

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

BIBLIOTECA CENTRALĂ

Nr. inv. 210/42

Dulap 12 Lit.

"POLITEHNICA" TIMIȘOARA
ȘI DE HIDROTEHNICĂ

**OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII SISTEMELOR
GEOTERMALE PRIN SIMULARE HIDRAULICĂ
ȘI TERMICĂ CUPLATĂ**

TEZĂ DE DOCTORAT

COORDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Prof. Dr. Ing. CORNEL JURA

DOCTORAND
Ing. GHEORGHE LAZĂR

Timișoara 1997

Cuprins

Introducere	5
Partea I. Stadiul actual privind exploatarea resurselor de energie geotermală	7
1. Resurse de energie geotermală	9
1.1 Generalități	9
1.1.1. Zăcăminte de energie geotermică înaltă	9
1.1.2. Zăcăminte de energie geotermică joasă	10
1.1.3. Zăcăminte de roci calde și uscate	12
1.2. Evaluarea cantitativă și calitativă a resurselor geotermale de energie joasă din România	13
1.2.1. Considerații generale	13
1.2.2. Anomalii geotermice în Cîmpia de Vest a României	15
1.2.3. Clasificarea surselor geotermale în Cîmpia de Vest a României	16
1.2.4. Caracteristici generale ale zăcămintelor geotermale de joasă energie din Cîmpia de Vest a României	23
1.2.4.1 Considerații generale	23
1.2.4.2. Evoluția în exploatare a zăcămintelor geotermale de joasă energie din Cîmpia de Vest a României	24
1.2.5. Utilizarea zăcămintelor geotermice de joasă energie în Cîmpia de Vest a României	26
Partea II. Simularea matematică a mișcării apei geotermale în regim hidraulic și termic staționar	31
2. Simularea mișcării apei geotermale în regim hidraulic staționar	33
2.1. Considerații generale	34
2.2. Simularea mișcării apei geotermale în regim hidraulic staționar, domeniu bidimensional	34
2.2.1. Considerații generale	34
2.2.2. Bazele matematice ale metodei elementelor finite în mișcarea hidraulică staționară subterană, domeniu bidimensional	36
3. Simularea regimului termic staționar geotermal, domeniu bidimensional	42
3.1 Considerații generale	42
3.2 Difuziunea termică	42
3.3 Dispersia termică	43
3.4 Ecuația generală a transferului căldurii apei geotermale, regim staționar ...	47
3.5. Bazele matematice ale metodei elementelor finite în mișcarea termică subterană staționară, cu transport termic	51
4. Simularea hidraulică și termică cuplată a apei geotermale în regim staționar	58
4.1. Considerații generale	58
4.2. Bazele matematice ale metodei elementelor finite în sistem cuplat hidraulic și termic	59
Program general de introducere a datelor de intrare necesare modelării hidraulice subterane și a transferului de căldură	61
Considerații generale	61
Program general bază de date GENTERM.BAS	61
Program general de simulare numerică a regimului hidraulic și termic cuplat - program TERMAL.BAS	70
Partea III. Optimizarea exploatării sistemelor geotermale din zona perimetrelor loca- lităților: Sînnicolau Mare, Tomnatie și Lovrin	73
5. Probleme specifice de modelare a mișcării hidraulice și termice cuplate	75
5.1. Considerații generale	75

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA



00051763

619.444
366 C

5.2. Discretizarea domeniului - elemente finite triunghiulare	76
5.2.1. Discretizare domeniu general de ansamblu	76
5.2.2. Discretizare domeniu de detaliu - Sănnicolau Mare	80
5.2.3. Discretizare domeniu de detaliu - Tomnatic	81
5.2.4. Discretizare domeniu de detaliu - Lovrin	82
5.3. Concluzii parțiale	84
6. Program experimental de simulare hidraulică și termică cuplată	85
6.1. Considerații generale	85
6.2. Simularea modelării - regim de funcționare R_1	87
6.2.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_1	87
6.2.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_1	87
6.3. Simularea modelării - regim de funcționare R_2	96
6.3.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_2	96
6.3.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_2	96
6.4. Simularea modelării - regim de funcționare R_3	105
6.4.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_3	105
6.4.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_3	105
6.5. Simularea modelării - regim de funcționare R_4	114
6.5.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_4	114
6.5.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_4	114
6.6. Simularea modelării - regim de funcționare R_5	123
6.6.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_5	123
6.6.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_5	124
6.7. Simularea modelării - regim de funcționare R_6	133
6.7.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_6	133
6.7.2. Rezultate numerice referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_6	134
7. Optimizarea exploatarea sistemelor geotermale din zona perimetrelor loca- lităților: Sănnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin	143
7.1. Considerații generale. Metodologie de optimizare a reinjectă- rii apei reziduale geotermale	143
7.2. Determinarea soluției optime de reinjectare	147
7.3. Concluzii parțiale referitoare la metodologia de optimizare a reinjectării apei reziduale geotermale	149
8. Concluzii generale	151
Bibliografie	157
Anexa A	A-163
Anexa B	B-181

Motto: “ Dintre sute de catarge care lasă malurile
Câte oare le vor sparge, vânturile, valurile”
M. Eminescu

Introducere

Utilizarea majoră a energiei geotermale este limitată la Câmpia de Vest a României. Forajele cele mai importante existente sunt deschise în orizonturile Panonianului inferior și superior, zona perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin la adâncimea de 2000m.

O parte importantă din energia termică terestră furnizată de interiorul cald al Pământului, provine din *dezintegrările elementelor radioactive* ce emit particule cu o anumită energie cinetică, care prin frecare cu mediul pe care-l străbat, este convertită în *energie termică* în proporție de 25% [77].

Această afirmație mi-a generat ideea de utilizare (artificială) a apei reziduale rezultată din extracțiile zăcămintelor geotermale din Câmpia de Vest a României, prin reinjectare la presiuni prestabilite, rezultate dintr-o simulare numerică, de preferință zona aferentă perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin,

Parametrii cei mai importanți în realizarea reinjectării sunt: *debitele de extracție* sau *injecție* și *temperatura*, fie din interiorul acviferului sau de la suprafață.

Din observațiile făcute în timpul exploatării s-a constatat că la valorile mari pentru debitele de extracție, se produce o scădere semnificativă a presiunii în cadrul acviferelor (scăderea nivelurilor față de capul de extracție al sondei în limite de -20m ... -35m) și o ușoară scădere a temperaturii (3...5°C).

Ideea reinjectării apei reziduale în sondele existente la presiuni prestabilite are unele efecte pozitive și negative asupra exploatării și anume:

⇒ efect pozitiv de ridicare a presiunii acviferului geotermal la valori importante;

⇒ efect pozitiv de diminuare a efectului termic poluant al apei reziduale asupra mediului înconjurător în situația reinjectării. În mod frecvent apa reziduală este deversată în emisari locali, canale de irigație sau desecare;

⇒ efect negativ de diminuare a temperaturii la nivelul acviferului geotermal, deci scăderea energiei termice de utilizare a zăcămintelor geotermale.

Aceste afirmații au la bază și interpretarea rezultatelor efectuate de către autorul acestei lucrări, prin efectuarea unor simulări numerice de mișcare a apei geotermale și a transferului de căldură, în acviferele geotermale aferente localităților specificate.

Modul de alegere a mărimilor precizate: *debitul de extracție* sau *injectare*, respectiv *debitul termic* corespunzător (dat parametric de: debitul hidraulic, căldura specifică a apei și temperatură) conduce la o utilizare rațională a energiei geotermice transferate.

Obiectul lucrării de față are ca scop realizarea unei modelări numerice simultane - hidraulică și termică cuplată - al apei geotermale prin mediul poros din cadrul acviferelor subterane și determinarea optimă a valorilor debitelor de extracție sau injectare.

Lucrarea grupează materialul pe 3 părți și conține: 8 capitole; 136 figuri; 70 tabele; 2 anexe ce cuprind instrucțiunile a două programe: ♦ un program de generare a bazei de date necesară discretizării domeniului de simulare numerică prin metoda elementelor finite; ♦ un program de simulare numerică cuplată a mișcării hidraulice a apei geotermale și a transferului termic prin metoda elementelor finite; 120 referințe bibliografice.

Partea I-a tratează situația actuală privind exploatarea resurselor geotermale de joasă energie specifice pentru Câmpia de Vest a României.

Partea II-a este structurată pe 4 capitole, dezvoltă principiile modelării matematice a mișcării apei geotermale în regim cuplat hidraulic și termic. Din punct de vedere al aplicației practice, descrie cele două programe realizate de către autor în limbaj de programare *QuickBasic* ver.4.0...7.1, în vederea simulării aplicațiilor experimentale.

Partea III-a prezintă problemele specifice din punct de vedere experimental, pentru efectuarea simulării numerice în 6 situații posibile de exploatare. Rezultatele experimentale sunt prelucrate și reprezentate grafic, reprezentând câmpurile de sarcini hidraulice și câmpurile de temperaturi pe toată suprafața domeniului, într-o reprezentare plană și spațială.

În vederea alegerii soluției optime de exploatare sunt prelucrate grafic volumele de sarcini hidraulice și volumele de temperaturi, rezultând raportul optim de exploatare (dat de raportul dintre debitul de injecție pe debitul de extracție).

Pentru rezolvările date în lucrare și considerate optime, s-a ales valoarea temperaturii apei reziduale de 65°C iar reinjecțiile s-au făcut numai prin sondele existente.

Partea I-a.

Stadiul actual privind exploatarea resurselor de energie geotermală



Cap.1. Resurse de energie geotermală

1.1. Generalități

Energia termică terestră este constituită din două surse importante: una externă furnizată de Soare (solară) și alta internă furnizată de interiorul cald al Pământului (telurică). Particulele emise sub formă de radiații de către elementele radioactive, ce se găsesc dispuse difuz în scoarța terestră în curs de dezintegrare posedă o energie cinetică, care prin frecare cu substanța pe care o străbat, ce constituie mediul înconjurător, este convertită cea 25% în energie termică.

Geochimistul M.Joly în 1903 a semnalat importanța elementelor radioactive și a demonstrat că întreaga căldură degajată de elementele radioactive din scoarța terestră este suficientă pentru a explica toate fenomenele geologice și vulcanice, inclusiv existența magmei topite aflată la aproximativ 1300°C /77/.

Energia geotermică nu este propriu-zis o energie nouă. Romanii utilizau apele calde naturale. Locuitorii din Chaudes-Aignes (Cantal-Franța) se încălzeau încă din evul mediu datorită izvoarelor naturale calde la temperaturi de 81-83°C. Aceste folosiri directe a căldurii interne telurice erau modeste și nu necesitau decât puține echipamente.

În 1827, Francis de Larderello a avut ideea de a capta vaporii uscați din eleșteele noroioase - Lagonele din Montecerboli (Toscana - Italia) /14/. Astfel a putut să-și încălzească ceaunurile în care concentra noroiurile din Lagone, pentru a extrage din ele borul.

Ideea a fost socotită interesantă și locul unde se aflau aceste instalații, în 1846 se denumește Larderello. Acest loc poate fi socotit leagănul energiei geotermice moderne. Astăzi Larderello este unul din centrele mari de energie geotermică cu o putere instalată de cea 400 MW /12/.

În Câmpia de Vest a țării noastre, la sud de Oradea (Băile - Felix, Băile 1 Mai), apele geotermale sunt exploatate prin foraje și utilizate pentru tratament și agrement, în spații amenajate acestui scop, de peste 110 ani /78//108/ .

Fluxul geotermic datorat radioactivității rocilor constituente ale scoarței terestre nu este uniform repartizat.

În medie temperatura crește cu aproximativ 3°C la 100m adâncime /77/. Se cunosc numeroase regiuni cu gradienti geotermici anormali. Ariile acestea de răspândire poartă denumirea de anomalii geotermice.

Se cunosc de exemplu gradienti geotermici cuprinși între: 5°C / 100m -7.8°C /100m în Câmpia de Vest a țării noastre /78/, 5°C /100m -10°C /100m în Alsacia, 6°C /100m - 9°C /100m în Eimagne (Franța).

Această variabilitate locală a gradientului geotermic conduce la existența a 3 tipuri de zăcăminte de energie geotermică foarte diferite una de alta în formele de manifestare și în utilizările lor: zăcăminte de **energie geotermică înaltă**, zăcăminte de **energie geotermică joasă** și zăcăminte de **roci calde uscate**.

1.1.1. Zăcăminte de energie geotermică înaltă

Energia geotermică înaltă este legată de prezența rocilor calde, relativ superficiale, originea acestei călduri este dezintegrarea elementelor radioactive prezente în straturile profunde ale planetei. Existența unui zăcământ de energie înaltă, necesită următoarele condiții:

- să existe un acvifer alimentat de apele de infiltrație, circulând într-o pătură geologică permeabilă și poroasă.

- acviferul să fie situat pe o placă cu temperatură ridicată.
- stratul de deasupra acviferului să fie impermeabil și să echivaleze ca un capac ermetic.

Fiind încălzită de jos, apa acviferului generează curenți de convecție de tip celulari /12/16/. Stratul impermeabil de deasupra împiedecă apa să părăsească stratul permeabil, ceea ce conduce la mărirea presiunii și ridicarea punctului de fierbere. Pentru presiunea de 1 bar apa fierbe la 100°C, pentru 20 bari punctul de fierbere se ridică la 200°C, iar pentru presiunea de 100 bari, punctul de fierbere se ridică la 300°C. De exemplu, în câmpul geotermal de la Travale situat la 15 Km sud de Larderello (Italia) /4/12/, în 1972 la deschiderea puțului numit T₂₂, cercetările întreprinse au pus în evidență existența unui rezervor de aburi uscați cu presiunea de 60 bari și o temperatură de cca. 260°C.

Dacă apa unui zăcământ geotermic este vaporizată, ea va putea fi recuperată sub formă de vapori uscați direct utilizabili (energie înaltă uscată) la rotirea turbinelor care acționează generatorii de curent a unei centrale termoelectrice. Aceste zăcăminte ce posedă energie înaltă uscată sunt foarte rare în lume și se cunosc cele de la: Larderello (Italia) /14/, Geysers (California) 24, Matsukawa (Japonia) /5/.

Cel mai frecvent, apa zăcămintelor geotermice de înaltă energie este în stare de vapori și în stare lichidă, denumită energie înaltă umedă.

Cea mai scăzută presiune ce împiedecă urcarea ei spre suprafață, constituie un factor de vaporizare. Se cunosc actualmente cca. 100 de zăcăminte geotermice de înaltă energie umedă. Acești vapori umezi pot fi utilizați în turbinele unei centrale termoelectrice doar dacă nu mai conțin urme de apă lichidă.

Zăcămintele geotermice de energie înaltă umedă sunt importante surse de căldură. Apa lichidă ce iese din foraje este încărcată excesiv în săruri minerale, exemplu Imperial Valley (California) conține 25% săruri diverse, în timp ce apa de mare nu conține decât 3.5%.

Asemenea ape nu pot fi utilizate în mod direct, conductele clasice ar fi foarte repede corodate și mediul înconjurător ar fi poluat prin eventualele deversări. Căldura acestor ape foarte sărate este necesară să se transfere într-un schimbător de căldură, altor fluide, apoi să se reinjecteze apele răcite în zăcământ /24/ sau să se distileze.

Existența acestor rezervoare geotermale nu poate fi dovedită decât prin foraje de mare adâncime și importanța lor nu poate fi evaluată decât progresiv. Aceasta explică de ce echiparea unui amplasament ca cel de la Geysers (California) s-a extins pe o perioadă de câteva zeci de ani (50 MW în 1969, 290 MW în 1972, 600 MW în 1975 și 900 MW în 1980).

1.1.2. Zăcăminte de energie geotermică joasă

Energia geotermică joasă se datorește simplului gradient geotermic mediu sau ușor superior celui mediu. Cele mai răspândite sunt zăcămintele de joasă energie, cantonate în acvifere situate la 1000 m sau 2000 m adâncime de la suprafața solului și care conțin ape geotermale de 60°- 80°C, sau uneori la 120°C.

În Franța, marile bazine sedimentare conțin rezerve potențiale de energie geotermică. Cunoștințele dobândite în favoarea energiei geotermice joase au rezultat din nenumăratele foraje făcute de petroliști în bazinul Parizian (1400 foraje), bazinul Aevitan (900 foraje), culoarul Rhodanian și în Languedoc (300 foraje), Bresse și Savoie (200 foraje), Alsacia (200 foraje), Lorraine (10 foraje).

În țara noastră emergențele naturale hipertermale cuprind temperaturi între 50°C-130°C la adâncimea de bază 2000m de la suprafață. Distribuția energiei geotermice este rezultatul cercetărilor efectuate la 29 emergențe naturale și 126 emergențe artificiale rezultate din deschideri cu sonde /81/88/.

Distribuția densității fluxului termic pe teritoriul României (nivelul anului 1981) este prezentată în fig.1.1 /77/.

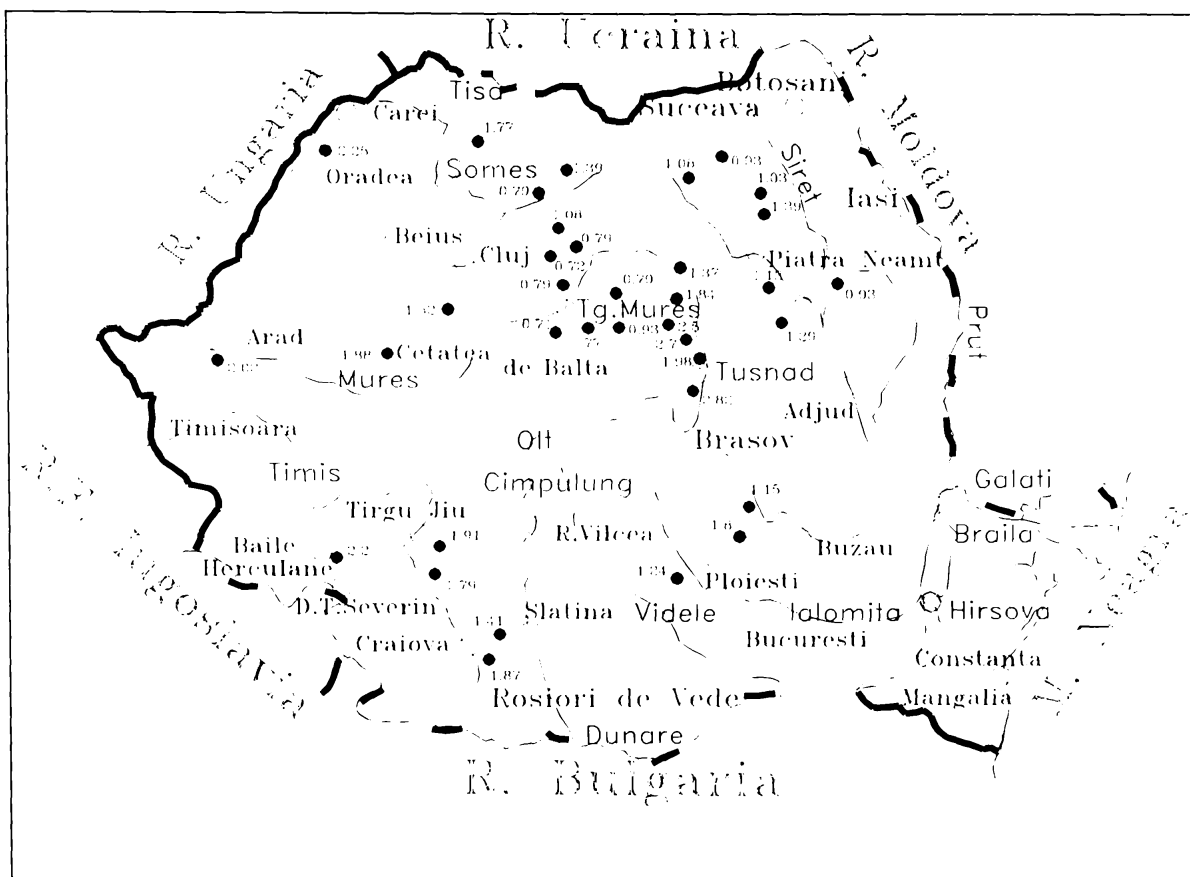


Fig.1.1 Distribuția fluxului termic

Densitatea fluxului termic măsurat atinge 2...2,5 mcal/cm²s. Geotermia de joasă cădere nu este spectaculoasă cum sunt emergențele și jeturile de vapori ale zăcămintelor de înaltă energie. Ele permit însă producerea de energie electrică doar prin transfer a căldurii unor lichide cu punctul de fierbere scăzut - freon, butan sau bioxid de carbon - exemplu Stația pilot de la Institutul de Învățământ Superior Oradea, cu o putere instalată de 100 kW și o energie anuală de cca. 200 MWh/an între temperaturile 86-75°C și agentul termic bioxid de carbon /2/.

Geotermia de joasă energie poate furniza căldură în instalații de încălzire sau apa caldă menajeră în condiții interesante. Ea poate permite economii substanțiale în combustibili fosili.

Astfel locuințele construite în 1975 la Creil, Melun, Mont de Marsan și Ville-neuve-la-Garenne (Franța), aduc economii datorită încălzirii lor de geotermia de joasă energie de cca. 12000 tone de echivalent-petrol pe an.

În Egipt, în apropiere de Cairo, există o centrală electrică cu o putere de 900 MW, utilizând apele geotermale de la Shoubrah el Kheima /5/.

În orașul Tbilisi, începând cu anul 1980, 15000 de apartamente beneficiază de încălzire cu apă geotermală /5/.

În Ungaria la Budapesta, 5600 de apartamente sunt încălzite cu apă geotermală /5/. La nivelul anului 1970, pe teritoriul Ungariei existau 413 sonde pentru ape geotermale cu adân-

cimea medie de aprox. 982 m și debit de aprox. 5.80 m³/s cu temperaturi de 35°C - 90°C. Sondele sunt grupate astfel: 181 cu temperatura apei de 35°C - 44°C, 109 cu temperatura apei de 45°C - 59°C, 63 cu temperatura apei de 60°C - 74°C, 41 cu temperatura apei de 75°C - 89°C și 19 cu temperatura apei peste 90°C /5/.

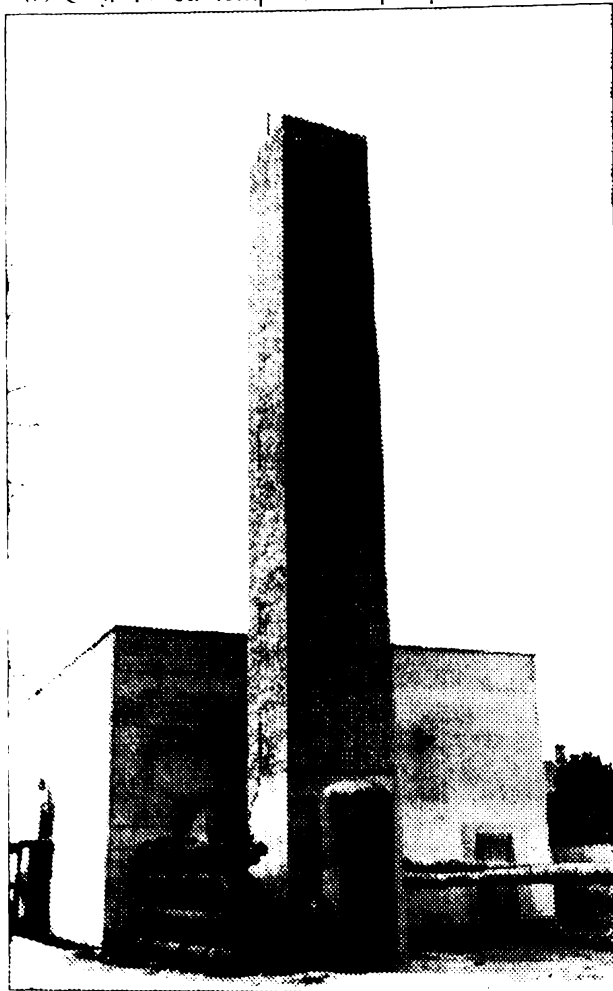


Foto.1 Punct termic Lovrin

Punctul de reinjectare în strat trebuie să fie suficient de îndepărtat ca să nu producă răcirea prematură a apei prelevate.

