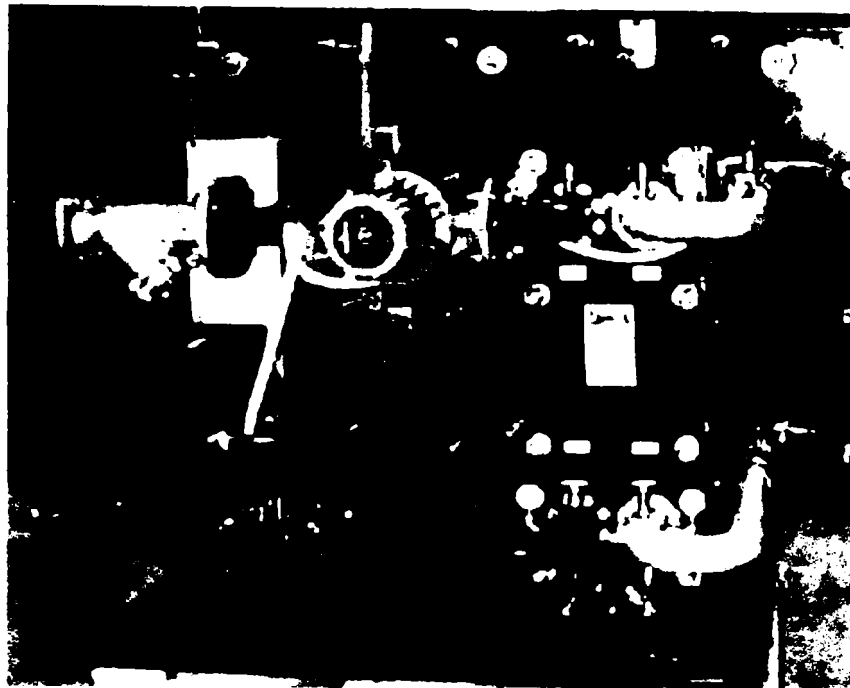


Figura 3.63. Punctul termic de la Universitatea din Oradea vedere parțială

MONITORIZAREA PUNCTULUI TERMIC ORĂDEAN

Punctul termic orădean este dotat cu un sistem de monitorizare, control și achiziție de date realizat, în colaborare cu firma Rafhonnun din Reikjavik, Islanda, pentru întregul complex geotermal. Sistemul de monitorizare a punctului termic este realizat de către procesorul Allen Bradley SLC-5/03 din familia SLC-500.

În cadrul acestui subcapitol se va prezenta funcționarea celor două sisteme ale punctului termic orădean (*DH-district heating și DHW-domestic hot water*) înainte începerii cercetărilor mele, precum și funcționarea punctului termic în urma modificărilor aduse programului existent prin implementarea strategiei de conducere propuse în cadrul lucrării pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice, precum și pentru sistemul de preparare a apei calde menajere.



Figura 3.64. Punctul termic de la Universitatea din Oradea Sala de monitorizare și control a Sistemului SCADA

Din analiza structurii generale a software-ului de control (care cuprinde *module pentru realizarea controlului operațional, module pentru monitorizarea stărilor și realizarea achiziției de date, module pentru tratarea defecțiunilor și semnalarea alarmelor, module pentru realizarea diferitelor calcule statistice, module pentru analiza istoricului evoluției, module pentru realizarea interferenței cu utilizatorul*), rezultată că software-ul de control din PLC trebuie să realizeze, în principal, următoarele funcții:

- achiziția, monitorizarea și/sau controlul operațional al diferiților parametri: temperaturi, presiuni, debite, etc.; în cazul controlului se utilizează diferite dispozitive: valve, comutatoare, motoare, variatoare de turație, etc.;
- tratarea situațiilor de alarme inclusiv oprirea/pornirea sistemului;
- trecerea sistemului din regim automat în regim manual și invers;
- gestionarea bazelor de date cu semnalele de I/O, alarme, etc.;
- comunicarea cu interfața utilizator;
- alte calcule intermediare (control statistic, evoluție în timp, etc.).

Pentru dezvoltarea programului din PLC a fost ales mediul de programare Advanced Programming Software (APS), care permite realizarea de programe pentru controller-ele din gama Allen Bradley. Programele dezvoltate utilizând APS sunt construite pe o structură modulară, fiind împărțite în mai multe blocuri funcționale care sunt văzute ca subrutine apelate dintr-un program principal. Avantajul subrutinelor rezultă bineînțeles într-o minimizare a efortului de programare și realizarea unor programe mai ușor de urmărit; din punctul de vedere al proiectării, existența subrutinelor dă posibilitatea păstrării structurii ierarhice a strategiei de control, modulele din cadrul ierarhiei de control putând fi mapate una-la-una către module (subrutine, blocuri) din cadrul software-ului de control.

APS face parte din categoria de software-uri dedicate pentru controlul industrial, de tipul limbajelor specializate. Acesta permite programarea propriu-zisă a software-ului de control direct pe PC-ul pe care rulează și interfața utilizator.

Harta memoriei corespunzătoare I/O a fost utilizată pentru realizarea efectivă a structurii hardware; pe baza acesteia s-au realizat legăturile fizice cu senzorii și dispozitivele de control. Astfel, sunt utilizate 40 intrări analogice, 60 intrări digitale, 4 ieșiri analogice și respectiv 40 ieșiri digitale. Evident, s-a ținut cont și de o eventuală expansiune (între anumite limite) a sistemului.

Programul acordă o atenție deosebită porțiunii de cod care tratează oprirea și respectiv repornirea sistemului în condiții de siguranță, în urma unei căderi de tensiune. De asemenea, pentru o mai mare flexibilitate, toate constantele de timp precum și alte constante utilizate în program sunt transmise prin intermediul variabilelor de memorie către interfața utilizator, astfel încât operatorul să aibă posibilitatea de a le modifica, în anumite cazuri (dacă are un nivel de acces corespunzător).

Programul are, în varianta inițială, un număr de 29 de fișiere de program, 91 de fișiere de date, constă dintr-un număr de aproximativ 7.000 de instrucțiuni (6.828), și prelucrează un număr de aproximativ 200 semnale de I/O, putând fi considerat ca făcând parte din categoria aplicațiilor de dimensiuni medii. Perioada de scanare obținută este de aproximativ 160 ms, mai mult decât satisfăcătoare nevoilor aplicației date.

Structura interfeței utilizator folosite se bazează pe noțiunea de fereastră care conține desenul schematic al diverselor porțiuni ale sistemului. În cazul analizat, o serie de informații trebuie afișate pe ecran, iar asupra unora trebuie să se poată exercita controlul. Fiecare din aceste informații are asociată fereastra corespunzătoare; de asemenea, există stabilite

legăturile între ferestre (acolo unde este cazul).

Principalele tipuri de ferestre existente în acest caz sunt următoarele

- ferestre pentru realizarea imaginii de ansamblu pentru fiecare subsistem în parte stația sondei, stația de pompare, punctul termic,
- ferestre pentru afișarea alarmelor și atenționărilor;
- ferestre pentru urmărirea variațiilor în timp a diferiților parametri (real-time trends, historical trends);
- ferestre pentru vizualizarea/modificarea stării reguletoarelor;
- ferestre pentru vizualizarea/modificarea diferiților parametri de operare de către operator, etc.

Imaginea procesului în InTouch, și care ilustrează subsistemul *District Heating DH* (corespunzătoare sistemului de monitorizare, control și achiziție de date; stadiul inițial al strategiei de conducere) este prezentat în figura 3.65.

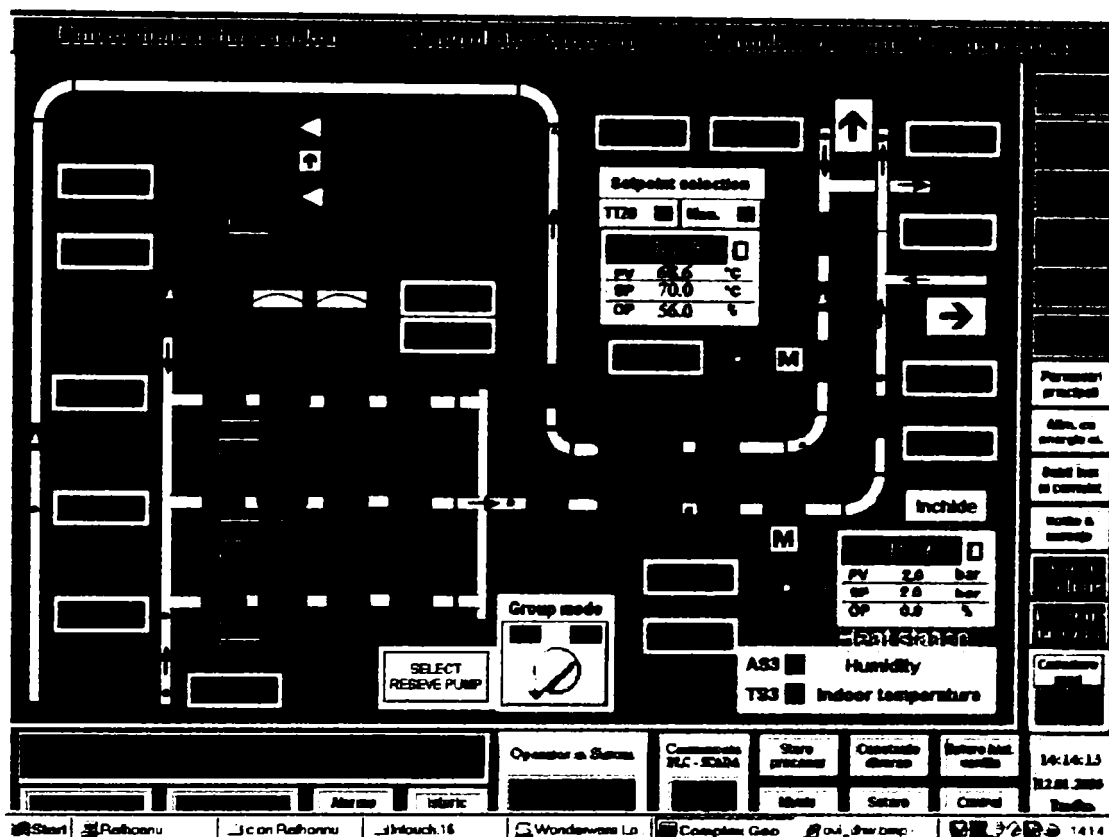


Figura 3.65. Fereastra corespunzătoare subsistemului *District Heating DH*

Se observă, din această figură existența reguletoarelor RG5 și RG6, sub forma unor dreptunghiuri în cadrul cărora apar trei valori: variabila de proces PV (controlată), set-point-ul SP (pre-setat), semnalul de ieșire dat de regulator OP, precum și modul de operare al acestuia (MAN=manual, AUTO=automat). Acestea au fost create de o asemenea manieră încât utilizatorul poate schimba constantele regulatorului (constante PID), set-point-ul, precum și modul de operare al acestuia, selectând căsuțele corespunzătoare de pe ecran.

De asemenea, la realizarea acestor ferestre au fost stabilite anumite convenții de reprezentare: de exemplu, pompele sunt reprezentate cu culoarea verde când sunt în funcțiune, gri deschis când sunt oprite dar sunt în stare de funcționare, și respectiv roșie când prezintă o defecțiune. Robinetele sunt reprezentate utilizând simboluri speciale pentru marcarea pozițiilor "complet închis", "complet deschis" operare în direcția de închidere, operare în direcția de deschidere, operare cu deschidere fixă sau defecțiune. Subsistemul *District Heating DH* poate fi trecut în modul grup off/on prin selectarea poziției corespunzătoare a comutatorului din cadrul ferestrei.

În ceea ce privește fereastra corespunzătoare subsistemului *Domestic.Hot.Water.DHW* în figura 3.66. este prezentată imaginea procesului în InTouch. Se observă păstrarea aceluiași principii de creare a interfeței utilizator în cazul acestei ferestre, ca și la subsistemul *District.Heating.DH*.

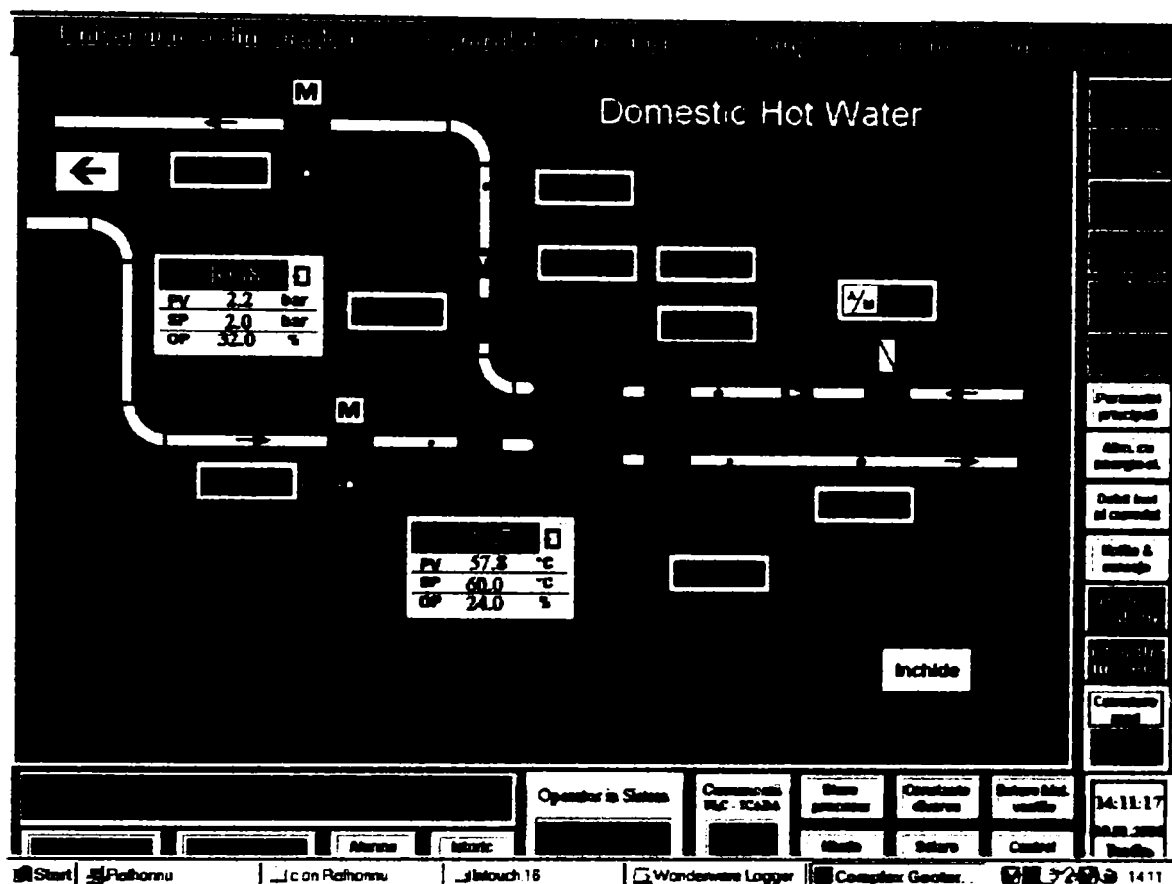


Figura 3.66. Fereastra corespunzătoare subsistemului *Domestic Hot Water DHW*

S-a urmărit, la crearea interfeței utilizator, realizarea unor ferestre care să conțină cât mai multă informație, repartizată de o asemenea manieră încât să fie cât mai ușor de urmărit, dar și să ofere cât mai mare flexibilitate aplicației. Scalarea tuturor mărimilor afișate a fost realizată tot prin intermediul interfeței, iar totalizările necesare pentru managementul procesului au fost realizate utilizând macro-uri în Visual Basic.

3.3.1. Date experimentale obținute la încercarea schimbătoarelor de căldură

Beneficiind de posibilitățile oferite de sistemul SCADA de monitorizare, control și achiziție de date, sistem care echipează punctul termic de la Universitatea din Oradea, au fost realizate o serie de măsurători privind schimbul de căldură care are loc în aparatele schimbătoare de căldură; în continuare, se prezintă sintetic cele mai semnificative dintre rezultatele obținute.

A. Schimbul de căldură pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice

Experimentările privind schimbul de căldură s-au realizat în cadrul punctului termic funcțional avut la dispoziție, folosind facilitățile dotărilor existente. În tabelul 3.12. se prezintă datele experimentale privind schimbul de căldură pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice, experimentări efectuate în urma amplasării aparatului schimbător de căldură care a fost ales în faza de proiectare pentru acest sistem (*S41- IS10-171-TKTM99-LIQUII*) în cazul variației debitului de apă geotermală în intervalul $20 \div 160 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Tabelul 3.12. Experimentări privind schimbul de căldură la încălzirea cu corpuri statice
(debitul de apă geotermală în intervalul $20 \div 160 \text{ m}^3 / \text{h}$)

macp1 [mc/h]	20	40	60	80	100	120	140	160
mars1 [mc/h]	17,14	34,28	60	85,71	102,85	120	137,14	154,28
tp1in [°C]	85	85	85	85	85	85	85	85
ts1in [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40
tp1ies [°C]	53,01	53,01	55,16	56,13	55,56	55,16	54,87	54,65
ts1ies [°C]	71,98	71,98	69,83	68,86	69,43	69,83	70,12	70,34

De asemenea, se prezintă, pe baza datelor experimentale, dependența temperaturii de ieșire a apei geotermale t_{p1ies} funcție de debitul acesteia precum și dependența temperaturii de ieșire a agentului secundar t_{s1ies} funcție de debitul acestuia în cazul variației debitului de apă geotermală în intervalul $20 \div 160 \text{ m}^3 / \text{h}$. Graficele sunt prezentate în figura 3.67. respectiv în figura 3.68.

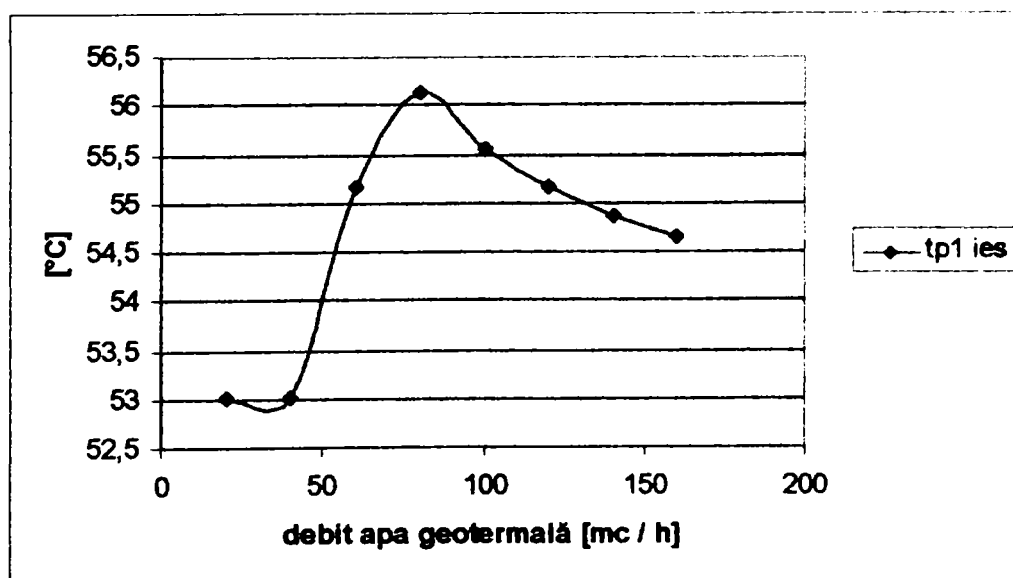


Figura 3.67. Variația temperaturii t_{p1ies} funcție de debitul de apă geotermală

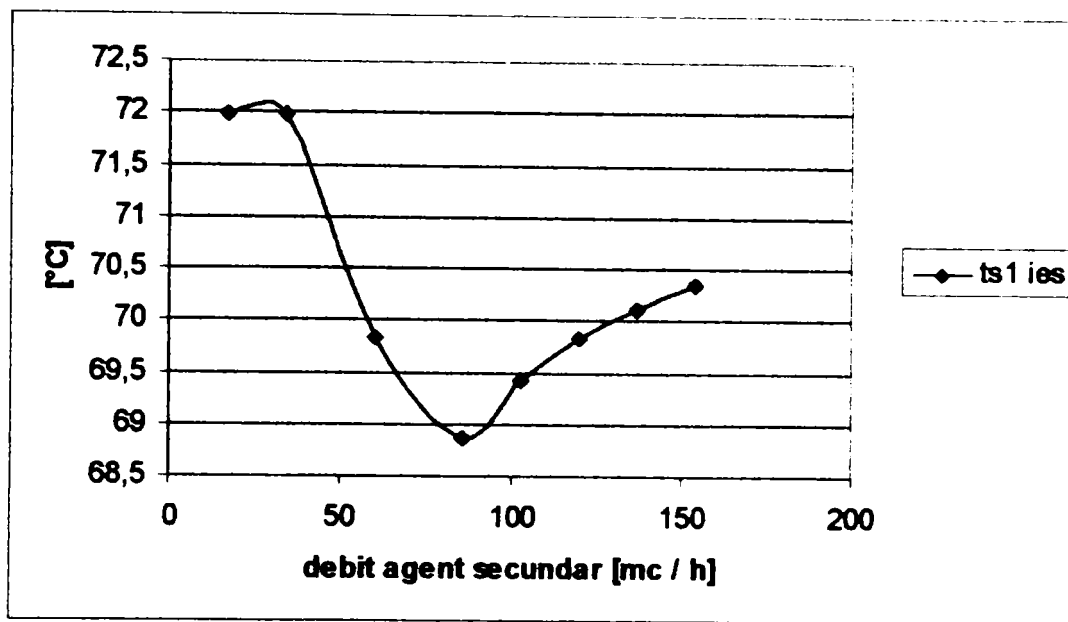


Figura 3.68. Variația temperaturii $t_{s1\text{ ies}}$ funcție de debitul de agent secundar

În tabelul 3.13. se prezintă datele experimentale privind schimbul de căldură pentru sistemul de încălzire cu corpuri statice, experimentări efectuate în urma amplasării aparatului schimbător de căldură care a fost ales în faza de proiectare pentru acest sistem (S41-IS10-171-TKTM99-LIQUII) în cazul variației debitului de apă geotermală în intervalul $140 \div 154 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Tabelul 3.13. Experimentări privind schimbul de căldură la încălzirea cu corpuri statice (debitul de apă geotermală în intervalul $140 \div 154 \text{ m}^3 / \text{h}$)

macp1 [mc/h]	140	142	144	146	148	150	152	154
mars1 [mc/h]	120	120	125	125	125	130	130	130
tplin [°C]	85	85	85	85	85	85	85	85
tslin [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40
tplies [°C]	53,01	52,82	53,19	53	52,81	53,17	52,98	52,8
tslies [°C]	71,98	72,17	71,8	71,99	72,18	71,82	72,01	72,19

Se prezintă, pe baza datelor experimentale, dependența temperaturii de ieșire a apei geotermale $t_{p\text{lies}}$ funcție de debitul acesteia precum și dependența temperaturii de ieșire a agentului secundar $t_{s1\text{ ies}}$ funcție de debitul acestuia în cazul variației debitului de apă geotermală în intervalul $140 \div 154 \text{ m}^3 / \text{h}$. Graficele sunt prezentate în figura 3.70. respectiv în figura 3.71.