Utilizarea apei geotermice pentru încălzire și apă caldă menajeră nu este în tot timpul anului, ceea ce impune dublarea echi-pamentului de încălzire clasică cu încălzitoare de căldură suplimentare de compensare 40, /50/.

1.1.3. Zăcăminte de roci calde și uscate

Există regiuni ale Terei în care rocile sunt situate la adâncimi superficiale destul de apropiate de suprafața solului și care au un gradient geotermic foarte ridicat față de zonele vecine, dar lipsește acviferul alimentat de apă de infiltrație.

A fost gândită și utilizarea căldurii acestor roci calde și uscate. Aceasta presupune realizarea unei explozii controlate în subteran și ruperea rocilor astfel ca să se poată crea în ele o rețea în care apa sau alt fluid să fie injectat.

Apa în contact cu rocile calde se va încălzi și apoi va fi pompată spre suprafață la o temperatură ridicată.

La noi în țară, începând cu anul 1980 în scopul alimentării cu căldură a clădirilor s-au realizat centrale mixte (foto.1) care să utilizeze căldura apei geotermale printr-un schimbător de căldură și diferența de căldură necesară utilizând arderea clasică a combustibilului lichid. Astfel s-a realizat încălzirea a 540 apartamente în Sânnicolau Mare și 60 de apartamente în Lovrin /40/, care aduc o economie de cca. 1205 tone combustibil lichid, respectiv 1618 tone echivalent-petrol /50/ /93/, nivelul anului 1982.

În același timp, utilizarea apei calde naturale presupune în majoritatea cazurilor un surplus de investiție: aproape întotdeauna salinitatea apelor geotermice obligă la forarea a două puțuri.

Primul puț servește la pomparea apei calde și sărate dinspre acvifer înspre suprafață, iar al doilea la reinjectarea în acvifer a apei răcite, totodată sărate, ceea ce evită poluarea apelor de suprafață și în același timp contribuie la menținerea presiunii interne a acviferului /33/.

S-a gândit la început la fracturarea rocilor calde prin mici explozii nucleare clasice subterane. Un asemenea proiect se lovește de două dificultăți:

- rețeaua de rupturi trebuie să fie suficient de vastă și regulată pentru ca apa injectată să poată circula peste tot fără a alege preferențial rupturile largi, decât cele învecinate, ce ar răci total rocile calde parcurse de apele reci în zonele preferențiale;
- asemenea explozii dau naștere la deșeuri radioactive de lungă durată, pe care fluidul le-ar aduce la suprafață.

S-a gândit de aceea o altă metodă, de utilizare a injecțiilor de apă la presiuni superânalte, analog cu ceea ce se utilizează la exploatarea unor zăcăminte de hidrocarburi lichide.

Stadiul tehnicilor actuale nu permite siguranța creerii unei rețele de rupturi vaste și regulate, indispensabile exploatării rocilor calde uscate. La această tehnică apare o dificultate poate și mai serioasă, deși specialiștii se străduiesc să o minimalizeze.

Injecția fluidelor la presiuni superânalte poate să declanșeze cutremure de pământ, după cum au relevat-o operațiile de această natură practicate între anii 1962-1966 în Colorado (SUA) /24/96/. Reziduri toxice au fost atunci injectate în cantități importante și la presiuni superânalte în minele abandonate la 3700m adâncime .

Fiecărei perioade de injectare, i-a corespuns cu câteva săptămâni sau luni întârziere, o perioadă de agitație seismică de loc neglijabilă.

Importanța apelor în procesele seismice a părut a fi suficient de mare pentru ca seismologi americani să studieze corelațiile între injecții și declanșarea cutremurelor de pământ de la Rangely /96/, un mic câmp petrolier situat și acesta, în Colorado.

Creșterea agitației seismice după perioada de injectare se remarcă și în zonele geotermale Travale - Italia /13/14/.

Prin extragerea intensivă a apei geotermale se poate influența negativ subsidența terenului cu valori semnificative - exemplul concludent - Waineka (N. Zeelandă) cu cedări importante a terenului de cca. 0.25m/an.

1.2. Evaluarea cantitativă și calitativă a resurselor geotermale de joasă energie în România

1.2.1 Considerații generale

Procesul de majorare a prețului petrolului în 1973 a produs o schimbare esențială în economia mondială - cunoscut sub denumirea de criză energetică și a atras atenția asupra aspectului limitat și ireversibil al resurselor energetice fosile.

Creșterea prețului petrolului în următorii 9 ani de cca. 10 ori (1981 față de 1973), a făcut ca noile resurse energetice regenerabile, să devină competitive economic cu sursele clasice.

Dintre resursele noi de energie regenerabilă, în condițiile țării noastre, pe primul loc se situează energia geotermală.

În Câmpia de Vest, zona Oradea (Băile Felix, Băile 1 Mai), apele geotermale sunt exploatate prin foraje și sunt utilizate pentru tratament, în spații amenajate /108/.

Utilizarea majoră a energiei geotermale este limitată la județele din vestul țării, unde activitatea de cercetare geologică a început cu cca.40 de ani în urmă /78/.

Câmpia de Vest a țării cantonează acvifere termale în toate formațiunile geologice ce alcătuiesc fundamentul Depresiunii Panonice. Forajele cele mai importante existente pe teritoriul țării noastre sunt deschise în 3 orizonturi: panonianul inferior, panonianul superior - zonele aferente localităților Satu-Mare, Secuieni, Salonta, Curtici, Arad, Sânnicolau-Mare, Tomnatic, Lovrin, Timișoara, Banloc cu temperaturi în domeniul 35°C - 88°C, cretacic

inferior, jurasic și triasic - zona localităților Oradea și Borș, cu temperaturi în domeniul 115°C și 125°C (fig.1.2) /78/.

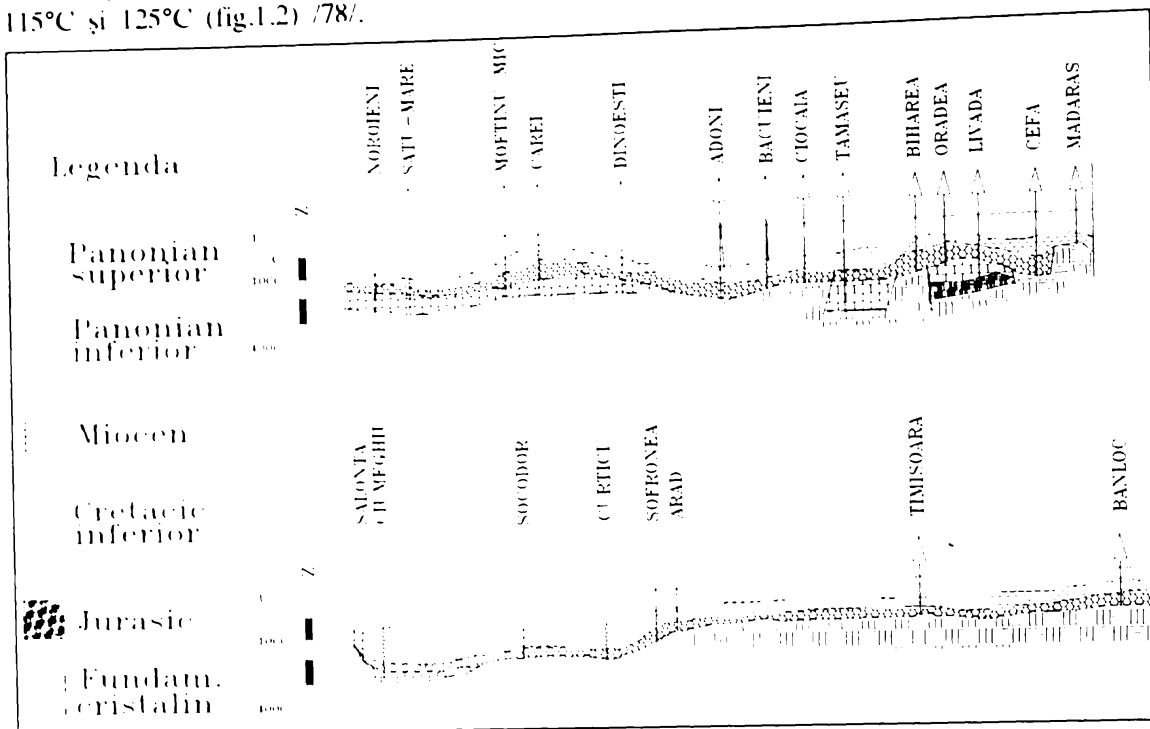


Fig.1.2. Geologia colectoarelor de ape geotermale

1.2.2 Anomalii geotermice în România.

Anomaliile geotermice sau zonele geotermice reprezintă arii de întindere mare sau redusă caracterizate prin diferențe pronunțate ale fluxurilor termice măsurate în raport cu zonele vecine.

Se consideră că există o corelare între anomalia geotermică în raport cu ondulațiile pozitive ale geoidului terestru. Dacă geoidul indică o subțiere a scoarței terestre, apropierea magmei calde de suprafața Pământului conduce la creșterea fluxului termic spre exteriorul Pământului și apare astfel o anomalie geotermică continentală sau subcontinentală. Incluziunile eruptive de diferite tipuri de-a lungul marilor fracturi crustale, măresc fluxul termic, rezultând o anomalie geotermică regională sau subregională.

Deci în funcție de aria de răspândire, anomaliile geotermice au fost clasificate în anomalii: continentale și subcontinentale, regionale și subregionale, locale. Pe teritoriul țării noastre se menționează următoarele anomalii importante /77/:

- **Anomalia geotermală Tisa de Nord.** Această anomalie face parte din anomalia geotermică subcontinentală a Depresiunii Panonice, este situată în lungul cursului superior al Tisei, are o formă eliptică, axa mare orientată aproximativ N-S. Valorile medii ale gradientului termic au treapta geotermică 1°C/33 m la adâncimea de 2000m și temperatură 60°C. Zonele cu anomalii geotermice ajung la temperaturi de 65°C la 130°C (fig.1.3a).

Din aceeași unitate tectonică a Depresiunii Panonice fac parte și anomaliile subregionale din această regiune. Prima situată între Satu-Mare și Oradea, iar cea de-a doua între Arad și Timișoara. Prospeccțiunile seismice executate în Câmpia de Vest a indicat subțierea scoarței terestre la 26-27 km, față de grosimea medie de 40-50 km /77/. Sondajele magneto-telurice și seismo-sondaje adânci au determinat o grosime a litosferei de

60 km, respectiv 75 km, o subțiere deci față de grosimea maximă de 150 km, iar stratul cu conductivitate ridicată situat la adâncimi reduse.

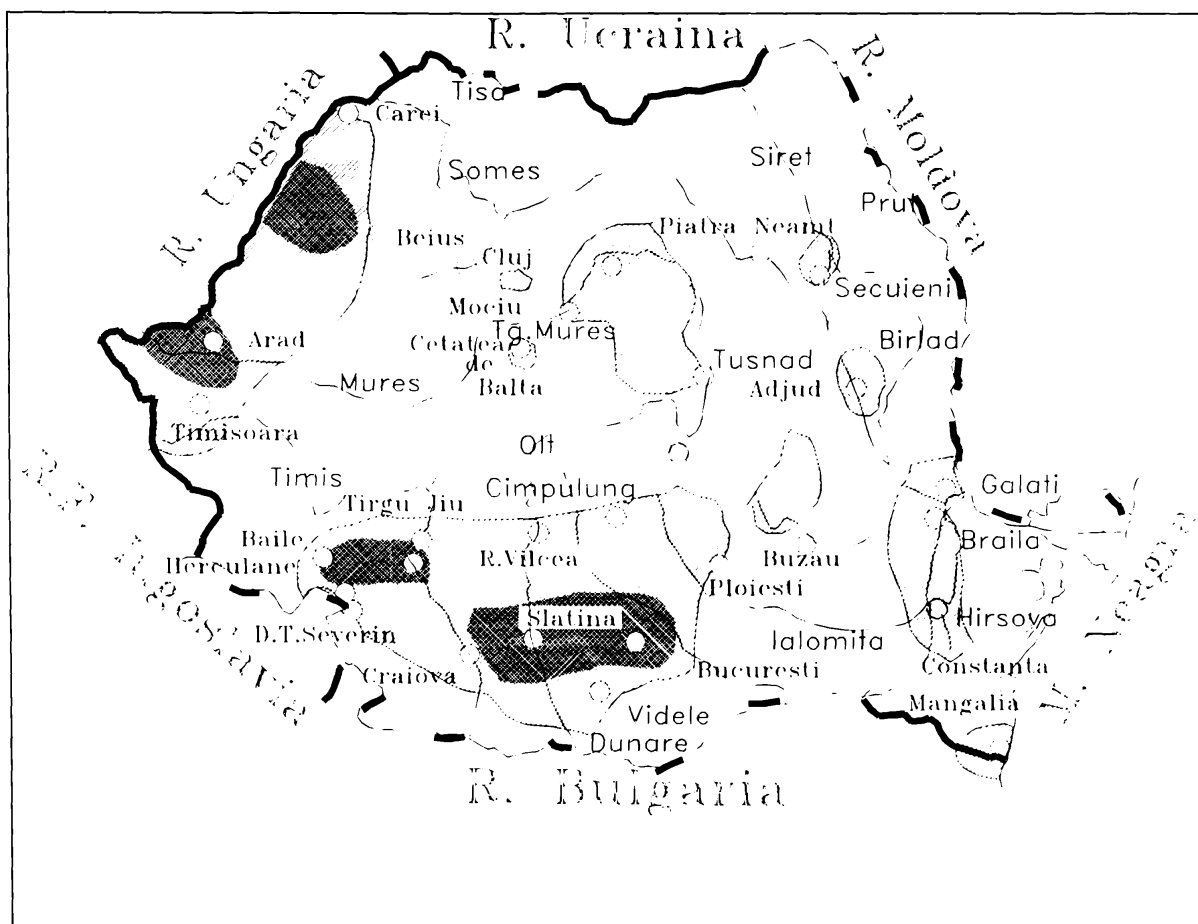


Fig.1.3a Anomaliile geotermice în România

La prima anomalie s-au înregistrat pentru adâncimea de 1000 m izogeoterme de peste 70°C și densități a fluxului termic de 3,3mcal/cm²s. Pe ariile ocupate de aceste două anomalii subregionale se diferențiază diferite anomalii locale și pentru care la adâncimea de 1000 m se înregistrează temperaturi de 120°C.

- **Anomalia geotermică subregională din estul Transilvaniei**, ce se suprapune cu aliniamentul vulcanismului neogen Harghita- Căliman. La adâncimea de 2000 m s-au înregistrat izogeoterme de peste 85°C, densitatea fluxului termic a depășit 1,7mcal/cm²s. Această anomalie prezintă două continuări subregionale - anomaliile subregionale de la Cetatea de Baltă și Mociu.

- **Anomalia geotermică regională din Oltenia și vestul Munteniei**. La adâncimea de 3000 m s-au înregistrat temperaturi de 90°C (fig.1.3b).

- **Anomalia geotermică regională din nord- estul Munteniei și curbura Carpaților** ce se suprapune cu aria cutremurelor vrâncene.

- **Anomalia geotermică subregională Mangalia**.

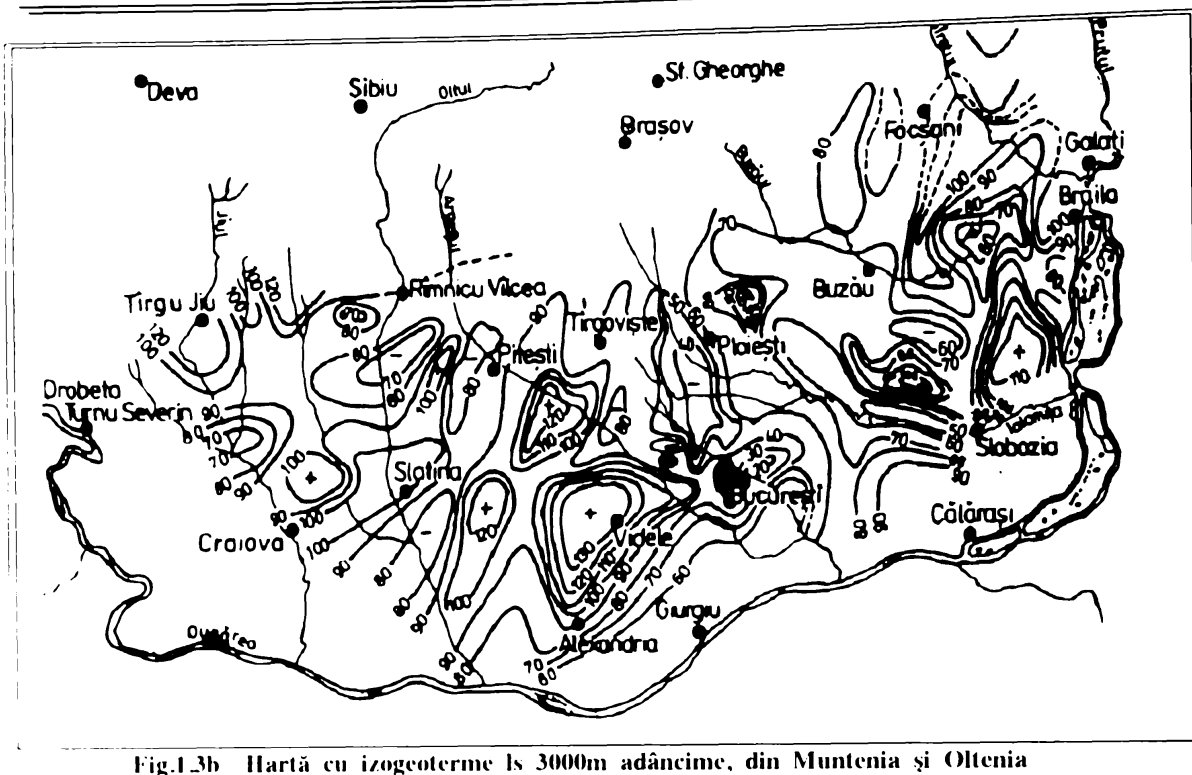


Fig.1.3b Hartă cu izogermene la 3000m adâncime, din Muntenia și Oltenia

1.2.3 Clasificarea apelor geotermale în Câmpia de Vest.

Prin ape geotermale de joasă energie se definesc apele din surse subterane având temperaturi naturale peste 20°C.

Clasificarea apelor geotermale se poate face după 2 criterii generale:

a. **În funcție de proprietățile apei geotermale**, referitor la natura ionilor preponderenți, duritate, stabilitate chimică, se clasifică astfel [21]/59/:

- după natura ionilor (Tabel nr.1.1):

Tabel nr.1.1

Nr.	Natura ionilor predominanți	Formula chimică
1.	Bicarbonatate, clorurate, sodice	HCO_3^- , Cl^- , Na^+
2.	Sulfatate, bicarbonatate calceice	SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+}

- după duritate (Tabel nr.1.2) :

Tabel nr.1.2

Nr.	Calitatea apei	Ioni predominanți
1.	Duritate pronunțată	SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-
2.	Duritate aparentă	HCO_3^-

Apele geotermale bicarbonatate sunt stabile în condițiile de temperatură și presiune în zăcământ. În condițiile din capul sondei și condițiile de suprafață o parte din CO_2 aflat în soluție se pierde, din care cauză se depune o cantitate corespunzătoare de CaCO_3 .

• după stabilitate chimică (Tabel nr.1.3):

Tabel nr.1.3

Nr.	Stabilitate chimică
1.	caracter slab incrustant
2.	caracter mediu incrustant
3.	caracter puternic incrustant

În baza cercetărilor efectuate în zona perimetrelor localităților Sănnicolau Mare, Lovrin și

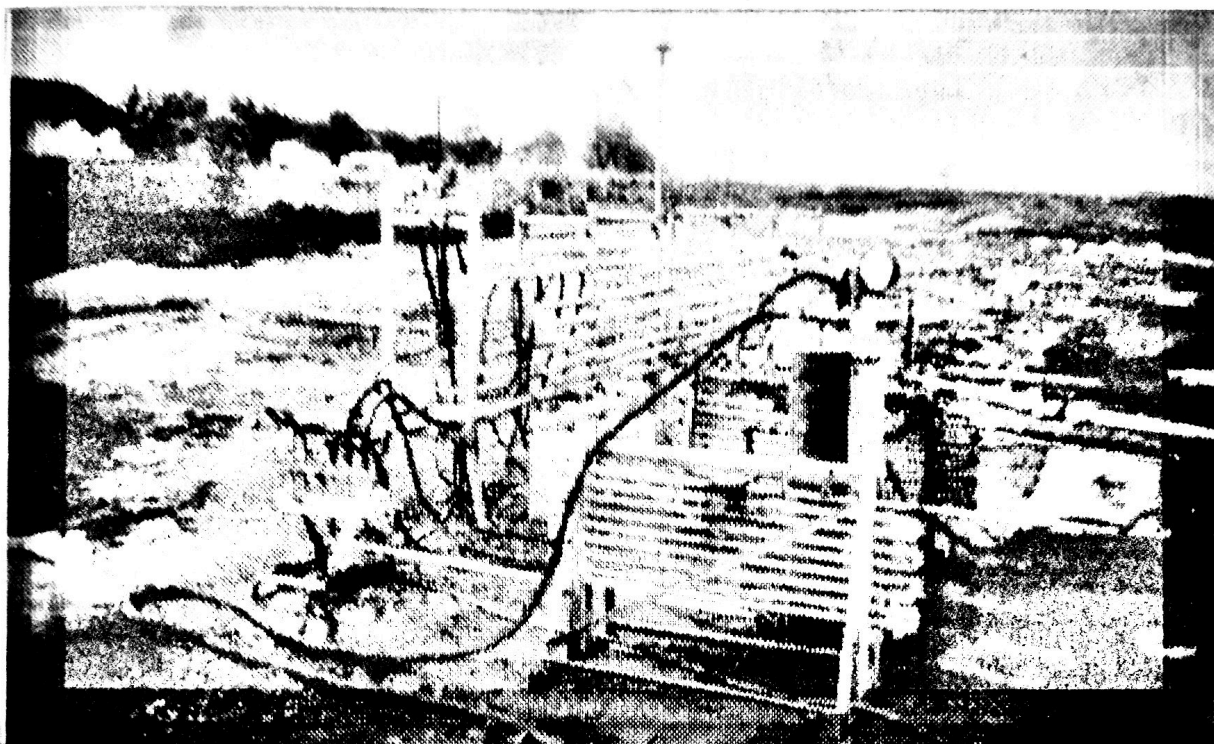


Foto.2 Stand pilot - Lovrin.

Tomnatic prin amplasarea de standuri pilot (foto.2), prin analize de laborator s-au determinat caracteristicile generale ale apelor geotermale /21/63/.