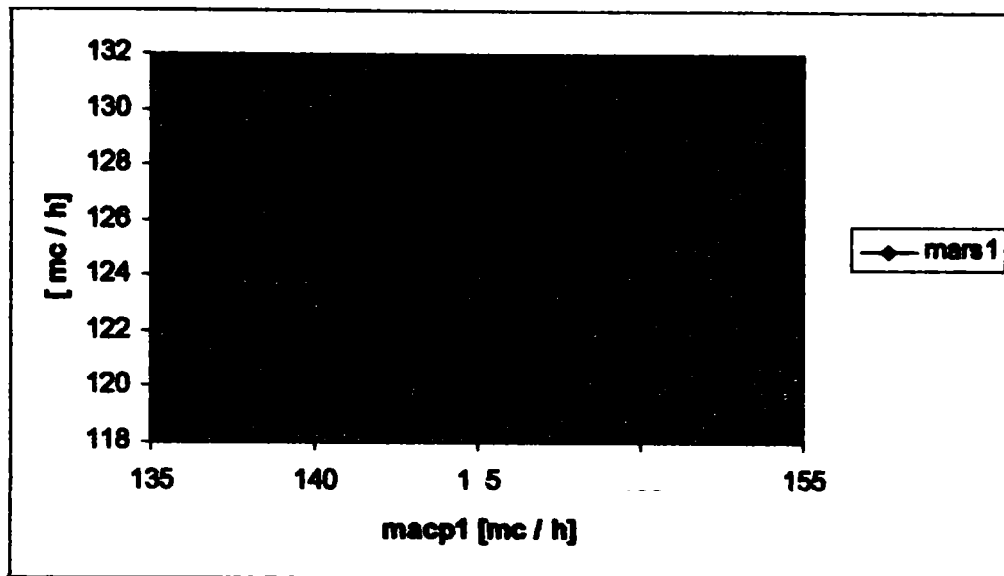


Figura 3.69. Variația debitului de agent secundar m_{a21} funcție de debitul de apă geotermală m_{aep1}

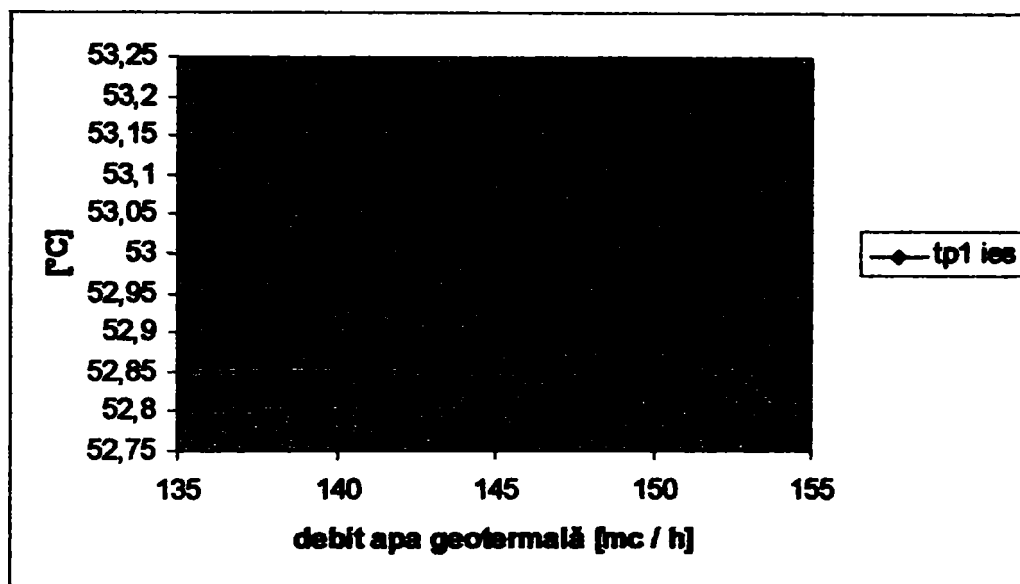


Figura 3.70. Variația temperaturii $t_{p1\text{ ies}}$ funcție de debitul de apă geotermală

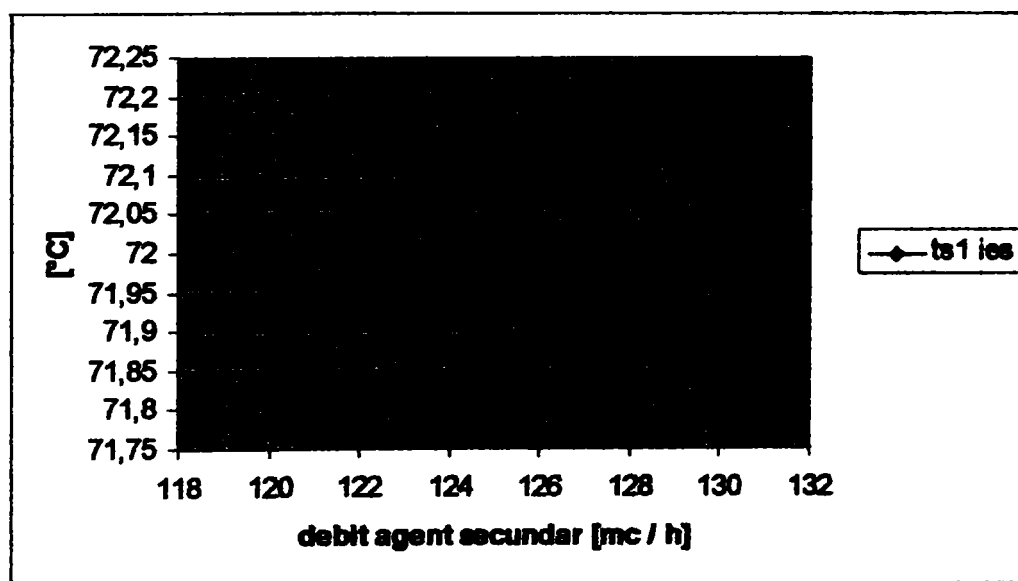


Figura 3.71. Variația temperaturii $t_{s1\text{ ies}}$ funcție de debitul de agent secundar

B. Schimbul de căldură pentru sistemul de preparare apă caldă menajeră

Folosind facilitățile dotărilor existente, s-au realizat o serie de experimentări privind schimbul de căldură pentru sistemul de preparare a apei calde menajere.

În tabelul 3.14. se prezintă datele experimentale, experimentări efectuate în urma amplasării aparatului schimbător de căldură care a fost ales în faza de proiectare pentru acest sistem (*S47 – IG10 – 102 – TKTM71 – LIQUII*) în cazul variației debitului de apă geotermală în intervalul $2,5 \div 17 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Tabelul 3.14. Experimentări privind schimbul de căldură la sistemul de preparare apă caldă menajeră

macp2 [mc/h]	2,5	4	6	8	10	12	15	17
mars2 [mc/h]	3	5	7	10	12	15	17	20
tp2in [°C]	85	85	85	85	85	85	85	85
ts2in [°C]	10	10	10	10	10	10	10	10
tp2ies [°C]	51,41	52,27	50,82	52,27	51,41	52,27	50,2	51
ts2ies [°C]	43,58	42,72	44,17	42,72	43,58	42,72	44,79	44

Se prezintă, pe baza datelor experimentale, dependența temperaturii de ieșire a apei geotermale $t_{p2\text{ies}}$ precum și dependența temperaturii de ieșire a agentului secundar $t_{s2\text{ies}}$ funcție de debitul de apă geotermală. Graficele sunt prezentate în figura 3.70. respectiv în figura 3.72.

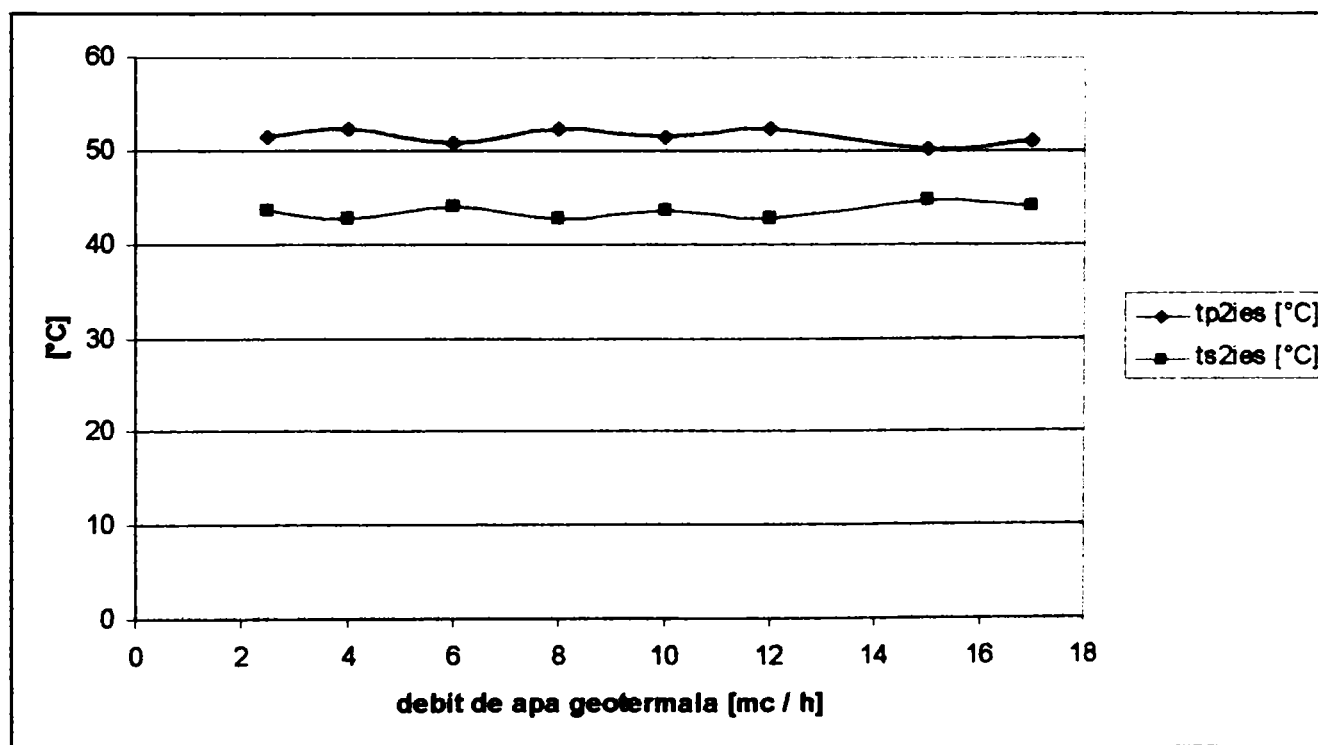


Figura 3.72. Variația temperaturilor $t_{p2\text{ies}}$ și $t_{s2\text{ies}}$ funcție de debitul de apă geotermală

3.3.2. Testarea proceselor de schimb de căldură și a strategiei de conducere utilizând facilitățile sistemului de stocare a datelor

Testarea proceselor de transfer de căldură precum și a strategiei de conducere propuse (implicit a software-ului implementat) a fost realizată în principal în două etape:

- *testarea separată a modulelor*; în această fază, programul de control nu a fost conectat încă la procesul fizic. Practic, în cadrul acestei etape preliminare s-a folosit facilitatea PLC-ului Allen Bradley de a putea forța intrările binare la anumite valori, pentru a simula diferite situații. Pentru intrările analogice, am utilizat locații de memorie în locul intrării propriu-zise. Aceste setări au fost realizate prin accesul direct la tabela de date din PLC;
- *testarea programului de control* în ansamblul său, cu intrările și ieșirile conectate direct la procesul fizic de controlat. S-a utilizat testarea interactivă în această etapă, prin intermediul aceleiași interfețe utilizator ca și în cazul testării simulatorului. Practic, testarea de ansamblu s-a realizat în timp real, programul fiind conectat la procesul fizic controlat.

Trebuie menționat aici faptul că scenariile de test alese precum și etapele corespunzătoare au fost aceleași cu cele utilizate în cazul modelului simulat, datele rezultate fiind în permanență comparate cu cele obținute în urma simulării.

Spre deosebire însă de simulare, realizarea testării în timp real a sistemului a ridicat probleme deosebite legate de protecție (în general pentru testarea condițiilor limită). De asemenea, repetabilitatea unei anumite testări a fost realizată cu dificultate, pe de o parte datorită faptului că, sistemul fiind destul de complex, fiecare stare a acestuia depinde de o mare varietate de factori (nefiind un sistem concurent nu se pune problema nedeterminismului) și pe de altă parte, datorită faptului că procesul fizic controlat este lent.

Procesul de testare respectă maniera de testare dinamică pentru sisteme de control timp real, trecând prin toate etapele acesteia. Astfel, toate testările au fost realizate utilizând programul de simulare implementat; testarea finală a fost însă realizată direct pe procesul real.

În figura 3.73. se prezintă evoluția în timp a câtorva parametri caracteristici procesului de asigurare a agentului termic secundar necesar încălzirii încăperilor și anume: temperatura exterioară *TT14* ca factor aleator, temperatura agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură *TT8*, temperatura de ieșire a apei geotermale *TT7*, debitul de apă geotermală care cedează căldură agentului secundar *FT5*; rezultatele prezentate în figura 3.73. corespund zilei de 17 ianuarie 1999, între orele 06:36:47÷24:36:47.

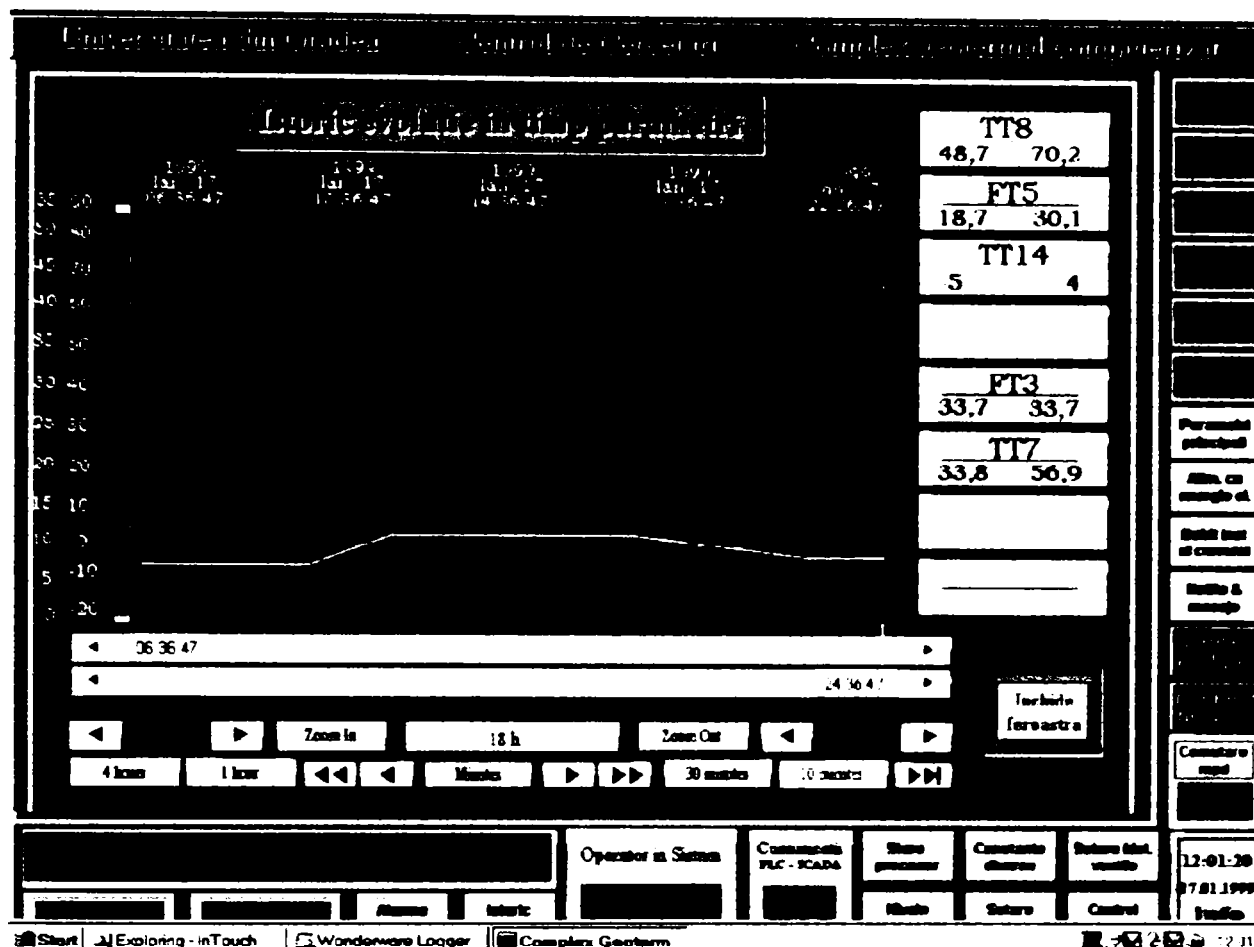


Figura 3.73. Histograma utilizatorului de energie geotermală District Heating DH la data de 17.01.1999

Se observă că deși între orele 06:36:47-10:36:47, 12:36:47-18:36:47 și 22:36:47-24:36:47 temperatura exterioară este constantă, atât debitul de apă geotermală și temperatura acesteia la ieșirea din schimbătorul de căldură, cât și temperatura agentului secundar au perturbații aleatorii ca urmare a influenței pe care o are regulatorul *RG6* și, implicit, robinetul *CT4* asupra proceselor hidraulice și de schimb de căldură care au loc în punctul termic. De asemenea, se observă că sistemul se stabilizează greu, cu oscilații destul de mari, la apariția perturbației (modificarea temperaturii exterioare).

Acest lucru se datorează faptului că, la data respectivă, punctul termic orădean era dotat cu două regulatoare care lucrau în paralel pentru sistemul *District Heating DH* și anume Regulatorul *RG5* pentru controlul temperaturii și regulatorul *RG6* pentru controlul presiunii (vezi figura 3.65.).

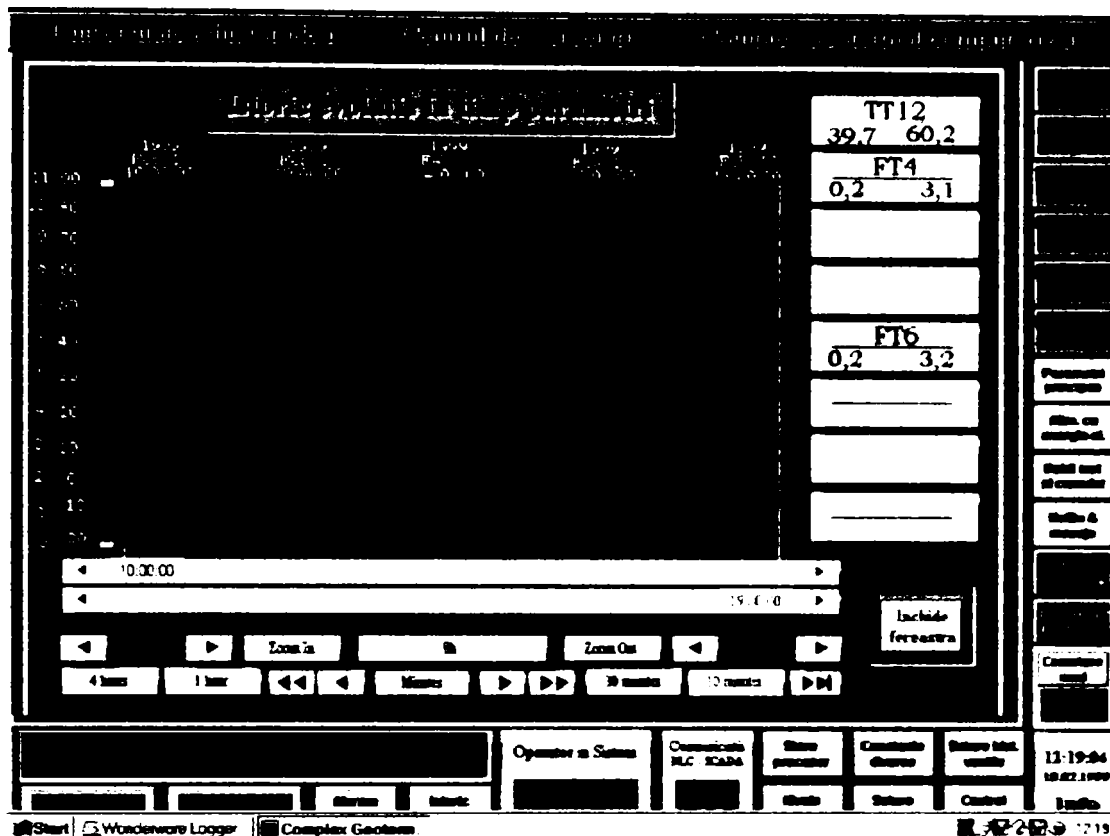


Figura 3.74. Histograma utilizatorului de energie geotermală Domestic Hot Water DHW la data de 10.02.1999

În figura 3.74. se prezintă evoluția în timp a câtorva parametri caracteristici procesului de preparare a apei calde menajere și anume: debitul de apă caldă menajeră *FT4* ca factor aleator, temperatura de ieșire a apei calde menajere *TT12*, debitul de apă geotermală *FT6*; rezultatele prezentate în figura 3.74. corespund zilei de 10 februarie 1999, între orele 10:00:00÷19:00:00.

Cu toate că între orele 10:00:00÷12:00:00, 12:15:00÷14:00:00, 14:08:00÷16:30:00 și 16:40:00÷19:00:00 debitul de apă caldă menajeră măsurat de traductorul de debit *FT4* este constant, atât debitul de apă geotermală și temperatura de ieșire a apei calde menajere au perturbații aleatorii ca urmare a influenței pe care o are regulatorul *RG8* și, implicit, robinetul *CT5* asupra proceselor hidraulice și de schimb de căldură care au loc în punctul termic. De asemenea, se observă că sistemul se stabilizează greu, cu oscilații destul de mari, la apariția perturbației (modificarea debitului de apă caldă menajeră).

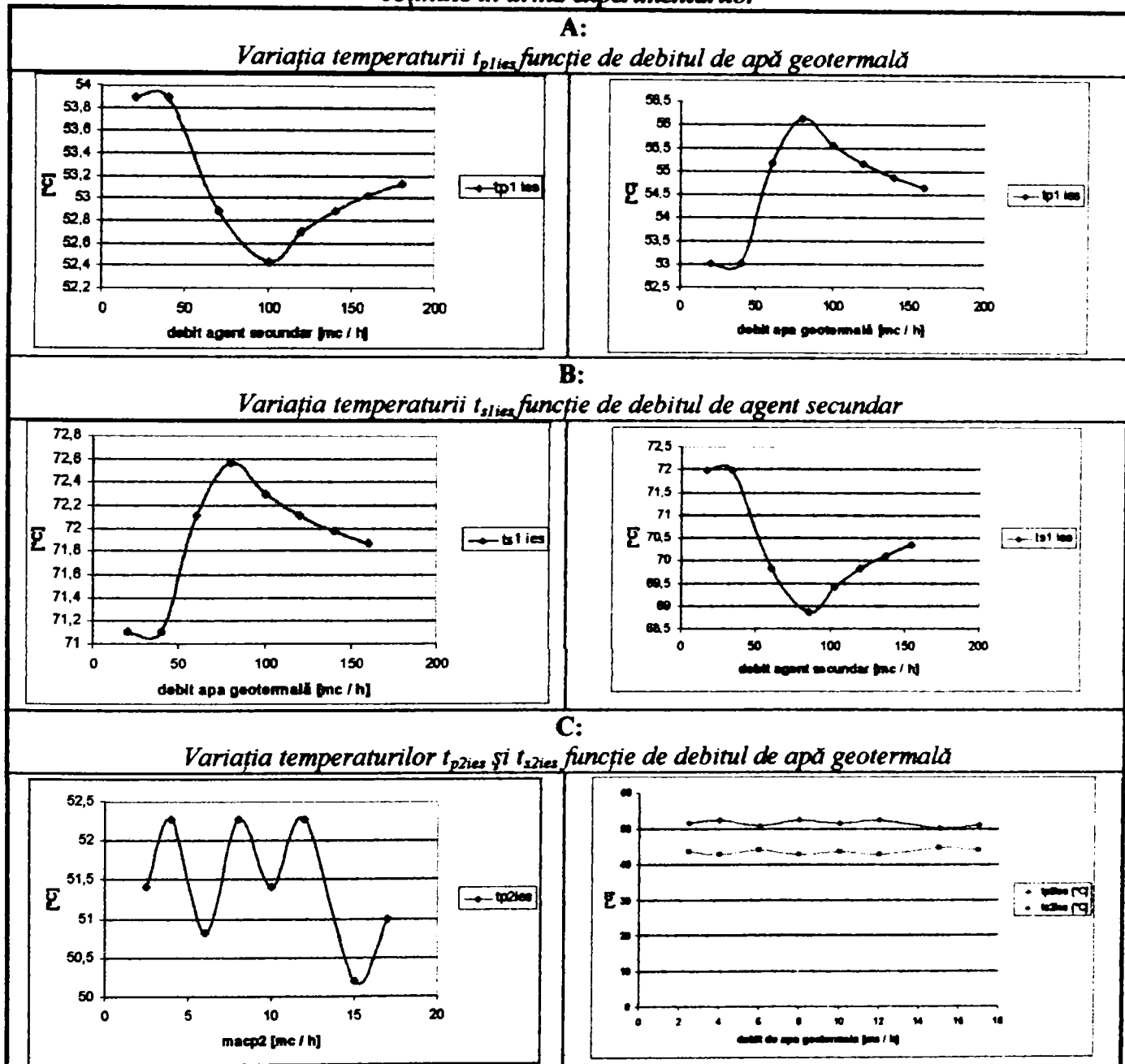
Acest lucru se datorează faptului că, la data respectivă, punctul termic orădean era dotat cu două regulatoare care lucrau în paralel pentru sistemul *Domestic Hot Water DHW* și anume: Regulatorul *RG7* pentru controlul temperaturii de ieșire a apei calde menajere și regulatorul *RG8* pentru controlul presiunii.

3.4. Analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma analizei teoretice și a simulării cu cele obținute în urma experimentărilor. Concluzii.

În urma analizei comparative realizate între rezultatele obținute în urma analizei teoretice (paragraful 3.2.3.) cu rezultatele obținute în urma experimentărilor (paragraful 3.3.1.) rezultă următoarele: diferențe există, însă acestea nu sunt semnificative; alura graficelor este în unele cazuri diferită, dar variația este în limitele a $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Ca urmare, se poate concluziona că, calculele teoretice au fost corect efectuate, iar aparatele schimbătoare de căldură au fost corect dimensionate.

În tabelul 3.15. sunt exemplificate unele grafice reprezentative obținute în urma calculelor teoretice și rezultate în urma experimentărilor (A–figura 3.33. versus figura 3.67.; B–figura 3.32. versus figura 3.68.; C–figura 3.35. versus figura 3.72.

Tabelul 3.15. Comparație între graficele obținute în urma analizei teoretice cu cele obținute în urma experimentărilor



Ca urmare analizei comparative realizate între rezultatele obținute în urma simulării (paragraful 3.2.6.) cu rezultatele obținute în urma experimentărilor (paragraful 3.3.2.) rezultă următoarele:

– Procesele de schimb de căldura pentru cei doi utilizatori de energie geotermală (*District Heating DH* și *Domestic Hot Water DHW*) sunt comparabile:

- pentru sistemul *DH*

simulare:

temperatura de ieșire a agentului secundar 70°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 50°C,
timpul de stabilizare 120minute la pornire (figura.3.55.),
14minute în regim tranzitoriu (figura 3.57.).

experimentări:

temperatura de ieșire a agentului secundar 68°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 47,5°C,
timpul de stabilizare 42minute în regim tranzitoriu
(figura.3.73).

- pentru sistemul *DHW*

simulare:

temperatura de ieșire a apei calde menajere 60°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 50°C,
timpul de stabilizare 200secunde la pornire (figura.3.58.),
400secunde în regim tranzitoriu (figura.3.60).

experimentări:

temperatura de ieșire a agentului secundar 61,5°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 52°C,
timpul de stabilizare 22minute în regim tranzitoriu
(figura.3.74).

– Procesele de automatizare pentru cei doi utilizatori de energie geotermală (*District Heating DH* și *Domestic Hot Water DHW*) prezintă următoarele aspecte:

- pentru sistemul *DH*

simulare:

temperatura de ieșire a agentului secundar 70°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 50°C,
timpul de stabilizare 120minute la pornire (figura.3.57),
14minute în regim tranzitoriu (figura.5.59.).

experimentări:

temperatura de ieșire a agentului secundar 68°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 47,5°C,
timpul de stabilizare 42minute în regim tranzitoriu;

de asemenea, se observă că sistemul se stabilizează greu, cu oscilații destul de mari, la apariția perturbației (modificarea temperaturii exterioare)(figura.3.58). Acest lucru se datorează faptului că, la data respectivă, punctul termic orădean era dotat cu două regulatoare pentru sistemul *District Heating DH* și anume: Regulatorul *RG5* pentru controlul temperaturii și regulatorul *RG6* pentru controlul presiunii (vezi figura.3.56). Aceste două regulatoare lucrau în

paralel, iar efectele acțiunii lor se suprapuneau. Pentru eliminarea acestui neajuns a fost eliminat regulatorul *RG6* conform figurii 3.75.

- pentru sistemul *DHW*

simulare:

temperatura de ieșire a apei calde menajere 60°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 50°C,
timpul de stabilizare 200secunde la pornire (figura.3.59.),
400secunde în regim tranzitoriu (figura.3.60.).

experimentări:

temperatura de ieșire a agentului secundar 61,5°C,
temperatura de ieșire a apei geotermale 52°C,
timpul de stabilizare 22minute în regim tranzitoriu;

de asemenea, se observă că sistemul se stabilizează greu, cu oscilații destul de mari, la apariția perturbației (modificarea debitului de apă caldă menajeră)(figura.3.75). Acest lucru se datorează faptului că, la data respectivă, punctul termic orădean era dotat cu două regulatoare pentru sistemul *Domestic Hot Water DHW* și anume: Regulatorul *RG7* pentru controlul temperaturii de ieșire a apei calde menajere și regulatorul *RG8* pentru controlul presiunii (vezi figura.3.73). Aceste două regulatoare lucrau în paralel, iar efectele acțiunii lor se suprapuneau. Pentru eliminarea acestui neajuns a fost dezafectat regulatorul *RG8* și a fost introdus vasul tampon pentru apă caldă menajeră *VTacm*, conform figurii 3.76.

Ca urmare a acestor neajunsuri privind sistemul de automatizare a punctului termic de la Universitatea din Oradea, am analizat și modificat programul de conducere pentru cei doi utilizatori de energie geotermală și am realizat implementarea noii strategii de automatizare pe PLC. În urma definitivării implementării strategiei de conducere pentru utilizatorii de energie geotermală *DH* și *DHW*, din toamna anului 2005 până în primăvara anului 2006, punctul termic de la Universitatea din Oradea a funcționat conform strategiei de conducere propuse în cadrul acestei lucrări.

În continuare se prezintă, comparativ cu anul 1999, rezultatele obținute după implementarea noii strategii de conducere. Datele prezentate sunt caracteristice pentru funcționarea punctului termic începând cu toamna anului 2005.

MODIFICAREA PROGRAMULUI DE CONDUCERE

Noua strategie de conducere propusă presupune realizarea de modificări în cadrul programului din PLC (eliminarea reguletoarelor *RG6*, *RG8*). În continuare se prezintă modificările realizate pentru utilizatorii de energie geotermală *DH* și *DHW*.

În consecință, au fost efectuate modificările în cadrul programului din PLC modificându-se totodată și interfața *InTouch*. În figurile 3.75. și 3.76. se prezintă ferestrele corespunzătoare subsistemelor *District Heating DH* respectiv *Domestic Hot Water DHW*.

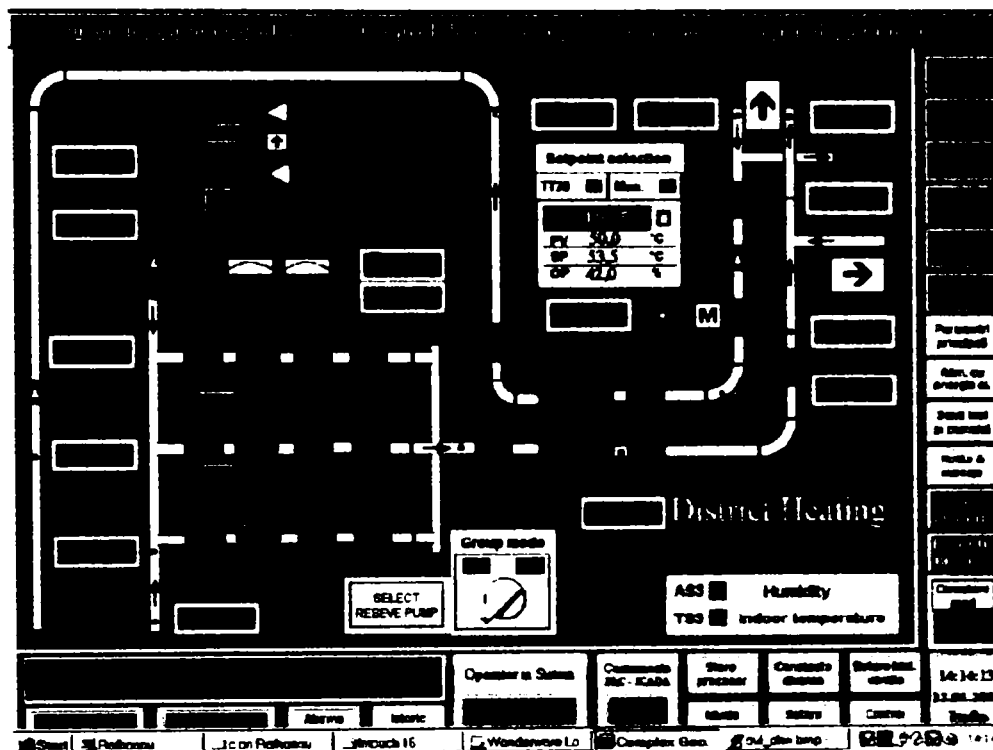


Figura 3.75. Fereastra corespunzătoare subsistemului District Heating DH (stadiul actual)

În ceea ce privește utilizatorul de energie geotermală DH, analizând figurile 3.71. și 3.75. se observă modificările care au fost efectuate, în ceea ce privește interfața grafică, ca urmare a implementării strategiei de conducere propuse. Regulatorul RG6 a fost eliminat. Temperatura agentului termic necesar încălzirii spațiilor, furnizat de către subsistemul aferent din punctul termic (*District Heating DH*) și măsurată de către traductorul de temperatură TT8 este reglată în funcție de condițiile meteorologice (temperatura exterioară și viteza vântului). Într-o porțiune din program este calculată temperatura de livrare a agentului termic pentru încălzire, temperatură care reprezintă valoarea presetată (set-point-ul SP) a regulatorului RG5. În funcție de valoarea variabilei de proces PV (controlată), este indicată valoarea comenzii dată de regulator (OP) către robinetul CT2. De asemenea, este indicat și modul de operare al regulatorului (Man=manual, AUTO=automat).

În ceea ce privește prepararea apei calde menajere (*Domestic Hot Water DHW*), prin schimbările de strategie efectuate, programul din PLC a suferit modificări substanțiale. Regulatorul RG8 a fost eliminat și au fost adăugate subsistemele corespunzătoare vasului tampon pentru apă caldă menajeră VTacm și pompei de circulație P31. Interfața grafică InTouch corespunzătoare este prezentată în figura 3.76., unde se observă simbolizarea regulatorului RG7, a pompei P31 și a vasului tampon pentru apă caldă menajeră VTacm.

În figură se prezintă valoarea comenzilor (OP) date de regulatorul RG5 robinetului CT3 în funcție de valoarea prestabilită (SP) a temperaturii de livrare a apei calde menajere și de valoarea măsurată (PV) a aceleiași temperaturi. De asemenea, este indicat continuu modul de operare al regulatorului (Man=manual, AUTO=automat). Pompa P31 este însoțită de butoanele corespunzătoare pornirii și opririi acestuia de către operator din SCADA (ON OFF). Pe parcursul efectuării modificărilor s-a urmărit, în ceea ce privește interfața utilizator, realizarea unor ferestre care să conțină cât mai multă informație, repartizată de o asemenea manieră încât să fie cât mai ușor de urmărit, dar și să ofere cât mai mare flexibilitate aplicației.

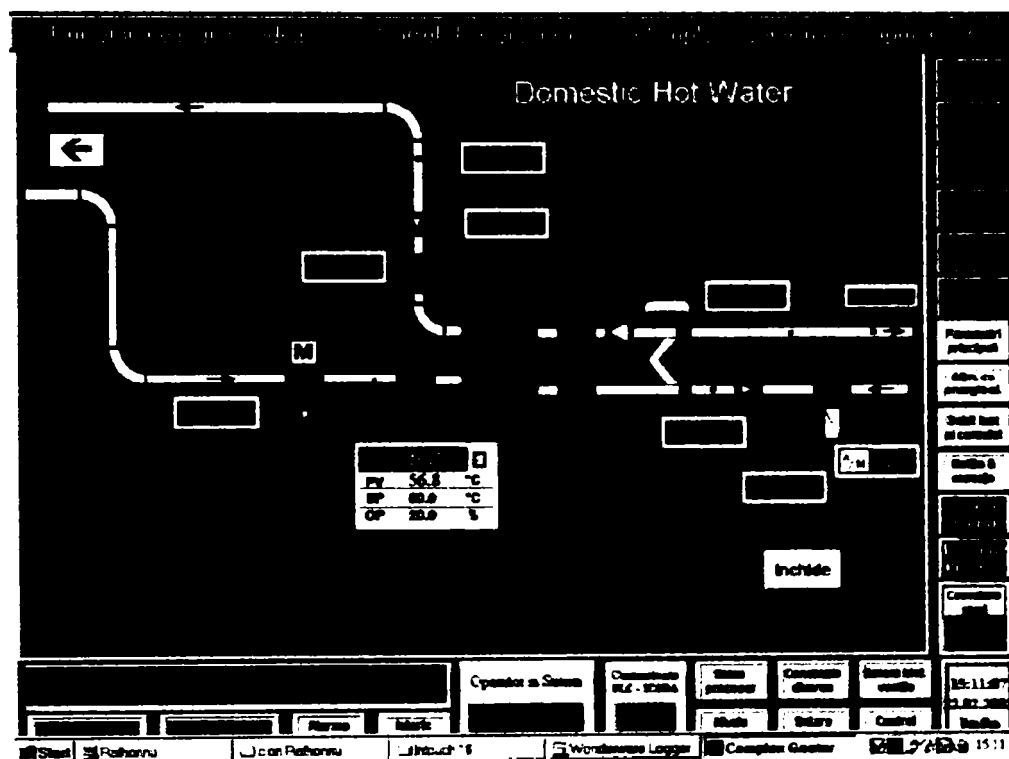


Figura 3.76. Fereastra corespunzătoare subsistemului Domestic Hot Water DHW (stadiul actual)

În figura 3.77. se prezintă evoluția în timp a aceluiași parametri caracteristici procesului de asigurare a agentului termic secundar necesar încălzirii încăperilor, ca și în figura.3.73., de data aceasta corespunzând zilei de 24 februarie 2006, între orele 08:36:47÷02:36:47 (din ziua următoare). Ca și în figura.3.73 , au fost reprezentate evoluțiile temperaturii exterioare $TT14$ ca factor aleator, temperaturii agentului secundar la ieșirea din schimbătorul de căldură $TT8$, temperaturii de ieșire a apei geotermale TT^* , debitului de apă geotermală care cedează căldură agentului secundar $FT5$, pentru a se observa mai ușor rezultatele implementării noii strategii de conducere (raportându-se rezultatele obținute în 2006 la cele din 1999).

Cum rezultă din figură, spre deosebire de iarna 1999–2000, între orele 08:36:47÷10:15:00, 13:00:00÷17:00:00 și 24:36:47÷02:36:47 temperatura exterioară este constantă, de data aceasta, atât debitul de apă geotermală și temperatura acesteia la ieșirea din schimbătorul de căldură, cât și temperatura agentului secundar nu au perturbații ci sunt constante (ca urmare a dezafectării regulatorului $RG6$ și, implicit, a robinetului $CV4$). De asemenea, se observă că sistemul se stabilizează mult mai repede, cu oscilații destul de mici, la apariția perturbației (modificarea temperaturii exterioare).

În figura 3.78. se prezintă evoluția în timp a aceluiași parametri caracteristici procesului de preparare a apei calde menajere ca și în figura 3.74., de data aceasta corespunzând zilei de 21 ianuarie 2006, între orele 10:00:00÷19:00:00. Ca și în figura 3.74., au fost reprezentate evoluțiile debitului de apă caldă menajeră $FT4$ ca factor aleator, temperaturii de ieșire a apei calde menajere $TT12$, debitului de apă geotermală $FT6$, pentru a se observa mai ușor rezultatele implementării noii strategii de conducere (raportându-se rezultatele obținute în 2006 la cele din 1999).

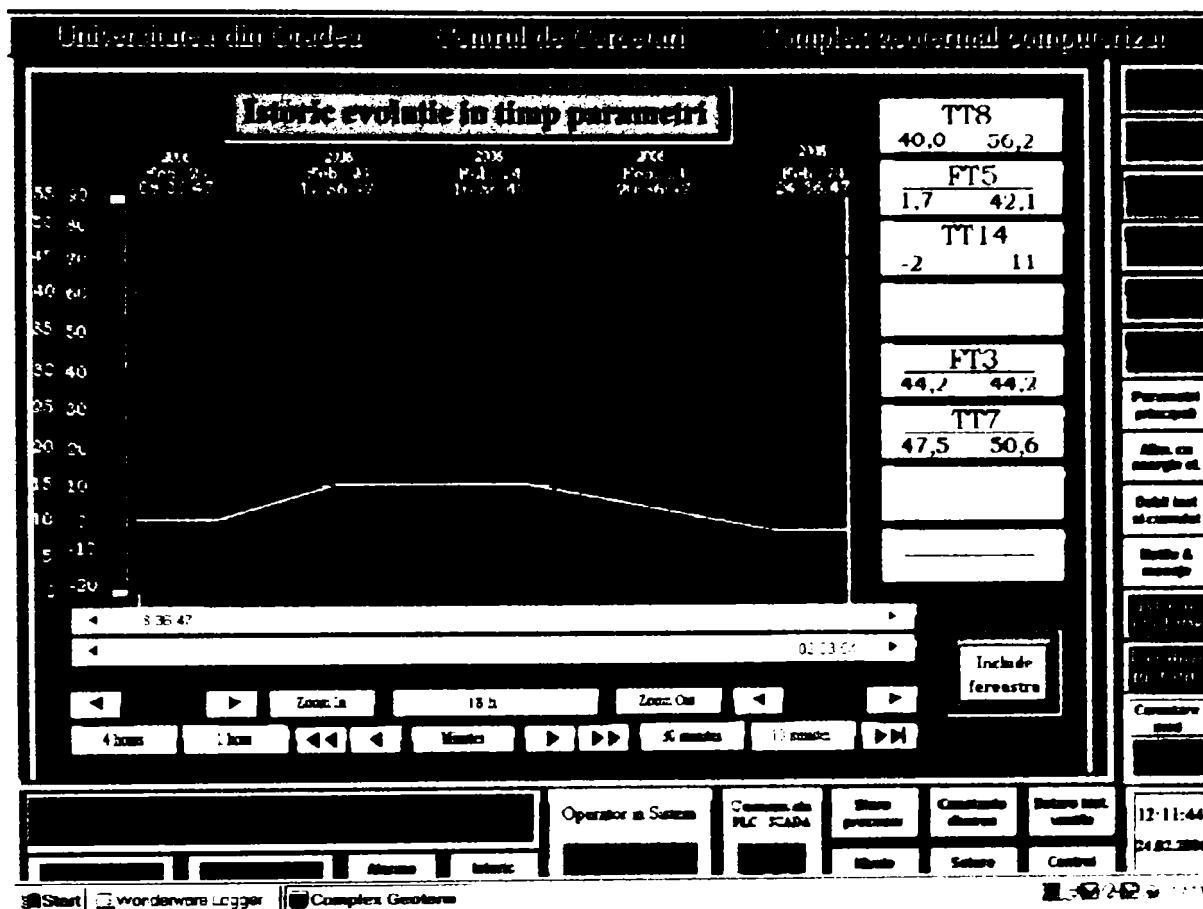


Figura 3.77. Histograma utilizatorului de energie geotermală District Heating DH la data de 24.02.2006

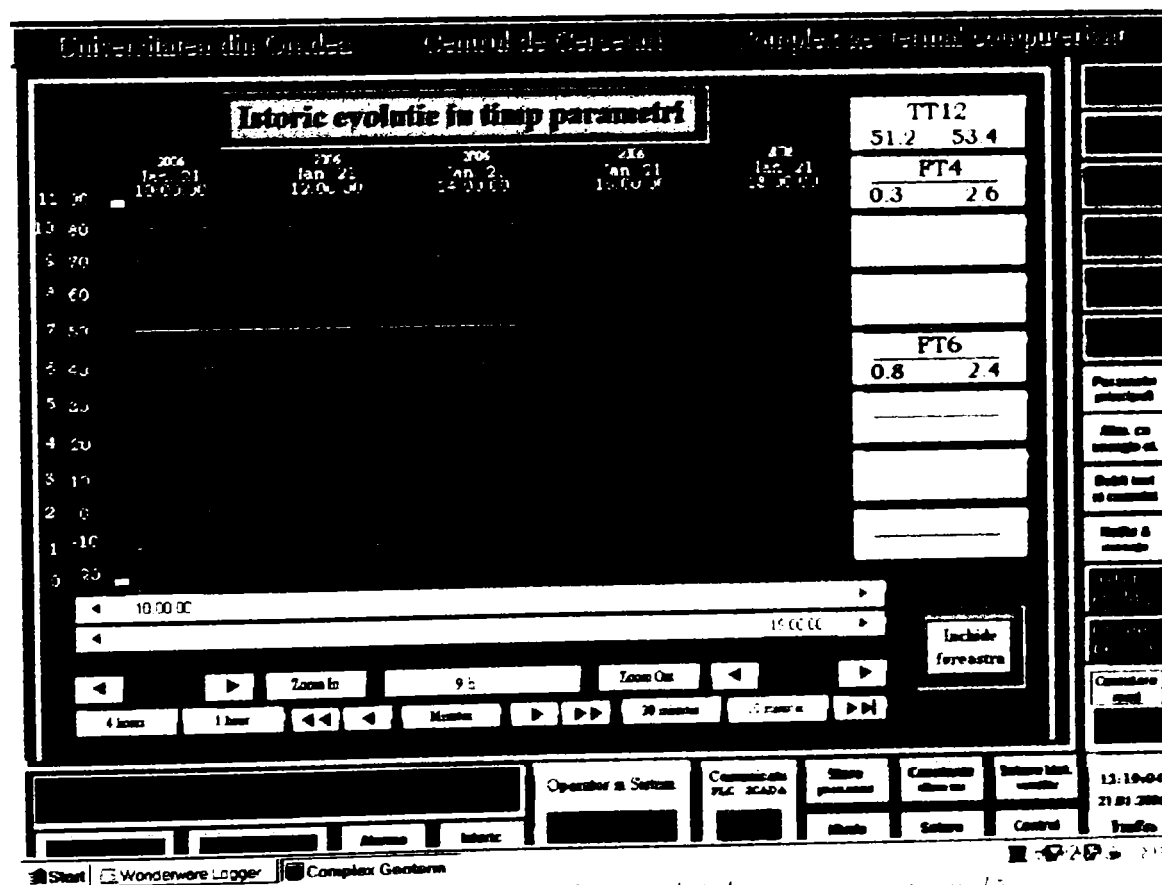


Figura 3.78. Histograma utilizatorului de energie geotermală Domestic Hot Water la data de 21.01.2006

În acest caz, între orele 10:00:00÷12:10:00, 12:40:00÷14:00:00, 14:08:00÷16:20:00, 16:25:00÷16:55:00 și 17:00:00÷19:00:00 debitul de apă caldă menajeră măsurat de traductorul de debit *FT4* este constant, atât debitul de apă geotermală cât și temperatura de ieșire a apei calde menajere sunt constante (ca urmare a defecției regulatorului RG8 și, implicit, a robinetului *CV5*). De asemenea, se observă că sistemul se stabilizează repede, cu oscilații foarte mici, la apariția perturbației (modificarea debitului de apă caldă menajeră). O altă observație care se impune este aceea că, în urma introducerii vasului tampon *VTacm* în circuit, sistemul nu reacționează imediat la variațiile de debit de apă caldă menajeră, apărând întâzieri de 30 de minute până la o oră și jumătate în reacția sistemului de reglare, funcție de mărimea variației debitului de apă caldă menajeră; în cazul în care variația debitului este mică și de scurtă durată sistemul de reglare nu reacționează (fluctuația de debit din perioada 16:20:00÷17:00:00).

CONCLUZII

Punctul termic de la Universitatea din Oradea este cel mai bine dotat punct termic geotermal din țară, având atât caracter de punct termic funcțional, cât și ca bază de cercetare și bază didactică, fiind dotat cu sisteme de monitorizare și de testare interactive. Punctul termic permite realizarea de experimentări de diverse complexități și obținerea de date complexe.

În urma testărilor efectuate se poate concluziona că, în ceea ce privește proiectarea constructiv-funcțională efectuată în lucrarea de față, aceasta a fost bine realizată, rezultatele comparative obținute în urma simulării și a experimentărilor, din punctul de vedere al schimbului de căldură și al dimensionării, sunt aproape identice, fapt ce validează analiza teoretică realizată în această lucrare.

Mai mult decât atât, în cazul punctului termic de la Universitatea din Oradea, consumul de apă geotermală pentru termoficare și prepararea apei calde menajere se ridică la aproximativ $160\div 165 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\cong 45 \text{ l/s}$); temperatura de ieșire a apei geotermale din punctul termic este de aproximativ 50°C . Se constată faptul că, în cazul în care temperatura de ieșire a apei geotermale scade la aproximativ 30°C , ar fi disponibilă o energie termică de $Q_{disp} = 3.200.000 \text{ kcal/h}$, energie termică care ar putea fi utilizată în cascadă pentru încălzirea construcțiilor folosind circuit secundar pentru încălzirea de pardoseală. Prin utilizarea în cascadă a energiei geotermale la Universitatea din Oradea, în scopul încălzirii spațiilor și a asigurării necesarului de apă caldă menajeră, valorificarea energetică a apei geotermale poate crește cu aproximativ 30%.