Prin prelevări de probe și de la alte sonde de ape geotermale, s-a determinat răspândirea geografică în Câmpia de Vest și Zona de Vest a țării noastre conform tabelului nr.1.4:

Tabel nr.1.4

Zona		Nr. sonde	Caracteristici generale	pH		Is	
				min.	max	min.	max.
Nord		57	Ape sulfatate, bicarbonatate, calcice	6.4	7.6	1.06	2.12
Cen- tru	1.	4	Ape bicarbonatate, sulfatate, clorurate, sodice	7.0	8.2	1.00	1.90
	2.	7	Ape bicarbonatate, sulfatate, calcice	7.5	8.6	1.22	2.68
Sud		46	Ape clorurate, sodice	6.2	7.8	1.08	2.26
Câmpie		106	Ape clorurate, sulfatate, bicarbonatate, sodice	7.3	8.4	0.92	2.85
Deal		8	Ape bicarbonatate, clorosodice	<6.0	7.2	0.33	1.80

619487
366

Din totalul surselor geotermale studiate, 17% au caracter slab incrustant, 59% au caracter mediu incrustant, 24% au caracter puternic incrustant /21/59/.

b. În funcție de caracteristicile sursei geotermale.

În cadrul studiilor de cercetare și evaluare a resurselor geotermale, un colectiv al I.C.H.București, a inventariat sondele geotermale din Câmpia de Vest a țării noastre la nivelul anului 1981, stabilind 7 grupe de sonde geotermale /88/:

b1. Sonde geotermale de producție în exploatarea G.F.E.A.G. Oradea ce reprezintă 58 de sonde și temperatura între 65°C la 110°C conform tabel nr.1.5 și debitul de 7 la 25 l/s.

Tabel nr. 1.5

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Tășnad	SM	4715	15	baie+strand	68
2	Marghita Săcuieni	BH	4089	9	strand	65
3			752	8	înc.term.zooteh	73
4			4057	8	înc.ferma ISICIP	88
5			4058	15	sere CAP 1 ha	80
6			4076	15	înc.sect.IMBS	80
7			4692	15	înc.sere 8 ha	80
8			4694	15		
9			4696	15		
10			4697	15		
11			Borș	BH	4155	15
12	4156	15			sere 4 ha	110
13	529					110
14	4157	10				
15	4158					
16	4159	15				110
17	Oradea	BH	4004	12	termoficare	80
18			4005	9	sere flori 1 ha	90
19			4006	7	strand piscină	76
20			4081	7	ACM 1500 m ²	67
21	Livada	BH	507	10		90
22	Mihai Bravu	BH	605	10		65
23	Salonta	BH	4667	15	sere CAP	78
24	Ciumeghiu	BH	4668	10		95
25			4676	10		
26			4677			
27			4678	10		

Tabel nr.1.4 (continuare)

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
28	Curtici	AR	4671	20	ștrand	60
29	Șofronea	AR	1660	25		51
30	Nădlac	AR	4672	25	in, câncpă	72
31	Șemlac	AR	4673	8		61
32	Sânnicolau Mare	TM	4608	10	in, câncpă sere 10 ha	79
33			1521	15		80
34			1524	20	80	
35			4631	18	75	
36			4645	18	termoficare	80
37			1524	25	termoficare	83
38	Tomnatec	TM	4633	15	sere CAP 4ha	83
39			4637	12	sere CAP 4ha	83
40			1564	35		80
41			1566	15		76
42			1567	15		80
43			1568	15		80
44			1585	15		80
45	Lovrin	TM	4607	22	termoficare	81
46			4632	15	sere 4 ha	76
47			4636	10	sere 4 ha	81
48			1544	10		80
49			1543	10		80
50			1538	10		80
51			1540	8		78
52	Jimbolia	TM	4630	30	in, câncpă	78
53	Parc.copii- lor Flora Pestalozzi Stadion Stația Bihor	TM	4651	8		64
54			4655	5,6		50
55			4652	1,5		37
56			4656	3,0		46
57			4653	1,9		47
58			4654	0,7		34

b2. Sonde geotermale de injecție, în exploatarea G.F.E.A.G. Oradea și reprezintă 3 sonde în zona Borș și Lovrin conf. tabel nr.1.6.

Tabel nr. 1.6

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Borș	BH	529			
2			4158			
3	Lovrin	TM	1540			

b3. Sonde de observație. în exploatarea G.F.E.A.G.Oradea și reprezintă 3 sonde, zona Săcuieni, Mihai Bravu, Brateș conform tabel nr.1.7

Tabel nr. 1.7

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Săcuieni	BH	751			
2	Mihai Bravu		603			
3	Brateș	AR	4639			

b4. Sonde geotermale în exploatarea Consiliilor Populare și reprezintă 33 sonde și debitul 2 la 30 l/s cu temperatura între 40°C la 83°C, conform tabel nr.1.8.

Tabel nr. 1.8

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Moftinu Mic	SM	4740	3	ștrand	52
2	Acâș	SM	4060	10	ștrand	58
3	Mecenișiu	SM	4738	2	ștrand	60
4	Satu Mare	SM	4743	3	tratam.,agrem.	58
5			4747	3		58
6			4748	3		58
7	Carei	SM	4062	2	ștrand	48
8			4714	3	ștrand	48
9			4714	3	in, cânepă	48
10	Dindești	SM	4713	4	solarii	60
11	Adoni	BH	300M	7	ștrand	70
12	Vlui Mihai	BH	4711	2	ștrand	48
13	Ciocaia	BH	4045	3	ștrand	60
14	Balc	BH	4794	5	in, cânepă	46
15	Chișlaz	BH	4014	5	ștrand	54
16	Tileagd	BH	4784	4	in, cânepă	57
17	Sănnicolau Mare	TM	4028	6	ștrand	62
18	Cefa	BH	4772	3	pescărie	40
19	Mădăraș	BH	4777	8	ștrand	47
20	Tămașda	BH	1021	3	ștrand	55
21	Șimand	AR	4670	3	in.cânepă	50
22	Iratoșu	AR	4638	30	in, cânepă	49

Tabel nr. 1.8 (continuare)

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
23	Variaș	TM	4685	13	in, câncpă	57
24			116M	13	in, câncpă	63
25	Iecea	TM	23MP	8	in, câncpă	83
26	Timișoara	TM	4651	4	tratament	50
27			4655	4	ștrand	50
28			1532	10	ștrand	52
29	Seccani	AR	4078	2	ștrand	43
30			4661	4		32
31			4662	10	29	
32			4674	10	stropire sere	34
33			1658	10	stropire sere	39

b5. Sonde geotermale în exploatarea ministerului turismului și reprezintă 4 sonde cu debitul 20 la 205 l/s și temperatura între 36°C la 53°C conform tabel nr.1.9.

Tabel nr. 1.9

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Boghiș	SJ		20	2 sol	42
2	Felix	BH		205	4 sol	49
3	1 Mai	BH		95	3 sol	42
4	Moncasa	AR		25	4 sol	36

b6. Sonde geotermale în studii de eficiență și reprezintă 10 sonde cu debitul 2.6 la 20 l/s și temperatura între 44°C la 90°C conform tabel nr.1.10. Tabel nr. 1.10

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Budușlău	BH	F2MP	2,6		63
2	Cherechiu	BH	52MP	20		90
3	Săcuieni	BH	4055	20		75
4	Cadea	BH	4044	13		66
5	Chirealeu	BH	4094	6		56
6	Ciuhoiu	BH	4075	5		56
7	Biharea	BH	4022	4		60
8	Oradea	BH	4797	2		83
9	Aleșd	BH	4685	4		44
10	Lenauheim	TM	4602	5		59

b7. Sonde geotermale de utilitate redusă și reprezintă 18 sonde cu debitul 1 la 8 l/s și temperatura între 43°C la 83°C conform tabel nr.1.11

Tabel nr. 1.11

Nr cr	Localitatea	Jud	Nr. sondei	Q l/s	Utilizare	Tem °C
1	Noroieni	SM	4749	2,5		55
2	Livada	SM	4718	1,5		43
3	Satu Mare	SM	4741	1,5		61
4	Sătmarei	SM	4716	1,5		35
5	Căpleni	SM	4064	4		51
6	Chirișa	SM	4737	6		43
7	Borș	BH	4080			-
8	Cefa	BH	4788	2		38
9	Palota	BH	4781	1		53
10	Celanaș	BH	4079	4		54
11	Cotiglet	BH	4008	1,5		34
12	Socodor	AR	4669	2,5		52
13	Beba Veche	TM	4644	2		51
14	Șandra	TM	59MP	14		63
15	Timișoara	TM	4652	1		34
16	Sânmihaiul German	TM	4604	8		66
17	Cebza	TM	4605	3		83
18	Banloc	TM	4606	2		65

Cel mai mare număr de sonde geotermale în exploatare sunt utilizate pentru încălzirea serelor, atât în cadrul sondelor în exploatarea G.F.E.A.G. Oradea, cât și în exploatarea Consiliilor.

Ștrandurile termale utilizează de asemenea o parte importantă din energia resurselor geotermale: Oradea, Marghita, Tășnad, Curtici, etc.

În scopul alimentării cu căldură a clădirilor industriale prin utilizarea apelor geotermale s-au executat și sunt în funcțiune instalații de încălzire centrală și prepararea apei menajere.

1.2.4. Caracteristici generale a zăcămintelor geotermale de joasă energie din Câmpia de Vest a României

1.2.4.1 Considerații generale

Depresiunea Panonică este o unitate structurală din vestul Munților Apuseni și a Carpaților Meridionali, cuprinsă din punct de vedere administrativ predominant pe teritoriul Ungariei și Serbiei, teritoriul României incluzând doar extremitatea ei estică (denumită Câmpia de Vest). Este o zonă cu un potențial ridicat de acumulări de ape subterane geotermale /78/.

Formațiunile unității structurale a Depresiunii Panonice cuprind următoarele roci sedimentare /78/:

- roci mezometamorfice-gneise, micașturi, cuarțite, șisturi cuarțitice, străbătute de intruziuni de roci magmatice, pe întreaga întindere a Câmpiei de Vest;
- roci sedimentare triasice, gresii și conglomerate cuarțitice cu intercalații de argile roșcate, zona de răspândire Oradea și Borș;
- roci sedimentare jurasice, calcare și argile cu grosimi de 100 - 300 m, cu dezvoltare exclusivă în zona Oradea-Borș;

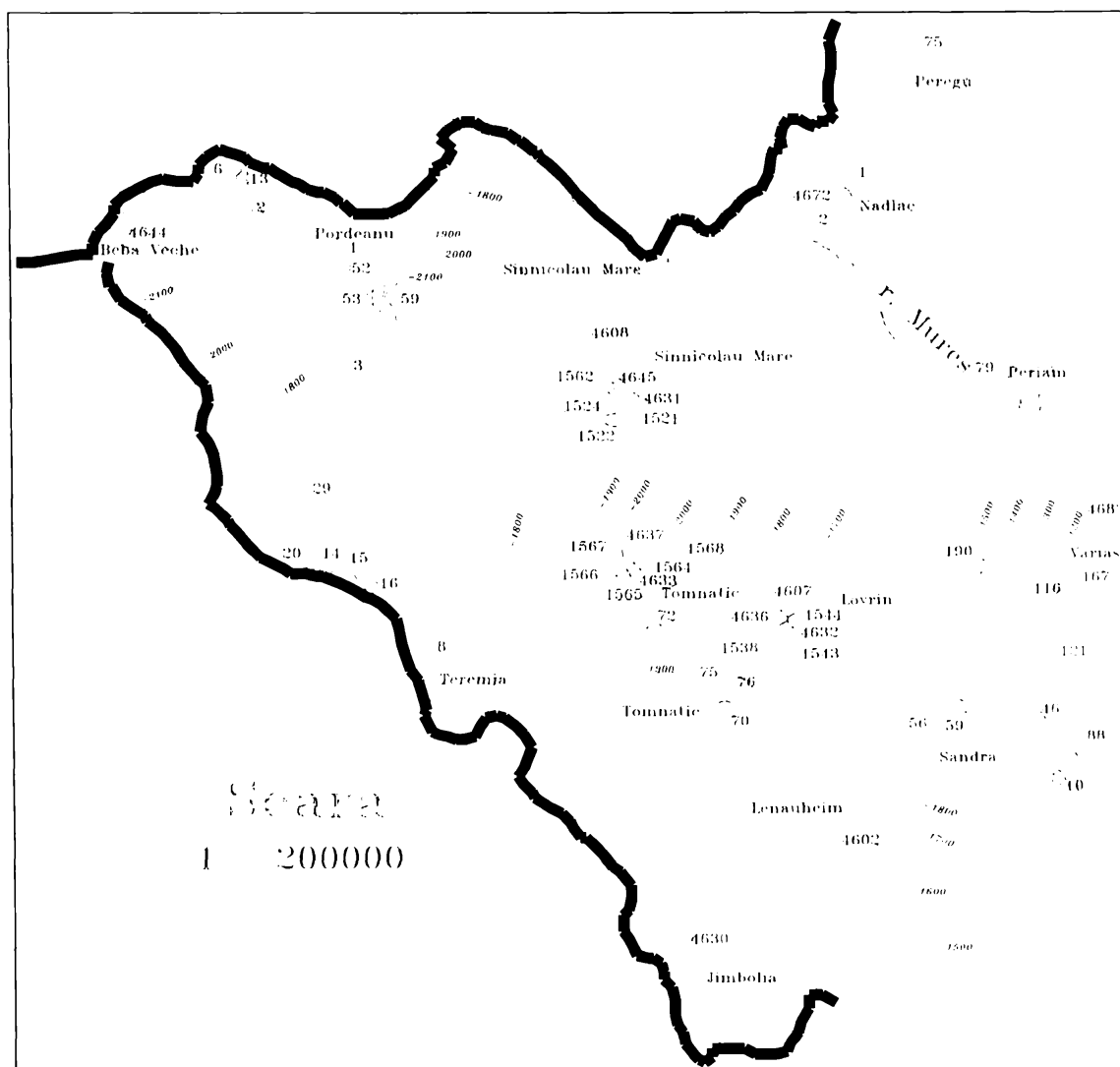


Fig.1.4 Hartă cu izobate la baza Panonianului Superior

- roci sedimentare cretacee cu gresii, conglomerate, marne și argile cu grosimi ce depășesc 1000 m;
- roci sedimentare paleogene cu grosimi care depășesc uneori 1000 m, dezvoltare în zona Pișcolț-Carei și dezvoltare redusă în zona Jebel-Folea. Formațiunile de depresiune sunt constituite din depozite sedimentare miocene, pliocene și euaternare.

Cercetările geotermice pun în evidență regimul termic cu un flux termic la suprafață în medie de 85 mW/m².

Cel mai important acvifer termal din Câmpia de Vest este acviferul generat în formațiunile permeabile din baza panonianului. Limita inferioară a acestui complex este marcată de formațiunile marnoase impermeabile din partea superioară a panonianului inferior, la adâncimi cuprinse între 500 m în zonele de ridicare (Arad-Turnu) și sub 2000 m în zonele de depresiune (Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin). Limita superioară a complexului este în zona panonianului superior, greu de apreciat datorită caracterului predominant nisipos a formațiunilor în întregul lor. Se poate aprecia domeniul de utilizare în funcție de temperatura ce reprezintă interes pentru exploatare. Litologic complexul geotermal este constituit predominant din nisipuri cu granulație fină, cu trecere la gresii intercalate cu marne.

Valorile de porozitate determinate cu probe de laborator sau investigație geofizică sunt în domeniul 15 - 35%. Permeabilitatea determinată pe carote este cuprinsă în domeniul: 50 - 3500mD, valorile medii cuprinse în domeniul 500 - 1000mD /73/.

1.2.4.2. Evoluția în exploatare a zăcămintelor geotermale de joasă energie din Câmpia de Vest a României

În Câmpia de Vest apa geotermală se exploatează din două tipuri principale de roci colectoare [103]:

- colectoare granulare, stratificate - situate în perimetrele localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin, Jimbolia, Nădlac, Curtici, Salonta, Săcuieni, Marghita;
- colectoare fisurate, masive - situate în perimetrele localităților Oradea și Borș.

Perimetrul localității Sânnicolau-Mare. La nivelul de referință - anul 1982- există 7 sonde de extracție. La un volum cumulat extras de 1 091 003 mc apă geotermală de la începutul exploatării, s-a reinjectat în zăcămintă 93 512 mc. Sondele săpate în perimetrul localității au avut nivelul de apă pozitiv față de cota curgerii din capul de exploatare. Debitul inițial, înregistrat au fost între 16-40 l/s, temperatura apei la ieșirea din sondă 80-84°C. Sondele sunt grupate pe o suprafață redusă, distanța între ele în limite de 400-800 m, excepție sonda 4608, izolată față de celelalte, la o distanță mai mare. S-a constatat că în timpul închiderii tuturor sondelor, vara, se produce o reîncărcare lentă a zăcămintelor. În perioada 7 iulie - 24 septembrie 1981, nivelul apei în sondele 1521,1524 și 4631 a crescut cu cea. 0,46- 1,48 m. În perioada de exploatare 24 sept. 1981 - 31 martie 1982, ca efect a extragerii unei cantități de 438 813 mc apă geotermală, nivelul în sondele de observație a scăzut cu 20,5-26,5m. Nivelul apei față de sol la 31 martie 1982, variaza între -24,08 și -30,49 m. Din măsurătorile efectuate în timpul exploatării se cunoaște:

- gradientul de presiune statică este cuprins între 0,0986 -0,0990 bari/m;
- variația de presiune AP la baza sondei are valori între 2,33 - 2,93 bari în funcție de debitul de exploatare 6 - 18 l/s;
- temperatura medie la adâncimea 1850 m este 88°C, treapta geotermică de 24,75 m l C;
- pierderile de temperatură între baza sondei și suprafață de cea. 5 - 8°C.

Perimetrul Tomnatic. La nivelul de referință - anul 1982- există 7 sonde de extracție. Volumul cumulat extras este de 1 136 010 mc apă geotermală. Exploatarea experimentală a început cu nivelul apei pozitiv față de sol, debite în domeniul 30-40 l/s (la ultima sondă săpată de 16 l/s), temperatura la ieșirea din sondă 81- 85°C. Distanța dintre sonde este în limite de 400-850m, cu excepția sondei 1568 la distanța de 2150 m. După închiderea sondelor de exploatare (4633, 4637) la sfârșitul sezonului de încălzire în iulie 1981 (după un volum extras de 509 416 mc) nivelul apei în sondele care deschid complexul inferior sunt între -14.5 și -16.5 m față de sol. În timpul închiderii tuturor sondelor (perioada 8 iulie - 23 sept.1981) nivelul în sondele menționate a crescut lent cu 4.6 - 5.3 m. În sezonul de încălzire perioada 1981-1982 (până la sfârșitul lunii ianuarie 1982) prin aceleași sonde (4633, 4637) s-a extras 274 177 mc apă geotermală, care a dus la o scădere a nivelului în sonda de observație (1566) situată cu baza la cca. 1100-1200 m adâncime, cu 22.13 m. Sondele deschise la complexul superior aveau nivelul hidrostatic pozitiv față de cota deversării din capul sondei de exploatare. În cursul lunilor februarie - martie, sonda 4637 a fost închisă, devenind sondă de observație, iar sonda complexului productiv superior (1564) pusă în funcțiune. Din complexul superior s-a extras 210 384 mc apă geotermală, iar din complexul inferior 76 464 mc apă geotermală. În sondele de observație s-a înregistrat:

- în sonda (1565) situată la 900 m distanță față de sonda de exploatare a complexului superior (1564), s-a produs o scădere a nivelului cu 14.35 m;
- în sonda de observație la complexul inferior (1566), s-a produs o creștere a nivelului cu 4.77 m;
- în sonda închisă după exploatare (4637), s-a produs o scădere a nivelului cu 2.70m. La 31 martie 1982 nivelul hidrostatic față de sol, la sondele de observație din complexul inferior a fost între -21.08 și -27.28 m față de sol, iar în sonda din complexul superior la -11.75 m față de sol. Din măsurătorile efectuate în timpul exploatării a rezultat:
 - gradientul de presiune statică la complexul inferior (nivelul anului 1981) este cuprins între 0.0983- 0.0984 hari/m și între 0.0991- 0.0992 hari/m la complexul superior;
 - temperatura medie la 1850 m adâncime este 87°C, treapta geotermică de 25.06 m/1°C;
 - pierderea de temperatură între baza sondei și suprafață între 6- 12°C.

Perimetrul Lovrin. La nivelul de referință - anul 1982- există 7 sonde de extracție. Volumul cumulat extras este de 2 550 769 mc apă geotermală. Distanța dintre sonde este în limite de 400-1200 m. Exploatarea experimentală a început în septembrie 1979 prin sonda 4607. Exceptând câteva perioade scurte de oprire, această sondă a produs continuu, realizând un volum cumulat de 1 633 515 mc. Sondele 4636 și 4632 se exploatează din toamna anului 1980, cu o perioadă de oprire în timpul anului 1981. Sondele aveau nivelul de apă pozitiv față de capul de exploatare, la debit de 20 - 34 l/s și temperatura 77-84°C.

În perioada 9 iunie - 15 octombrie 1981 cu excepția sondei 4607 care a produs cu cca. 22 l/s, celelalte sonde au fost închise. În sondele de observație s-a înregistrat o creștere foarte lentă de nivel cu valori între 0.80 - 2.65 m. Valorile de nivel în sondele închise la 15 octombrie 1981 au fost în domeniul +3.87 și -14.90 m față de sol. În continuare până la 31 martie 1982, volumul de apă geotermală extras din sondele 4607, 4632 și 4636 de cca. 757 174 mc, a cauzat o scădere însemnată de nivel în sondele de observație apropiate (23.66 m în sonda 1544 și 18.3 m în sonda 1543) și mai redusă în sonda îndepărtată 1540 (de 0.80 m).

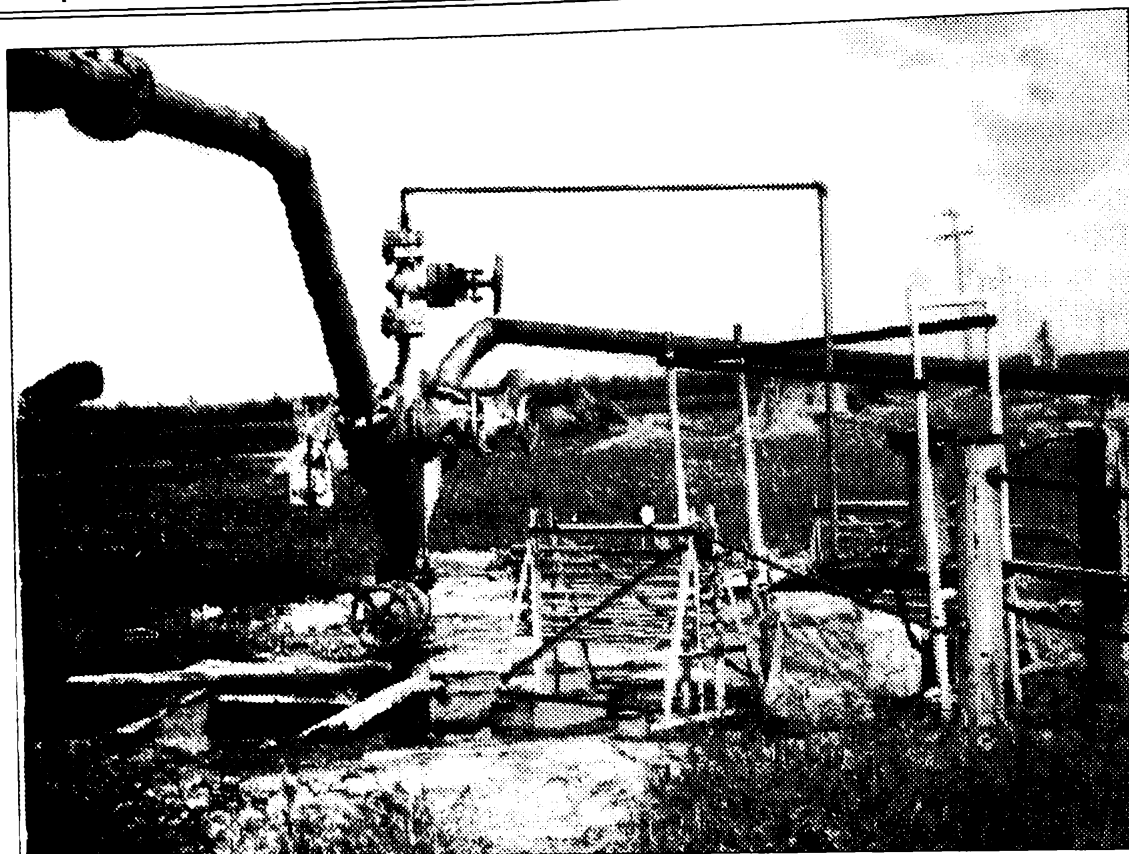


Foto.3 Zonă de captare foraj, prelevări probe - Lovrin

La 31 martie 1982 nivelul apei în sondele de observație a fost: în sonda 1540 de +0.60 m; în sonda 1544 de -23.15 m; în sonda 1543 de -14.40 m față de sol. Din măsurătorile experimentale efectuate în timpul exploatării (foto.3) a rezultat:

- gradientul de presiune statică, la nivelul anului 1982 are valori între 0.0981- 0.0991 bar/m;
- temperatura medie la 1850 m adâncime de 87°C și treapta geotermică de 25m/1°C;
- pierderea de temperatură între baza sondei și suprafață de 6 - 11°C.