Punctul termic de la Universitatea din Oradea și sistemul de monitorizare, control și achiziție de date existent și care a constituit elementul de comparație și de testare a rezultatelor analizelor teoretice privind valorificarea căldurii de potențial redus din apele geotermale în cadrul punctelor termice, constituie un model tipic de aplicație, privind procesele de conducere cu ajutorul calculatorului a proceselor energetice. Etapele care au fost urmate sunt cele caracteristice procesului de dezvoltare a unei aplicații generale și anume:

- *analiza și specificarea cerințelor*—în cadrul căreia a fost elaborat un document informal care sistematizează cerințele sistemului în ansamblu;
- *controlul algoritmic*—în cadrul acestei etape s-au utilizat cu precădere tehnicile specifice ingineriei controlului automat, în special la dezvoltarea strategiei și apoi a algoritmilor de control. Practic, această etapă s-a concretizat în dezvoltarea modelelor informal și respectiv formal pentru sistemul în cauză, și anume:
 - *modelul informal*, care descrie sistemul într-o manieră ierarhizată, sub

formă de schemă bloc; ACSL/Graphic Modeller reprezintă mediul integrat cu ajutorul căruia s-a realizat acest model,

- *modelul formal*, care descrie sistemul sub forma unor ecuații matematice diferențiale neliniare; limbajul de simulare ACSL a fost utilizat pentru descrierea modelului și, în consecință, a fost posibilă validarea ulterioară a acestuia prin simulare;
- *proiectarea software/hardware*—în cadrul acestei etape s-a stabilit, pe baza rezultatelor obținute în procesul de simulare, care sunt modulele software care trebuie implementate, precum și modul de alocare a acestora pe procesoare; s-a analizat dacă structura hardware a sistemului existent corespunde noilor cerințe, principalul criteriu care a fost luat în considerare fiind cel al asigurării tuturor resurselor necesare. Concret, structura sistemului este constituită dintr-un controller programabil Allen Bradley pentru realizarea programului de control propriu zis, două calculatoare PC pentru realizarea interfeței cu utilizatorul precum și un modul DTAM Micro;
- *implementarea software-ului și testarea*—implementarea software-ului a fost realizată utilizând limbajul APS (Advanced Programming Software) pentru controller-ele programabile din gama Allen Bradley și Wonderware InTouch pentru proiectarea interfeței utilizator; principiul de bază l-a reprezentat minimizarea pe cât posibil a programului de control din PLC (și implicit obținerea unui timp de scanare mai mic) prin transferul tuturor procesărilor complementare către PC.

Trebuie precizat faptul că testarea a fost realizată într-o manieră dinamică, de-a lungul tuturor fazelor de dezvoltare a sistemului. Astfel, în fazele inițiale, testarea s-a realizat utilizând modelul simulat al procesului de controlat; abia în ultima fază (cea de implementare) testarea a fost realizată direct asupra procesului real.

CAPITOLUL 4. IMPLICAȚII TEHNICO–ECONOMICE ȘI ECOLOGICE

A. Aspecte economice

În continuare, se iau în considerație unele aspecte economico-financiare în vederea execuției punctului termic proiectat pentru asigurarea energiei termice necesare pentru încălzirea unor spații de locuit în suprafață desfășurată de 85.000m² (Volum construit V_{cl.tot}=220.000m³) și un necesar de apă caldă menajeră de 6l/s (21m³/h), folosind o resursă energetică neconvențională și anume, apa geotermală.

Parametrii principali ai punctului termic sunt:

- putere instalată de 8.600.000 kcal/h (10.000 kW_t);
- volumul total construit care trebuie încălzit: 220.000 m³;
- debitul de apă caldă menajeră 21 m³/h;
- cantitatea de căldură livrată anual pentru încălzirea spațiilor: 14.000Gcal (16.324.000kWh);
- cantitatea de căldură livrată anual pentru prepararea apei calde menajere: 9.200Gcal(10.727.200kWh);
- consumul anual de apă geotermală: 465.000 m³;
- temperatura tur/retur pentru apa geotermală: 85/35°C.

Utilizarea acestei tehnologii pentru obținerea de energie termică în zonele cu potențial geotermal din țară presupune, pe lângă aspectele tehnice prezentate în lucrare, și un studiu economic. De menționat că tehnologia se poate aplica și pentru surse de energie termică uzată din economie, dacă potențialul termic este apropiat de cel al sursei geotermale din prezenta lucrare.

În acest capitol se prezintă un calcul estimativ tehnico-economic pentru punctul termic proiectat. Acest calcul s-a efectuat ținând cont de următoarele ipoteze:

- se presupune că investiția se realizează fără împrumut de la bancă;
- apa geotermală extrasă se plătește firmei S.C. TRANSGEX S.A. la prețul de 41 RON/Gcal (conform deciziei nr. 353/15.05.2002, a Autorității Naționale de Reglementare în domeniul Energiei);
- prețurile sunt în lei corespunzător valorii lor din luna februarie 2006.

Scopul principal al acestui calcul este determinarea valorii investiției și a perioadei de amortizare a investiției.

Cu aceste considerații generale, se prezintă, în continuare, elementele principale de calcul economic pentru stabilirea valorii de folosință a unui produs.

Perioada de amortizare se calculează din relația:

$$P_{am} = V_{invest} / (V_{anual} - C_{anual})$$

unde:	P _{am}	=perioada de amortizare	[ani]
	V _{invest}	=valoarea investiției	[RON]
	V _{anual}	=venitul anual	[RON]
	C _{anuale}	=cheltuielile anuale	[RON]

Calculul valorii investiției V_{invest} , presupune determinarea următorilor parametri:

A. Costuri directe

- a) Evaluarea cheltuielilor materiale;
- b) Cheltuieli cu manopera;
- c) Alte cheltuieli directe, care cuprind:
 - valoarea proiectului;
 - amenajări, corectări;
 - probe.

Totalul costurilor directe se obține cu următoarea relație:

$$T_{Cost.dir.} = C_{Mat} + C_{Man} + A_{Chelt}$$

B. Costuri indirecte

- a) Regie
 - la S.A. cu capital majoritar de stat – 150-200%;
 - la societăți cu capital privat – 80-100%.
- b) Colaborări.

Totalul costurilor de producție se determină cu relația:

$$V_{Prod} = T_{Cost.dir} + R_{egie} + C_{olab.} + P_{profit}$$

Pentru determinarea eficienței unui produs din punct de vedere economic, se determină prețurile specifice, cum ar fi: lei/kg, lei/kW, lei/kWh, etc.

În funcție de parametrul de bază al produsului, pentru care au fost calculate prețurile specifice se realizează un studiu comparativ cu alte produse similare.

În cazul unei investiții, după determinarea valorii investiției se determină valoarea producției realizate/an, care reprezintă diferența dintre venitul anual și cheltuielile anuale.

a) Calculul valorii de investiție

Cheltuieli materiale

DENUMIRE	CANTITATE	PREȚ/BUCATĂ (RON)	PREȚ (RON)
Schimbător de căldură S41-IS10-171-TKTM99-LIQUII	4 buc.	24.500	98.000
Schimbător de căldură S47-IG10-102-TKTM71-LIQUII	1 buc.	15.300	15.300
Pompă de circulație Grundfos AM 135	11 buc.	4.000	44.000
Hidrofor Giacomini	2 buc.	3.500	7.000
Vas expansiune, 2m ³ , Giacomini	2 buc	1.200	2.400
Robinet de reglare electric	3 buc.	2.500	7.500
Robinet manual	30 buc.	500	1.500
Canalizație	1000 m		20.000
Aparate de măsură și control	–		40.000
Echipament de automatizare	–		50.000
Echipament electrotehnic	–		15.000
TOTAL			300.700

Manoperă montaj parte mecanică 100.000 RON
 Manoperă parte electrotehnică 60.000 RON
TOTAL manoperă 160.000 RON

Articole de calculație și elemente de calcul

Nr. Crt.	Denumire	Valoare (RON)
A.	Cheltuieli directe (1+2+3+4+5+6+7+8)	544.000
1.	Materii prime și materiale	300.700
2.	Manopera	160.000
3.	CAS (24,5% din pct. 2)	39.200
4.	Șomaj (5% din pct. 2)	8.000
5.	ASS (7,5% din pct. 2)	12.100
6.	Fond de risc (3% din pct. 2)	4.800
7.	Fond pentru învățământ (2% din pct. 2)	3.200
8.	Alte cheltuieli directe (valoare proiect 10% din pct. 2)	16.000
B.	Cheltuieli indirecte (9+10)	979.000
9.	Regie (180% din pct. A)	979.000
10.	Colaborări	0
C	Profit (30% din A+B)	457.000
11.	TOTAL (A+B+C)	1.980.000

Rezultă valoarea de investiție pentru punctului termic proiectat:

$$V_{invest} = 1.980.000 \text{ RON}$$

b) Calculul producției obținute și valorificarea ei

În conformitate cu parametrii constructivi–funcționali ai punctului termic, rezultă:

1. putere instalată de 8.600.000 kcal/h (10.000 kW_t),
2. volum total construit încălzit de 220.000 m³
3. debit de apă caldă menajeră de aproximativ 21 m³/h.

Ca urmare, rezultă:

- cantitatea de căldură livrată anual pentru încălzirea spațiilor: 14.000 Gcal;
- cantitatea de căldură livrată anual pentru prepararea apei calde menajere: 9.200Gcal (185.000 m³ apă caldă menajeră);
- consumul anual de apă geotermală: 465.000 m³;
- temperatura tur/retur pentru apa geotermală: 85/35°C.

Punctul termic consumă 465.000 m³/an apă geotermală având temperatura de 85°C. Temperatura de referință pentru calculul de energie consumată este de 40°C; aceasta reprezintă un consum de 21.000 Gcal/an energie termică. Consumul intern de energie electrică se estimează la 40.000 kWh_e într-un an.

Cunoscând prețurile practicate, respectiv:

- 90,34 RON/Gcal pentru agentul termic de termoficare,
- 8,49 RON/m³ pentru apa caldă menajeră,
- 41 RON/Gcal pentru apa geotermală,
- 3,11 RON/m³ pentru apa potabilă,
- 4,40 RON/kWh pentru energia electrică.

se obține, pentru investiția avută în calcul, respectiv asigurarea confortului termic și a apei calde menajere, următoarele valori:

venitul anual (valoarea producției realizate):

$$V_{\text{anual}} = 14.000 \cdot 90,34 + 185.000 \cdot 8,49 \cong 2.835.000 \text{ RON}$$

cheltuielile anuale (valoarea consumurilor proprii):

$$C_{\text{anuale}} = 21.000 \cdot 41 + 40.000 \cdot 4,40 + 185.000 \cdot 3,11 \cong 1.600.000 \text{ RON}$$

valoarea producției efectiv realizate:

$$V_{\text{prod}} = V_{\text{anual}} - C_{\text{anuale}} = 2.835.000 - 1.600.000 = 1.235.000 \text{ RON}$$

c) Calculul perioadei de amortizare a investiției

Perioada de amortizare a investiției se calculează ca raport între valoarea investiției și valoarea producției efectiv realizate:

$$T_{\text{amortiz}} = \frac{V_{\text{invest}}}{V_{\text{prod}}} = \frac{1.980.000}{1.235.000} = 1,6 \text{ ani}$$

Rezultă că investiția se amortizează în 1,6 ani.

d) Concluzii

Deși investiția este relativ mare (1.980.000RON), perioada de amortizare este redusă (1 an și 7 luni). Se menționează, de asemenea faptul că în calculul economic de utilizare a apei geotermale intervin și alți utilizatori. Obținerea de energie termică este doar o utilizare, pentru nivelul mediu de temperatură. După utilizarea în punctul termic, apa geotermală poate fi folosită și în alte scopuri, în acest fel eficiența economică crescând considerabil. Trebuie ținut cont că aplicarea tehnologiei de utilizare în cascadă a energiei apei geotermale în puncte termice nu a mai fost realizată până în prezent în România, constatându-se o eficiență economică ridicată prin costurile relativ scăzute pe care le incumbă. De asemenea, tehnologia

poate fi aplicată și pentru alte surse de căldură cu potențial termic apropiat de cel în discuție, de exemplu căldura reziduală rezultată din diverse procese tehnologice.

Ca avantaje economice se poate menționa faptul că energia geotermală este disponibilă pe toată perioada anului, continuu și constant, spre deosebire de alte surse de energie care depind de condițiile meteorologice (ex. energia solară, energia eoliană) sau de aprovizionarea cu combustibil (centralele clasice). Deși dificil de cuantificat economic, nu trebuie neglijat impactul tehnologic generat de implementarea, exploatarea și întreținerea unui punct termic geotermal, care se include în domeniul mai vast la întreținerea și exploatarea ansamblului de instalații care pun în valoare energia geotermală.

Un aspect important este economia de combustibil fosil prin utilizarea apei geotermale. Pentru determinarea economiei de combustibil, se consideră 1 kg de combustibil convențional cu puterea calorică inferioară $H_{i,cc}=29.400$ kJ/kg. Prin ardere se degajă cantitatea de căldură de 29.400 kJ. Pentru un randament de conversie a căldurii rezultate din arderea combustibilului convențional în energie termică de 60%, se obține energia termică de $29.400 \times 0,6 = 17.640$ kJ (4,90 kWh_t). Pentru punctul termic analizat, energia termică produsă anual este de 23.200 Gcal (26.000.000 kWh_t). Aceeași cantitate de energie s-ar obține prin arderea a $26.000.000 / 4,9 = 53.000.000$ kg combustibil convențional.

Deci, economia anuală de combustibil este de 53.000 tone combustibil convențional (cu puterea calorică inferioară $H_{i,cc}=29.400$ kJ/kg). Această cantitate este echivalentă cu 37.000 tone echivalent petrol ($H_{i,ep}=42.200$ kJ/kg) și 185.500 tone lignit ($H_{i,lignit}=8.400$ kJ/kg).

B. Aspecte legate de protecția mediului

Până acum 20–30 de ani, majoritatea obiectivelor industriale erau apreciate doar sub aspectul eficienței economice. Datorită dezvoltării industriale intense, activitatea umană a influențat din ce în ce mai mult mediul înconjurător, în ultimul timp observându-se din ce în ce mai multe efecte negative la nivel global. Din acest motiv, în ultimii ani s-a pus un accent din ce în ce mai mare pe impactul ecologic al activităților umane.

În prezent, în majoritatea programelor de cercetare mondiale apar prioritar aspecte legate de protecția mediului înconjurător. Această tendință, precum și criza petrolului din anii 70, au determinat o reevaluare drastică a surselor de energie. În acest context, sursele noi de energie au început să aibă o importanță din ce în ce mai mare. Deși potențialul energetic al acestor surse noi de energie este imens, tehnologia actuală și eficiența economică nu permit înlocuirea surselor clasice de energie ci doar completarea lor.

Din punct de vedere ecologic, energia geotermală ocupă un loc favorabil în comparație cu cele mai multe surse de energie utilizate în prezent:

- emisiile poluante în atmosferă sunt nesemnificative pentru majoritatea zonelor geotermale din lume; totuși, unele ape geotermale de înaltă entalpie conțin substanțe nocive, de exemplu hidrogen sulfurat H_2S , oxizi de sulf sau bioxid de carbon (emanat în atmosferă, contribuie la efectul global de seră);
- poluarea fonică este redusă, chiar nulă în cazul zăcămintelor de joasă entalpie;
- poluarea termică și chimică poate fi redusă, chiar anulată prin reinjectarea apei uzate termic;
- poluarea estetică a peisajului este mult mai redusă decât în cazul utilizării altor surse de energie;
- instalațiile folosite în utilizarea energiei geotermale nu prezintă nici un risc pentru zona înconjurătoare.

Compoziția apei geotermale din acviferul geotermal Oradea–Felix–1Mai, comparativ cu recomandările UE pentru valorile maxim admise pentru apa potabilă, este prezentată în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Compoziția apei geotermale din acviferul geotermal Oradea–Felix–1Mai comparativ cu valorile maxim admise pentru apa potabilă

	Apa geotermală din acviferul geotermal Oradea–Felix–1Mai	Valorile maxim admise pentru apa potabilă (recomandările UE)
Temperatura [$^{\circ}C$]	85	25
pH	6	9,5
Compoziție [ppm]		
Total solide dizolvate (TSD)	1200	1.500
Calciu (Ca)	230,7	-
Magneziu (Mg)	42,4	50
Potasiu (K)	5	12
Sodiu (Na)	20	150
Clor (Cl)	70,9	200
Fluor (F)	-	1,5
Hidrogen sulfurat (H_2S)	-	0,2
Bioxid de carbon (CO_2)	157	neagresiv
Aluminiu (Al)	-	0,2
Arsenic (As)	-	0,05
Bor (B)	-	-

Comparând valorile din tabel, rezultă că apa geotermală are compoziția foarte apropiată de cea a apei potabile. Ca urmare, cu excepția bioxidului de carbon, apa geotermală nu este poluantă pentru mediul înconjurător. Deversarea apei geotermale în pârâul din apropiere sau în canalizația orașului (până la reinjectarea ei în zăcământ) nu va produce efecte poluante.

Din punct de vedere ecologic, utilizarea energiei geotermale în scopul asigurării de energie termică pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde menajere este mai avantajoasă decât utilizarea altor surse energetice. Acest fapt rezultă din analiza comparativă cu alte surse, privind emisiile poluante, poluarea termică și chimică, poluarea fonică, poluarea estetică a peisajului.

Pentru compararea emisiilor poluante din apa geotermală cu emisiile în atmosferă generate de arderea combustibililor folosiți în centralele convenționale, s-a analizat compoziția emisiilor în cazul utilizării apei geotermale și a cărbunelui pentru obținerea aceleiași cantități de energie termică. Pentru punctul termic analizat, așa cum s-a menționat anterior, producția anuală de energie termică este de 23.200 Gcal (26.000 MWh_t). Pentru obținerea aceleiași energii electrice într-o centrală clasică, este nevoie de arderea unei cantități de 185.500 tone lignit cu puterea calorică inferioară $H_i=8.400$ kJ/kg. Calculul arderii s-a făcut în ipoteza unei combustii complete. Cantitatea de apă geotermală utilizată anual este de 465.000 tone. La o concentrație a bioxidului de carbon de 157 ppm (părți pe milion), rezultă cantitatea de 73 tone CO₂ emanată anual în atmosferă. Cantitatea de emisii poluante în cele două variante este prezentată în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Emisiile poluante (în tone) generate de utilizarea apei geotermale și a cărbunelui pentru obținerea energiei termice de 26.000 MWh_t

	CO ₂	SO ₂	NO _x	Particule solide
Arderea cărbunelui	5	10	12	2
Apa geotermală	73	-	-	-

Rezultatele arată că apa geotermală, deși nu poluează atmosfera cu gaze toxice, elimină în aer o cantitate destul de mare de bioxid de carbon, responsabil de efectul global de seră. Acest neajuns poate fi înlăturat prin evitarea contactului apei geotermale cu aerul atmosferic și reinjectarea apei geotermale uzate termic în zăcământ.

Referitor la poluarea termică, dacă apa geotermală reziduală este deversată în râuri, lacuri sau chiar pânze freatice de mică adâncime, poate afecta mediul biologic local și în final întregul ecosistem. Acest fenomen poate fi evitat prin utilizarea apei geotermale în cascadă, pe nivele de temperaturi până aproape de nivelul de temperatură al mediului de deversare. Fenomenul mai poate fi evitat prin răcirea apei geotermale reziduale, înainte de deversare, în bazine de răcire sau prin reinjecția acesteia în zăcământ.

În concluzie, din punct de vedere ecologic, utilizarea energiei termice a apei geotermale pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde menajere este mai avantajoasă decât utilizarea altor surse energetice, în special metoda clasică de utilizare a combustibililor fosili. Cu excepția emanațiilor posibile de bioxid de carbon în atmosferă, dar care, așa cum s-a menționat anterior, pot fi evitate, utilizarea apei geotermale nu are efect poluant asupra mediului înconjurător.

Constituindu-se ca o încununare a activității de cercetare în domeniul geotermalismului a ing. Dan Gomboș, teza de doctorat cu titlul “STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA CĂLDURII DE POTENȚIAL REDUS DIN APELE GEOTERMALE” constituie un aport substanțial adus de către autor la clarificarea și optimizarea problemelor legate de proiectarea și conducerea sistemelor de utilizare în cascadă a energiei geotermale în cadrul punctelor termice, având caracter de pionierat în domeniul cercetărilor de acest tip din țară și nu numai.

Dacă **primele două capitole au rolul de documentare**, pentru a clarifica aspectele privind geneza energiei geotermale și posibilitățile acesteia de utilizare, **capitolul 3 prezintă contribuțiile personale** ale doctorandului, care a reușit să pună la punct un sistem complet și omogen în ceea ce privește proiectarea și conducerea punctelor termice care utilizează în cascadă energia geotermală. Punem accentul asupra utilizării în cascadă a energiei apelor geotermale în cadrul punctelor termice deoarece, în prezenta teză de doctorat se urmărește realizarea unui punct termic care utilizează în cascadă energia geotermală. Acest caracter de noutate a ridicat probleme deosebite legate de echilibrarea și optimizarea schimburilor de căldură pentru utilizatorii în cascadă a energiei geotermale precum și automatizarea proceselor din instalație, probleme care au fost rezolvate de autor. Trebuie menționat că, prin utilizarea în cascadă a energiei geotermale se realizează o economie de resursă energetică de aproximativ 30%. **Capitolul 4 prezintă o analiză economică** privind efortul financiar și timpul de amortizare a investiției în situația în care se aplică soluția de utilizare în cascadă a energiei geotermale la punctul termic, rezultând o valoare a investiției de aproximativ 1.980.000RON cu posibilitatea de amortizare în aproximativ un an și șapte luni; de asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate și unele implicații benefice legate de protecția mediului în urma utilizării energiei geotermale ca sursă energetică pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde menajere.

În urma testărilor efectuate se poate concluziona că, în ceea ce privește proiectarea constructiv-funcțională efectuată în lucrarea de față, aceasta a fost bine realizată, rezultatele comparative obținute în urma calculelor teoretice și a simulării față de cele obținute în urma experimentărilor, din punctul de vedere al schimbului de căldură și al dimensionării, sunt aproape identice, fapt ce validează analiza teoretică realizată în această lucrare.

Punctul termic de la Universitatea din Oradea (având atât caracter de punct termic funcțional, cât și ca bază de cercetare și bază didactică, fiind dotat cu sisteme de monitorizare și de testare interactive) și sistemul de monitorizare, control și achiziție de date existent, care a constituit **baza experimentală** pentru validarea variantelor propuse și analizate de autor în prezenta teză de doctorat, reprezintă un model tipic de aplicație, privind procesele de conducere cu ajutorul calculatorului a proceselor energetice.

Trebuie precizat faptul că testarea variantelor propuse și analizate de autor a fost realizată într-o manieră dinamică, de-a lungul tuturor fazelor de dezvoltare a sistemului. Astfel, în fazele inițiale, testarea s-a realizat utilizând modelul simulat al procesului de controlat; abia în ultima fază (cea de implementare) testarea a fost realizată direct asupra procesului real.

În prezenta lucrare, care își propune să contribuie la elucidarea unor probleme specifice transferului de căldură și conducerii punctelor termice care utilizează energia apei

geotermale, s-au folosit medii software adecvate cerințelor controlului automat al proceselor industriale, însă combinația utilizată în acest caz (*ACSL/Graphic Modeller, Wonderware InTouch, APS*) reprezintă o variantă propusă și care a fost utilizată în acest caz concret, nicidecum o obligativitate. Ea ilustrează însă modul în care astfel de unelte software pot fi combinate în scopul dezvoltării de aplicații software timp real.

Ca rezultat remarcabil al acestei lucrări trebuie specificat faptul că, în urma analizelor teoretice efectuate pentru un caz oarecare și a analizelor efectuate pe un sistem funcțional similar, a fost posibilă optimizarea strategiei de automatizare a punctului termic existent și, implicit, a funcționării acestuia.