1.2.5. Utilizarea zăcămintelor geotermice de joasă energie în Câmpia de Vest a României

Rezervele omologate a zăcămintelor geotermice de joasă energie în Câmpia de Vest a României, sunt corespunzătoare unui echivalent energetic utilizabil de cea 700000 tone an. Eficiența economică a instalațiilor de valorificare a apelor geotermale trebuie analizate în cadrul fiecărui amplasament, funcție de treapta termică posibilă. Zăcămintele geotermice de joasă energie, cantonate în Câmpia de Vest a României cuprind următoarele trepte:

- **Treapta I.** Temperatura apei geotermale 110 - 85°C. Este aplicată pentru obținerea de energie electrică. Amplasamentul geotermal (fig.1.5) din incinta - Institutul de Învățământ Superior Oradea, care are un debit de 30 l/s la temperatura 86°C, este prevăzut cu un rezervor tampon și degazor în același timp realizat din beton armat de 150m³, o stație pilot de conversie a energiei geotermale în energie electrică la o putere

instalată de 100 kw, transferul energiei termice realizat cu schimbătoare de căldură și agentul termic bioxidul de carbon.

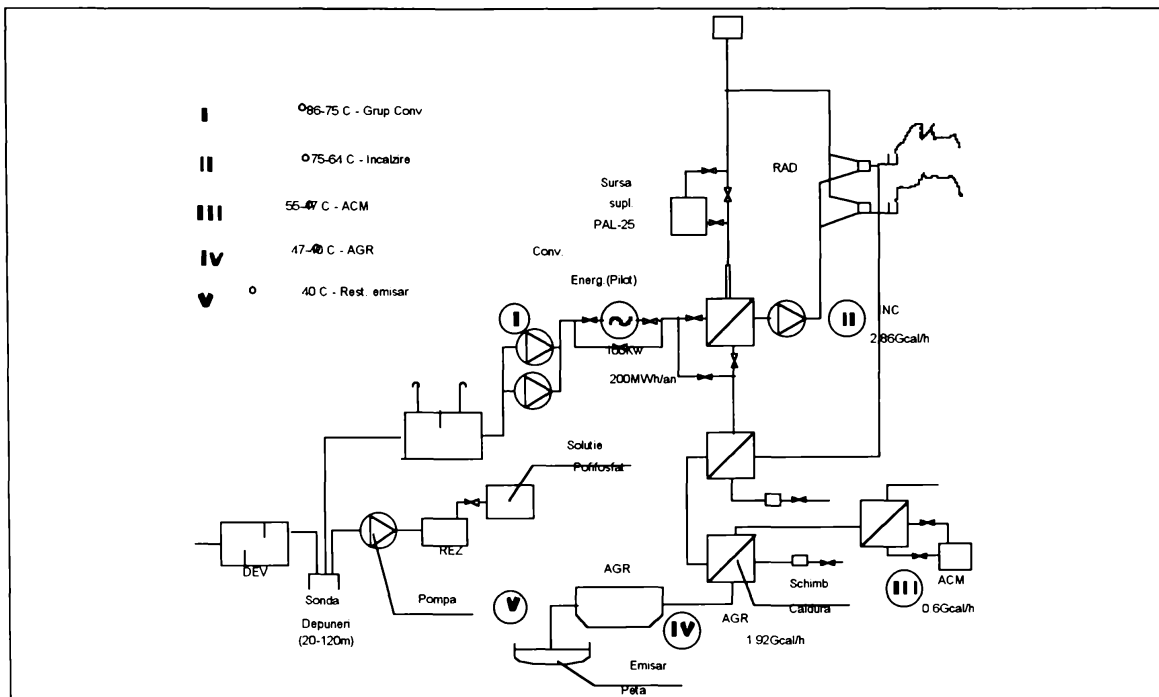


Fig.1.5 Schemă de utilizări ape geotermale Oradea

La ieșirea de la schimbătoarele de căldură, apa termală are temperatura de 75°C.

• **Treapta II.** Temperatura apei geotermale 85°C - 65°C. Este aplicată în procese industriale: în instalații pentru încălzire centrală și prepararea apei calde menajere (schemă de legare indirectă - transferul se realizează în schimbătoare de căldură pentru încălzire centrală); în instalații pentru încălzirea serelor (schemă de legare directă). În scopul alimentării cu căldură a clădirilor industriale prin utilizarea apelor geotermale

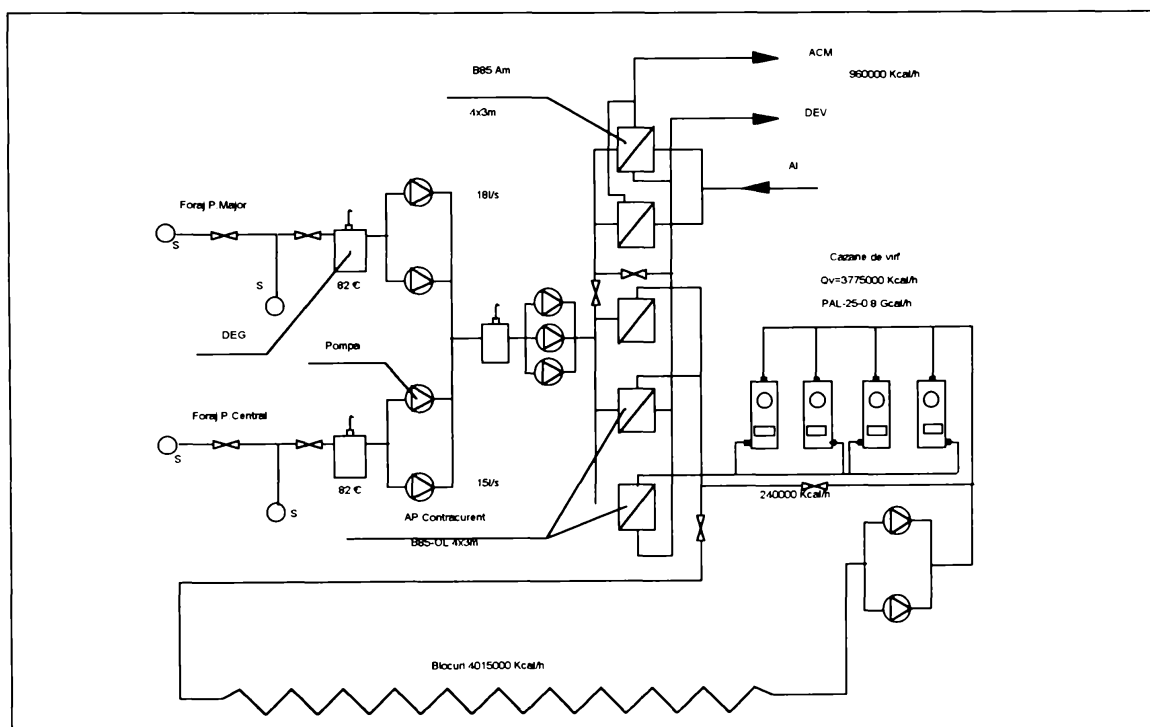


Fig.1.6 Schemă de utilizare ape geotermale Sănnicolau Mare

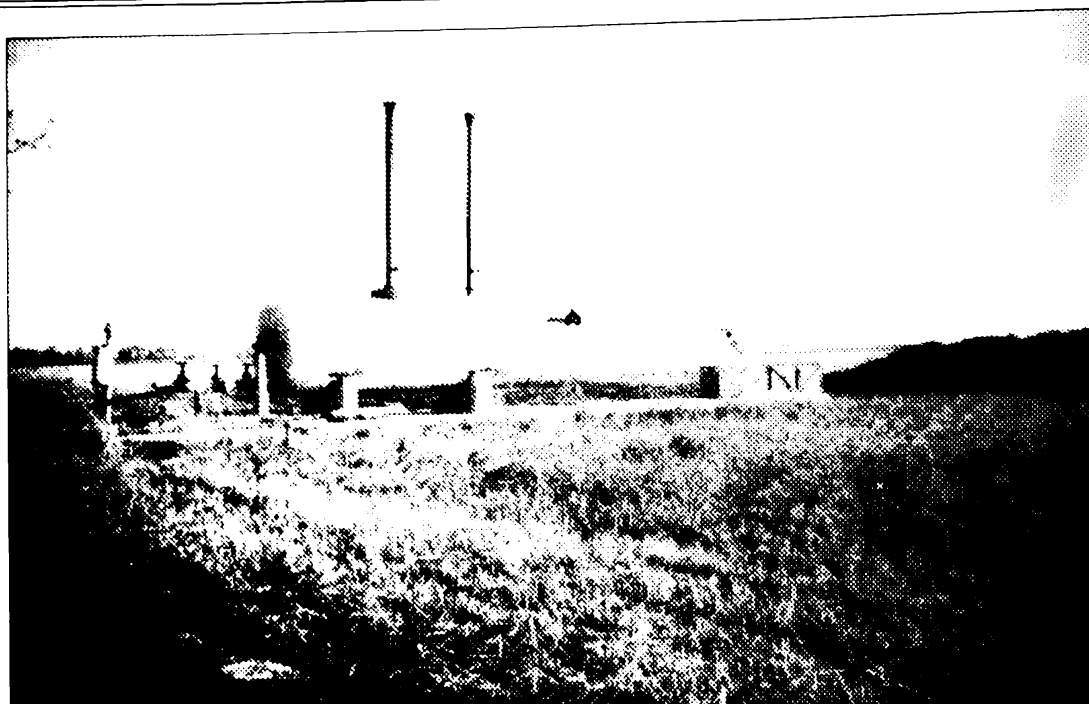


Foto.4 Degazor pentru apa geotermală - Lovrin

sau executat și sunt în funcțiune instalații de încălzire centrală și prepararea apei menajere: zona Bl. Republicii Sănnicolau Mare (fig.1.6) - 540 apartamente - sursa geotermală la forajele 1526, 4645; zona comunei Lovrin - 60 apartamente - sursa geotermală la forajul 4607. Alimentarea cu apă geotermală provine de la forajele existente ale IITGS, apa este degazată în rezervoare tampon (foto.4) și pompată prin stații individuale în cadrul fiecărui foraj.

De la stațiile de pompare ajunge la centrala termică din zonă prin rețele termice, ea constituie agentul primar în schimbătoarele de căldură. La ieșirea de la schimbătoarele de căldură temperatura apei este de 64 °C. Apa geotermală utilizată în instalații este deversată în emisari locali, canale de irigații-deseccare: canalele Aranca, Galațea și Grinceoșin (foto.5).

- Complex de sere orașul Sănnicolau Mare, de 10 ha cu o capacitate instalată în sursa de apă geotermală și centrală termică de vârf de 30 Geal/h.

- Complex de sere comuna Tomnatic, de 14.5 ha cu o capacitate instalată în sursa



Foto.5 Canal de irigație - Aranca

Din aceste canale apa geotermală este canalizată în sistemul zonal în cursurile de apă de frontieră cu Serbia.

Institutul de Studii și Proiectări de Construcții pentru Agricultură și Industrie Alimentară a elaborat două proiecte pentru utilizarea apelor geotermale la Complexe de sere de mare capacitate (schemă de legare indirectă):

- Complex de sere comuna Săcuieni, de 8 ha cu o capacitate instalată în sursa de apă geotermală și centrală termică de vârf de 24 Gcal/h; de apă geotermală și două centrale termice de vârf .

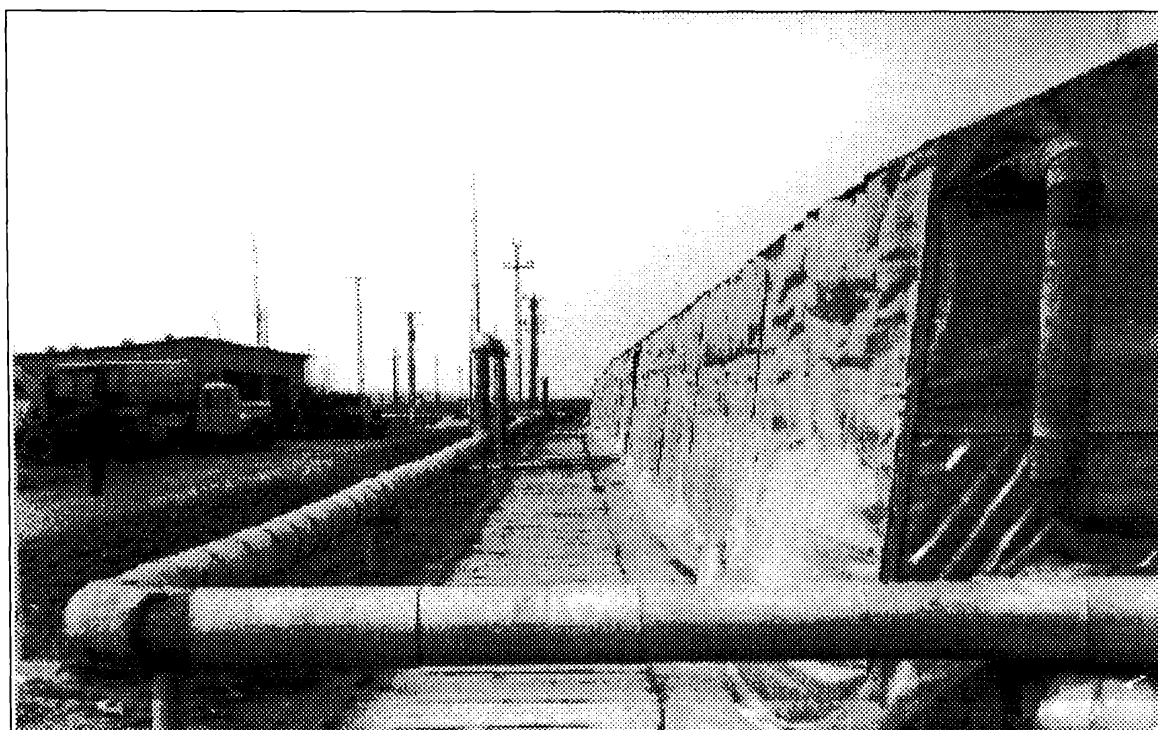


Foto.6. Rețea de apă geotermală la serele Lovrin.

- Complex de sere (foto.6) comuna Lovrin, de 8 ha cu o capacitate instalată în sursa de apă geotermală și o centrală termică de vârf.

Din totalul consumului anual mediu care reprezintă 3700 - 4300 Gcal/an și ha, se poate asigura 3500 - 4000 Gcal/an și ha din sursa geotermală, respectiv 85 - 93%, restul de 200 - 300 Gcal/an și ha (5 - 7%) se asigură din centrala de vârf.

Sursa de apă geotermală este utilizată 2800 - 3000 ore/an și foraj și reprezintă 30 - 35% din capacitatea forajului.

Concluzii parțiale.

Având în vedere caracterul limitat al apelor geotermale din punct de vedere al alimentării acviferului și efectul termic poluant al mediului înconjurător rezultat în urma deversării, autorul lucrării își propune elaborarea unei metode de optimizare a acestor resurse geotermale prin reinjecția apei reziduale în sonde existente, la debite și presiuni hidraulice prestabilite, rezultate din modelarea câmpurilor geotermale prin utilizarea metodei elementelor finite. Autorul și-a propus realizarea unui program de modelarea hidraulică și termică cuplată, de simulare automată a unui sistem general de ansamblu aferent celor 3 localități și a celor 3 domenii de detaliu corespunzătoare /33/J34/J67/...J70/.

Partea II-a.

Simularea matematică a mișcării apei geotermale în regim hidraulic și termic staționar

Cap. 2 Simularea mișcării apei geotermale în regim staționar.

2.1. Considerații generale.

Problemele de mișcare în domenii de forme neregulate, cu structură și condiții de contur complicate cum sunt acviferele subterane, nu pot fi soluționate decât prin: modelare analogică /60/, modelare numerică utilizând metoda diferențelor finite /90/, metoda elementelor finite /33/, /34/, /65/ sau metoda elementelor de frontieră /2*/ /32/.

Mișcarea hidraulică a apei geotermale în sisteme cu sonde de extracție sau injecție este datorată apariției unui gradient de presiune. Mediul poros pe un domeniu întins în care se produce mișcarea apei geotermale este delimitat de două suprafețe considerate impermeabile, fără a se forma o suprafață liberă.

Regimul acesta de mișcare a fost denumit *regim hidraulic subpresiune*.

În același timp mișcarea apei geotermale în sisteme cu sonde de extracție sau injecție conduce la apariția unui gradient de temperatură la nivelul acviferului datorat extracției/injecției masice de căldură și pierderilor de căldură convective.

Regimul acesta de mișcare a fost denumit *regim termic cu transport masic de căldură*.

Analiza mișcării apei geotermale se efectuează în prezenta lucrare prin decuplarea regimului hidraulic față de regimul termic. Se simulează decuplat regimul hidraulic determinând vitezele hidraulice în centrele de greutate a elementelor pe întreg domeniul mișcării. Aceste mărimi determinate constituie elemente de cuplare pentru regimul termic cu transport masic de căldură.

Problema simulării mișcării apei geotermale prin metoda elementelor finite, se rezumă la o rezolvare aproximativă cu ajutorul calculatoarelor electronice, a unor sisteme de ecuații cu derivate parțiale care descriu fenomenul și anumite condiții de margine cunoscute, prin minimizarea unei funcții asociate mișcării, în aceleași condiții de margine.

2.2. Simularea mișcării apei geotermale în regim hidraulic staționar, domeniu bidimensional.

2.2.1. Considerații generale.

Mediul poros cel mai des întâlnit în practica inginerescă este anizotropie și neomogen. Apa geotermală în Câmpia de Vest din țara noastră este cantonată la adâncimea de 1000 m la 2000 m, în acvifere sub presiune.

Mișcarea tridimensională care are loc în mediul poros subteran, considerând un domeniu întins în plan orizontal (aprox.16 - 26 Km) și dimensiuni reduse pe verticală (100...500m), se poate reduce la o mișcare plan-orizentală (în planul xOy), de grosime H_a (grosimea stratului) în care se adoptă că liniile de curent sunt orizontale în cadrul stratului /90/.

Se consideră că mișcarea geotermală care are loc în mediul poros subteran în care sondele produc cu presiuni diferențiale mici, gradientul presiunii este proporțional cu viteza de filtrație (\vec{w}), conform relației /102/:

$$\vec{w} = -\rho g \frac{\vec{K}}{\mu} \text{grad } p \quad (2.1)$$

unde: \vec{w} - viteza de filtrație, în m/s;

\vec{K} - tensorul permeabilității absolute a mediului poros, în m^2 ;

μ - coeficient de vâscozitate dinamică a apei geotermale, în Ns/m;

ρ - densitatea apei, dependentă de presiune și temperatură, în Kg/m^3 ;

p - presiunea curentă în interiorul stratului, în N/m;
 Din relația (2.1) prin explicitarea presiunii curente față de o valoare prestabilită p_0 și înălțime h ($p = \rho g \Delta h$ și dacă notăm $\Delta h = H$), se poate determina viteza de filtrație generalizată Darcy (w_n), după o direcție curentă "n" /102/:

$$\bar{w} = -\rho g \frac{\bar{K}}{\mu} \text{grad } H \quad (2.1a)$$

unde: **grad H** - gradientul sarcinii hidraulice;

H - sarcina hidraulică, în m coloană de apă.

Fie un domeniu poros bidimensional D, de grosime H_a , anizotropie și neomogen, limitat de două straturi impermeabile, un sistem de axe xOy și un fluid considerat incompresibil - apa geotermală (fig.2.1).

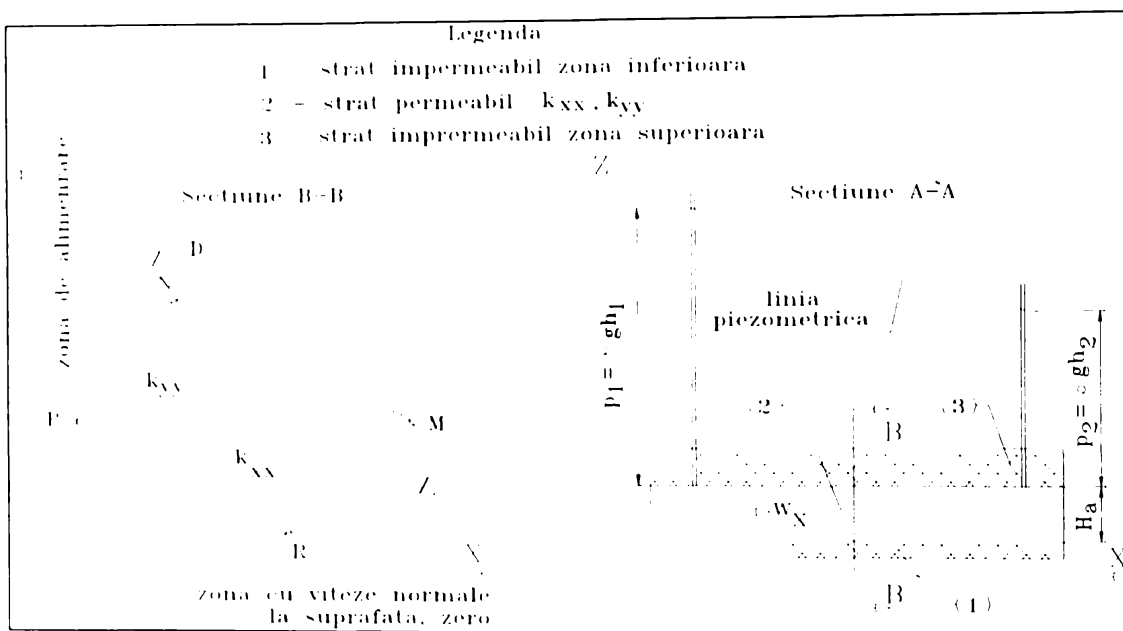


Fig. 2. 1 Domeniul mișcării plane orizontale

Ecuatia de continuitate care descrie mișcarea fluidului prin mediul poros (porozitate ε) prevăzut cu surse interioare care produc cu un flux unitar uniform distribuit pe unitatea de volum R_h (debit raportat la suprafață) și o sondă de injectare cu un flux masic q_h (debit raportat la suprafața laterală a sondei) în cadrul stratului în regim staționar (66%, /90/), are următoarea formă generală:

$$H_x \frac{\partial \varepsilon w_x}{\partial x} + H_y \frac{\partial \varepsilon w_y}{\partial y} - R_h = 0 \quad (2.2)$$

unde: w_x, w_y - componentele vitezei de filtrație în sistemul general de coordonate xOy , în m/s;

R_h - fluxul unitar al sursei, în $m^3/s/m^2$;

ε - porozitatea stratului.

Pentru un mediu bidimensional, anizotropie și neomogen, legea generalizată Darcy (2.1a) după cele două direcții (Ox, Oy), se poate rescrie astfel:

$$w_x = -\frac{\rho g}{\mu} [K_x \frac{\partial H}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial H}{\partial y}] \quad w_y = -\frac{\rho g}{\mu} [K_{xy} \frac{\partial H}{\partial x} + K_y \frac{\partial H}{\partial y}] \quad (2.3)$$

unde: K_x, K_y, K_{xy}, K_{yx} - permeabilitate absolută în sistem general de coordonate xOy , în m^2 ;

sau dacă relația (2.3) se exprimă matricial:

$$\{w_x \ w_y\}^T = [K] \{\nabla H\} \quad (2.4)$$

unde:

$$\nabla H = \begin{Bmatrix} \frac{\partial H}{\partial x} & \frac{\partial H}{\partial y} \end{Bmatrix}^T \quad [K] = \begin{Bmatrix} K_x & K_{xy} \\ K_{yx} & K_y \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

Prin înlocuirea componentelor vitezei (2.3) în relația de continuitate (2.2), și considerând caracteristicile ρ , g , μ constante la derivare, se ajunge la cunoscuta formă generală de mișcare, în regim staționar /6/, /90/, /105/:

$$\frac{\varepsilon \rho g}{\mu} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial H}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yx} \frac{\partial H}{\partial x} + K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right] \right\} + R_h = 0 \quad (2.6)$$

La această relație trebuie să se atașeze condițiile impuse la limita domeniului, care pot avea următoarele două forme:

- sarcină hidrolică impusă (cunoscută) la suprafața laterală S_j (generată prin translatarea unui segment de înălțime H_a și curbă de sprijin L_j - fig2.2):

$$H_{S_j} = f(x, y, t) \quad (2.7)$$

- flux hidrolic specific prin suprafața laterală S_m (generată prin translatarea unui segment de înălțime H_a și curbă de sprijin L_m - fig2.2) caracteristic pentru sondele de extracție sau injecție care se află în interiorul domeniului:

$$q_h = \frac{\varepsilon \rho g}{\mu} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial H}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yx} \frac{\partial H}{\partial x} + K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right] \right\} \quad (2.8)$$

q_h - fluxul unitar injectat al sondei, în $m^3/s/m^2$;

2.2.2 Bazele matematice ale metodei elementelor finite în mișcarea hidrolică staționară subterană, domeniu bidimensional.

Fie un domeniu poros (porozitate ε) de volum $V=H_a \cdot D$, neomogen și anizotrop, mărginit de suprafețe $S_i (i=1,2,\dots,k)$ și apa geotermală fluidul în mișcare subterană, în regim staționar (fig.2.2).

Ecuția diferențială (2.6) descrie mișcarea hidrolică subterană prin mediul poros neomogen și anizotrop, în regim staționar.

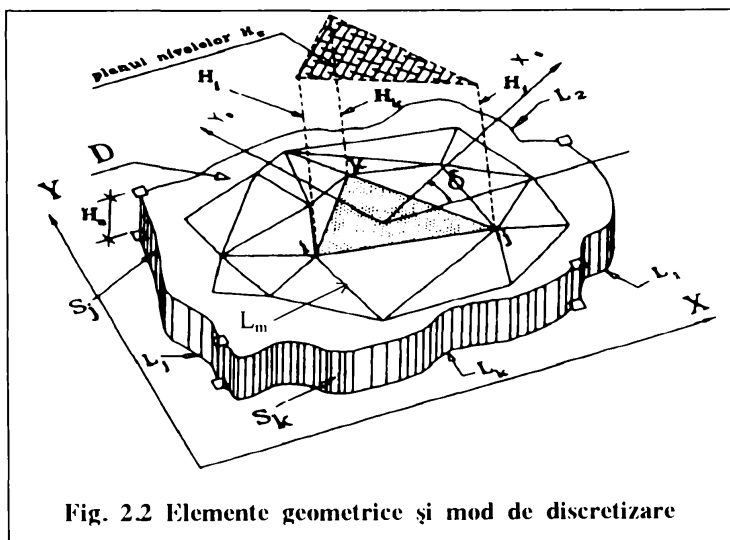


Fig. 2.2 Elemente geometrice și mod de discretizare

Se poate demonstra în baza principiului variațional, că soluția ecuației (2.6) la care se atașează condițiile impuse la limita domeniului (2.7 - 2.8), este aceea care minimizează funcționala $J(H)$ (funcția asociată mișcării) /61/:

$$J(H) = \int_V \frac{\varepsilon \rho g}{2 \mu} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial H}{\partial x} + K_{xy} \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yx} \frac{\partial H}{\partial x} + K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right] \right\} dV + \int_V R_h H dV + \int_{S_j} q_h H dS \quad (2.9)$$

sau în formă matricială:

$$J(H) = \frac{\varepsilon \rho g}{2 \mu} \int_V \{\nabla H\}^T [K] \{\nabla H\} dV + \int_V R_h \{H\} dV + \int_{S_j} q_h \{H\} dS \quad (2.10)$$

Se poate demonstra că pentru un mediu poros anizotrop și neomogen, există o direcție în care valorile matricii $[K]$ a permeabilității absolute notate cu doi indici (K_{xy} , K_{yx}) sunt zero [65], [119] (fig.2.2). Această direcție este denumită principală, sistemul de axe atașat se numește local (sistem principal local de axe x_0Oy_0), iar matricea are forma:

$$[K^*] = \begin{bmatrix} K_x & 0 \\ 0 & K_y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Relația de transformare din sistemul de axe global xOy în sistemul de axe principal local x_0Oy_0 este :

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

și invers :

$$\begin{Bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

Dacă se exprimă gradientul de presiune din sistemul principal local de coordonate x_0Oy_0 în sistemul de coordonate global xOy , se obține :

$$\{\nabla H\}_{x_0,y_0} = [J]^{-1} \{\nabla H\} = [J]^{-1} \left\{ \frac{\partial H}{\partial x} \quad \frac{\partial H}{\partial y} \right\}^T \quad (2.14)$$

Dacă se egalează expresia energiei disipate în procesul de curgere pe unitatea de volum în cele două sisteme, rezultă relația de definire a permeabilității $[K]$ din sistemul global de coordonate, în funcție de valorile coeficienților de permeabilitate pe direcțiile principale de anizotropie ale sistemului principal local de coordonate [6],[119]:

$$[K] = [J][K^*][J]^T \quad (2.15)$$

Tehnica metodei elementelor finite constă din divizarea domeniului V în m elemente de volum V_e arbitrare (prisme cu baza triunghiulară de înălțime H_a - fig.2.2), în cazul de față cu suprafața în planul xOy , iar funcția asociată $J(H)$ care aproximează sarcina hidrolică și nu este continuă pe tot domeniul, va fi continuă în cadrul elementului.

Valorile funcțiilor necunoscute H_e în nodurile triunghiurilor, definesc funcția H pe întreg domeniul. Corespunzător acestei discretizări, funcționala $J(H)$ în mod global are forma:

$$J(H) = \sum_{e=1}^m J_e(H) \quad (2.16)$$

sau sub formă dezvoltată :

$$J(H) = \sum_{e=1}^m \left\{ \frac{\rho g}{2\mu} \int_{V_e} \{\nabla H\}_e^T [K]_e \{\nabla H\}_e dV + \int_{V_e} R_{he} \{H\}_e dV \right\} + \sum_{e=1}^m \int_{S_e} q_{he} \{H\}_e dS \quad (2.17)$$

Indicele "e" precizează că integralele se referă la elementul finit curent. Diferențind funcționala $J(H)$ (2.17) și introducând valorile nodale $[H]_e(x,y)$ și $l=i,j,k$, egalând aceste diferențiale cu zero, va rezulta un sistem general de ecuații.

Se aproximează funcția $H_e(x,y)$ în interiorul unui element finit bidimensional cu trei noduri cu valoarea medie dintre produsul unei funcții de aproximare liniară N și sarcinile din noduri:

$$H_e^m(x,y) = \sum_{l=1}^3 N_{e,l} H_{e,l} \quad (2.18)$$

sau sub formă matricială:

$$\{H_e^m(x,y)\}_e = [N]_e \{H\}_e \quad (2.19)$$

utilizând notațiile din figură (fig.2.2) sub formă dezvoltată, se obține:

$$[N]_e = [N_{e,i} \ N_{e,j} \ N_{e,k}] \quad \text{și} \quad \{H\}_e = [H_{e,i} \ H_{e,j} \ H_{e,k}]^T \quad (2.20)$$

în care: $N_{e,i}, \dots, N_{e,k}$ - sunt coeficienții funcției de interpolare pentru cele $e = 1, \dots, m$ elemente discrete;

$H_{e,i} \dots H_{e,k}$ - sunt valorile nodale ale funcției $H_j(x,y)$, în nodurile i, j, k ale elementului.

Se admite expresia funcțiilor de interpolare N_i de formă polinomială liniară, de următoarea formă:

$$N = \alpha + \beta x + \gamma y \quad (2.21)$$

Valorile coeficienților funcțiilor de interpolare pentru elementul curent "e" de suprafața S_e , se determină în funcție de coordonatele nodurilor cu relațiile /58/, /65/, /119/:

$$\begin{aligned} N_{e,i} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y) \\ N_{e,j} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_j + \beta_j x + \gamma_j y) \\ N_{e,k} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_k + \beta_k x + \gamma_k y) \end{aligned} \quad (2.22a)$$

în care s-au utilizat notațiile geometrice:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= x_j y_k - x_k y_j & \beta_i &= y_j - y_k & \gamma_i &= x_k - x_j \\ \alpha_j &= x_k y_i - x_i y_k & \beta_j &= y_k - y_i & \gamma_j &= x_i - x_k \\ \alpha_k &= x_i y_j - x_j y_i & \beta_k &= y_i - y_j & \gamma_k &= x_j - x_i \end{aligned} \quad (2.22b)$$

Derivând funcțiile de interpolare (2.19) după cele două direcții (Ox, Oy), în formă matricială se obține:

$$\{\nabla H\}_e = [B]_e \{H\}_e \quad (2.23)$$

unde matricea $[B]_e$ este de forma:

$$[B]_e = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_{e,i}}{\partial x} & \frac{\partial N_{e,j}}{\partial x} & \frac{\partial N_{e,k}}{\partial x} \\ \frac{\partial N_{e,i}}{\partial y} & \frac{\partial N_{e,j}}{\partial y} & \frac{\partial N_{e,k}}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Efectuând derivatele specificate în relația (2.24), ținând seama de exprimările date de (2.22a) se obțin relațiile:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_{e,\ell}}{\partial x} &= \frac{\beta_\ell}{2 S_e} \quad \ell = i, j, k \\ \frac{\partial N_{e,\ell}}{\partial y} &= \frac{\gamma_\ell}{2 S_e} \quad \ell = i, j, k \end{aligned} \quad (2.25)$$

care înlocuite în relația (2.24), se obține:

$$[B]_e = \frac{1}{2 S_e} \begin{bmatrix} \beta_i & \beta_j & \beta_k \\ \gamma_i & \gamma_j & \gamma_k \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Se exprimă matricea de permeabilitate K_e din sistemul global de coordonate în funcție de matricea $[K^*]_e$ din sistemul principal local de coordonate. Efectuând calculele matriciale în relația (2.15) pentru un element curent "e", se obține relația generală a permeabilității pentru un mediu neomogen și anizotropic, domeniu bidimensional:

$$[K]_e = \begin{bmatrix} K_x \cos^2 \delta + K_y \sin^2 \delta & (K_x - K_y) \sin \delta \cos \delta \\ (K_x - K_y) \sin \delta \cos \delta & K_x \sin^2 \delta + K_y \cos^2 \delta \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Înlocuind relația (2.23) în ecuația (2.17) și particularizând pentru un element curent "e", relația funcțională $J(H)_e$ devine :

$$J(H) = \frac{\varepsilon \rho g}{2 \mu} \int_{V_e} ([B]_e \{H\}_e)^T [K]_e [B]_e \{H\}_e dV + \int_{V_e} R_{ne} [N]_e \{H\}_e dV + \int_{S_e} q_{ne} [N]_e \{H\}_e dS \quad (2.28)$$

ținând seama că transpusa a unui produs a două matrici este inversul produsului transpuselor matricilor:

$$([B]_e \{H\}_e)^T = [H]_e^T [B]_e^T \quad (2.29)$$

relația generală (2.28) se mai poate scrie și sub forma:

$$J(\mathbf{H}) = \frac{\varepsilon \rho g}{2\mu} \int_V |\mathbf{H}|_e^2 \{\mathbf{B}\}_e^T \{\mathbf{K}\}_e \{\mathbf{B}\}_e \{\mathbf{H}\}_e dV + \int_V \mathbf{R}_{bc} \{\mathbf{N}\}_e \{\mathbf{H}\}_e dV + \int_{S_e} \mathbf{q}_{bc} \{\mathbf{N}\}_e \{\mathbf{H}\}_e dS \quad (2.30)$$

Dacă se aplică diferențiala funcționalei (2.30) în raport cu necunoscutele H_e și apoi se egalează cu zero, se obține :

$$\frac{\partial J(\mathbf{H})}{\partial \mathbf{H}_e} = \frac{\varepsilon \rho g}{\mu} \int_V \{\mathbf{B}\}_e^T \{\mathbf{K}\}_e \{\mathbf{B}\}_e \{\mathbf{H}\}_e dV + \int_V \mathbf{R}_{bc} \{\mathbf{H}\}_e dV + \int_{S_e} \mathbf{q}_{bc} \{\mathbf{H}\}_e dS = \mathbf{0} \quad (2.31)$$

Accasta reprezintă condiția de minimalizare a energiei disipate staționar a funcționalei. În domeniul poros V de grosime constantă H_a , unde integralele de volum se transformă în integrale de suprafață, iar integralele de suprafață în integrale curbilinii, pentru a se obține o formă mai compactă, se utilizează notațiile:

$$\begin{aligned} \{\mathbf{K}\}_e &= \frac{\varepsilon \rho g H_a}{\mu} \int_{S_e} \{\mathbf{B}\}_e^T \{\mathbf{K}\}_e \{\mathbf{B}\}_e dS \\ \{\mathbf{R}\}_e &= H_a \int_{S_e} \mathbf{R}_{bc} \{\mathbf{N}\}_e dS \\ \{\mathbf{Q}\}_e &= H_a \int_{S_e} \mathbf{q}_{bc} \{\mathbf{N}\}_e^T dS \end{aligned} \quad (2.32)$$

unde diferențialele de volum și suprafață din cauza domeniului particular ales au avut forma:

$$dV = H_a dS \quad dS = H_a dl \quad (2.33)$$

Pentru elementul finit triunghiular cu trei noduri de arie S_e , utilizând coordonatele naturale, se pot exprima coordonatele globale (x,y) ale unui punct curent $P(x,y)$ astfel:

$$\begin{aligned} x &= L_i x_i + L_j x_j + L_k x_k \\ y &= L_i y_i + L_j y_j + L_k y_k \end{aligned} \quad (2.34)$$

unde :

$$L_i = \frac{S_i}{S_e} \quad L_j = \frac{S_j}{S_e} \quad L_k = \frac{S_k}{S_e} \quad (2.35)$$

și în același timp cu respectarea relației de condiție:

$$L_i + L_j + L_k = 1 \quad (2.36)$$

Nodurile elementelor triunghiulare trebuie să verifice condițiile exprimate de relațiile (2.34). Rezolvând în raport cu necunoscutele L_i , L_j , L_k din sistemul precizat anterior și relația de condiție, se obțin valorile coeficienților funcțiilor de aproximare în coordonate naturale:

$$\begin{aligned} L_i &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y) \\ L_j &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_j + \beta_j x + \gamma_j y) \\ L_k &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_k + \beta_k x + \gamma_k y) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Comparând relațiile (2.22a) și (2.37) se constată că coordonatele de arie sunt identice cu funcțiile de interpolare. Proprietatea aceasta la care funcțiile de interpolare sunt identice cu funcțiile geometrice de aproximare, se numește *izoparametrie*. Elementele finite se numesc *izoparametrice*. Funcția necunoscută $H(x,y)$ se poate aproxima și în funcție de coordonatele naturale:

$$\{\mathbf{H}\} = \{L_i \ L_j \ L_k\} \begin{Bmatrix} H_{e,i} \\ H_{e,j} \\ H_{e,k} \end{Bmatrix} = \{\mathbf{L}\}_e \{\mathbf{H}\}_e \quad (2.38)$$

Integrala de arie S_e a unui element în planul xOy necesară metodei elementelor finite, se face cu ajutorul formulei generale /43/:

$$\int_{S_e} \{L_i^{\alpha_1} \ L_j^{\alpha_2} \ L_k^{\alpha_3}\} dS = \frac{\alpha_1! \alpha_2! \alpha_3!}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2)!} 2S_e \quad (2.39)$$

care pentru o integrare de lungime l_c și în același timp latură a elementului curent e , are expresia:

$$\int_{l_c} \{L_i^{\alpha_1} L_j^{\alpha_2}\} d\ell = \frac{\alpha_1! \alpha_2!}{(\alpha_1 + \alpha_2 + 1)!} l_c \quad (2.40)$$

Ținând seama de forma particulară a domeniului după axa normală planului xOy ($H_a = \text{const}$), integralele de volum (unde $V_e = H_a * S_c$) din relația (2.31) se pot transforma în integrale de suprafață, iar integrala de suprafață (unde $S_i = H_a * l_i$) din aceeași relație, în integrală curbilinie.

Modalitatea de efectuare a unei integrale de suprafață este simplă, pentru exemplificare utilizând relația (2.39) rezultă următoarele identități:

$$\begin{aligned} H_a \int_{S_c} \mathbf{R}_h \{L_i^1 L_j^1 L_k^1\} dS &= H_a \int_{S_c} \mathbf{R}_h \{L_i^1\} dS + H_a \int_{S_c} \mathbf{R}_h \{L_j^1\} dS + H_a \int_{S_c} \mathbf{R}_h \{L_k^1\} dS = \\ &= H_a \mathbf{R}_h \left[\frac{1!}{(1+2)!} 2S_c + \frac{1!}{(1+2)!} 2S_c + \frac{1!}{(1+2)!} 2S_c \right] = \frac{H_a \mathbf{R}_h S_c}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Efectuând calculele matriciale în relațiile (2.32) în care funcțiile de interpolare $[N]^T$ s-au înlocuit cu funcțiile geometrice de aproximare $[L]^T$, iar integralele de suprafață și curbilinie conform procedurilor descrise în relațiile (2.39)-(2.41), se obțin:

$$[K_h] = \frac{\varepsilon \rho g H_a}{4 \mu S_c} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \quad \{R\}_e = \frac{H_a \mathbf{R}_h S_c}{3} \{111\}^T \quad \{Q\}_e = \frac{H_a q_h \ell_{ikc}}{2} \{101\}^T \quad (2.42)$$

unde coeficienții matricii rigidității hidraulice, pentru un domeniu poros neomogen și anizotropie se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} k_{11} &= \beta_i \beta_i k_{10} + \beta_i \gamma_i k_{20} + \gamma_i \beta_i k_{20} + \gamma_i \gamma_i k_{30} \\ k_{12} &= \beta_j \beta_i k_{10} + \beta_j \gamma_i k_{20} + \gamma_j \beta_i k_{20} + \gamma_j \gamma_i k_{30} \\ k_{13} &= \beta_k \beta_i k_{10} + \beta_k \gamma_i k_{20} + \gamma_k \beta_i k_{20} + \gamma_k \gamma_i k_{30} \\ k_{21} &= k_{12} \\ k_{22} &= \beta_j \beta_j k_{10} + \beta_j \gamma_j k_{20} + \gamma_j \beta_j k_{20} + \gamma_j \gamma_j k_{30} \\ k_{23} &= \beta_k \beta_j k_{10} + \beta_k \gamma_j k_{20} + \gamma_k \beta_j k_{20} + \gamma_k \gamma_j k_{30} \\ k_{31} &= k_{13} \\ k_{32} &= k_{23} \\ k_{33} &= \beta_k \beta_k k_{10} + \beta_k \gamma_k k_{20} + \gamma_k \beta_k k_{20} + \gamma_k \gamma_k k_{30} \\ k_{10} &= K_x \cos^2 \delta \\ k_{20} &= (K_y - K_x) \sin \delta \cos \delta \\ k_{30} &= K_x \sin^2 \delta + K_y \cos^2 \delta \end{aligned} \quad (2.43)$$

Utilizând notațiile precizate (2.42) în identitatea (2.31) se obține cunoscuta relație generală a metodei elementelor finite pentru un element curent "e":

$$[K_h]_e \{H\}_e + \{F_h\}_e = 0 \quad (2.44)$$

cu precizarea suplimentară:

$$\{F_h\}_e = \{R_h\}_e + \{Q_h\}_e \quad (2.45)$$

Dacă asamblăm prin însumare ținând seama că relația (2.44) și notația (2.45) este similară pentru oricare element, se obține sistemul general de ecuații al metodei elementelor finite:

$$[K_H] \{H\} + \{F_H\} = 0 \quad (2.46)$$

unde : $[K_H]$ - reprezintă matricea asamblată a domeniului;

$\{F_H\}$ - reprezintă vectorul asamblat al relațiilor de condiție aferente domeniului;

$\{H\}$ - reprezintă vectorul asamblat al sarcinilor în nodurile domeniului.

În situația în care prin condițiile de margină sunt specificate în anumite noduri sarcinile hidraulice, sistemul asamblat se poate scrie sub formă /105/:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{nn} & \mathbf{K}_{nc} \\ \mathbf{K}_{cn} & \mathbf{K}_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{H}_n \\ \mathbf{H} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_n \\ \mathbf{F}_c \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

unde : $\{\mathbf{H}\}_n$ - matricea vector a sarcinilor necunoscute;

$\{\mathbf{H}\}_c$ - matricea vector a sarcinilor cunoscute;

$\{\mathbf{F}\}_n, \{\mathbf{F}\}_c$ - matricea vector a condițiilor exterioare specificate sau zero.

Sistemul general de ecuații (2.47) se poate decupla față de cele două tipuri de matrici a sarcinilor, de forma:

$$\begin{aligned} [\mathbf{K}_{nn}]\{\mathbf{H}_n\} + [\mathbf{K}_{nc}]\{\mathbf{H}_c\} &= \{\mathbf{F}_n\} \\ [\mathbf{K}_{cn}]\{\mathbf{H}_n\} + [\mathbf{K}_{cc}]\{\mathbf{H}_c\} &= \{\mathbf{F}_c\} \end{aligned} \quad (2.48)$$

și efectuând substituția valorilor cunoscute $\{\mathbf{H}\}_c$ din linia a doua în prima linie se obține:

$$[\mathbf{K}_{nn}]\{\mathbf{H}_n\} = \{\mathbf{F}^*\} \quad (2.49a) \quad \text{unde: } \{\mathbf{F}^*\} = \{\mathbf{F}_n\} - [\mathbf{K}_{nc}]\{\mathbf{H}_c\} \quad (2.49b)$$

Rezolvând sistemul de ecuații (2.49a,b), rezultă sarcinile hidraulice necunoscute H_n ale discretizării. Operațiunea de contabilizare a necunoscutelor și partiționarea matricii $[\mathbf{K}]$, când matricea $\{\mathbf{H}\}$ este preordonată, calculele efective nu sunt dificile, conform precizărilor de mai jos.