Contribuții personale

Din analiza materialului rezultă următoarele contribuții personale ale autorului:

- realizarea unei documentări actualizate în ceea ce privește cercetarea în domeniul geotermalismului și a sistemelor de încălzire și prepararea apei calde menajere utilizând energia geotermală;
- definitivarea unei metodologii unitare de proiectare a punctelor termice geotermale;
- echilibrarea și optimizarea schimbului de căldură pentru utilizatorii în cascadă a energiei geotermale în cadrul punctelor termice;
- elaborarea modelului matematic pentru punctele termice, model care ia în considerare atât procesele de schimb de căldură, cât și pe cele hidraulice;
- adaptarea programului de simulare a funcționării punctului termic folosind limbajul de simulare ACSL, program care a permis alegerea variantei optime de strategie de conducere pentru punctul termic;
- realizarea proiectului unui punct termic care utilizează în cascadă energia geotermală;
- implementarea pe automatul programabil a noii strategii de conducere, implementare cu rezultate deosebite în funcționarea punctului termic de la Universitatea din Oradea;
- se efectuează un studiu de detaliu, inclusiv a evaluării numerice pentru impactul tehnico-economic la utilizarea căldurii de potențial redus al apelor geotermale și se evaluează poluarea mediului determinată de înlocuirea combustibililor fosili cu această resursă energetică neconvențională;
- optimizarea funcționării punctului termic geotermal de la Universitatea din Oradea prin raționalizarea proceselor de transfer de căldură și modificarea strategiei de automatizare;
- bibliografia este recentă, iar autorul a publicat lucrări proprii anterioare în domeniu.
- elaborarea unei lucrări de referință în ceea ce privește posibilitățile de utilizare a energiei geotermale în punctele termice.

Toate modelele matematice, strategiile de automatizare și programele de simulare folosite sunt adaptate inspirat la scopul propus.

Totodată, este necesar să se sublinieze faptul că toate concluziile din subcapitolul 3.4. al lucrării au la bază rezultate cantitative, pe când cele întâlnite în lucrările publicate în revistele de specialitate, până în prezent, au ca suport doar demonstrații calitative.

Impunerea energiei geotermale ca alternativă viabilă la combustibilii fosili, precum și avantajele pe care această formă de energie neconvențională le are față de alte resurse energetice, a determinat alocarea de resurse financiare considerabile pe plan mondial pentru cercetările întreprinse în domeniul geotermalismului.

În ceea ce privește utilizarea energiei geotermale, un loc aparte îl constituie cercetările care au ca scop asigurarea confortului termic în spații închise folosind această formă de energie. Lucrarea de față prezintă varianta optimă la care a ajuns autorul în urma analizei posibilităților de utilizare în cascadă a energiei geotermale în cadrul unui punct termic.

Așa cum reiese din lucrare, nu sunt epuizate toate posibilitățile de valorificare a energiei geotermale în cadrul unui punct termic, cercetările putând continua cu succes prin abordarea variantelor de încălzire cu aer cald sau prin utilizarea pompelor de căldură.

După cum s-a arătat anterior, teza de doctorat prezintă rezultatele activității de cercetare a autorului, care nu are pretenția de a fi epuizat toate aspectele legate de utilizarea apei geotermale ca agent termic în punctele termice și sugerează continuarea cercetărilor pentru obținerea de noi variante și soluții ale problemei analizate în teză.

BIBLIOGRAFIE

1. [Ant.'00] Antal C.ș.a.: Utilizarea energiei geotermale. Conversia energiei geotermale în energie electrică, Editura Universității din Oradea, 2000.
2. [Ari. '98] Ariki K., Hatakeyama K.: Effects of injection temperature on the injectivity of a geothermal well, GRC Transactions San Diego 1998.
3. [Astr.'84] Astrom K.J., Wittenmark B.: *Computer Controlled Systems. Theory and Design*, Prentice Hall, 1984
4. [Ban.'02] Banu C.: Manualul inginerului de industrie alimentară, vol. I, II, Editura Tehnică, București, 2002.
5. [Benn.'94] Bennet S. : *Real Time Computer Control*, Prentice Hall, 1994
6. [Berb.'88] Berbeleac I.: Zăcămintele minerale și tectonica globală. Editura Tehnică, București. 1988.
7. [Blea.'83] Bleahu M.: Tectonica globală, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1983, vol. I.
8. [Bli. '95] Bliem C.J.: Computer-aided value analysis for small low temperature binary systems, Final Report for NREL, december 1996.
9. [Boy.'93] Boyer Stuart: *SCADA Supervisory Control and Data Acquisition*, Instrument Society of America, 1993.
10. [Bro. '98] Brown B.W., Mines G.L.: Flowsheet simulation of some different cycles, GRC Transactions, San Diego 1998.
11. [Bru.'88] Brue E. H. Winthrop D. M. Paul F. W.: Principii de geologie structurală, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1988.
12. [Bru. '96] Brugman J., Hattar M., Nichols K., Esaki Y.: Next generation geothermal power plants, CE Holt Company, february 1996.
13. [Cam. '91] Campbell R.G., Mai M. Hattar: Design and operation of a geopressured-geothermal hybrid cycle power plant, DOE Contract no.DE-AC07, Ben Holt Company, Pasadena 1991.
14. [Coh.'00] Cohut, I., Bendea C.: Romania update report for 1995-1999. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kiushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000.
15. [Cris.'90] Crispin Allen: *Programmable Logical Controllers and Their Engineering Applications*, McGraw Hill, 1990
16. [Dick.1' 90] Dickson M.H. Fanelli M.: Small Geothermal Resources—a Guide to Development and Utilization, Rome, 1990.
17. [Dick.2' 90] Dickson, M.H., Fanelli, M. (Editors): Small geothermal resources. A guide to development and utilisation, UNITAR/UNDP, Roma. 1990.
18. [Dip.1'87] DiPippo R.: A combined geothermal power-plant and heating-plant, Geothermal Hot Line, vol. 17, 1987.
19. [Dip.2'87] DiPippo R.: Exergy analysis of combined electricity and direct-heat geothermal flash-steam plants, GRC Transactions 1987, vol. 11.
20. [Dip.'97] DiPippo R.: High-efficiency geothermal plants designs, GRC Transactions Burlingame 1997, vol. 21.
21. [Edg.'88] Edgar W.S.: Introduction to the Structure of the Earth, Me. Graw-Hil Book Company, third edition, 1988.
22. [Fon. '87] Fontana J., Reams W., Chang H.: Potential polymer concrete heat exchangertubes for corrosion environments, Staynes B. Editor, Brighton Polytechnic 1987.

23. [For. '98] Forsha M.D., Nichols K.E.: High performance turbocompressor for non-condensable gas removal at geothermal power plants, GRC Transactions, San Diego 1998.
24. [Fridl.'01] Fridleifsson B., Geothermal energy for the benefit of the people, European Summer School on Geothermal Energy Applications, Oradea, 2001
25. [Gab.'96] Gabor G.: *Considerations Regarding Programable Logical Controllers*, Proceedings of ECI'96, Kosice-Herlany, 1996
26. [Gaw. '98] Gawlik K., Sugama T., Webster R., Reams W.: Field testing of heat exchanger tube coatings, GRC Transactions, San Diego 1998.
27. [Geo. '94] ***: Tapping the Earth's natural heat, U.S. Geological Survey Circular 1125, 1994.
28. [Gom. 1'04] D. Gomboş, Liliana Indrie, A. Setel *Predrying (drying) rooms for renewable wooden material which uses geothermal water as a fuel*, Proceedings – The Fifth International world energy system. Conference, A reliable world energy system. Canadian institute world energy system, Toronto, Canada. Faculty of Energy Engineering, Session III, Renewable Resources and New Technologies. May 17-19, 2004, University of Oradea, vol. II. ISSN 1198-0729, pp240-242, 2004
29. [Gom. 2'04] D. Gomboş, M. Gordan, D. Bococi, *Contribution to the house heating control-application of LabVIEW*, RSEE'2004 - 5'th International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro-Technologies. Analele Universităţii din Oradea, Fascicola Electrotehnică, Session A2, Environmental Technologies. May 27-29, 2004, Stana de Vale-Spa. ISSN-1223-2106, pp 114-117, 2004
30. [Gom. 1'02] D. Gomboş, M. Gordan, D. Bococi, *Geothermal Measurement Errors*, RSEE'2002 - 4'th International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro-Technologies. Analele Universităţii din Oradea, Fascicola Electrotehnică, Secţiunea Electronică. June 06-09, 2002, Oradea. ISSN 1454-9239, pp.65-69, 2002
31. [Gom. 2'02] D. Gomboş, C. Bendea, *Exploatarea căldurii din minerale abandonate folosind pompele de căldură*, CIE 2002. Analele Universităţii din Oradea. Conferinţa de Inginerie Energetică. Fascicola de Energetică, Nr. 8, Vol. I. Secţiunea 1. Tehnologii moderne de generare a energiei electrice şi termice. ISSN 1224-1261, pp58-63, 2002
32. [Gom. '01] D. Gomboş, C. Bendea, *Studiu privind posibilitatea utilizării în Judeţul Bihor, a sistemelor ce folosesc pompe de căldură subterane*, Sesiunea Anuală de Comunicări Ştiinţifice - SACS 2001. Analele Universităţii din Oradea, Fascicola de Energetică, Vol II. Secţiunea III, Termoenergetică. ISSN 1224-1261, pp287-292, 2001
33. [Gor.2 '95] Gordan M.: Referat nr.1 în cadrul pregătirii pentru doctorat, Oradea, 1995.
34. [Gor. Mag. '98] Gordan M., Maghiar T.: Geothermal power production and heating system at the University of Oradea, GRC Transactions, San Diego 1998, p. 11-14.
35. [Gor.2 '98] Gordan M.: Comparison between the efficiencies of some different types of geothermal plants, Electro-Energetiká Stará-Lesná, Slovakia 1998, p. 71-74.
36. [Gor.1 '99] Gordan M.: A model for the trilateral cycle, EMES'99, mai Oradea, 1999, p. 57-61.
37. [Gor.2 '99] Gordan M.: The characteristics of the working fluids used in the trilateral cycle, EMES'99, Oradea, mai 1999, p. 62-66.
38. [Grah.1 '92] ***: Steam surface condensers, Graham Bulletin, P-86-2, USA 1992.
39. [Grah.3 '92] ***: Heliflow heat exchangers, Graham Bulletin, P-86-2, USA 1992.
40. [Gre. '89] Green M., Pines H.: Calculation of geothermal power plant using the program GEOTHM, GRC Transactions, USA 1989.
41. [Harr.'93] Harrisom, R., Mortimer, N.D. and Smarason, O.B.: Geothermal Heating: A handbook of engineering economics. Pergamon Press, Oxford, U.K.; Karlsson, Th. (1993): Low temperature geothermal energy utilisation, U.N.U. Geothermal Training Programme, lecture notes, Reykjavik, Iceland, 1993.

42. [Hays.'91] Hays L.: Prefeasibility study og generation of power from unused geothermal in Philippines, Douglas Energy Co., Report to USAID, Placentia CA. 1991.
43. [Hutt.'01] Hutter G.W. The status of world geothermal power generation 1995-2000, *Geotermice*30,1-27,2001
44. [IEC.'93] International Standard IEC 1131: *Programmable Controllers-Par3: Programmin*, 1993
45. [Jam. '91] James R.: The applications of the binary cycle, Department of Scientific and Industrial Research Report, New Zealand, 1991.
46. [Kih. '90] Kihara D.H., Fukunaga P.S.: Working fluid selection and preliminary heat exchanger design for a Rankine cycle geothermal power plant, Earth Power Corporation Report, USA 1990.
47. [Kut. '90] Kutateladze S.S., Moskvicheva V.N., Petin Y.M.: Aplicații ale purtătorilor de energie termică de temperatură scăzută pentru utilizarea ca sursă de energie secundară în industrie, Institutul de termo-fizică al Departamentului Siberian al Academiei de Științe Novosibirsk, 1990.
48. [Laz.'80] Lăzărescu V.: *Geologie fizică*, Editura Tehnică, București, 1980.
49. [Lund.'01] Lund J.W. and Freeston D.H., World-wide direct uses of geothermal energy 2000, *Geotermice* 30, 29-68, 2001
50. [Lund.'05] Lund John W. et..., *World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005* Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
51. [Magh.'95] Maghiar, T.: Surse noi de energie, Editura Universității din Oradea, 1995.
52. [Magh.1'96] Maghiar T., Leuca T., Gavriș M., Antal C.: Considerații privind strategia de operare pentru sistemul geotermal de la Universitatea din Oradea, *Analele Universității din Oradea, Fascicola Electrotehnică*, Oradea 1996.
53. [Mag.2'96] Maghiar T., Zmaranda D., Gabor G.: Considerații privind programarea sistemului SCADA utilizat în centrala geotermală din cadrul Universității din Oradea, *Analele Universității din Oradea, Fascicola Electrotehnică*, Oradea 1996.
54. [Mag. '98] Maghiar T., Antal C., Gabor G., Gavrilesu O., Almășan I.: The geothermal system from the University of Oradea - a new strategy simulation for the heat station, *Analele Universității din Oradea, Fascicola Electrotehnică*, Oradea 1998.
55. [McC. '94] McClure H.K.: Utilisation of geothermal resources for electric generation, EPRI Report 3657-03, december 1994.
56. [Min. '96] ***: Raport al Ministerului Federal pentru Cercetare și Tehnologie, 77/98, aug. 1996, Bonn.
57. [M.I.T.'86] ***: Manualul inginerului termotehnician, vol I, II, III. Editura Tehnică, București, 1986.
58. [Mos. '98] Moscatelli G., Sormani G.: A new generation of low cost high performance steam turbines for geothermal applications, GRCTranactions, San Diego 1998.
59. [Muff.'78] Muffler,L.J.P., Cataldi,R.: Methods for regional assessmentof geothermal resources: *Geothermics*, vol.7,No.2-4, Pergamon Press, Oxford, U.K, 1978.
60. [Nag. '96]: Nagi M.: Transmiterea căldurii și dinamica gazelor, Litografia I.P. Timișoara, 1996.
61. [Nag. '96]: Nagi M.: Schimbătoare de căldură din aluminiu, Editura Mitron, Timișoara, 1997.
62. [Nas.'91] ***: Modern vacuum pumps with basic improvements, Nash Kinema, Bulletin No.793-B, USA 1991.
63. [Nat. '92] ***: Natural gas hybrid power plants for geothermal and biomass resources. The Ben Holt Company, Pasadena, dec.1992.
64. [Negr.'87] Negrea V.D.: Bazele cercetării experimentale a mașinilor termice, Litografia I.P."Traian Vuia" Timișoara, 1987

65. [Negr.'00] Negrea V.D., Sandu V.: *Combaterea poluării mediului în transporturile rutiere*, Editura Tehnică, București, 2000
66. [Negr.1'06] Negrea D.V., Gombos D.: *Analysis of the Prospects of the Heating Point at the University Of Oradea*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological Engineering, CD-ROM Edition, Volume V (XV), ISSN 1583-0691, 2006.
67. [Negr.2'06] Negrea D.V., Gombos D.: *Economic Aspects Concerning The Heating Point at The University Of Oradea*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological Engineering, CD-ROM Edition, Volume V (XV), ISSN 1583-0691, 2006.
68. [Nex. '96] ***: *Next generation geothermal power plants*, CE Holt Company, Pasadena. Report EPRI TR-106223, feb.1996.
69. [Par. '98] Partin J.K., Jeffrey C.L.: *Investigation of near-infrared diode laser spectroscopy for H₂S monitoring in geothermal plants*, GRCTranactions, San Diego 1998.
70. [ParrE.A.'95] Parr E.A.: *Programmable Controllers. An engineer's Guide*, Newnws, an imprint of Butterworth-Heinemann, 1995
71. [Popv.1'98] Popovski K. Barros L.A.: *Economy of integrated geothermal Projects*, International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, Skopje-Macedonia, 1998, Course Text-book.
72. [Popv.2'98] Popovski K., Rodrigues A.C.: *Heating greenhouses with geothermal energy*, 1998.
73. [Popovska.'00] Sanja Popovska: *Geothermal energy direct application in industry in Europa*. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kiushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000.
74. [Pre. '98] Premuzic E.T., Lin M.S., Bohenek M., Joshi-Tope G., Zhan W., Shelenkova L., Wilke R.: *Biochemical process for geothermal brine treatment*, GRC Transactions, San Diego 1998.
75. [Ram. '96] Ramshaw D.E.: *Case studies and design considerations for H₂ abatement systems for geothermal NCG*, GRC Transactions, Portland 1997.
76. [Rock.'94/1]: Rockwell Automation: *SLC Family of Small Programmable Controllers. System Overview*, 1994.
77. [Rock.'94/2]: Rockwell Automation: *Advanced Programming Software (APS). User manual*, 1994
78. [Rock.'94/3]: Rockwell Automation: *Advanced Programming Software (APS). Reference manual*, 1994.
79. [Rock.'95]: Rockwell Automation: *Allen Bradley Automation Systems*, 1995.
80. [RoddM.C.'89] Rodd M.C., Deravi F.: *Communication Systems for Industrial Control*, Prentice Hall, 1989
81. [Romst.'2006] Romstal. Catalog module. Edi'ia VII – 2006.
82. [Ros.'99] Roșca, M.: *Geotermalism și centrale geotermale*, Editura Universității din Oradea, 1999.
83. [Ros.'00] Roșca, M.: *Transferul de căldură în sondele geotermale*, 2000, București, Matrix Rom.
84. [Ros.'05] Roșca M.: *Geothermal Energy in Romania: Country Update 2000-2004*, Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
85. [Shi. '98] Shirmohamadi M., Ridgely J., Bloomfield K.: *Simulating and monitoring of stress corrosion cracking under geothermal steam*, GRC Transactions, San Diego 1998.
86. [Smi. '94] Smith J.K., Pitanga Marques da Silva: *A development of the trilateral flash cycle system, part 2: Increasing power output with working fluids*, Proc. Inst. Mech. Engr. 1994.

87. [SREE. '2005] Societatea Română pentru Eficiență Energetică: *Indrumar pentru eficiența energetică a clădirilor*, Proiect finanțat PHARE, București, 2005
88. [Store.'96] Storey N.: *Safety-Critical Computer Systems*, Addison Wesley Longman, England, 1996
89. [Tak. '98] Takacs G., Bobok E., Turzo Z.: Pressure distribution in geothermal wells producing low amounts of gas, GRC Transactions, San Diego 1998.
90. [Tec. '93] ***: Technical assesment guide. Electric Power Research Institute, Palo Alto, june 1993.
91. [Tia. '95] Tiangco V., Hare R., Birkinshaw K., Joannis M.: Emission factors of geothermal power plants, GRC Transactions, USA 1995.
92. [Tih. '98] Tihanyi L., Bobok E.: A new way of heat recovery: CO₂ as a geothermal fluid, GRC Transactions, San Diego 1998.
93. [Tom. '94] Tomita M., Saito S., Suzuki T.: Recently developed geothermal power plants in Japan, GRC Transactions, USA 1994.
94. [Ung. '90] Ungemach P.: Electric power generation, GRC Transactions, USA 1990.
95. [U.S.1'97] ***: Energy conversion cycles, U.S.Department of Energy Report, DOE/EE-0040, USA 1997.
96. [U.S.2'97] ***: Small geothermal generators, U.S.Department of Energy Report, DOE/EE - 0040, USA 1997.
97. [U.S. '98] ***: Equipment and services for worldwide applications, U.S.Department of Energy Report, DOE/GE - 1070, USA 1998.
98. [Vin.'93] Vincoli J.W.: *Basic Guide to System Safety*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993
99. [***.'86] ***: *Manualul inginerului termotehnician*, vol. I, II, III, Editura tehnică. București, 1986.
100. [***.'96] ***: *EUROTHERM DRIVES CATALOGUE*, 1996.
101. [***.'06] ***: catalog Sondex A/S PVV, 2006
102. *** *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de încălzire centrală*, Editat de ARTECNO, București, 1999.
103. *** *Romstal România*, Catalog 2001.
104. *** *Schmidt-Breten România*, Catalog 2006.
105. [[www.danfoss](http://www.danfoss.com/)] [http://www.danfoss.com/...](http://www.danfoss.com/)
106. [[www.alfalaval.com/...](http://www.alfalaval.com/)] [http://www.alfalaval.com/...](http://www.alfalaval.com/)
107. *http://www.geothermie.de/egec-geothernet/geo_tech/geothermal_technologies_annex.htm15.10.2001

Anexa. ! Port Name: o4

! Port Name: o5

Program ACSL

PROGRAM !C:\ACSL11\
GOMBOS1\GOMBOS.GM
INITIAL

!-----
! ACSL Block: sta
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:00:48 08/05/97
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: tus
! Connected Variable: tus

!-----
status =1.0

END ! end of INITIAL

DYNAMIC

CINTERVAL Cint = 0.5
CONSTANT TimeLimit=100000.0
VARIABLE T =0.0
DERIVATIVE DEFAULT
MINTERVAL DEFAULTMint = 1.0e-10
MAXTERVAL DEFAULTMaxt = 1.0e10
NSTEPS DEFAULTNstp = 50
ALGORITHM DEFAULTIalg = 5
TERMT (T .ge. TimeLimit, 'Time limit has been reached.')

! Begin of Compound Block We
! Compound Block: We
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:42 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: q
! Port Name: o2
! Port Name: o3

! ACSL Block: cv0
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 20:53:37 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: q
! Port Name: i3
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: k
! Port Name: pressure
! Connected Variable: pressure

!-----
CONSTANT Wecv0a1=0.2398
CONSTANT Wecv0a2=-0.2736
CONSTANT Wecv0a3=1.0317
CONSTANT Wecv0kmax=83.0
!constant Wecv0kmax =83.0
!constant Wecv0a1 =0.2398
!constant Wecv0a2 =-0.2736
!constant Wecv0a3 =1.0317

Wecv0k = Wecv0kmax *(Wecv0a1
*(Weactuatorlacth **3) + Wecv0a2 *(Weactu&
atorlacth **2) + Wecv0a3 *Weactuatorlacth)

Wecv0pressure =max (0.0,(WeP1q /(Wecv0k
+0.00001)**2)

!-----
! ACSL Block: wep
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:11:27 04/29/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: q
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: p

!-----
CONSTANT Wewepa=4.068
CONSTANT Wewepb=-0.08102
CONSTANT Wewepc=-0.00107
!constant WewepA =4.068

```

!constant WewepB =-0.08102
!constant WewepC =-0.00107

WewepA =WewepA +WewepB *WeP1q
+WewepC *(WeP1q **2)
!-----
! ACSL Block: en1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:44:05 05/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: h
!   Port Name: TT1
!   Connected Variable: temp
!-----
Ween1temp =80.0
Ween1h = 4.18*Ween1temp

! Begin of Compound Block pid1
! Compound Block: pid1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:42 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pv
!   Port Name: ref
! Output Ports:
!   Port Name: u
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 18:08:11 05/24/96
! Description:
!   Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
!   represented by the Laplace transform:
!    $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s + 1))$ 
! Input Ports:
!   Port Name: In
!   Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
!   Port Name: Out
!   Connected Variable: y(Units)
!-----

```

```

equivalence (Wepid1SummerE, Wepid1E)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Wepid1PIDk=1.0 ! (Units)
CONSTANT Wepid1PIDam=1.0
!Constant Wepid1PIDK = 1.0
!Constant Wepid1PIDTI = 2.55
!Constant Wepid1PIDTF = 1.0
!Constant Wepid1PIDTD = 0.01
!Constant Wepid1PIDIc1 = 0.0
!Constant Wepid1PIDIc2 = 0.0
!constant Wepid1PIDam =1.0

!----Proportional, Integral, Differential
Controller
Wepid1PIDY = Wepid1PIDam *Wepid1PIDK
*(Wepid1SummerE + INTEG (Wepid1S&
ummerE /(60.0*Wepid1PIDTI +0.00001),
Wepid1PIDIc1 ) + (60.0*Wepid1PIDTD&
)*Wepid1PIDXd )+1.0-Wepid1PIDam
!----Estimated X dot
Wepid1PIDXd = (Wepid1SummerE - INTEG
(Wepid1PIDXd , Wepid1PIDIc2 ))/W&
epid1PIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:01 04/29/96
! Description:
!   Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT Wepid1Boundtb=1.0
CONSTANT Wepid1Boundbb=0.0
!----Bound

!constant Wepid1Boundbb = -1.0

```

```

!constant Wepid1Boundtb = 1.0

Wepid1Boundo1 = bound (Wepid1Boundbb ,
Wepid1Boundtb , Wepid1PIDy )

!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:43:08 09/18/95
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: E
!-----
Wepid1SummerE = +WeConstanto1-Tatl1h

! End of Compound Blocok pid1
!-----
! ACSL Block: P1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:39:31 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: Ptank
! Connected Variable: ptank
! Port Name: speed
! Connected Variable: speed
! Port Name: kvalve
! Connected Variable: k
! Output Ports:
! Port Name: flow
! Connected Variable: q
! Port Name: torque
! Connected Variable: torque
! Port Name: pumpP
! Connected Variable: dp
!-----
CONSTANT WeP1qmax=145.0
CONSTANT WeP1a=4.068
CONSTANT WeP1b=-0.08102
CONSTANT WeP1c=-0.00107
CONSTANT WeP1k1=3.158
CONSTANT WeP1c1e=0.0
CONSTANT WeP1k2=-0.0064
CONSTANT WeP1c2e=0.0428
CONSTANT WeP1k3=-0.0005
CONSTANT WeP1c3e=-0.000613