Se deschide și se inițializează cu zero un fișier în acces direct, care reprezintă o matrice bandă \mathbf{K}^D , cu maxim n linii și $Mband+1$ coloane (coeficienții necunoscutelor H_n din cadrul liniei și termenul liber F^* , diferiți de zero), în care se stochează coeficienții K_{ij} și termenul liber F^*_i . Primul indice i al matricii K_{ij} reprezintă numărul liniei, iar indicele al doilea j reprezintă coloana. În matricea bandă \mathbf{K}^D valoarea va fi stocată în linia i și coloana $j-i+1$ (locația este translatată spre stânga cu numărul liniei+1), termenul liber este stocat în coloana $Mband+1$.

Pentru realizarea partiționării se prevede o variabilă inițială de control binară $KON (0,1)$ în datele de intrare, care semnalizează prin mărimea 1 că valoarea sarcinii este cunoscută (H_c) și mărimea 0 că valoarea sarcinii este necunoscută (H_n). În cazul variabilei de control setată pe mărimea 0 , se stochează în matricea bandă \mathbf{K}^D numai termenul liber F^* în locația $Mband+1$ conform precizării adiționale din relația (2.49).

Prin rezolvarea sistemului de ecuații (2.49) se obțin sarcinile necunoscute H_n cu numerele de ordine relative de la 1 la n . Numerele de ordine absolute se obțin într-un ciclu de citire succesivă a variabilei de control binare KON și adunare la numărul de ordine relativ a unei variabile PAS . Această variabilă (la începutul ciclului $PAS = 0$) se modifică prin adunare succesivă în cadrul ciclului de citire a variabilei KON cu $PAS = PAS+1$ numai când variabila binară este 1 .

Cunoscând vectorul sarcinilor nodale H_c pentru fiecare element e , se pot determina componentele vitezei normale pe suprafețele laterale ale fiecărui element, cu relația:

$$\{w_x, w_y\}^T = -\frac{\rho g H_n}{\mu} [\mathbf{K}]_e [\mathbf{B}]_e \{\mathbf{H}\}_e \quad (2.50)$$

și debitul pe suprafața laterală de interes S_e , care se sprijină pe o latură a elementului triunghiular, cu relația:

$$Q_e = -\left(\int_{S_e} \frac{\rho g}{\mu} [n]_e [\mathbf{K}]_e [\mathbf{B}]_e dS\right) \{\mathbf{H}\}_e \quad (2.51)$$

unde: n_x, n_y - reprezintă cosinusurile directoare ale normalei la suprafața laterală a elementului pe care se determină debitul.

3. Simularea mișcării regimului termic geotermal staționar, domeniu bidimensional

3.1. Considerații generale

Transportul de substanță și căldură este guvernat de legi generale care, prin particularizări specifice, descriu cantitativ procesul de transport.

Pornind de la legile de conservare în funcție de mecanismul de transport, se deduc relații pentru fluxurile de substanță și fluxurile de căldură, care împreună cu alți parametri caracteristici procesului, conduc *la ecuațiile transferului de substanță și căldură*.

Transmiterea căldurii este un proces natural de transfer a energiei interne de la un corp cu temperatură mai mare, spre cele cu temperatură mai mică. Căldura se transmite prin *difuziune termică* (conducție sau termodifuziune), *dispersie termică* (similară dispersiei de turbulență), *convecție* și *radiație*.

Difuziunea termică (conducția căldurii) este procesul de transmitere a căldurii în interiorul unui corp sau între corpuri aflate în contact, datorită unei diferențe de temperatură.

Dispersion termică este procesul de transmitere a căldurii datorită neuniformității distribuțiilor de viteze hidraulice.

Convecția liberă a căldurii este procesul de transmitere a căldurii prin intermediul unui fluid denumit agent termic, datorită unei diferențe de temperatură.

Radiația este procesul de transmitere a căldurii sub formă de energie radiantă, ce se transmite prin unde electromagnetice, spre un corp absorbant.

Temperatura în interiorul unui corp sau a unui mediu este o funcție de coordonatele spațiale x, y, z și coordonata temporală t de forma:

$$\theta = f(x, y, z, t) \quad (3.1)$$

Această mărime fizică, ca funcție de punct și timp exprimă câmpul de temperatură din interiorul unui corp sau a unui mediu. Dacă temperatura nu variază în timp, câmpul de temperatură se numește staționar. Dacă temperatura este variabilă în timp, câmpul de temperatură se numește nestaționar sau tranzitoriu. Punctele interioare din interiorul unui corp care au aceeași temperatură, se află pe o *suprafață izotermă*.

În domenii bidimensionale, punctele cu aceeași temperatură se află pe o *curbă izotermă*.

Vectorul dirijat după normala la suprafața izotermă, în sensul creșterii temperaturii, ca mărime egal cu derivata temperaturii în raport cu aceeași direcție, se numește *gradient de temperatură*.

3.2. Difuziunea termică

Difuziunea termică rezultă din deplasarea individuală, dezordonată a moleculelor printr-un mediu, datorită energiei termice. Utilizând teoria cinetică a gazelor, se ac-

ceptă că datorită ciocnirii moleculelor cu moleculele învecinate ale mediului, o moleculă se deplasează după o linie în zigzag, viteza sa schimbându-se ca mărime și sens.

Frecvența ciocnirilor, drumul liber mijlociu și viteza medie de deplasare a moleculelor depind de presiune și temperatură. Numărul de ciocniri fiind mare, deși traseul efectiv parcurs de o moleculă într-o anumită perioadă de timp are o lungime apreciabilă, distanța parcursă într-o anumită direcție este redusă, viteza de difuziune este mică, crescând cu scăderea presiunii (numărul de ciocniri se reduce) și cu creșterea temperaturii (crește viteza moleculelor).

Deci, prin *difuziune termică*, se înțelege deplasarea reciprocă a macrocomponentelor (molecule) în interiorul unui amestec datorită lipsei echilibrului în toate punctele sale sub influența unui gradient de temperatură /44/.

Cantitatea de căldură care trece în unitatea de timp printr-o suprafață S , se numește *flux de căldură*. Fluxul de căldură raportat la suprafață, se numește *flux termic unitar* și se măsoară în $Kcal/m^2s$ sau W/m^2 .

Din legea experimentală a lui Fourier se determină fluxul termic unitar (q) printr-un mediu la o suprafață (S) cu relația:

$$q = - \lambda_n \frac{\partial \theta}{\partial n} \quad (3.2)$$

unde: λ_n - se denumește coeficient de conductivitate termică în direcția n și se măsoară în $Kcal/ms^{\circ}C$ sau $W/m^{\circ}K$;

$\frac{\partial \theta}{\partial n}$ - gradientul de temperatură în raport cu direcția normală la suprafață (n).

3.3 Dispersia termică

Termenul dispersiei termice determinat de viteză și temperatură, reprezintă efectul neuniformității distribuțiilor de viteze hidraulice datorită structurii mediilor poroase.

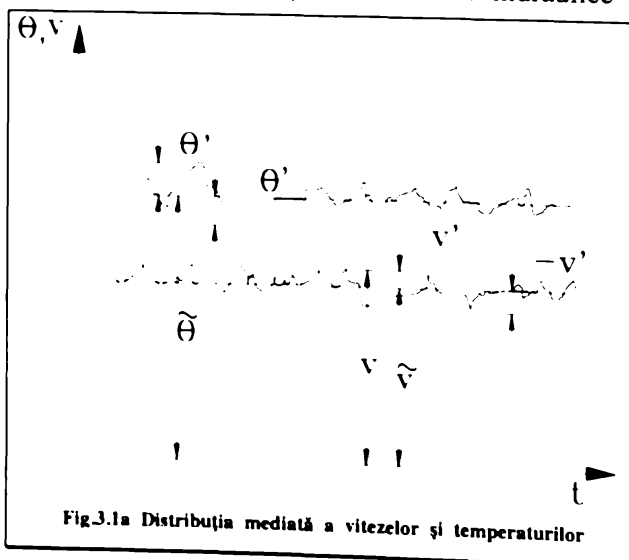


Fig.3.1a Distribuția mediată a vitezelor și temperaturilor

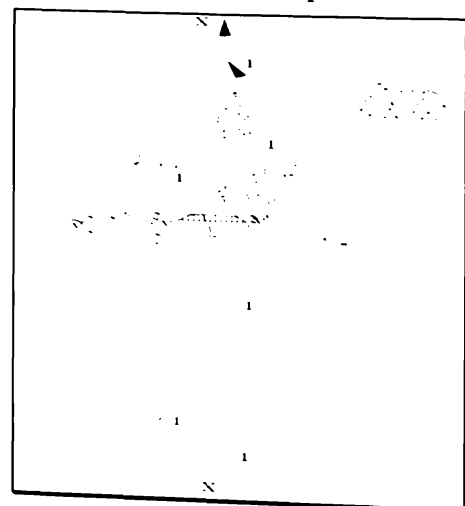


Fig.3.1b Distribuția mediată a vitezelor în structura poroasă a acviferului

Valoarea curentă a unui parametru se poate exprima statistic ca sumă a valorii mediate și a valorii abaterii acestuia de la medie (fig.3.1a).

Datorită structurii poroase (canale întortocheate interconectate de formă oarecare) a acviferului (fig.3.1b), analog cu mișcarea turbulentă cunoscută în mecanica fluidelor, vectorul vitezei curente se poate descompune sub forma:

$$\vec{v} = \tilde{v} + \vec{v}' \quad (3.3a)$$

în care: \tilde{v} - reprezintă valoarea mediată pe "Volumul Elementar" reprezentativ (VER) a câmpului de viteze;

\vec{v}' - valoarea abaterilor câmpului de viteză de la medie, determinată de neuniformitatea distribuției de viteze datorită structurii mediului poros;

Analog și temperatura admite o asemenea descompunere:

$$\theta = \tilde{\theta} + \theta' \quad (3.3b)$$

unde: $\tilde{\theta}$ - reprezintă valoarea mediată pe "Volumul Elementar" reprezentativ (VER) a câmpului de temperatură;

θ' - valoarea abaterilor câmpului de temperatură de la medie, determinată de neuniformitatea distribuției de viteză datorită structurii mediului poros;.

Valoarea mediată pe VER a abaterilor este nulă:

$$\tilde{v} = \frac{1}{V_{VER}} \int_V \vec{v}(\vec{r}, t) dV = 0 \quad \tilde{\theta} = \frac{1}{V_{VER}} \int_V \theta(\vec{r}, t) dV = 0 \quad (3.4)$$

Pentru o proprietate oarecare Φ cu valoarea abaterilor Φ' față de valoarea medie, avem similar [34]* /:

$$\Phi = \tilde{\Phi} + \Phi' \quad (3.5)$$

Fluxul vectorial specific al proprietății este :

$$\vec{q}_{total} = \vec{v} \Phi \quad (3.6)$$

Dacă se utilizează relația câmpului de viteze (3.3a) și relația de proprietate Φ (3.5), înlocuiește în (3.6) se obține:

$$\vec{q}_{total} = (\tilde{v} + \vec{v}') (\tilde{\Phi} + \Phi') = \tilde{v} \tilde{\Phi} + \tilde{v} \Phi' + \vec{v}' \tilde{\Phi} + \vec{v}' \Phi' \quad (3.7)$$

Prin medierea termenilor vectorului fluxului specific și eliminând termenii egali cu zero conform relației (3.4), se obține:

$$\vec{q}_{total} = \tilde{v} \tilde{\Phi} + \overline{\vec{v}' \Phi'} = \vec{q}_{conv} + \vec{q}_{dispersiv} \quad (3.8)$$

Se observă că datorită abaterilor vitezei și proprietății Φ de la medie, apare o componentă suplimentară față de fluxul specific convectiv pentru proprietatea Φ care are următoarea formă generală:

$$\bar{q}_{\text{dispersiv}} = \overline{\bar{v} \cdot \Phi} \quad (3.9)$$

și care este denumită flux specific dispersiv.

Prin analogie cu fenomenul de difuzie (legea I-a a lui Fick) se adoptă pentru reprezentarea transferului dispersiv relația:

$$\bar{q}_{\text{dispersiv}} = - \bar{\bar{D}}_D \text{ grad } \Phi \quad (3.10)$$

unde: $\bar{\bar{D}}_D$ - reprezintă tensorul coeficienților de difuzie turbulentă. Pentru un domeniu bidimensional, componentele lui într-o exprimare matricială arată astfel:

$$[\mathbf{D}_D] = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_L & \mathbf{D}_{L,T} \\ \mathbf{D}_{T,L} & \mathbf{D}_T \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

unde: $\mathbf{D}_L, \mathbf{D}_{L,T}, \mathbf{D}_{T,L}, \mathbf{D}_T$ - sunt denumiți coeficienți de difuzivitate de turbulență, și se exprimă în m/s.

Se poate demonstra că prin alegerea convenabilă a unui sistem de axe, relația (3.11) se poate aduce la o formă mai simplă:

$$[\mathbf{D}_D] = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_L & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_T \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Dacă se consideră că proprietate este de forma $\Phi = \rho c_p \theta$ și reprezintă de fapt cantitatea de căldură, relația transferului dispersiv are următoarea formă:

$$\bar{q}_{\text{dispersiv}} = - \rho c_p \bar{\bar{D}}_D \text{ grad } \theta \quad (3.13)$$

În concluzie, relațiile (3.13) exprimă mecanismul dispersiv de transfer al căldurii într-un lichid în curgere sub acțiunea unei perturbații locale.

Pentru un domeniu bidimensional, componentele după două direcții Ox, Oy ale fluxului termic dispersiv (q_x^* , q_y^*), au următoarea formă:

$$q_x^* = - \rho c_p \mathbf{D}_L \frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial x} \quad q_y^* = - \rho c_p \mathbf{D}_T \frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial y} \quad (3.14)$$

unde: c_p - reprezintă căldura specifică a lichidului la presiune constantă, în Kcal/kg°K;
 ρ - densitatea lichidului, în Kg/m³.

Dispersia longitudinală (\mathbf{D}_L) și transversală (\mathbf{D}_T) în lichide are valori cuprinse în limitele 10^{-9} - 10^{-10} m²/s.

Similitudinea proceselor de transfer de căldură implică existența simultană a condițiilor de similitudine: geometrică, hidrodinamică și difuziune. În cazul curgerii prin medii poroase, aplicând analogia Reynolds între transferul cantității de mișcare și transferul de energie, din ecuația câmpului de concentrație în regim staționar, se definește criteriul Peclet pentru difuziune:

$$\frac{v d}{D} = \text{Pe} \quad (3.15)$$

unde: v - reprezintă viteza de mișcare a lichidului prin mediul poros, în m/s;
 d - reprezintă dimensiunea medie a particulelor mediului poros, în m;
 D - reprezintă dispersia fluidului, în m^2/s .

Pentru determinarea coeficienților de dispersivitate longitudinală și transversală sau dispersivitatea longitudinală și transversală, se pot utiliza cercetările experimentale

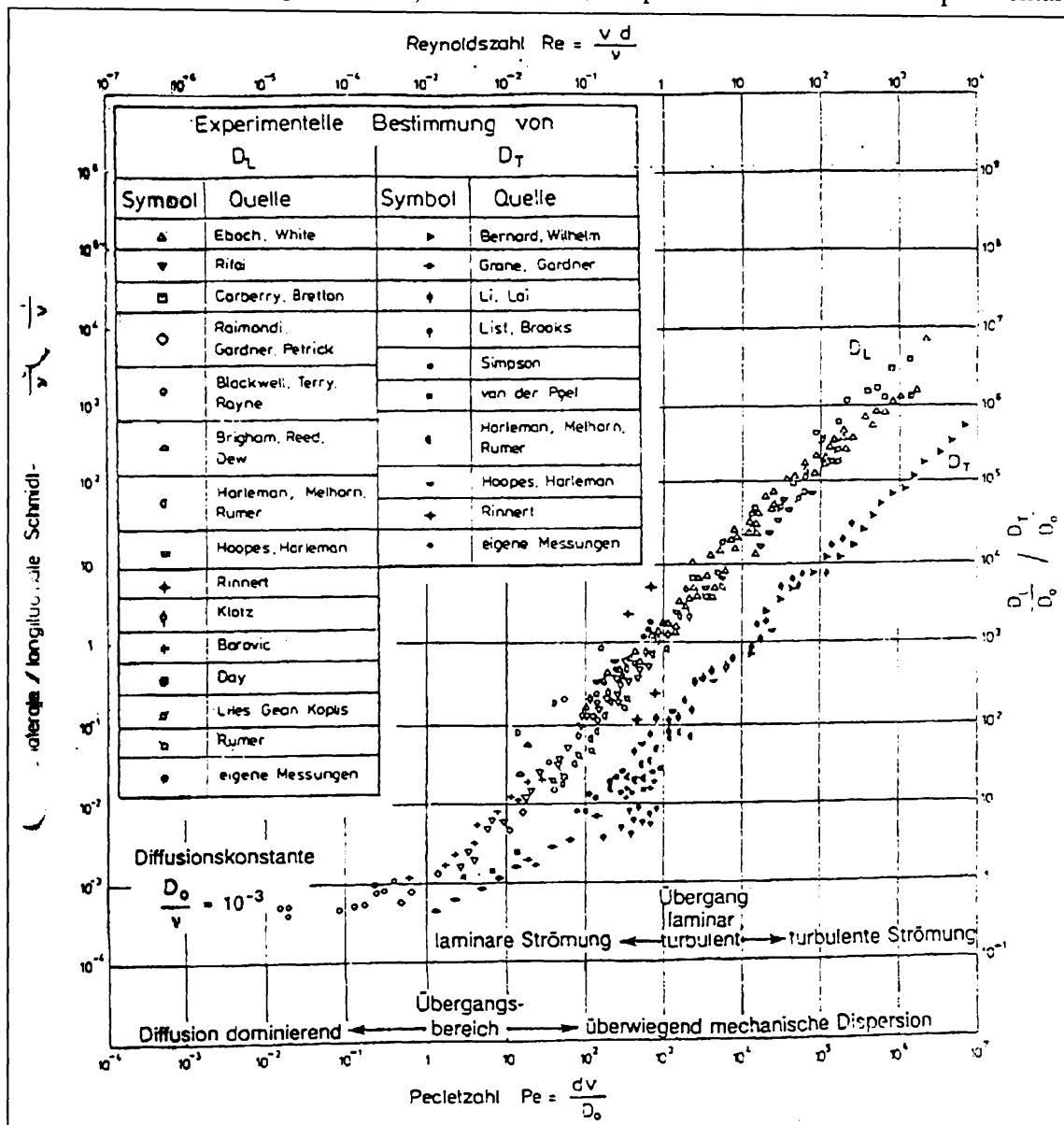


Fig.3.2 Coeficienții de dispersie experimentali în acvifere omogene și izotropice la Bear (1961) și adiționale Spitz (1985).

efectuate asupra acviferelor de la Bear și Spitz /34/, prelucrate în corelație cu numerele Reynolds sau Peclet (fig.3.2). Din măsurătorile experimentale se constată că raportul dintre coeficienții de dispersie transversală și longitudinală reprezintă o valoare cuprinsă în limitele 0.01-0.3.

3.4 Ecuația generală a transferului căldurii apei geotermale - regim staționar.

Fie un mediu poros (de porozitate ϵ) prin care trece apa geotermală și în același timp are loc un transfer staționar de căldură (fig.3.3). Dacă evidențiem fluxul termic unitar de transport (q_0) a apei geotermale ce părăsește o suprafață S, iar mișcarea termică de transport este caracterizată de viteza hidraulică (v_0), relația (3.2) devine:

$$q_0 - q_0 = -\lambda_n \epsilon \frac{\partial \theta}{\partial n} \quad (3.16)$$

în care fluxul termic unitar de transport (q_0) se mai poate exprima și astfel:

$$q_0 = \frac{Q}{S} = \rho c v_0 (\theta - \theta_E) \quad (3.17)$$

unde: ρ - densitatea mediului poros, în Kg/m³;

c - căldura specifică a mediului poros în Kcal/Kg°C;

v_0 - viteza hidraulică a apei geotermale, în m/s;

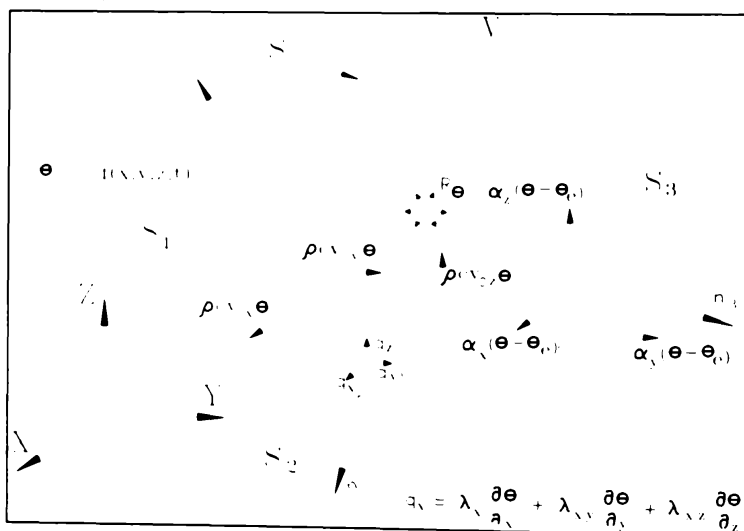


Fig.3.3. Domeniul poros spațial

θ_E - temperatura de referință, la suprafața de separație a două medii, cazul de față mediul exterior.

Pentru domeniul poros tridimensional prin care trece fluxul termic unitar de transport (q_{0x}, q_{0y}, q_{0z}), iar apa geotermală este în mișcare hidraulică staționară caracterizată de viteza hidraulică $v_0 (v_{0x}, v_{0y}, v_{0z})$, legea experimentală a lui Fourier (difuzia termică moleculară) se poate generaliza după cele 3 direcții conform expresiilor

următoare:

$$\begin{aligned} q_x &= \rho c v_{0x} (\theta - \theta_E) - \epsilon (\lambda_{xx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{xy} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{xz} \frac{\partial \theta}{\partial z}) \\ q_y &= \rho c v_{0y} (\theta - \theta_E) - \epsilon (\lambda_{yx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{yy} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{yz} \frac{\partial \theta}{\partial z}) \\ q_z &= \rho c v_{0z} (\theta - \theta_E) - \epsilon (\lambda_{zx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{zy} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{zz} \frac{\partial \theta}{\partial z}) \end{aligned} \quad (3.18a)$$

sau în exprimare matricială:

$$\{q_x, q_y, q_z\}^T = \{q_{0x}, q_{0y}, q_{0z}\}^T - \epsilon [\lambda^*] \{\nabla \theta\} = \rho c \{v_{0x}, v_{0y}, v_{0z}\}^T (\theta - \theta_E) - \epsilon [\lambda^*] \{\nabla \theta\} \quad (3.18b)$$

unde:

$$[\lambda^*] = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

și: $\lambda_{xx}, \lambda_{xy}, \dots, \lambda_{zx}, \dots, \lambda_{zz}$ - conductivitatea termică în sistemul global de coordonate, pentru un mediu anizotrop și neomogen, în Kcal/ms°C sau W/m°K;

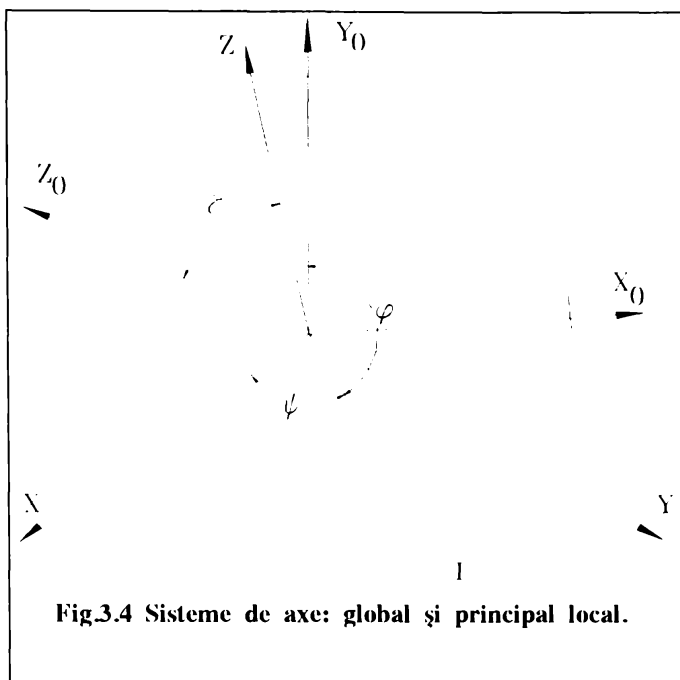


Fig.3.4 Sisteme de axe: global și principal local.

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

gradienții de temperatură în raport cu un sistem general de axe denumit Oxyz.

Se poate demonstra asemănător ca la mișcarea hidrolică subterană că există o matrice de conductivitate simetrică $[\lambda_{ij}]$ în raport cu 3 axe locale (x_0, y_0, z_0) denumite principale în direcția cărora, fluxul termic este coliniar cu gradientul de temperatură.

Fie două sisteme de axe ortogonale cu originea (O) comună, rotite cu unghiurile ψ, ϕ și ζ (unghiurile Euler - fig. 3.4) și axa Ox cuprinsă în planul Oy₀, iar punctul I în planul xOy /72/.

Relația de transformare din sistemul de axe principal local Ox_0, y_0, z_0 în sistemul de axe global Oxyz este:

$$\begin{Bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \tag{3.20}$$

și matricea de transformare [J] are coeficienții:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \cos \phi \cos \psi - \sin \phi \sin \psi \cos \zeta \\ \alpha_{12} &= \cos \phi \sin \psi + \sin \phi \cos \psi \cos \zeta \\ \alpha_{13} &= \sin \phi \sin \zeta \\ \alpha_{21} &= -(\sin \phi \cos \psi + \cos \phi \sin \psi \cos \zeta) \\ \alpha_{22} &= -\sin \phi \sin \psi + \cos \phi \cos \psi \cos \zeta \\ \alpha_{23} &= \cos \phi \sin \zeta \\ \alpha_{31} &= \sin \psi \sin \zeta \\ \alpha_{32} &= -\cos \psi \sin \zeta \\ \alpha_{33} &= -\cos \zeta \end{aligned} \tag{3.21}$$

Matricea [J] este Jacobianul transformării, iar pentru sistemul particular ales care are originea comună se mai numește și matrice de rotație. Utilizând notațiile Euler pentru unghiuri (ψ, ϕ, ζ), din cele 9 valori ale cosinurilor directe, 3 valori sunt independente.

Valorile coeficienților acestei matrici sunt combinații rezultate din proiecțiile versorilor sistemului general de axe pe sistemul principal local (3.21).

Pentru un domeniu particular ales (domeniul în planul xOy unde $\phi=0, \zeta=0$) introducând valorile unghiulare $\phi=0$ și $\zeta=0$, matricea de rotație are următoarea formă particulară:

$$[\mathbf{J}] = \begin{Bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Dacă se egalează expresia energiei termice disipate în procesul de conducție pe unitatea de volum în cele două sisteme, rezultă relația de definire a conductivității $[\lambda]$ în sistemul global de coordonate, în funcție de valorile coeficienților de conductivitate pe direcțiile principale de anizotropie ale sistemului local de coordonate $[\lambda_l]$, similar mișcării hidraulice /6/114/:

$$[\lambda] = [\mathbf{J}][\lambda_l][\mathbf{J}]^T \quad (3.23)$$

unde matricea de conductivitate din sistemul principal local de coordonate x_0Oy_0 este de următoarea formă particulară:

$$[\lambda_l] = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.24a)$$

Pentru cazul plan în particular ales (în planul xOy) relația (3.24a) are următoarea formă:

$$[\lambda_l] = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & 0 \\ 0 & \lambda_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.24b)$$

Dacă se aplică legea de conservare a energiei (fluxul termic unitar) printr-un volum de control V , mărginit de suprafețe S_i (fig.3.3) și prevăzut cu:

- surse interioare uniform distribuite pe unitatea de volum care generează uniform un flux termic unitar (R_0);
- o sondă de injectare/extracție cu fluxul termic unitar q_0 la suprafața laterală S_2 ;
- un flux termic convectiv q_a la suprafața laterală S_3 ;

se obține relația generală:
$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} + R_0 + q_0 - q_a = 0 \quad (3.25)$$

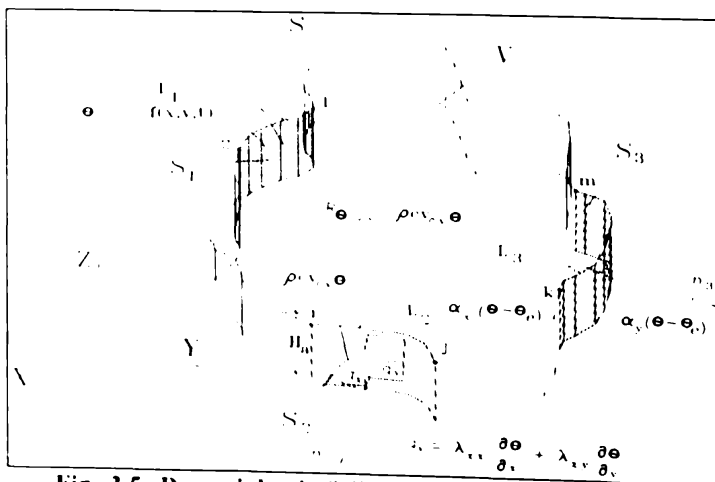


Fig. 3.5. Domeniul mișcării termice plan-orientate

în care: q_x, q_y, q_z - reprezintă componentele fluxului termic unitar după direcțiile generale (axele Ox, Oy, Oz), în $Kcal/m^2s$ sau W/m^2 ;

R_0 - fluxul termic unitar (debitul termic raportat la suprafață), pozitiv dacă sursele interioare debitează căldură, în $Kcal/m^2s$ sau W/m^2 .

q_0 - fluxul termic unitar de injectare respectiv de extracție la suprafața laterală a sondei, pozitiv dacă

sonda injectează căldură, în $Kcal/m^2s$ sau W/m^2 .

q_α - fluxul termic unitar convectiv la suprafața laterală de separație a sondei cu mediul înconjurător, pozitiv dacă părăsește suprafața, în Kcal/m²h sau W/m².

Pentru un domeniu întins în plan orizontal (aprox. 16-26Km) și dimensiuni reduse pe verticală, (aprox.100-500m), mișcarea se poate reduce la o mișcare termică plan-orizontală pe grosimea H_a (fig.3.5), în acest caz legea de conservare a energiei (3.25) are următoarea formă particulară:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + R_0 + q_0 - q_\alpha = 0 \quad (3.26)$$

Prin analogie, comparația făcută dintre ecuațiile lui Reynolds și relațiile Navier-Sokes ale fluidelor vîscoase în care termenii suplimentari datorati neuniformității distribuțiilor de viteze (tensiunile de frecare aparentă ale mișcării turbulente) /72/ se aplică transferului de căldură, se adaugă termeni suplimentari în legea de conservare a energiei conform următoarelor relațiilor:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial q_x}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \rho c D_L \frac{\partial \theta}{\partial x} \\ -\frac{\partial q_y}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \rho c D_T \frac{\partial \theta}{\partial y} \end{aligned} \quad (3.27)$$

În notațiile (3.27) s-au folosit relațiile stabilite pentru mecanismul dispersiv de transfer de căldură (3.14) într-un mediu poros cu porozitatea ϵ prin care curge staționar un lichid caracterizat de densitate ρ și care transportă o cantitate de căldură ΔQ .

Dacă relațiile (3.18) sunt particularizate pentru domeniul plan și se introduce în legea de conservare a energiei (3.26) ținând seama de mecanismul dispersiv al transferului de căldură (3.27), se obține ecuația diferențială generală care descrie mișcarea termică bidimensională prin mediul poros în regim staționar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\epsilon \lambda_{xx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \epsilon \lambda_{xy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\epsilon \lambda_{yx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \epsilon \lambda_{yy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] - \left\{ \frac{\partial q_{0x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{0y}}{\partial y} \right\} - R_0 - q_0 + q_\alpha = 0 \quad (3.28)$$

în care s-au utilizat următoarele notații:

$$\begin{aligned} \epsilon \lambda_{xx} &= \rho c D_L + \epsilon \lambda_{xx} \\ \epsilon \lambda_{xy} &= \epsilon \lambda_{xy} \\ \epsilon \lambda_{yx} &= \epsilon \lambda_{yx} \\ \epsilon \lambda_{yy} &= \rho c D_T + \epsilon \lambda_{yy} \end{aligned} \quad (3.29)$$

La relațiile (3.28-3.29) trebuie să se atașeze condițiile impuse la limita domeniului, care pot avea următoarele trei forme:

- temperatură impusă (cunoscută) la suprafața laterală S_1 (generată prin translatarea unui segment de înălțime H_a și curbă de sprijin L_1 - fig.3.5):

$$\theta_{s_1} = f(x, y, t) \quad (3.30)$$

- flux termic unitar impus (cunoscut) la suprafața laterală S_2 (generată prin translatarea unui segment de înălțime H_a și curbă de sprijin L_2 - fig.3.5):

$$\begin{aligned} q_x &= \left[\epsilon \lambda_{xx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \epsilon \lambda_{xy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] \\ q_y &= \left[\epsilon \lambda_{yx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \epsilon \lambda_{yy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (3.31)$$

- schimb de căldură convectiv impus (cunoscut) la suprafața laterală S_3 (generată prin translatarea unui segment de înălțime H_a și curbă de sprijin L_3 - fig.3.5):

$$\begin{aligned} q_{\alpha_x} &= \alpha_x (\theta - \theta_F) \\ q_{\alpha_y} &= \alpha_y (\theta - \theta_F) \end{aligned} \quad (3.32)$$

unde: q_{α_x} , q_{α_y} - fluxul termic unitar convectiv după direcțiile Ox, Oy în Kcal/m²s sau W/m²;

α_x , α_y - reprezintă coeficienții de transmitere a căldurii prin convecție de la suprafața S₃ la mediul exterior, în Kcal/m²s°C sau W/m²°K

θ_0 - temperatura de referință a mediului exterior, în °C sau °K.

În concluzie, în studiul mișcării termice geotermale se consideră termenii proveniți din: conducție, difuzie, dispersie datorată neuniformității distribuției de viteze, convecție la nivelul suprafețelor de separație cu mediul exterior și prin transportul termic de masă provenit din mișcarea hidraulică subterană datorată gradientului de presiune. Se neglijează fenomenele de difuzie și convecție termică interioară.

3.5 Bazele matematice ale metodei elementelor finite în mișcarea termică subterană staționară, cu transport termic.

Fie domeniul poros neomogen și anizotropic (porozitate ε) delimitat de volumul V (fig.3.5) prevăzut cu surse interioare (R_0), la baza planului mărginit de curbe L_i i=1,2,...,k, și sonde de injecție sau de extracție. Prin domeniul ales se stabilește o mișcare termică subterană staționară.

Ecuția diferențială (3.28) descrie mișcarea termică subterană prin mediul poros neomogen și anizotropic, în regim staționar.

Se poate demonstra în baza principiului variațional, că soluția ecuației (3.28) este aceea care minimizează funcționalul J(θ) /46/:

$$\begin{aligned} J(\theta) = & \int_V \left\{ \frac{\varepsilon}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{xx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{xy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{yx} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{yy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \right] - R_0 \theta \right\} dV - \\ & - \frac{\rho c_p}{2} \int_V \left\{ \frac{\partial v_{0x}}{\partial x} + \frac{\partial v_{0y}}{\partial y} \right\} \theta dV - \int_{S_1} q_0 \theta dS + \int_{S_3} \alpha \left(\frac{1}{2} \theta - \theta_F \right) dS \end{aligned} \quad (3.33)$$

sau în formă matricială:

$$\begin{aligned} J(\theta) = & \frac{\varepsilon}{2} \int_V \{ \mathbf{V} \theta \}^T [\Lambda] \{ \nabla \theta \} dV - \frac{1}{2} \int_V \{ R_0 \theta \} dV + \\ & + \frac{\rho c_p}{2} \int_V \{ \mathbf{V} \} \{ \mathbf{v}_0 \}^T \theta dV - \int_{S_1} q_0 \theta dS + \int_{S_3} \alpha \left(\frac{1}{2} \theta - \theta_F \right) \theta dS \end{aligned} \quad (3.34)$$

unde:

$$\{ \mathbf{V} \} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \quad \frac{\partial}{\partial y} \right\}^T \quad [\Lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} \end{bmatrix} \quad \{ \mathbf{v}_0 \} = \{ v_{0x} \quad v_{0y} \}^T \quad (3.35)$$

Tehnica metodei elementelor finite constă din divizarea domeniului V ($V=H_a * S$) în m

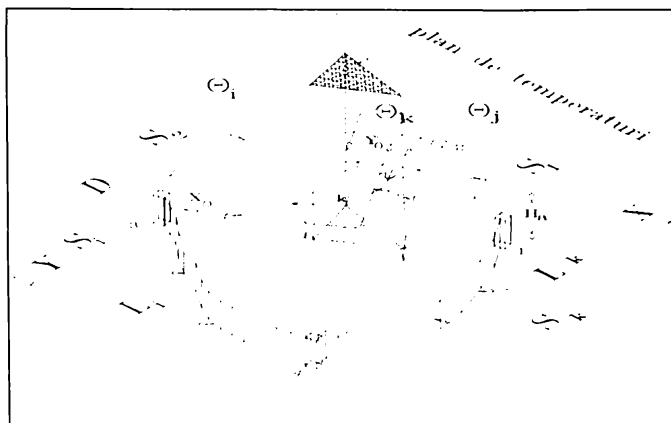


Fig.3.6. Elemente geometrice și mod de discretizare

elemente de volum V_e arbitrare (fig.3.6), similar mișcării hidraulice, în cazul de față cu suprafața în planul xOy de formă triunghiulară.

Valorile funcțiilor necunoscute în nodurile elementelor, definesc funcția pe întreg domeniul de mișcare. Deci funcționala (3.33) trebuie scrisă pentru fiecare element din domeniul discretizării.

Corespunzător acestui fapt, funcționala $J(\theta)$ în mod global rezultă din însumarea succesivă a m funcționale $J_i(\theta)$ corespunzătoare fiecărui element, în mod global conform relației:

$$J(\theta) = \sum_1^m J_i(\theta) \tag{3.36}$$

sau sub formă dezvoltată:

$$J(\theta) = \frac{\epsilon}{2} \sum_{e=1}^m \int_{V_e} \{\nabla\theta\}^T [A] \{\nabla\theta\} dV - \sum_{e=1}^m \int_{V_e} R_0 \{\theta\} dV - \frac{\rho}{2} \sum_{e=1}^m \int_{V_e} \{\nabla\theta\}^T \{v_0^*\} \{\theta\} dV - \sum_{e=1}^m \int_{S_e} q_0 \{\theta\} dS + \frac{1}{2} \sum_{e=1}^m \int_{S_e} \alpha \theta^2 dS - \sum_{e=1}^m \int_{S_e} \alpha \theta_e \theta dS \tag{3.37}$$

Indicele “e” precizează că integralele se referă la elementul finit curent. Diferențind funcționala $J(\theta)$ (3.37) și introducând valorile nodale $\theta_i(x,y)$, egalând aceste diferențiale cu zero, va rezulta un sistem de ecuații.

Se aproximează funcția $\theta_e(x,y)$ în interiorul unui element finit bidimensional cu trei noduri cu valoarea medie:

$$\theta_e^m(x,y) = \sum_{j=1}^3 N_{n,j} \theta_{n,j} \tag{3.38}$$

sub formă matricială:

$$\{\theta^m\}_e = \{N\}_e^T \{\theta\}_e \tag{3.39}$$

unde matricile $\{N\}_e^T$ și $\{\theta\}_e$ au următoarea formă:

$$\{N\}_e^T = \{N_{e,i} \ N_{e,j} \ N_{e,k}\} \quad \{\theta\}_e = \{\theta_{e,i} \ \theta_{e,j} \ \theta_{e,k}\}^T \tag{3.40}$$

iar mărimile: $N_{e,j} \dots N_{e,k}$ - sunt funcțiile de interpolare pentru cele $e = 1, \dots, m$ elemente discrete.

$\theta_{e,j} \dots \theta_{e,k}$ - sunt valorile nodale ale funcției $\theta_j(x,y)$ în nodurile $l = i, j, k$.

Se admite aproximarea funcției de interpolare N_i de formă polinomială liniară de următoarea formă:

$$N_i = (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y) \tag{3.41a}$$

Funcțiile de interpolare pentru elementul curent “e” asemănător mișcării hidraulice se determină în funcție de coordonatele nodurilor cu relațiile:

$$\begin{aligned} N_{e,i} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_i + \beta_i x_i + \gamma_i y_i) \\ N_{e,j} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_j + \beta_j x_j + \gamma_j y_j) \\ N_{e,k} &= \frac{1}{2 S_e} (\alpha_k + \beta_k x_k + \gamma_k y_k) \end{aligned} \quad (3.41b)$$

în care s-au utilizat notațiile geometrice:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= x_j y_k - x_k y_j & \beta_i &= y_j - y_k & \gamma_i &= x_k - x_j \\ \alpha_j &= x_k y_i - x_i y_k & \beta_j &= y_k - y_i & \gamma_j &= x_i - x_k \\ \alpha_k &= x_i y_j - x_j y_i & \beta_k &= y_i - y_j & \gamma_k &= x_j - x_i \end{aligned} \quad (3.42)$$

Derivând relația (3.38) în raport cu variabilele x și y se obține:

$$\{\nabla \theta\}_e = [\mathbf{B}]_e \{\theta\}_e \quad (3.43)$$

unde matricea $[\mathbf{B}]_e$ are forma:

$$[\mathbf{B}]_e = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_{e,i}}{\partial x} & \frac{\partial N_{e,j}}{\partial x} & \frac{\partial N_{e,k}}{\partial x} \\ \frac{\partial N_{e,i}}{\partial y} & \frac{\partial N_{e,j}}{\partial y} & \frac{\partial N_{e,k}}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

Efectuând derivatele specificate în relația (3.44), ținând seama de exprimările date de (3.42b), se obține:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_{e,i}}{\partial x} &= \frac{\beta_i}{2 S_e} \quad (i = i, j, k) \\ \frac{\partial N_{e,i}}{\partial y} &= \frac{\gamma_i}{2 S_e} \quad (i = i, j, k) \end{aligned} \quad (3.45)$$

care se înlocuiește în relația (3.44), se obține forma compactă:

$$[\mathbf{B}]_e = \frac{1}{2 S_e} \begin{bmatrix} \beta_i & \beta_j & \beta_k \\ \gamma_i & \gamma_j & \gamma_k \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

Se exprimă matricea de conductivitate $[\Lambda]_e$ din sistemul global de coordonate în funcție de matricea $[\lambda]_e$ (3.23) din sistemul principal local de coordonate, unde coeficienții matricei de conductivitate sunt determinați cu relațiile (3.29). Efectuând calculele matriciale cu considerațiile precizate mai sus se obține:

$$[\Lambda]_e = \begin{bmatrix} \lambda_{xx}'' \cos^2 \psi + \lambda_{yy}'' \sin^2 \psi & (\lambda_{xx}'' - \lambda_{yy}'') \sin \psi \cos \psi \\ (\lambda_{xx}'' - \lambda_{yy}'') \sin \psi \cos \psi & \lambda_{xx}'' \sin^2 \psi + \lambda_{yy}'' \cos^2 \psi \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

Înlocuind relația (3.43) în ecuația (3.37) considerând un element curent "e", relația curentă a funcționalei $J_e(\theta)$ devine:

$$J_e(\theta) = \frac{\epsilon}{2} \int_{V_e} \{\theta\}_e^T [\mathbf{B}]_e^T [\Lambda]_e [\mathbf{B}]_e \{\theta\}_e dV - \int_{V_e} \mathbf{R}_{0e} \{N\}_e \{\theta\}_e dV + \frac{\rho c}{2} \sum_{n=1}^m \int_{V_e} \{\theta\}_e^T [\mathbf{B}]_e^T \{v_n^*\} \{N\}_e^T \{\theta\}_e dV - \quad (3.48)$$

$$\int_{S_1} q_w \{N\}_e \{\theta\}_e dS + \frac{1}{2} \int_{S_1} \alpha_e (\{N\}_e \{\theta\}_e)^2 dS - \int_{S_2} \alpha_e \theta_e \{N\}_e^T dS$$

unde s-a ținut seama că transpusa produsului a două matrici este egal cu produsul inverselor transpuselor, conform relației:

$$([\mathbf{B}]_e \{\theta\}_e)^T = \{\theta\}_e^T [\mathbf{B}]_e^T \quad (3.49)$$

Se aplică diferențiala funcționalei (3.48) în raport cu necunoscutele $[\theta]_e$ și apoi se egalează cu zero, se obține:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} = \epsilon \int_{V_e} [\mathbf{B}]_e^T [\Lambda]_e [\mathbf{B}]_e \{\theta\}_e dV - \int_{V_e} \mathbf{R}_{0e} \{N\}_e dV - \rho c \int_{V_e} [\mathbf{B}]_e^T \{v_n^*\} \{N\}_e^T \{\theta\}_e dV + \\ + \int_{S_1} q_w \{N\}_e dS + \int_{S_1} \alpha_e \{N\}_e^T \{N\}_e \{\theta\}_e dS - \int_{S_2} \alpha_e \theta_e \{N\}_e dS = 0 \end{aligned} \quad (3.50)$$

Pentru a obține o formă mai compactă se grupează elementele ce conțin necunoscutele $\{\theta\}_e$ și termenul liber utilizând notațiile:

$$[\mathbf{K}_T]_e = \varepsilon \mathbf{H}_a \left(\int_{S_e} [\mathbf{B}]_e^T [\Lambda]_e [\mathbf{B}]_e dS - \rho c \int_{S_e} [\mathbf{B}]_e^T \{v_0\} \{N\}_e^T \{\theta\}_e dS + \int_{S_e} \alpha_e \{N\}_e^T \{N\}_e \{\theta\}_e d\ell \right) = [\mathbf{K}_1] + [\mathbf{K}_2] + [\mathbf{K}_3] \quad (3.51)$$

$$[\mathbf{R}_T]_e = \mathbf{H}_a \int_{S_e} \mathbf{R}_0 \{N\}_e dS$$

$$[\mathbf{Q}_T]_e = \mathbf{H}_a \int_{L_e} q_0 \{N\}_e d\ell + \int_{L_e} \alpha_e \theta_f \{N\}_e d\ell$$

unde diferențiala de volum și suprafață a avut forma particulară:

$$dV = \mathbf{H}_a dS \quad dS = \mathbf{H}_a d\ell \quad (3.52)$$

Pentru elementul finit triunghiular cu trei noduri, utilizând coordonatele naturale, coordonatele globale (x,y) ale unui punct curent P(x,y) se exprimă astfel:

$$x = L_i x_i + L_j x_j + L_k x_k \quad (3.53)$$

$$y = L_i y_i + L_j y_j + L_k y_k$$

unde:

$$L_i = \frac{S_i}{S_e} \quad L_j = \frac{S_j}{S_e} \quad L_k = \frac{S_k}{S_e} \quad (3.54)$$

și se mai adaugă relația de condiție:

$$L_i + L_j + L_k = 1 \quad (3.55)$$

Nodurile elementului triunghiular trebuie să verifice condițiile exprimate de relațiile (3.53). Rezolvând în raport cu necunoscutele L_i, L_j, L_k din sistemul de condiție precizat anterior, se obțin valorile funcțiilor de aproximare:

$$L_i = \frac{1}{2 S_e} (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y)$$

$$L_j = \frac{1}{2 S_e} (\alpha_j + \beta_j x + \gamma_j y) \quad (3.56)$$

$$L_k = \frac{1}{2 S_e} (\alpha_k + \beta_k x + \gamma_k y)$$

Comparând relațiile (3.41) și (3.56) se constată că coordonatele de arie sunt identice cu funcțiile de interpolare. Deci, funcția necunoscută $\theta(x,y)$ se poate aproxima și în funcție de coordonatele naturale:

$$\{\theta\} = \{L_i \ L_j \ L_k\} \begin{Bmatrix} \theta_{e,i} \\ \theta_{e,j} \\ \theta_{e,k} \end{Bmatrix} = \{L\}_e \{\theta\}_e \quad (3.57)$$

În integralele de suprafață sau curbilinie se înlocuiesc funcțiile de interpolare $\{N\}_e$ cu funcțiile de aproximare $\{L\}_e$. Integrala de suprafață S_e a unui element în planul xOy necesară metodei elementelor finite, se face cu ajutorul formulei generale /43/:

$$\int_{S_e} \{L_i^{\alpha_1} \ L_j^{\alpha_2} \ L_k^{\alpha_3}\} dS = \frac{\alpha_1! \alpha_2! \alpha_3!}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2)!} 2S_e \quad (3.58)$$

și pentru o integrare curbilinie pe lungimea L_e și în același timp latură a elementului curent "e", cu ajutorul formulei generale care are expresia:

$$\int_{L_e} \{L_i^{\alpha_1} \ L_j^{\alpha_2}\} d\ell = \frac{\alpha_1! \alpha_2!}{(\alpha_1 + \alpha_2 + 1)!} \ell_e \quad (3.59)$$



Fig.2.9 Detaliu din domeniul discretizării

Se ține seama de forma particulară a domeniului după axa normală planului xOy ($H_a=const.$), în care integralele de volum ($V_c=H_a \cdot S_c$) din relația (3.50) se pot transforma în integrale de suprafață, iar integralele de suprafață ($S_i=H_a \cdot L_i$) din aceeași relație, în integrale curbilinii.