```

```

!constant WeP1A =4.068
!constant WeP1B =-0.08102
!constant WeP1C =-0.00107

!constant WeP1k1 =3.158
!constant WeP1k2 =-0.0064
!constant WeP1k3 =-0.0005

!constant WeP1c1e = 0.0
!constant WeP1c2e = 0.0432
!constant WeP1c3e = - 0.0006

!constant WeP1qmax =145.0

WeP1spdN = bound (0.0,1.0,WeM2n /50.0)

WeP1X =WeP1C +WeP1k3 -1/(WeP1c0k
**2+0.00001)
WeP1Y =WeP1B +WeP1k2 *WeP1spdN
WeP1Z =WeP1A +WeP1k1 *(WeP1spdN **2)-
Tatl1p

WeP1qq =(-WeP1Y -sqrt (WeP1Y **2-
4*WeP1X *WeP1Z ))/(2*WeP1X +0.00001)
WeP1q =bound (0.0,WeP1qmax ,WeP1qq )

WeP1dH =32.212*(WeP1spdN **2)-
0.065*WeP1q *WeP1spdN -0.0051*(WeP1q
**2)
WeP1dp =WeP1dH /10.2

!eta = c1e + c2e*q + c3e*q**2.0

!power = (dH*q*9.8)/(eta+0.00001)

WeP1power = (WeP1dH *9.8)/(WeP1c2e +
WeP1c3e *WeP1q )

WeP1torque = bound (0.0,300.0,WeP1power
/(2.0*3.14*WeM2n +0.00001))

WeP1qout = WeP1q *3.6 !flow in cubic meters
per hour

!-----
! ACSL Block: M2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:26:10 05/10/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: voltage
! Connected Variable: u

```



```

! Port Name: freq
! Connected Variable: f
! Port Name: torque
! Connected Variable: tpump
! Output Ports:
! Port Name: speed
! Connected Variable: n
! Port Name: power
! Connected Variable: power
-----
CONSTANT WeM2r1=0.048
CONSTANT WeM2b=0.1
CONSTANT WeM2r21=0.018
CONSTANT WeM2r22=0.010
CONSTANT WeM2jm=10.0
CONSTANT WeM2r23=0.053
CONSTANT WeM2pi=3.14
CONSTANT WeM2omega0=314.0
CONSTANT WeM2pp=1.0
CONSTANT WeM2l1=0.00048
CONSTANT WeM2m1=3.0
CONSTANT WeM2l2=0.00048
!constant WeM2R1 = 0.048
!constant WeM2R21 = 0.018
!constant WeM2R22 = 0.010
!constant WeM2R23 = 0.053

!constant WeM2L1 = 0.00048
!constant WeM2L2 = 0.00048
!constant WeM2m1 = 3.0
!constant WeM2pp = 1.0

!constant WeM2Jm = 100.0
!constant WeM2b =0.0

!constant WeM2pi = 3.14
!constant WeM2omega0 = 0.0

WeM2omega1 = (2.0*WeM2pi *WeMCVSD2f
)/WeM2pp

WeM2s =bound (0.0,1.0,(WeM2omega1 -
WeM2omega)/(WeM2omega1 +0.00001))

WeM2R2s = (WeM2R21/(WeM2s
+0.000001))+WeM2R22 +WeM2R23 *WeM2s

WeM2X1 = 2*WeM2pi *WeMCVSD2f
*WeM2L1
WeM2X2 = 2*WeM2pi *WeMCVSD2f
*WeM2L2

WeM2Tem = ((WeMCVSD2v
**2)/WeM2omega1 )*((WeM2m1 *WeM2R2s
)/(((WeM2R1 &
+WeM2R2s )**2+(WeM2X1 +WeM2X2 )**2)))

WeM2domega = (WeM2Tem -WeP1torque -
WeM2b *WeM2omega )/WeM2Jm

!omega = integ(domega,omega0)
WeM2omega = bound (-314.0,314.0,limint
(WeM2domega ,WeM2omega0 ,-314.0&
,314.0))

WeM2n = WeM2omega /(2.0*WeM2pi )

WeM2power =WeM2Tem *WeM2omega1

! Begin of Compound Block MC
! Compound Block: MC
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 19:11:40 03/12/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: level
! Port Name: ref
! Output Ports:
! Port Name: voltage
! Port Name: freq
-----
! ACSL Block: VSD2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:59:55 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: control
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: voltage
! Connected Variable: v
! Port Name: frequency
! Connected Variable: f
-----
CONSTANT WeMCVSD2fmin=1.0
CONSTANT WeMCVSD2fmax=49.5
!constant WeMCVSD2fmin = 5.0
!constant WeMCVSD2fmax = 50.0

WeMCVSD2k = 220.0/50.0

WeMCVSD2f = WeMCVSD2fmin +
WeMCBoundo1 *(WeMCVSD2fmax -
WeMCVSD2fmin )

```

```

WeMCVSD2V = WeMCVSD2k * WeMCVSD2f
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 18:09:10 05/24/96
! Description:
!     Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
!     represented by the Laplace transform:
!      $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s + 1))$ 
! Input Ports:
!   Port Name: In
!   Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
!   Port Name: Out
!   Connected Variable: y(Units)
!-----
equivalence (WeMCSummerE, WeMCE)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT WeMCPIDk=1.0 ! (Units)
CONSTANT WeMCPIDam=1.0
!Constant WeMCPIDK = 1.0
!Constant WeMCPIDTI = 2.55
!Constant WeMCPIDTF = 1.0
!Constant WeMCPIDTD = 0.01
!Constant WeMCPIDic1 = 0.0
!Constant WeMCPIDic2 = 0.0
!constant WeMCPIDam = 1.0

!-----Proportional, Integral, Differential
Controller
WeMCPIDY = WeMCPIDam * WeMCPIDK
*(WeMCSummerE + INTEG (WeMCSummerE
/(6&
0.0*WeMCPIDTI + 0.00001), WeMCPIDic1 ) +
(60.0*WeMCPIDTD)*WeMCPIDXd )
!-----Estimated X dot
WeMCPIDXd = (WeMCSummerE - INTEG
(WeMCPIDXd , WeMCPIDic2 ))/WeMCPIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:11:08 04/29/96
! Description:
!     Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT WeMCBoundtb=1.0
CONSTANT WeMCBoundbb=0.0
!----Bound

!constant WeMCBoundbb = -1.0
!constant WeMCBoundtb = 1.0

WeMCBoundo1 = bound (WeMCBoundbb ,
WeMCBoundtb , WeMCPIDy )

!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:46 04/29/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E
!-----
WeMCSummerE = +WeConstanto1 - Tat1h

! End of Compound Blocok MC
!-----
! ACSL Block: Constant
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:35:06 04/29/96
! Description:
!     Constant value is preset into memory
!     to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:

```

```

! Port Name: o1
! Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT WeConstanto1=2.5
!constant WeConstanto1 = 1.0
!-----
! Summation Block: Summation
! Type: Summation
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:13:00 01/09/96
! Description:
! Summation operator. Additional input
ports can be added.
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: o
!-----
WeSummationo = +WeP1dp+Wewepp

!-----
! ACSL Block: pu2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:33:52 05/10/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pdis
! Connected Variable: pdis
! Port Name: psuc
! Connected Variable: psuc
! Output Ports:
! Port Name: q
! Connected Variable: q
!-----
! pump characteristic
table Wepu2pump
,1,9/0.0,0.78,0.98,1.18,1.37,1.57,1.67,1.72,1.76,
1.03,&
0.97,0.83,0.69,0.56,0.42,0.28,0.14,0.0/
Wepu2dp =Wepnlwp - WeSummationo
Wepu2q = bound (0.0,1.03,Wepu2pump
(Wepu2dp ))
!-----
! ACSL Block: lwp1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:34:01 05/10/96
! Description:
!

```

```

! Input Ports:
! Port Name: pup
! Connected Variable: pup
! Port Name: pdown
! Connected Variable: pdown
! Output Ports:
! Port Name: q
! Connected Variable: q
!-----
CONSTANT Welwp1cv=1.0
!constant Welwp1cv = 1.0
Welwp1q = Welwp1cv *sign (sqrt (abs
(Welwp1deltap )), Welwp1deltap )
Welwp1deltap = Wepnlwp - Wewepp
!-----
! ACSL Block: pnlw
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: qin
! Connected Variable: qin
! Port Name: qout
! Connected Variable: qout
! Output Ports:
! Port Name: plw
! Connected Variable: p
!-----
CONSTANT Wepnlwv=1000.0
CONSTANT Wepnlwpc=1.0
!constant WepnlwV = 1000.0
!constant Wepnlwpc = 1.0
Wepnlwdp = (Wepu2q - Welwp1q )/WepnlwV
Wepnlwp = integ (Wepnlwdp , Wepnlwpc )
!-----
! ACSL Block: ps1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i
! Connected Variable: i
! Output Ports:
! Port Name: o
! Connected Variable: o
!-----
CONSTANT Weps1imax=10.0
!constant Weps1imax = 10.0
if(Wepnlwp .gt.Weps1imax )then

```

```

Wepslo = 1
else
Wepslo = 0
end if
!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:46 04/29/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E
!-----
WeSummerE = +WeP1q-WeIwp1q

! Begin of Compound Block actuator1
! Compound Block: actuator1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 05:27:45 03/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!-----
! ACSL Block: act
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:20:30 05/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!   Connected Variable: h
!-----
CONSTANT Weactuator1actu0=0.0
CONSTANT Weactuator1acttau=11.5
!constant Weactuator1acttau=50.0
!constant Weactuator1actu0=0.0

Weactuator1acthh = realpl(Weactuator1acttau ,
Wepid1Boundol , Weactua&
tor1actu0 )

Weactuator1acth =bound
(0.0,1.0,Weactuator1acthh )

! End of Compound Blocok actuator1
! End of Compound Blocok We

! Begin of Compound Block Ta
! Compound Block: Ta
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
!   Port Name: i3
!   Port Name: te
! Output Ports:
!   Port Name: LT1
!   Port Name: o3
!   Port Name: pressure
!-----
! ACSL Block: tl1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:08:17 05/09/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: qin
!   Connected Variable: qin
!   Port Name: qout
!   Connected Variable: qout
! Output Ports:
!   Port Name: LT1
!   Connected Variable: h
!   Port Name: tankpres
!   Connected Variable: p
!-----
CONSTANT Tat11a=78.57
CONSTANT Tat11hic=2.7
CONSTANT Tat11hmax=3.5
!constant Tat11A = 78.57
!constant Tat11hmax =3.5
!constant Tat11hic = 3.0
Tat11dh = (WeSummerE -PuPumpq
)/(1000.0*Tat11A )
Tat11hh = integ (Tat11dh , Tat11hic )
Tat11h =bound (0.0,Tat11hmax ,Tat11hh )
Tat11p = Tat11h /10.2

! Begin of Compound Block EnBa

```

```

! Compound Block: EnBa
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
!   Port Name: i3
!   Port Name: te
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!-----
! ACSL Block: es1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 01:21:45 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: hprev
!   Port Name: i2
!   Connected Variable: w1
!   Port Name: i3
!   Connected Variable: dw
!   Port Name: te
!   Connected Variable: tout
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: h
!   Port Name: o2
!   Connected Variable: w2
!-----
equivalence (outtetemp, te)
CONSTANT TaEnBaes1d=10.0
CONSTANT TaEnBaes1k=0.0001
CONSTANT TaEnBaes1l=0.875
CONSTANT TaEnBaes1hin=300.0
!constant TaEnBaes1hin = 350.0
!constant TaEnBaes1l = 2.5
!constant TaEnBaes1k = 0.0005
!constant TaEnBaes1d = 6.0

TaEnBaes1v = 1000*TaEnBaes1l
*3.14*(TaEnBaes1d /2)**2
TaEnBaes1w2 = WeSummerE - TaEnBadf1dw
TaEnBaes1dh = ((WeSummerE *Ween1h -
TaEnBaes1w2 *TaEnBaes1h) - TaEnB&
aes1k *(TaEnBaes1h /4.18 - outtetemp
)*TaEnBaes1l)/TaEnBaes1v

```

```

TaEnBaes1h = integ (TaEnBaes1dh ,
TaEnBaes1hin )
!-----
! ACSL Block: es2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:00:59 08/05/97
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: hprev
!   Port Name: i2
!   Connected Variable: w1
!   Port Name: i3
!   Connected Variable: dw
!   Port Name: te
!   Connected Variable: tout
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: h
!   Port Name: o2
!   Connected Variable: w2
!-----
CONSTANT TaEnBaes2d=10.0
CONSTANT TaEnBaes2k=0.0001
CONSTANT TaEnBaes2l=0.875
CONSTANT TaEnBaes2hin=300
!constant TaEnBaes2hin = 350.0
!constant TaEnBaes2l = 2.5
!constant TaEnBaes2k = 0.0005
!constant TaEnBaes2d = 6.0

TaEnBaes2v = 1000*TaEnBaes2l
*3.14*(TaEnBaes2d /2)**2
TaEnBaes2w2 = TaEnBaes1w2 - TaEnBadf1dw
TaEnBaes2dh = ((TaEnBaes1w2 *TaEnBaes1h
- TaEnBaes2w2 *TaEnBaes2h) -&
TaEnBaes2k *(TaEnBaes2h /4.18 - outtetemp
)*TaEnBaes2l)/TaEnBaes2v
TaEnBaes2h = integ (TaEnBaes2dh ,
TaEnBaes2hin )
!-----
! ACSL Block: es3
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:54:52 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: hprev
!   Port Name: i2

```

```

! Connected Variable: w1
! Port Name: i3
! Connected Variable: dw
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
! Port Name: o2
! Connected Variable: w2
!-----
CONSTANT TaEnBaes3d=10.0
CONSTANT TaEnBaes3k=0.0001
CONSTANT TaEnBaes3l=0.875
CONSTANT TaEnBaes3hin=300
!constant TaEnBaes3hin = 350.0
!constant TaEnBaes3l = 2.5
!constant TaEnBaes3k = 0.0005
!constant TaEnBaes3d = 6.0

TaEnBaes3v = 1000*TaEnBaes3l
*3.14*(TaEnBaes3d /2)**2
TaEnBaes3w2 = TaEnBaes2w2 - TaEnBadfldw
TaEnBaes3dh = ((TaEnBaes2w2 *TaEnBaes2h
- TaEnBaes3w2 *TaEnBaes3h ) -&
TaEnBaes3k *(TaEnBaes3h /4.18 - outtetemp
)*TaEnBaes3l )/TaEnBaes3v
TaEnBaes3h = integ (TaEnBaes3dh ,
TaEnBaes3hin )
!-----
! ACSL Block: es4
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 13:36:44 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: i3
! Connected Variable: dw
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT TaEnBaes4d=10.0
CONSTANT TaEnBaes4k=0.0001
CONSTANT TaEnBaes4l=0.875
CONSTANT TaEnBaes4hin=300.0
!constant TaEnBaes4hin = 350.0

!constant TaEnBaes4l = 2.5
!constant TaEnBaes4k = 0.0005
!constant TaEnBaes4d = 6.0

TaEnBaes4v = 1000*TaEnBaes4l
*3.14*(TaEnBaes4d /2)**2
TaEnBaes4w2 = TaEnBaes3w2 - TaEnBadfldw
TaEnBaes4dh = ((TaEnBaes3w2 *TaEnBaes3h
- TaEnBaes4w2 *TaEnBaes4h ) -&
TaEnBaes4k *(TaEnBaes4h /4.18 - outtetemp
)*TaEnBaes4l )/TaEnBaes4v
TaEnBaes4h = integ (TaEnBaes4dh ,
TaEnBaes4hin )
!-----
! ACSL Block: df1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:46:43 04/29/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: win
! Port Name: i2
! Connected Variable: wout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: dw
!-----
TaEnBadfldw = (WeSummerE - PuPumpq )/4
! End of Compound Block EnBa
! End of Compound Block Ta

! Begin of Compound Block Pu
! Compound Block: Pu
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 09:00:35 08/05/97
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: Ptank
! Port Name: Pdown
! Port Name: i4
! Port Name: te
! Port Name: kvhe
! Port Name: kvps
! Output Ports:
! Port Name: o2
! Port Name: flow
! Port Name: pa
! Port Name: ps3
! Port Name: ps2

```

```

! Port Name: power
! Port Name: temp

! Begin of Compound Block PiEn
! Compound Block: PiEn
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:42 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Port Name: te
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Port Name: o2

```

```

-----
! ACSL Block: en6
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:19:52 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h

```

```

CONSTANT PuPiEnen6d=0.02
CONSTANT PuPiEnen6k=0.001
CONSTANT PuPiEnen6l=41.66
CONSTANT PuPiEnen6hin=320.0
!constant PuPiEnen6hin = 320.0
!constant PuPiEnen6l = 41.66
!constant PuPiEnen6k = 0.001244
!constant PuPiEnen6d = 0.2

```

```

PuPiEnen6v = 1000*PuPiEnen6l
*3.14*(PuPiEnen6d /2)**2

PuPiEnen6dh = (PuPumpq *(PuPiEnen5h -
PuPiEnen6h ) - PuPiEnen6k *(PuP&
iEnen6h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen6l
)/PuPiEnen6v
PuPiEnen6h = integ (PuPiEnen6dh ,
PuPiEnen6hin )

```

```

-----
! ACSL Block: en9
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:24:52 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h

```

```

-----
CONSTANT PuPiEnen9d=0.02
CONSTANT PuPiEnen9k=0.001
CONSTANT PuPiEnen9l=41.66
CONSTANT PuPiEnen9hin=320.0
!constant PuPiEnen9hin = 320.0
!constant PuPiEnen9l = 41.66
!constant PuPiEnen9k = 0.001244
!constant PuPiEnen9d = 0.2

```

```

PuPiEnen9v = 1000*PuPiEnen9l
*3.14*(PuPiEnen9d /2)**2

PuPiEnen9dh = (PuPumpq *(PuPiEnen8h -
PuPiEnen9h ) - PuPiEnen9k *(PuP&
iEnen9h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen9l
)/PuPiEnen9v
PuPiEnen9h = integ (PuPiEnen9dh ,
PuPiEnen9hin )

```

```

-----
! ACSL Block: en10
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:18:46 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h

```

```

! Port Name: TT2
! Connected Variable: temp
!-----
CONSTANT PuPiEnen10d=0.02
CONSTANT PuPiEnen10k=0.001
CONSTANT PuPiEnen10l=41.66
CONSTANT PuPiEnen10hin=320.0
!constant PuPiEnen10hin = 320.0
!constant PuPiEnen10l = 41.66
!constant PuPiEnen10k = 0.001244
!constant PuPiEnen10d = 0.2

PuPiEnen10v = 1000*PuPiEnen10l
*3.14*(PuPiEnen10d /2)**2

PuPiEnen10dh = (PuPumpq *(PuPiEnen9h -
PuPiEnen10h ) - PuPiEnen10k *(&
PuPiEnen10h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen10l
)/PuPiEnen10v
PuPiEnen10h = integ (PuPiEnen10dh ,
PuPiEnen10hin )
PuPiEnen10temp = PuPiEnen10h /4.18
!-----
! ACSL Block: en8
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:19:18 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT PuPiEnen8d=0.02
CONSTANT PuPiEnen8k=0.001
CONSTANT PuPiEnen8l=41.66
CONSTANT PuPiEnen8hin=320.0
!constant PuPiEnen8hin = 320.0
!constant PuPiEnen8l = 41.66
!constant PuPiEnen8k = 0.001244
!constant PuPiEnen8d = 0.2

PuPiEnen8v = 1000*PuPiEnen8l
*3.14*(PuPiEnen8d /2)**2

PuPiEnen8dh = (PuPumpq *(PuPiEnen7h -
PuPiEnen8h ) - PuPiEnen8k *(PuP&

```

```

iEnen8h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen8l
)/PuPiEnen8v
PuPiEnen8h = integ (PuPiEnen8dh ,
PuPiEnen8hin )
!-----
! ACSL Block: en7
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:19:36 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te
! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT PuPiEnen7d=0.02
CONSTANT PuPiEnen7k=0.001
CONSTANT PuPiEnen7l=41.66
CONSTANT PuPiEnen7hin=320.0
!constant PuPiEnen7hin = 320.0
!constant PuPiEnen7l = 41.66
!constant PuPiEnen7k = 0.001244
!constant PuPiEnen7d = 0.2

PuPiEnen7v = 1000*PuPiEnen7l
*3.14*(PuPiEnen7d /2)**2

PuPiEnen7dh = (PuPumpq *(PuPiEnen6h -
PuPiEnen7h ) - PuPiEnen7k *(PuP&
iEnen7h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen7l
)/PuPiEnen7v
PuPiEnen7h = integ (PuPiEnen7dh ,
PuPiEnen7hin )
!-----
! ACSL Block: en5
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:30:04 12/16/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: w1
! Port Name: te

```



```

! Connected Variable: tout
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT PuPiEnen5d=0.2
CONSTANT PuPiEnen5k=0.001
CONSTANT PuPiEnen5l=41.66
CONSTANT PuPiEnen5hin=320.0
!constant PuPiEnen5hin = 320.0
!constant PuPiEnen5l = 41.66
!constant PuPiEnen5k = 0.001244
!constant PuPiEnen5d = 0.2

PuPiEnen5v = 1000*PuPiEnen5l
*3.14*(PuPiEnen5d /2)**2

PuPiEnen5dh = (PuPumpq *(TaEnBaes4h -
PuPiEnen5h) - PuPiEnen5k *(PuP&
iEnen5h /4.18 - outtetemp )*PuPiEnen5l
)/PuPiEnen5v
PuPiEnen5h = integ (PuPiEnen5dh ,
PuPiEnen5hin )
! End of Compound Blocok PiEn
!-----
! ACSL Block: PipeFlow
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:15:01 05/17/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: flow
! Connected Variable: q
! Output Ports:
! Port Name: kv
! Connected Variable: kv
!-----
CONSTANT PuPipeFlowd=0.2
CONSTANT PuPipeFlowpi=3.14
CONSTANT PuPipeFlowkp=0.00005
CONSTANT PuPipeFlowl=300.0
CONSTANT PuPipeFlowk1=1.0
CONSTANT PuPipeFlowro=970.0
CONSTANT PuPipeFlowmu=6.63E-4
CONSTANT PuPipeFlowk2=-0.2
!constant PuPipeFlowL = 300.0
!constant PuPipeFlowd = 0.2
!constant PuPipeFlowro = 970.0
!constant PuPipeFlowpi =3.14
!constant PuPipeFlowk1 = 1.0
!constant PuPipeFlowk2 = -0.2
!constant PuPipeFlowmu =6.63E-4
!constant PuPipeFlowkp =0.00005

```

```

PuPipeFlowv =PuPumpq /(PuPipeFlowro
*PuPipeFlowpi *((PuPipeFlowd /2)**2&
))
PuPipeFlowRe =bound
(10.0,1.E10,PuPipeFlowro *PuPipeFlowd
*PuPipeFlowv &
/PuPipeFlowmu )

procedural(PuPipeFlowf =PuPipeFlowro )
PuPipeFlowa1 =-4.0*log10 (PuPipeFlowkp
/(3.7*PuPipeFlowd )+1.413*PuPip&
eFlowa0 /PuPipeFlowRe )
PuPipeFlowa2 =-4.0*log10 (PuPipeFlowkp
/(3.7*PuPipeFlowd )+1.413*PuPip&
eFlowa1 /PuPipeFlowRe )
PuPipeFlowa3 =-4.0*log10 (PuPipeFlowkp
/(3.7*PuPipeFlowd )+1.413*PuPip&
eFlowa2 /PuPipeFlowRe )
PuPipeFlowf =(1/(PuPipeFlowa3 +0.00001))**2
PuPipeFlowa0 =PuPipeFlowa3
end

PuPipeFlowkk =((PuPipeFlowpi
**2)*((PuPipeFlowd /2.0)**5)*PuPipeFlowro &
)/((PuPipeFlowk1 +PuPipeFlowk2
*PuPipeFlowd )*PuPipeFlowL *PuPipeFlow f &
+0.00001)
PuPipeFlowkv =sqrt (1.E5*PuPipeFlowkk )
!-----
! ACSL Block: ps2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:14:15 05/17/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i
! Connected Variable: i
! Output Ports:
! Port Name: o
! Connected Variable: o
!-----
CONSTANT Pups2imin=0.15
!constant Pups2imin = 10.0
if(Tatl1p .lt.Pups2imin )then
Pups2o = 1
else
Pups2o = 0
end if
!-----
! ACSL Block: ps3
! Type:
! Author: D. Gombos

```

```

! Version:
! Last Change: 13:24:05 05/17/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i
!   Connected Variable: i
! Output Ports:
!   Port Name: o
!   Connected Variable: o
!-----
CONSTANT Pups3imax=5.0
!constant Pups3imax = 10.0
if(PuPumppp .gt.Pups3imax )then
Pups3o = 1
else
Pups3o = 0
end if
!-----
! ACSL Block: Pump
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:40:12 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: Pa
!   Connected Variable: pa
!   Port Name: tankP
!   Connected Variable: ptank
!   Port Name: speed
!   Connected Variable: speed
!   Port Name: kv
!   Connected Variable: kv
!   Port Name: kvpf
!   Connected Variable: kvpf
! Output Ports:
!   Port Name: flow
!   Connected Variable: q
!   Port Name: torque
!   Connected Variable: torque
!   Port Name: PT1
!   Connected Variable: pp
!   Port Name: paa
!   Connected Variable: paa
!-----
CONSTANT PuPumpqmax=55.556
CONSTANT PuPumpc1=80.0
CONSTANT PuPumpc2=0.216
CONSTANT PuPumpc3=-0.011
CONSTANT PuPumpc1e=0.0
CONSTANT PuPumpc2e=0.0493
CONSTANT PuPumpc3e=-0.000693
!constant PuPumpc1 = 56.473

```

```

!constant PuPumpc2 = 0.1746
!constant PuPumpc3 = -0.0098

!constant PuPumpc1e = 0.0
!constant PuPumpc2e = 0.0493
!constant PuPumpc3e = - 0.000693

PuPumpspdN = bound (0.0,1.0,PuM1n /50.0)
!spdN = speed/50.0

PuPumpX =PuPumpc3 -1/((Puotflkv /3.2)**2)
PuPumpY =PuPumpc2 *PuPumpspdN
PuPumpZ =(PuPumpspdN **2)*PuPumpc1
+(Tatl1p -ep2pdown )*10.2

!constant PuPumpqmax =55.556
PuPumpq =bound (0.0,PuPumpqmax ,(-
PuPumpY -sqrt (abs (PuPumpY **2-4*PuP
umpX *PuPumpZ )))/(2*PuPumpX ))

PuPumpdH =PuPumpc1 *(PuPumpspdN
**2)+PuPumpc2 *PuPumpspdN *PuPumpq
+PuP&
umpc3 *(PuPumpq **2)
PuPumpeta = PuPumpc1e + PuPumpc2e
*PuPumpq + PuPumpc3e *PuPumpq **2.&
0

!power = (dH*q*9.8)/(eta+0.00001)
!torque = power/(2.0*3.14*speed+0.00001)

PuPumppower = (PuPumpdH *9.8)/(PuPumpc2e
+ PuPumpc3e *PuPumpq )
PuPumptorque = PuPumppower
/(2.0*3.14*PuM1n +0.00001)

PuPumppp =Tatl1p +PuPumpdH /10.2

PuPumppaa =PuPumppp -(PuPumpq
/(PuPipeFlowkv +0.00001))**2

!-----
! ACSL Block: M1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 09:36:23 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: U
!   Connected Variable: u
!   Port Name: f
!   Connected Variable: f
!   Port Name: torque

```

```

! Connected Variable: tpump
! Output Ports:
! Port Name: speed
! Connected Variable: n
! Port Name: power
! Connected Variable: power
!-----
CONSTANT PuM1r1=0.18
CONSTANT PuM1r21=0.028
CONSTANT PuM1r22=0.0
CONSTANT PuM1jm=100.0
CONSTANT PuM1r23=0.18
CONSTANT PuM1pi=3.14
CONSTANT PuM1omega0=50.0
CONSTANT PuM1pp=1.0
CONSTANT PuM1l1=0.00057
CONSTANT PuM1m1=3.0
CONSTANT PuM1l2=0.00057
!constant PuM1R1 = 0.18
!constant PuM1R21 = 0.028
!constant PuM1R22 = 0.0
!constant PuM1R23 = 0.18

!constant PuM1L1 = 0.00057
!constant PuM1L2 = 0.00057
!constant PuM1m1 = 3.0
!constant PuM1pp = 1.0

!constant PuM1Jm =100.0

!constant PuM1omega0 =0.0

!constant PuM1pi = 3.14

PuM1omega1 = (2.0*PuM1pi *PuM1CVSD21f
)/PuM1pp
PuM1s = (PuM1omega1 - PuM1omega
)/(PuM1omega1 +0.0001)

PuM1R2s = PuM1R21 /PuM1s +PuM1R22
+PuM1R23 *PuM1s

PuM1X1 = 2*PuM1pi *PuM1CVSD21f
*PuM1L1
PuM1X2 = 2*PuM1pi *PuM1CVSD21f
*PuM1L2

PuM1Tem = ((PuM1CVSD21v
**2)/PuM1omega1 )*((PuM1m1 *PuM1R2s
)/(((PuM1R1&
+PuM1R2s )**2+(PuM1X1 +PuM1X2 )**2)))

PuM1domega = (PuM1Tem -PuM1pumporque
)/PuM1Jm

```

```

PuM1omega = integ (PuM1domega
,PuM1omega0 )

PuM1n = PuM1omega /(2.0*PuM1pi )

PuM1power =PuM1Tem *PuM1omegal

```

```

! Begin of Compound Block MC
! Compound Block: MC
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:22:22 05/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pressure
! Port Name: ref
! Output Ports:
! Port Name: voltage1
! Port Name: freq1
!-----

```

```

! ACSL Block: VSD21
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:00:24 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: control
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: voltage
! Connected Variable: v
! Port Name: frequency
! Connected Variable: f
!-----

```

```

CONSTANT PuM1CVSD21fmin=1.0
CONSTANT PuM1CVSD21fmax=49.5
!constant PuM1CVSD21fmin = 5.0
!constant PuM1CVSD21fmax = 50.0

```

```

PuM1CVSD21k = 220.0/50.0

```

```

PuM1CVSD21f = PuM1CVSD21fmin +
PuM1Boundo1 *(PuM1CVSD21fmax -
PuM1CVSD21fmin)

```

```

PuM1CVSD21V = PuM1CVSD21k
*PuM1CVSD21f

```

```

!-----
! ACSL Block: PID

```

```

! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:13:20 05/24/96
! Description:
!   Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
!   represented by the Laplace transform:
!    $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s + 1))$ 
! Input Ports:
!   Port Name: In
!   Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
!   Port Name: Out
!   Connected Variable: y(Units)
-----
equivalence (PuMCSummerE, PuMCE)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT PuMCPIDk=1.0 ! (Units)
!Constant PuMCPIDK = 1.0
!Constant PuMCPIDTI = 2.55
!Constant PuMCPIDTF = 1.0
!Constant PuMCPIDTD = 0.01
!Constant PuMCPIDic1 = 0.0
!Constant PuMCPIDic2 = 0.0
!----Proportional, Integral, Differential
Controller
PuMCPIDY = PuMCPIDK *(PuMCSummerE +
INTEG (PuMCSummerE /(60.0*PuMCPID&
TI +0.00001), PuMCPIDic1 ) +
(60.0*PuMCPIDTD )*PuMCPIDXd )
!----Estimated X dot
PuMCPIDXd = (PuMCSummerE - INTEG
(PuMCPIDXd , PuMCPIDic2 ))/PuMCPIDTF
-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:23:53 05/13/96
! Description:
!   Limit a value between upper and lower
bounds
-----
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
-----
CONSTANT PuMCBoundtb=1.0
CONSTANT PuMCBoundbb=0.0
!----Bound

!constant PuMCBoundbb = -1.0
!constant PuMCBoundtb = 1.0

PuMCBoundo1 = bound (PuMCBoundbb ,
PuMCBoundtb , PuMCPIDy )
-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:46 04/29/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E
-----
PuMCSummerE = +PuConstant1o1-PuPumppp
-----
! End of Compound Blocok MC
-----
! ACSL Block: Constant1
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:18:28 05/24/96
! Description:
!   Constant value is preset into memory
!   to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
-----
CONSTANT PuConstant1o1=4.0
!constant PuConstant1o1 = 1.0
-----
! ACSL Block: of1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:

```

```

! Last Change: 03:06:34 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: kpf
!   Connected Variable: kvpf
!   Port Name: kvhe
!   Connected Variable: kvhe
!   Port Name: kvps
!   Connected Variable: kvps
! Output Ports:
!   Port Name: kv
!   Connected Variable: kv
!-----
Puotflk =Hekvk +Pobchwfk

Puotflkk =1/(Puotflk
**2+0.00001)+1/(PuPipeFlowkv **2+0.00001)
Puotflkv =sqrt (1/(Puotflkk +0.00001))
! End of Compound Blocok Pu
!-----
! ACSL Block: outte
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:26:11 12/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: te
!   Connected Variable: temp
!-----
outtetemp =-10.0

! Begin of Compound Block FIDi
! Compound Block: FIDi
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 13:26:34 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pa
! Output Ports:
!   Port Name: p
!-----
! ACSL Block: pn2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 13:44:26 05/20/96
! Description:
!

```

```

! Input Ports:
!   Port Name: pa
!   Connected Variable: pa
! Output Ports:
!   Port Name: p
!   Connected Variable: p
!-----
CONSTANT FIDipn2tau=1.0

!constant FIDipn2tau =1.0
FIDipn2p =realpl (FIDipn2tau ,PuPumppaa )
! End of Compound Blocok FIDi

! Begin of Compound Block Po
! Compound Block: Po
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:44 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: p
!   Port Name: pdis
! Output Ports:
!   Port Name: FT2
!   Port Name: pt2
!   Port Name: kvps
!-----
! ACSL Block: cv1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:47:20 05/15/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: flow
!   Connected Variable: q
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: dp
!   Connected Variable: pressure
!   Port Name: kv
!   Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Pocv1a1=0.2398
CONSTANT Pocv1a2=-0.2736
CONSTANT Pocv1a3=1.0317
CONSTANT Pocv1kmax=117.0
!constant Pocv1kmax =117.0
!constant Pocv1a1 =0.2398
!constant Pocv1a2 =-0.2736
!constant Pocv1a3 =1.0317

```

```

Pocv1k = Pocv1kmax *(Pocv1a1 *(Pocv1conu
**3) + Pocv1a2 *(Pocv1conu **&
2) + Pocv1a3 *Pocv1conu )

Pocv1pressure =max (0.0,(Pobchwfq /(Pocv1k
+0.00001)**2)
!-----
! ACSL Block: cv1con
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:44 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
!-----
Pocv1conu = 0.1
!-----
! ACSL Block: bchwf
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 02:24:20 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pup
!   Connected Variable: pup
!   Port Name: kv
!   Connected Variable: kv
!   Port Name: pdown
!   Connected Variable: pdown
! Output Ports:
!   Port Name: q
!   Connected Variable: q
!   Port Name: k
!   Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Pobchwfb=20.0
!constant PobchwfbKB = 20.0

Pobchwfk =sqrt (1/(PobchwfbKB
**2+0.00001)+1/(Pocv1k **2+0.00001))
Pobchwfdeltap = FIDipn2p - ep2pdown
Pobchwfq = Pobchwfk *sign (sqrt (abs
(Pobchwfdeltap )), Pobchwfdeltap &
)
!-----
! ACSL Block: ppt2
! Type:
! Author: D. Gombos

```

```

! Version:
! Last Change: 09:46:26 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pdown
!   Connected Variable: pdown
!   Port Name: dp
!   Connected Variable: dp
! Output Ports:
!   Port Name: pt2
!   Connected Variable: pt2
!-----
Poppt2pt2 =FIDipn2p -Pocv1pressure
! End of Compound Block Po
!-----
! ACSL Block: ep2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: pdown
!-----
ep2pdown = 0.0

! Begin of Compound Block He
! Compound Block: He
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:39:28 05/17/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: p
!   Port Name: i6
!   Port Name: pdis
! Output Ports:
!   Port Name: kvhe
!-----
! ACSL Block: hf1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:36:28 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pup
!   Connected Variable: pup

```

```

! Port Name: pdown
! Connected Variable: pdown
! Port Name: k2
! Connected Variable: c3
! Port Name: k4
! Connected Variable: c5
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: q
! Port Name: k
! Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Hehf1ch=28.0
!constant Hehf1ch = 40.0

Hehf1deltap = FIDipn2p - ep2pdown

Hehf1kk = 1/(Hecv2k **2+0.00001)+1/(Hehf1ch
**2+0.00001)+1/(Hecv4k **2+0&
.00001)
Hehf1k =sqrt (1/Hehf1kk )
Hehf1q = Hehf1k *sign (sqrt (abs (Hehf1deltap
)), Hehf1deltap )
!-----
! ACSL Block: hf2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 02:44:46 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pup
! Connected Variable: pup
! Port Name: pdown
! Connected Variable: pdown
! Port Name: k3
! Connected Variable: c3
! Port Name: k5
! Connected Variable: c5
! Output Ports:
! Port Name: FT6
! Connected Variable: q
! Port Name: k
! Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Hehf2ch=7.0
!constant Hehf2ch = 40.0

Hehf2deltap = FIDipn2p - ep2pdown

Hehf2kk = 1/(Hecv3k **2+0.00001)+1/(Hehf2ch
**2+0.00001)+1/(Hecv5k **2+0&
.00001)
Hehf2k =sqrt (1/Hehf2kk )

```

```

Hehf2q = Hehf2k *sign (sqrt (abs (Hehf2deltap
)), Hehf2deltap )
!-----
! ACSL Block: cv5
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 09:57:11 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i3
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Hecv5a1=0.2398
CONSTANT Hecv5a2=-0.2736
CONSTANT Hecv5a3=1.0317
CONSTANT Hecv5kmax=11.1
!constant Hecv5kmax =83.0
!constant Hecv5a1 =0.2398
!constant Hecv5a2 =-0.2736
!constant Hecv5a3 =1.0317

Hecv5k = Hecv5kmax *(Hecv5a1
*(Heactuatorlacth **3) + Hecv5a2 *(Heactu&
atorlacth **2) + Hecv5a3 *Heactuatorlacth )
!-----
! ACSL Block: cv4
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 09:58:15 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i3
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: k
!-----
CONSTANT Hecv4a1=0.2398
CONSTANT Hecv4a2=-0.2736
CONSTANT Hecv4a3=1.0317
CONSTANT Hecv4kmax=83.0
!constant Hecv4kmax =83.0
!constant Hecv4a1 =0.2398
!constant Hecv4a2 =-0.2736
!constant Hecv4a3 =1.0317

```

```

Hecv4k = Hecv4kmax *(Hecv4a1
*(Heactuatoracth **3) + Hecv4a2 *(Heactua&
toracth **2) + Hecv4a3 *Heactuatoracth )

! Begin of Compound Block actuator
! Compound Block: actuator
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 05:27:28 03/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!-----
! ACSL Block: act
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:20:10 05/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!   Connected Variable: h
!-----
CONSTANT Heactuatoractu0=0.0
CONSTANT Heactuatoracttau=6.3
!constant Heactuatoracttau =50.0
!constant Heactuatoractu0 =0.0

Heactuatoracthh = realpl (Heactuatoracttau ,
Heactuatorinvuu , Heactua&
toractu0 )
Heactuatoracth =bound (0.0,1.0,Heactuatoracthh
)

!-----
! ACSL Block: inv
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 00:20:07 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: uu

```

```

!   Connected Variable: uu
!-----
Heactuatorinvuu =1-Hemcon2Boundl
! End of Compound Blocok actuator

! Begin of Compound Block actuatorl
! Compound Block: actuatorl
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 05:27:45 03/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!-----
! ACSL Block: act
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:19:46 05/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: h
!   Connected Variable: h
!-----
CONSTANT Heactuatorlactu0=0.0
CONSTANT Heactuatorlacttau=11.5
!constant Heactuatorlacttau =50.0
!constant Heactuatorlactu0 =0.0

Heactuatorlacthh = realpl (Heactuatorlacttau ,
Heactuatorlinvuu , Heac&
tuatorlactu0 )
Heactuatorlacth =bound
(0.0,1.0,Heactuatorlacthh )

!-----
! ACSL Block: inv
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 00:19:34 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: u
! Output Ports:
!   Port Name: uu

```



```

! Connected Variable: uu
!-----
Heactuator1invuu =1-HemconBoundo1
! End of Compound Blocok actuator1
!-----
! ACSL Block: cv2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:00:56 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i3
! Connected Variable: u
! Port Name: q
! Connected Variable: q
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: k
! Port Name: dp
! Connected Variable: pressure
!-----
CONSTANT Hecv2a1=0.2398
CONSTANT Hecv2a2=-0.2736
CONSTANT Hecv2a3=1.0317
CONSTANT Hecv2kmax=83.0
!constant Hecv2kmax =83.0
!constant Hecv2a1 =0.2398
!constant Hecv2a2 =-0.2736
!constant Hecv2a3 =1.0317

Hecv2k = Hecv2kmax *(Hecv2a1
*(Heactuator1lacth **3) + Hecv2a2 *(Heact&
uator1lacth **2) + Hecv2a3 *Heactuator1lacth )

Hecv2pressure =(Hehf1q /(Hecv2k
+0.00001))**2

!-----
! ACSL Block: cv3
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:00:42 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i3
! Connected Variable: u
! Port Name: q
! Connected Variable: q
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: k

```

```

! Port Name: dp
! Connected Variable: pressure
!-----
CONSTANT Hecv3a1=0.2398
CONSTANT Hecv3a2=-0.2736
CONSTANT Hecv3a3=1.0317
CONSTANT Hecv3kmax=11.1
!constant Hecv3kmax =83.0
!constant Hecv3a1 =0.2398
!constant Hecv3a2 =-0.2736
!constant Hecv3a3 =1.0317

Hecv3k = Hecv3kmax *(Hecv3a1
*(Heactuator12acth **3) + Hecv3a2 *(Heact&
uator12acth **2) + Hecv3a3 *Heactuator12acth )

Hecv3pressure =(Hehf2q /(Hecv3k
+0.00001))**2

! Begin of Compound Block actuator11
! Compound Block: actuator11
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 05:27:51 03/13/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: u
! Output Ports:
! Port Name: h
!-----
! ACSL Block: act
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:20:00 05/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: u
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: h
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT Heactuator1lactu0=0.0
CONSTANT Heactuator1lacttau=6.3
!constant Heactuator1lacttau =50.0
!constant Heactuator1lactu0 =0.0

Heactuator1lacthh = realpl (Heactuator1lacttau
, Hemcon3Boundo1 , Heac&
tuator1lactu0 )

```

```

Heactuator1lacth =bound
(0.0,1.0,Heactuator1lacthh )

! End of Compound Blocok actuator11

! Begin of Compound Block actuator12
! Compound Block: actuator12
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:48:03 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: u
! Output Ports:
! Port Name: h
!-----
! ACSL Block: act
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:19:35 05/23/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: u
! Connected Variable: u
! Output Ports:
! Port Name: h
! Connected Variable: h
!-----
CONSTANT Heactuator12actu0=0.0
CONSTANT Heactuator12acttau=11.5
!constant Heactuator12acttau =50.0
!constant Heactuator12actu0 =0.0

Heactuator12acthh = realpl (Heactuator12acttau
, Hemcon1Boundo1 , Heac&
tuator12actu0 )
Heactuator12acth =bound
(0.0,1.0,Heactuator12acthh )

! End of Compound Blocok actuator12

! Begin of Compound Block HeCw
! Compound Block: HeCw
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Port Name: o2
! Port Name: o3
! Port Name: o4
! Port Name: pt6
!-----
! ACSL Block: p7
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:35:56 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: kl
! Connected Variable: kl
! Port Name: kv
! Connected Variable: kv
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: q
!-----
CONSTANT HeHeCwp7qmax=60.0
CONSTANT HeHeCwp7c1=23.66
CONSTANT HeHeCwp7c2=.0995
CONSTANT HeHeCwp7c3=-0.0031
!constant HeHeCwp7c1 = 23.66
!constant HeHeCwp7c2 = .0995
!constant HeHeCwp7c3 = -0.0031
HeHeCwp7X =HeHeCwp7c3 -
(1/((HeHeCwhcf1kv
/3.2)**2+0.00001))+1/((HeHeCwep&
4kl /3.2)**2+0.00001))
HeHeCwp7Y =HeHeCwp7c2
HeHeCwp7Z =HeHeCwp7c1

!constant HeHeCwp7qmax =60.0
HeHeCwp7q =bound (0.0,HeHeCwp7qmax ,(-
HeHeCwp7Y -sqrt (abs (HeHeCwp7Y * &
*2-4*HeHeCwp7X *HeHeCwp7Z
))))/(2*HeHeCwp7X ))
!-----
! ACSL Block: pn7
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:06:00 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: q
! Connected Variable: q
! Port Name: pin
! Connected Variable: pin

```

```

! Output Ports:
! Port Name: pt6
! Connected Variable: pp
!-----
CONSTANT HeHeCwpn7c1=23.66
CONSTANT HeHeCwpn7c2=.0995
CONSTANT HeHeCwpn7c3=-0.0031
!constant HeHeCwpn7c1 = 23.66
!constant HeHeCwpn7c2 = .0995
!constant HeHeCwpn7c3 = -0.0031

HeHeCwpn7dH =HeHeCwpn7c1
+HeHeCwpn7c2 *HeHeCwp7q +HeHeCwpn7c3
*(HeHeCwp&
7q **2)

HeHeCwpn7pp =HeHeCwPt5p +HeHeCwpn7dH
/10.2

!-----
! ACSL Block: ep4
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:03:48 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: kl
! Connected Variable: kl
!-----
CONSTANT HeHeCwep4kl=27.0
!constant HeHeCwep4kl =7.0
!-----
! ACSL Block: cwt1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 20:47:05 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: q8
! Connected Variable: q8
! Port Name: q5
! Connected Variable: q5
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
! Port Name: t
! Connected Variable: te
!-----
HeHeCwcwt1te =40.0
HeHeCwcwt1t11 =6.0

HeHeCwcwt1h = (4.18*HeHeCwcwt1te
*HeHeCwp7q +4.18*HeHeCwcwt1t11
*HeHeC&
wp8q )/(HeHeCwp7q +HeHeCwp8q +0.00001)

!-----
! ACSL Block: cwt2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 09:58:32 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: h
!-----
HeHeCwcwt2te =10.0
HeHeCwcwt2h = 4.18*HeHeCwcwt2te
!-----
! ACSL Block: hcf2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:31:41 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: pup
! Port Name: i2
! Connected Variable: pdown
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: q
!-----
CONSTANT HeHeCwhcf2c=2.0
!constant HeHeCwhcf2c = 1.0
HeHeCwhcf2deltap =
HeHeCwDHWPinSummation1lo -
HeHeCwep6pdown
HeHeCwhcf2q = HeHeCwhcf2c *sign (sqrt (abs
(HeHeCwhcf2deltap )), HeHeC&
whcf2deltap )
!-----
! ACSL Block: ep6
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:30:25 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:

```

```

! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: pdown
!-----
HeHeCwep6pdown = 0.0
!-----
! ACSL Block: ps4
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:22:14 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i
!   Connected Variable: i
! Output Ports:
!   Port Name: o
!   Connected Variable: o
!-----
CONSTANT HeHeCwps4imin=3.0
CONSTANT HeHeCwps4imax=5.0
!constant HeHeCwps4imin = 3.0
!constant HeHeCwps4imax = 5.0
if(HeHeCwPt5p .lt.HeHeCwps4imin
.or.HeHeCwPt5p .gt.HeHeCwps4imax )then
HeHeCwps4o = 1
else
HeHeCwps4o = 0
end if
!-----
! ACSL Block: hcf1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:36:22 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pt6
!   Connected Variable: pin
!   Port Name: q
!   Connected Variable: q
! Output Ports:
!   Port Name: kv
!   Connected Variable: kv
!-----
CONSTANT HeHeCwhcf1kv=28.0
!constant HeHeCwhcf1kv =12.5

HeHeCwhcf1p =HeHeCwpn7pp -(HeHeCwp7q
/(HeHeCwhcf1kv +0.00001))*2
!-----
! ACSL Block: Pt5

```

```

! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:35:59 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: qadd
!   Connected Variable: qadd
!   Port Name: paux
!   Connected Variable: paux
!   Port Name: qlost
!   Connected Variable: qlost
! Output Ports:
!   Port Name: pt5
!   Connected Variable: p
!-----
CONSTANT HeHeCwPt5v=1.0
CONSTANT HeHeCwPt5p0=0.0
!constant HeHeCwPt5v =1.0
!constant HeHeCwPt5p0 =0.0

HeHeCwPt5p =integ ((HeHeCwp8q -
HeHeCwConstant2o1 ).HeHeCwPt5p0
)+HeHeCw&
Constant1o1
!-----
! ACSL Block: p8
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:03:39 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: psuc
!   Connected Variable: pin
!   Port Name: pdis
!   Connected Variable: pout
!   Port Name: u
!   Connected Variable: s
! Output Ports:
!   Port Name: q
!   Connected Variable: q
!-----
CONSTANT HeHeCwp8qmax=5.0
CONSTANT HeHeCwp8c1=22.875
CONSTANT HeHeCwp8c2=.9318
CONSTANT HeHeCwp8c3=-0.7231
CONSTANT HeHeCwp8kv=40.0
! pump characteristic

!constant HeHeCwp8c1 = 22.875
!constant HeHeCwp8c2 = .9318
!constant HeHeCwp8c3 = -0.7231

```

```

!constant HeHeCwp8kv =40.0

HeHeCwp8X =HeHeCwp8c3
HeHeCwp8Y =HeHeCwp8c2
HeHeCwp8Z =HeHeCwp8c1
+(HeHeCwConstanto1 -HeHeCwPt5p )*10.2

!constant HeHeCwp8qmax =5.0
HeHeCwp8q =HeHeCwonoffcontrolo *bound
(0.0,HeHeCwp8qmax ,(-HeHeCwp8Y -s&
qrt (abs (HeHeCwp8Y **2-4*HeHeCwp8X
*HeHeCwp8Z )))/(2*HeHeCwp8X ))

HeHeCwp8dH =HeHeCwp8c1 +HeHeCwp8c2
*HeHeCwp8q +HeHeCwp8c3 *(HeHeCwp8q
*&
*2)

!-----
! ACSL Block: onoffcontrol
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 01:04:44 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i
! Output Ports:
!   Port Name: u
!   Connected Variable: o
!-----
CONSTANT HeHeCwonoffcontrolimin=5.0

!constant HeHeCwonoffcontrolimin = 3.0

if(HeHeCwPt5p .lt.HeHeCwonoffcontrolimin
)then
HeHeCwonoffcontrolo = 1
else
HeHeCwonoffcontrolo = 0
end if
!-----
! ACSL Block: Constant
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 00:58:57 05/21/96
! Description:
!   Constant value is preset into memory
!   to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:

```

```

!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwConstanto1=0.0
!constant HeHeCwConstanto1 = 1.0
!-----
! ACSL Block: Constant1
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:05:57 05/21/96
! Description:
!   Constant value is preset into memory
!   to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwConstantlo1=2.0
!constant HeHeCwConstantlo1 = 1.0
!-----
! ACSL Block: Constant2
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:13:53 01/09/96
! Description:
!   Constant value is preset into memory
!   to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwConstant2o1=1.0
!constant HeHeCwConstant2o1 = 1.0

! Begin of Compound Block DHWPin
! Compound Block: DHWPin
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:55:45 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: p
!-----
! ACSL Block: Pulse1
! Type: Pulse
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:59:20 05/24/96

```

```

! Description:
!   Generate a pulse train of period "P" and
pulse width "W"
!   Starting at time "TZ".
!   Pulse output range is 0.0 to 1.0
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwDHWPinPulse1w=300.0
CONSTANT HeHeCwDHWPinPulse1tz=0.0
CONSTANT HeHeCwDHWPinPulse1p=600.0
!----- Pulse

!constant HeHeCwDHWPinPulse1tz = 0.0 !
start time
!constant HeHeCwDHWPinPulse1p = 1.0 !
period
!constant HeHeCwDHWPinPulse1w = 0.5 !
width

HeHeCwDHWPinPulse1o1 = pulse
(HeHeCwDHWPinPulse1tz ,
HeHeCwDHWPinPulse&
1p , HeHeCwDHWPinPulse1w )

!-----
! ACSL Block: Integrator1
! Type: Integrator
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:12:32 01/09/96
! Description:
!   Predict a state value from a numerically
integrated derivative.
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT
HeHeCwDHWPinIntegrator1ic=0.0
!-----Integrator
!constant HeHeCwDHWPinIntegrator1ic = 0.0
HeHeCwDHWPinIntegrator1o1 = integ
(HeHeCwDHWPinSummation2o ,
HeHeCwDHW&
PinIntegrator1ic )

!-----
! ACSL Block: Gain2
! Type: Gain

```

```

! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:23:59 05/24/96
! Description:
!   Proportional Gain
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwDHWPinGain2k=-0.02
!----- Gain
!constant HeHeCwDHWPinGain2k = 1.0
HeHeCwDHWPinGain2o1 =
HeHeCwDHWPinGain2k *
HeHeCwDHWPinIntegrator1o1

!-----
! Summation Block: Summation2
! Type: Summation
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:13:00 01/09/96
! Description:
!   Summation operator. Additional input
ports can be added.
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: o
!-----
HeHeCwDHWPinSummation2o =
+HeHeCwDHWPinGain2o1+HeHeCwDHWPin
Pulse1o1

!-----
! ACSL Block: Constant1
! Type: Constant
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:03:33 05/24/96
! Description:
!   Constant value is preset into memory
to define a default for this model.
! Input Ports:
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwDHWPinConstant1o1=2.0
!constant HeHeCwDHWPinConstant1o1 = 1.0
!-----

```

```

! Summation Block: Summation11
! Type: Summation
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:13:00 01/09/96
! Description:
!       Summation operator. Additional input
ports can be added.
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: o
!-----
HeHeCwDHWPinSummation11o =
+HeHeCwDHWPinGain11o1+HeHeCwDHWPin
Constant1o&
1

```

```

!-----
! ACSL Block: Gain11
! Type: Gain
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:23:51 05/24/96
! Description:
!       Proportional Gain
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HeHeCwDHWPinGain11k=0.04
!----- Gain
!constant HeHeCwDHWPinGain11k = 1.0
HeHeCwDHWPinGain11o1 =
HeHeCwDHWPinGain11k *
HeHeCwDHWPinIntegrator1o&
1

```

```

! End of Compound Blcok DHWPin
! End of Compound Blcok HeCw

! Begin of Compound Block HeTr
! Compound Block: HeTr
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:22:43 02/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1

```

```

!   Port Name: i3
!   Port Name: i5
!   Port Name: i6
!   Port Name: i7
!   Port Name: i2
!   Port Name: i4
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Port Name: o2
!-----

```

```

! ACSL Block: het2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:14:43 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: hprev
!   Port Name: i2
!   Connected Variable: qt
!   Connected Variable: qs
!   Port Name: i1a
!   Connected Variable: hsprev
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: ts
!   Port Name: tt
!   Connected Variable: tt
!-----

```

```

CONSTANT HeHeTrhet2z=0.1
CONSTANT HeHeTrhet2rohs=1.0
CONSTANT HeHeTrhet2roh=1.0
CONSTANT HeHeTrhet2vhs=2.0
CONSTANT HeHeTrhet2vh=2.0
CONSTANT HeHeTrhet2ka=0.01
CONSTANT HeHeTrhet2hsin=50.0
CONSTANT HeHeTrhet2hin=300.0
CONSTANT HeHeTrhet2kb=0.04
CONSTANT HeHeTrhet2kc=0.0005
!constant HeHeTrhet2roh = 1.0
!constant HeHeTrhet2rohs = 1.0
!constant HeHeTrhet2vh = 0.5
!constant HeHeTrhet2vhs = 0.5
!constant HeHeTrhet2hin = 300.0
!constant HeHeTrhet2hsin = 0.0
!constant HeHeTrhet2z = 0.1
!constant HeHeTrhet2ka = 1.0
!constant HeHeTrhet2kb = 1.0
!constant HeHeTrhet2kc = 0.0005
HeHeTrhet2dh = (HeHeTrVecqt *(PuPiEnen10h
-HeHeTrhet2h )-HeHeTrhet2htr&
an )/(1000.0*HeHeTrhet2roh *HeHeTrhet2vh )

```

```

HeHeTrhet2dhs = (HeHeTrVecqs
*(HeHeCwcwt1h -HeHeTrhet2hs
)+HeHeTrhet2h&
tran)/(1000.0*HeHeTrhet2rohs *HeHeTrhet2vhs
)
HeHeTrhet2h = integ (HeHeTrhet2dh
,HeHeTrhet2hin )
HeHeTrhet2hs = integ (HeHeTrhet2dhs
,HeHeTrhet2hsin )
HeHeTrhet2tprev = PuPiEnen10h /4.18
HeHeTrhet2tsprev = HeHeCwcwt1h /4.18
HeHeTrhet2tt = HeHeTrhet2h /4.18
HeHeTrhet2ts = HeHeTrhet2hs /4.18
procedural (HeHeTrhet2lm =HeHeTrhet2tprev
,HeHeTrhet2tt ,HeHeTrhet2tspr&
ev ,HeHeTrhet2ts ,HeHeTrhet2z )
HeHeTrhet2tmx = max ((HeHeTrhet2h -
HeHeCwcwt1h ),(PuPiEnen10h -HeHeTrh&
et2hs ))
HeHeTrhet2tmn = min ((HeHeTrhet2h -
HeHeCwcwt1h ),(PuPiEnen10h -HeHeTrh&
et2hs ))
HeHeTrhet2ztr = HeHeTrhet2tmx
/(HeHeTrhet2tmn +0.001)
if(abs (abs (HeHeTrhet2ztr )-1).le.1.e-
5*HeHeTrhet2z ) go to HeHeTrhet2&
f1
HeHeTrhet2lm = sign ((abs (HeHeTrhet2tmx )-
abs (HeHeTrhet2tmn ))/log (&
abs (HeHeTrhet2ztr )) ,HeHeTrhet2tmn )
go to HeHeTrhet2f2
HeHeTrhet2f1 ..continue
HeHeTrhet2lm = HeHeTrhet2tmn
HeHeTrhet2f2 ..continue
end
HeHeTrhet2u = 1/(HeHeTrhet2ka *(abs
(HeHeTrVecqs)+0.0001)**(-0.6)+HeH&
eTrhet2kb *(abs (HeHeTrVecqt)+0.0001)**(-
0.8)+HeHeTrhet2kc )
HeHeTrhet2htran = HeHeTrhet2u
*HeHeTrhet2lm
!-----
! ACSL Block: het1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 00:13:24 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: hprev
! Port Name: i2
! Connected Variable: qt
! Connected Variable: qs
! Port Name: o1
! Connected Variable: ts
! Port Name: tt
! Connected Variable: tt
!-----
CONSTANT HeHeTrhet1z=0.1
CONSTANT HeHeTrhet1rohs=1.0
CONSTANT HeHeTrhet1roh=1.0
CONSTANT HeHeTrhet1vhs=0.5
CONSTANT HeHeTrhet1vh=0.5
CONSTANT HeHeTrhet1ka=0.01
CONSTANT HeHeTrhet1hsin=50.0
CONSTANT HeHeTrhet1hin=100.0
CONSTANT HeHeTrhet1kb=0.04
CONSTANT HeHeTrhet1kc=0.0005
!constant HeHeTrhet1roh = 1.0
!constant HeHeTrhet1rohs = 1.0
!constant HeHeTrhet1vh = 0.5
!constant HeHeTrhet1vhs = 0.5
!constant HeHeTrhet1hin = 300.0
!constant HeHeTrhet1hsin = 0.0
!constant HeHeTrhet1z = 0.1
!constant HeHeTrhet1ka = 1.0
!constant HeHeTrhet1kb = 1.0
!constant HeHeTrhet1kc = 0.0005
HeHeTrhet1dh = (HeHeTrVec1qt
*(PuPiEnen10h -HeHeTrhet1h )-HeHeTrhet1ht&
ran)/(1000.0*HeHeTrhet1roh *HeHeTrhet1vh )
HeHeTrhet1dhs = (HeHeTrVec1qs
*(HeHeCwcwt2h -HeHeTrhet1hs
)+HeHeTrhet1&
htran)/(1000.0*HeHeTrhet1rohs
*HeHeTrhet1vhs )
HeHeTrhet1h = integ (HeHeTrhet1dh
,HeHeTrhet1hin )
HeHeTrhet1hs = integ (HeHeTrhet1dhs
,HeHeTrhet1hsin )
HeHeTrhet1tprev = PuPiEnen10h /4.18
HeHeTrhet1tsprev = HeHeCwcwt2h /4.18
HeHeTrhet1tt = HeHeTrhet1h /4.18
HeHeTrhet1ts = HeHeTrhet1hs /4.18
procedural (HeHeTrhet1lm =HeHeTrhet1tprev
,HeHeTrhet1tt ,HeHeTrhet1tspr&
ev ,HeHeTrhet1ts ,HeHeTrhet1z )
HeHeTrhet1tmx = max ((HeHeTrhet1h -
HeHeCwcwt2h ),(PuPiEnen10h -HeHeTrh&
et1hs ))
HeHeTrhet1tmn = min ((HeHeTrhet1h -
HeHeCwcwt2h ),(PuPiEnen10h -HeHeTrh&
et1hs ))
HeHeTrhet1ztr = HeHeTrhet1tmx
/(HeHeTrhet1tmn +0.001)

```



```

if(abs (abs (HeHeTrhet1ztr )-1).le.1.e-
5*HeHeTrhet1z ) go to HeHeTrhet1&
fl
HeHeTrhet1lm = sign ((abs (HeHeTrhet1tmx )-
abs (HeHeTrhet1tmn ))/log (&
abs (HeHeTrhet1ztr )),HeHeTrhet1tmn )
go to HeHeTrhet1f2
HeHeTrhet1f1 ..continue
HeHeTrhet1lm = HeHeTrhet1tmn
HeHeTrhet1f2 ..continue
end
HeHeTrhet1u = 1/(HeHeTrhet1ka *(abs
(HeHeTrVec1qs )+0.0001)**(-0.6)+He&
HeTrhet1kb *(abs (HeHeTrVec1qt )+0.0001)**(-
0.8)+HeHeTrhet1kc )
HeHeTrhet1htran = HeHeTrhet1u
*HeHeTrhet1lm
!-----
! ACSL Block: Vec
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 15:48:30 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: qtt
! Port Name: i2
! Connected Variable: qss
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: qt
! Connected Variable: qs
!-----
HeHeTrVecqt = Hehf1q
HeHeTrVecqs = HeHeCwp7q
!-----
! ACSL Block: Vec1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:42:07 12/10/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: qtt
! Port Name: i2
! Connected Variable: qss
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: qt
! Connected Variable: qs
!-----

```

```

HeHeTrVec1qt = Hehf2q
HeHeTrVec1qs = HeHeCwhcf2q
!-----
! ACSL Block: tt7
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:54:31 05/21/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: tt6
! Connected Variable: tt6
! Port Name: tt5
! Connected Variable: tt5
! Port Name: qx2
! Connected Variable: qx2
! Port Name: qx4
! Connected Variable: qx4
! Output Ports:
! Port Name: tt7
! Connected Variable: tt7
!-----
HeHeTrtt7tt7 =(Hehf1q *HeHeTrhet2tt +Hehf2q
*HeHeTrhet1tt)/(Hehf2q +He&
hf1q +0.00001)
! End of Compound Blocok HeTr
! Begin of Compound Block mcon
! Compound Block: mcon
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:28:44 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pv
! Port Name: ref
! Output Ports:
! Port Name: u
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:11:23 05/24/96
! Description:
! Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
! represented by the Laplace transform:
!  $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s +$ 
1))
! Input Ports:
! Port Name: In

```

```

! Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
! Port Name: Out
! Connected Variable: y(Units)
!-----
equivalence (HemconSummerE, HemconE)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT HemconPIDk=1.0 ! (Units)
!Constant HemconPIDK = 1.0
!Constant HemconPIDTI = 2.55
!Constant HemconPIDTF = 1.0
!Constant HemconPIDTD = 0.01
!Constant HemconPIDIc1 = 0.0
!Constant HemconPIDIc2 = 0.0
!-----Proportional, Integral, Differential
Controller
HemconPIDY = HemconPIDK
*(HemconSummerE + INTEG
(HemconSummerE /(60.0&
*HemconPIDTI +0.00001), HemconPIDIc1 ) +
(60.0*HemconPIDTD ) *HemconPIDX&
d )
!-----Estimated X dot

HemconPIDXd = (HemconSummerE - INTEG
(HemconPIDXd , HemconPIDIc2 ))/H&
emconPIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:01 04/29/96
! Description:
! Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: i1
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT HemconBoundtb=1.0

```

```

CONSTANT HemconBoundbb=0.0
!-----Bound

!constant HemconBoundbb = -1.0
!constant HemconBoundtb = 1.0

HemconBoundo1 = bound (HemconBoundbb ,
HemconBoundtb , HemconPIDy )

!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:43:08 09/18/95
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: E
!-----
equivalence (HeSummer1E, HeE)
HemconSummerE = +Hept7r1pt7ref-
HeSummer1E

! End of Compound Blocok mcon

! Begin of Compound Block mcon1
! Compound Block: mcon1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:28:44 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pv
! Port Name: ref
! Output Ports:
! Port Name: u
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:11:15 05/24/96
! Description:
! Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
! represented by the Laplace transform:
!  $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s +$ 
1))
! Input Ports:

```

```

! Port Name: In
! Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
! Port Name: Out
! Connected Variable: y(Units)
!-----
equivalence (Hemcon1SummerE, Hemcon1E)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon1PIDk=1.0 ! (Units)
!Constant Hemcon1PIDK = 1.0
!Constant Hemcon1PIDTI = 2.55
!Constant Hemcon1PIDTF = 1.0
!Constant Hemcon1PIDTD = 0.01
!Constant Hemcon1PIDIc1 = 0.0
!Constant Hemcon1PIDIc2 = 0.0
!-----Proportional, Integral, Differential
Controller

Hemcon1PIDY = Hemcon1PIDK
*(Hemcon1SummerE + INTEG
(Hemcon1SummerE /(&
60.0*Hemcon1PIDTI+0.00001),
Hemcon1PIDIc1 ) + (60.0*Hemcon1PIDTD
)*Hem&
con1PIDXd )
!-----Estimated X dot
Hemcon1PIDXd = (Hemcon1SummerE -
INTEG (Hemcon1PIDXd , Hemcon1PIDIc2 &
))/Hemcon1PIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:01 04/29/96
! Description:
! Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Connected Variable: i1
! Output Ports:
! Port Name: o1
! Connected Variable: o1

```

```

!-----
CONSTANT Hemcon1Boundtb=1.0
CONSTANT Hemcon1Boundbb=0.0
!-----Bound

!constant Hemcon1Boundbb = -1.0
!constant Hemcon1Boundtb = 1.0

Hemcon1Boundo1 = bound (Hemcon1Boundbb
, Hemcon1Boundtb , Hemcon1PIDy &)

!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:43:08 09/18/95
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: E
!-----
Hemcon1SummerE = +Hett12rtt12r-
HeHeTrhet1ts

! End of Compound Blocok mcon1

! Begin of Compound Block mcon2
! Compound Block: mcon2
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:28:44 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: pv
! Port Name: ref
! Output Ports:
! Port Name: u
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:10:43 05/24/96
! Description:
! Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
! represented by the Laplace transform:
!  $Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s + 1))$ 

```

```

! Input Ports:
!   Port Name: In
!   Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
!   Port Name: Out
!   Connected Variable: y(Units)
!-----
equivalence (Hemcon2SummerE, Hemcon2E)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon2PIDk=1.0 ! (Units)
!Constant Hemcon2PIDK = 1.0
!Constant Hemcon2PIDTI = 2.55
!Constant Hemcon2PIDTF = 1.0
!Constant Hemcon2PIDTD = 0.01
!Constant Hemcon2PIDIc1 = 0.0
!Constant Hemcon2PIDIc2 = 0.0
!-----Proportional, Integral, Differential
Controller
Hemcon2PIDY = Hemcon2PIDK
*(Hemcon2SummerE + INTEG
(Hemcon2SummerE /(&
60.0*Hemcon2PIDTI +0.00001),
Hemcon2PIDIc1 ) + (60.0*Hemcon2PIDTD
)*Hem&
con2PIDXd )
!-----Estimated X dot
Hemcon2PIDXd = (Hemcon2SummerE -
INTEG (Hemcon2PIDXd , Hemcon2PIDIc2 &
))/Hemcon2PIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:01 04/29/96
! Description:
!       Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1

```

```

!-----
CONSTANT Hemcon2Boundtb=1.0
CONSTANT Hemcon2Boundbb=0.0
!-----Bound

!constant Hemcon2Boundbb = -1.0
!constant Hemcon2Boundtb = 1.0

Hemcon2Boundo1 = bound (Hemcon2Boundbb
, Hemcon2Boundtb , Hemcon2PIDy &)

!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:43:08 09/18/95
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E
!-----
equivalence (HeSummerE1, HeE1)
Hemcon2SummerE = +Hept3rpt3ref-
HeSummerE1

! End of Compound Blocok mcon2

! Begin of Compound Block mcon3
! Compound Block: mcon3
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 12:28:44 05/18/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: pv
!   Port Name: ref
! Output Ports:
!   Port Name: u
!-----
! ACSL Block: PID
! Type: PID
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:10:00 05/24/96
! Description:
!       Generic
Proportional/Integral/Differential Controller
!       represented by the Laplace transform:

```

```

!      Y/X = K(1 + 1/(TI*s) + TD*s/(TF*s +
1))
! Input Ports:
!   Port Name: In
!   Connected Variable: x(Units)
! Output Ports:
!   Port Name: Out
!   Connected Variable: y(Units)
!-----
equivalence (Hemcon3SummerE, Hemcon3E)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDic1=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDic2=0.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDtd=0.01 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDtf=1.0 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDti=2.55 ! (Units)
!! Initial condition on integrator
CONSTANT Hemcon3PIDk=1.0 ! (Units)
!Constant Hemcon3PIDK = 1.0
!Constant Hemcon3PIDTI = 2.55
!Constant Hemcon3PIDTF = 1.0
!Constant Hemcon3PIDTD = 0.01
!Constant Hemcon3PIDIc1 = 0.0
!Constant Hemcon3PIDIc2 = 0.0
!-----Proportional, Integral, Differential
Controller
Hemcon3PIDY = Hemcon3PIDK
*(Hemcon3SummerE + INTEG
(Hemcon3SummerE /(&
60.0*Hemcon3PIDTI +0.00001),
Hemcon3PIDIc1 ) + (60.0*Hemcon3PIDTD
)*Hem&
con3PIDXd )
!-----Estimated X dot
Hemcon3PIDXd = (Hemcon3SummerE -
INTEG (Hemcon3PIDXd , Hemcon3PIDIc2 &
))/Hemcon3PIDTF

!-----
! ACSL Block: Bound
! Type: Bound
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 16:36:01 04/29/96
! Description:
!      Limit a value between upper and lower
bounds
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Connected Variable: i1
! Output Ports:
!   Port Name: o1
!   Connected Variable: o1
!-----
CONSTANT Hemcon3Boundtb=1.0
CONSTANT Hemcon3Boundbb=0.0
!----Bound

!constant Hemcon3Boundbb = -1.0
!constant Hemcon3Boundtb = 1.0

Hemcon3Boundo1 = bound (Hemcon3Boundbb
, Hemcon3Boundtb , Hemcon3PIDy &)
!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 10:43:08 09/18/95
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E
!-----
Hemcon3SummerE = +Hett8rtt12r-HeHeTrhet2ts

! End of Compound Blocok mcon3
!-----
! Summation Block: Summer
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:07:26 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:
!   Port Name: i1
!   Port Name: i2
! Output Ports:
!   Port Name: E1
!-----
HeSummerE1 = +F1Dipn2p-Hecv2pressure

!-----
! Summation Block: Summer1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 14:07:03 05/20/96
! Description:
!
! Input Ports:

```

```

! Port Name: i1
! Port Name: i2
! Output Ports:
! Port Name: E
-----
HeSummer1E = +FlDipn2p-Hecv3pressure
-----
! ACSL Block: pt3r
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:17:57 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: pt3r
! Connected Variable: pt3ref
-----
Hept3rpt3ref =3.0
-----
! ACSL Block: pt7r1
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:17:07 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: pt7r
! Connected Variable: pt7ref
-----
Hept7r1pt7ref =2.0
-----
! ACSL Block: tt12r
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:17:40 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: tt12r
! Connected Variable: tt12r
-----
Hett12rtt12r =55.0
-----
! ACSL Block: tt8r
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 11:49:45 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: tt8r
! Connected Variable: tt12r
-----
Hett8rtt12r =60.0
-----
! ACSL Block: kv
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 02:20:57 05/22/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Port Name: k2
! Connected Variable: k2
! Port Name: k4
! Connected Variable: k4
! Output Ports:
! Port Name: k
! Connected Variable: k
-----
Hekvk =Hehf2k +Hehf1k
! End of Compound Block He
! Equivalence Statements for Top Level Model
Ports
END ! end of DERIVATIVE

END ! end of DYNAMIC

TERMINAL
-----
! ACSL Block: stat
! Type:
! Author: D. Gombos
! Version:
! Last Change: 21:20:05 05/24/96
! Description:
!
! Input Ports:
! Output Ports:
! Port Name: us
! Connected Variable: us
-----
status =0.0
END ! end of TERMINAL

END ! end of PROGRAM

```