Modalitatea aceasta de efectuare a unei integrale de suprafață este simplă, pentru exemplificare se utilizează relația (3.58) rezultând următoarele identități posibile:

$$H_a \int_{S_c} R_0 \{ L_i^1, L_j^1, L_k^1 \} dS = H_a \int_{S_c} R_0 \{ L_i^1 \} dS + H_a \int_{S_c} R_0 \{ L_j^1 \} dS + H_a \int_{S_c} R_0 \{ L_k^1 \} dS = H_a R_0 \left[\frac{1!}{(1+2)!} 2S_c + \frac{1!}{(1+2)!} 2S_c + \frac{1!}{(1+2)!} 2S_c \right] = \frac{H_a R_0 S_c}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.60)$$

Efectuând calculele matriciale în primul termen al matricii $[K_T]_c$ din relațiile (3.51) cu notațiile din relațiile (3.42), se obține:

$$[K_1] = \frac{\epsilon H_a}{4 S_c} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \quad (3.61a)$$

și notațiile:

$$\begin{aligned} k_{11} &= \beta_i \beta_i k_{i0} + \beta_i \gamma_i k_{20} + \gamma_i \beta_i k_{20} + \gamma_i \gamma_i k_{30} \\ k_{12} &= \beta_j \beta_i k_{i0} + \beta_j \gamma_i k_{20} + \gamma_j \beta_i k_{20} + \gamma_j \gamma_i k_{30} \\ k_{13} &= \beta_k \beta_i k_{i0} + \beta_k \gamma_i k_{20} + \gamma_k \beta_i k_{20} + \gamma_k \gamma_i k_{30} \\ & \quad k_{21} = k_{12} \\ k_{22} &= \beta_j \beta_j k_{j0} + \beta_j \gamma_j k_{20} + \gamma_j \beta_j k_{20} + \gamma_j \gamma_j k_{30} \\ k_{23} &= \beta_k \beta_j k_{j0} + \beta_k \gamma_j k_{20} + \gamma_k \beta_j k_{20} + \gamma_k \gamma_j k_{30} \\ & \quad k_{31} = k_{13} \\ & \quad k_{32} = k_{23} \\ k_{33} &= \beta_k \beta_k k_{k0} + \beta_k \gamma_k k_{20} + \gamma_k \beta_k k_{20} + \gamma_k \gamma_k k_{30} \\ k_{i0} &= \Lambda_{xx} \cos^2 \psi + \Lambda_{yy} \sin^2 \psi \\ k_{20} &= (\Lambda_{xx} - \Lambda_{yy}) \sin \psi \cos \psi \\ k_{30} &= \Lambda_{xx} \sin^2 \psi + \Lambda_{yy} \cos^2 \psi \end{aligned} \quad (3.61b)$$

Termenul al doilea din matricea $[K_T]_c$ care reprezintă termenul termic de transport datorat mișcării hidraulice, dacă se dezvoltă și se efectuează calculele, se obține:

$$[K_2] = -H_a \int_{S_c} \{B\}_e^T \{v_0\}_e [N]_e^T dS = -\frac{\rho c H_a}{2S_c} \int_{S_c} \begin{bmatrix} \alpha_i & \gamma_i \\ \alpha_j & \gamma_j \\ \alpha_k & \gamma_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_{0x} \\ v_{0y} \end{Bmatrix} \{N_i \ N_j \ N_k\} dS \quad (3.62a)$$

Dacă se efectuează calculul matricial în (3.62a) și se utilizează notațiile:

$$\begin{aligned} \omega_i &= \alpha_i v_{0x} + \gamma_i v_{0y} \\ \omega_j &= \alpha_j v_{0x} + \gamma_j v_{0y} \\ \omega_k &= \alpha_k v_{0x} + \gamma_k v_{0y} \end{aligned} \quad (3.62b)$$

și dacă integrala de suprafață are valoarea:

$$\int_{S_c} \omega_i N_i dS = \omega_i \int_{S_c} L_i^1 L_j^0 L_k^0 dS = \frac{1!}{(1+2)!} 2S_c = \frac{S_c}{3} \quad (3.62c)$$

se obține:

$$[K_2] = -\frac{\rho c H_a}{6} \begin{bmatrix} \omega_i & \omega_j & \omega_k \\ \omega_j & \omega_j & \omega_j \\ \omega_k & \omega_k & \omega_k \end{bmatrix} \quad (3.63)$$

Efectuând calculurile matriciale, termenul al treilea din matricea $[K_T]_e$ care reprezintă termenul general la un schimb convectiv pe o latură a elementului, se obține:

$$[K_3] = H_a \alpha_c d \ell = H_a \alpha_c \int_{S_c} \begin{bmatrix} N_i N_i & N_i N_j & N_i N_k \\ N_j N_i & N_j N_j & N_j N_k \\ N_k N_i & N_k N_j & N_k N_k \end{bmatrix} d\ell \quad (3.64a)$$

Se înlocuiesc valorile funcțiilor de interpolare cu valorile funcțiilor de aproximare în relațiile (3.64a) și se stabilesc combinațiile indicilor pentru cazul curent posibil a laturii unui element pe care există un schimb convectiv de căldură.

Dacă se efectuează integrala curbilinie considerând un schimb de căldură prin convecție pe latura “*ij*” a elementului și integralele curente sunt de forma:

$$\int_{l_{i,c}} N_i N_i d\ell = \int_{l_{i,c}} L_i^2 d\ell = \frac{2!}{(2+1)!} \ell_{ij,c} = \frac{\ell_{ij,c}}{3} \quad (3.64b)$$

$$\int_{l_{i,c}} N_i N_j d\ell = \int_{l_{i,c}} L_i^1 L_j^1 d\ell = \frac{1! 1!}{(1+1+1)!} \ell_{ij,c} = \frac{\ell_{ij,c}}{6} \quad (3.64c)$$

se obține pentru latura elementului $\ell_{ij,c}$ coeficienții matricei $[K_3]$ din (2.102):

$$[K_3] = H_a \alpha_c \int_{S_c} \begin{bmatrix} L_i L_i & L_i L_j & 0 \\ L_j L_i & L_j L_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{H_a \alpha_c \ell_{ij,c}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.65a)$$

Dacă laturile elementului cu schimb convectiv sunt “*jk*” respectiv “*ki*” coeficienții matricei $[K_3]$ au următoarele forme:

$$[K_3] = \frac{H_a \alpha_c \ell_{jk,c}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.65b)$$

și respectiv:

$$[K_3] = \frac{H_a \alpha_c \ell_{ki,c}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.65c)$$

Similar pentru matricile $\{\mathbf{R}_T\}_e$ și $\{\mathbf{Q}_T\}_e$ în care funcțiile de interpolare $[\mathbf{N}]_e$ s-au înlocuit cu funcțiile geometrice de aproximare $[\mathbf{L}]_e$, iar integralele curbilinii integrate conform procedurilor descrise în relațiile anterioare, se obțin într-o formă compactă coeficienții termenului liber a vectorilor sistemului de ecuații:

$$\begin{aligned} \{\mathbf{R}_T\}_e &= \frac{\mathbf{H}_e \mathbf{R}_0 S_e}{3} \{\mathbf{111}\}^T \\ \{\mathbf{Q}_T\}_e &= \frac{\mathbf{H}_e \mathbf{q}_0 f_{ik_e}}{2} \{\mathbf{101}\}^T + \frac{\mathbf{H}_e \alpha_0 f_{ik_e}}{2} \{\mathbf{101}\}^T \end{aligned} \quad (3.66)$$

Utilizând notațiile precizate anterior în identitatea (3.50) se obține cunoscuta relație generală a metodei elementelor finite pentru un element curent:

$$[\mathbf{K}_T]_e \{\theta\}_e + \{\mathbf{F}_T\}_e = \mathbf{0} \quad (3.67)$$

cu precizarea suplimentară:

$$[\mathbf{F}_T]_e = \{\mathbf{R}_T\}_e + \{\mathbf{Q}_T\}_e \quad (3.68)$$

Dacă asamblăm ținând seama că relația (3.50) respectiv (3.67) și notațiile anterioare sunt similare pentru oricare element, se obține sistemul general de ecuații al metodei elementelor finite pentru transferul staționar de căldură cu transport:

$$[\mathbf{K}_T] \{\theta\} + \{\mathbf{F}_T\} = \mathbf{0} \quad (3.69)$$

unde: $[\mathbf{K}_T]$ - reprezintă matricea asamblată a domeniului;

$\{\mathbf{F}_T\}$ - reprezintă vectorul asamblat al relațiilor de condiție aferente domeniului;

$\{\theta\}$ - reprezintă vectorul asamblat al temperaturilor în nodurile domeniului.

În situația în care se ține seama de condițiile de margină prin care sunt specificate în anumite noduri temperaturile, sistemul asamblat se poate scrie partiționat sub forma /105/:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{nn} & \mathbf{K}_{nc} \\ \mathbf{K}_{cn} & \mathbf{K}_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_n \\ \theta_c \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_n \\ \mathbf{F}_c \end{Bmatrix} \quad (3.70)$$

unde: $[\mathbf{K}_{nn}]$ - matricea temperaturilor necunoscute;

$[\mathbf{K}]$ - matricea temperaturilor cunoscute;

$\{\mathbf{F}_{cc}\}$, $\{\mathbf{F}_{nn}\}$ - matricea vector a condițiilor exterioare specificate sau zero.

Sistemul general de ecuații (3.70) se poate decupla față de cele două tipuri de matrici a temperaturilor, sub următoarea formă generală:

$$\begin{aligned} [\mathbf{K}_{nn}] \{\theta_n\} + [\mathbf{K}_{nc}] \{\theta_c\} &= \{\mathbf{F}_n\} \\ [\mathbf{K}_{cn}] \{\theta_n\} + [\mathbf{K}_{cc}] \{\theta_c\} &= \{\mathbf{F}_c\} \end{aligned} \quad (3.71)$$

și efectuând substituția valorilor cunoscute θ_c din linia doi în prima linie se obține:

$$[\mathbf{K}_{nn}] \{\theta_n\} = \{\mathbf{F}^*\} \quad (3.72a)$$

unde:

$$\{\mathbf{F}^*\} = \{\mathbf{F}_n\} - [\mathbf{K}_{nc}] \{\theta_c\} \quad (3.72b)$$

Rezolvând sistemul de ecuații (2.123a), rezultă temperaturile necunoscute $\{\theta_n\}$ din nodurile discretizării.

Operațiunea de contabilizare a necunoscutelor și partiționarea matricii $[\mathbf{K}]$, când matricea $\{\theta\}$ este preordonată, calculele efective nu sunt dificile. Modalitatea de rezolvare a acestei probleme a fost în detaliu precizată la descrierea mișcării hidraulice subterane a apei geotermale.

4. Simularea hidraulică și termică cuplată a apei geotermale, în regim staționar

Prin ape geotermale se definesc apele din sursele subterane având temperaturi naturale de peste 20°C. Forajele cele mai importante existente în zona localităților Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin sunt deschise în 2 orizonturi: panonianul inferior și superior cu temperaturi în domeniul 35°C - 88°C /59/. Apa geotermală utilizată pentru încălzirea sereilor și în instalațiile de încălzire din această zonă este alimentată subteran limitat față de volumele utilizate. Apa reziduală rezultată în urma proceselor industriale este deversată frecvent în emisarii locali (temperatura apei reziduale de la schimbătoarele de căldură este cuprinsă în limitele de 60-64°C) - canalele de irigații-desecare (canalele Aranca, Galața și Grincoșin) provocând mai ales o poluare termică.

Din aceste canale apa geotermală este canalizată în sistemul zonal și deversată în cursurile de apă de frontieră cu Serbia. Având în vedere aceste considerente, în lucrarea de față autorul propune elaborarea unei metode de optimizare a acestor resurse geotermale subterane limitate și reinjectarea apei geotermale reziduale în subteran prin sondele existente, la debite și presiuni hidraulice prestabilite în urma modelării numerice a câmpurilor geotermale din perimetrele localităților precizate /33/ /65/.

4.1. Considerații generale

Modelarea subterană a zonei complexului geotermal aferentă localităților Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin în formațiunile permeabile cu limita inferioară la partea superioară a panonianului inferior (la adâncimea maximă de aproximativ 2000 m - fig.4.1) /78/, constituită predominant din nisipuri cu granulație fină, cu trecere la gresii intercalate cu marne, s-a ales prin decuparea unui domeniu întins de ansamblu cu limita la stânga pe izobata de -1800 și limita la dreapta pe izobata de -1600 și precizate în detaliul din fig.4.1.

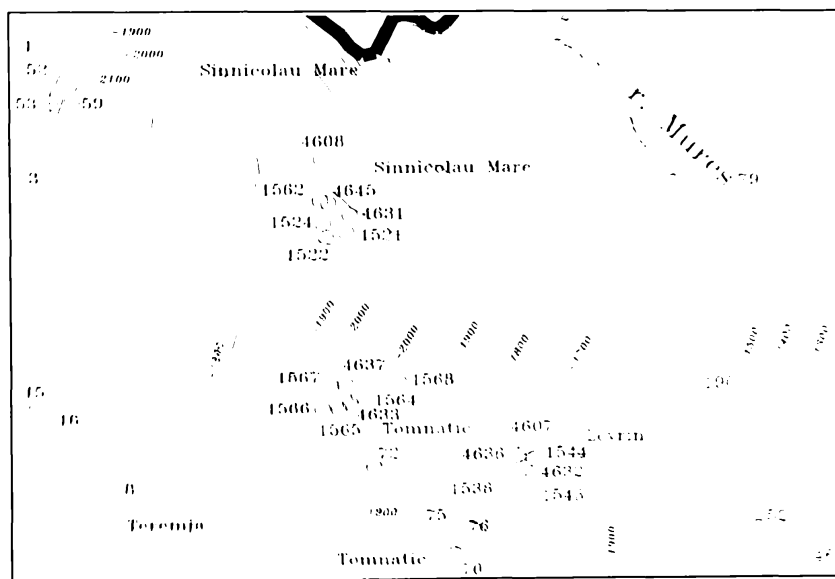


Fig.4.1 Detaliu izobate la baza Panonianului Superior

o suprafață dreptunghiulară în valoare de cca. 22840*16000 mp).

Domeniul de ansamblu conține 21 sonde geotermale de extracție sau injectare, repartizate

bata de -1800 și limita la dreapta pe izobata -1600 și precizate în detaliul din fig.4.1.

În discretizarea complexului geotermal realizat în cadrul sistemului general de ansamblu, se cunosc condițiile de margină (sarcinile hidraulice și valorile temperaturilor pe laturile domeniului și în dreptul sânelor existente de extracție sau posibile de injectare (domeniul de piază în încălzit superior la

în cele trei zone specificate anterior, din care în extracție (având referință anul 1983) conform tabelului nr.3.1:

Tabel nr. 3.1.

Localitate	Nr. sondei	Debit < l/s>	Nr. sondei	Debit < l/s>	Nr. sondei	Debit < l/s>
Sânnicolau Mare	1526	20	4645	18	-	-
Tomnatic	4633	15	4637	12	1564	35
Lovrin	4607	22	4632	15	4636	10

Pentru că domeniul de ansamblu al modelării se întinde pe o arie mare, analiza optimizată a unor variante de funcționare ce vor fi analizate de către autor, necesită decuparea a trei zone aferente localităților în același sistem general de coordonate (identice sistemului general de ansamblu) obținându-se trei domenii noi, denumite: **detaliu Sânnicolau Mare, detaliu Tomnatic, detaliu Lovrin.**

Condițiile generale și locale precizate în sistemul general sau rezultate din rezolvarea sistemului general de ansamblu, constituie elementele de intrare în domeniile de detalii decupate și precizate anterior, cele calculate sunt introduse automat în baza de date.

Pentru simularea automatizată a câmpului de sarcini hidraulice cuplate cu transferul de căldură prin metoda elementelor finite, s-au întocmit două programe generale distincte și o subrutină în limbaj QUICK-BASIC vers. 4.0-7.1 /42/J43/J73/, /87/, /102/J115/J116/ cu scopuri distincte:

- program general de introducere a datelor de intrare necesare modelării hidraulice subterane și a transferului de căldură, cu stocarea lor într-o bază generală de date prin realizarea de fișiere distincte pe disc în acces direct, pentru sistemul general de ansamblu, cât și pentru sistemele de detalii aferente localităților specificate anterior - program **GENTERM.BAS** :

- program general automat de simulare a mișcării hidraulice subterane și a transferului de căldură în cadrul sistemului general de ansamblu și a sistemelor de detalii aferente localităților specificate anterior - program **TERMAL.BAS**.

- subrutină generală de stocare grafică prin salvare în fișiere de tip "dxf" a domeniilor discretizate și reprezentate, care apoi pot fi încărcate din utilitarul "AUTOCAD" și trimise la imprimantă sau ploter având posibilități multiple de mărire sau micșorare.

4.2. Bazele matematice ale metodei elementelor finite în sistem cuplat hidraulic și termic

Relațiile generale descrise în detaliu pentru mișcarea hidraulică staționară (cap.2.) și transferul termic cu transport de căldură (cap.3) constituie baza matematică detaliată a sistemelor cuplate.

Fie un domeniu poros V (de porozitate ϵ) și grosime constantă H_a care a fost discretizat cu elemente finite triunghiulare și un element finit curent "e" prin care are loc o mișcare hidraulică subterană. Prin minimalizarea funcționalei hidraulice asociate $J(H)_e$ (cap.2.2) se ajunge la cunoscuta relația generală de mișcare hidraulică:

$$\epsilon \rho g \int_V [B]_e^T [K]_e [B]_e \{H\}_e dV + \int_V R_{he} \{H\}_e dV + \int_S q_{he} \{H\}_e dS = 0 \quad (4.1)$$

sau utilizând relațiile (2.42) se obține relația generală a metodei elementelor finite pentru un element curent "e":

$$[\mathbf{K}_h]_e \{\mathbf{H}\}_e + \{\mathbf{F}_h\}_e = \mathbf{0} \quad (4.2)$$

Prin asamblare ținând seama că relația (4.2) este similară pentru oricare element și condițiile de margină (sarcinile hidraulice) sunt specificate în anumite noduri, sistemul asamblat se poate scrie partiționat și aduce sub forma /105/:

$$[\mathbf{K}_{nn}] \{\mathbf{H}_n\} = \{\mathbf{F}^*\} \quad \text{unde:} \quad \{\mathbf{F}^*\} = \{\mathbf{F}_n\} - [\mathbf{K}_{nc}] \{\mathbf{H}_c\} \quad (4.3)$$

Când se cunoaște vectorul sarcinilor nodale \mathbf{H}_c pentru fiecare element curent "e", se poate determina viteza hidraulică prin componentele ei pe cele două axe pentru fiecare element, cu o relație generală de forma:

$$\{v_x \ v_y\}^T = \frac{H_c \rho g}{\mu} [\mathbf{K}_h]_e [\mathbf{B}]_e \{\mathbf{H}\}_e \quad (4.4)$$

Dacă prin mediul poros trece apa geotermală și în același timp are loc un transfer staționar de căldură, prin minimalizarea funcționalei termice asociate $J_t(\theta)$ (cap.3) se ajunge la cunoscuta relație generală a transferului termic cu transport de căldură pentru un element curent "e":

$$\int_{V_e} [\mathbf{B}]_e^T [\mathbf{A}]_e [\mathbf{B}]_e \{\theta\}_e dV - \int_{V_e} \mathbf{R}_{0e} \{\mathbf{N}\}_e dV - \rho c \int_{V_e} [\mathbf{B}]_e^T \{v_0^*\} \{\mathbf{N}\}_e \{\theta\}_e dV + \int_{S_1} q_{0e} \{\mathbf{N}\}_e dS + \int_{S_2} \alpha_c \{\mathbf{N}\}_e^T \{\mathbf{N}\}_e \{\theta\}_e dS - \int_{S_3} \alpha_c \theta_k \{\mathbf{N}\}_e dS = 0 \quad (4.5)$$

În relația (4.5) vectorul $\{v_0^*\}$ are componentele vitezei unui element curent "e" din mișcarea hidraulică subterană (4.4). Dacă se utilizează relațiile (3.51) se obține cunoscuta relație generală a metodei elementelor finite pentru transferul de căldură al unui element curent "e":

$$[\mathbf{K}_T]_e \{\theta\}_e + \{\mathbf{F}_T\}_e = \mathbf{0} \quad (4.6)$$

Prin asamblare ținând seama că relația (4.6) este similară pentru oricare element și condițiile de margină (temperaturile) sunt specificate în anumite noduri, sistemul asamblat se poate scrie partiționat și aduce sub forma /105/:

$$[\mathbf{K}_{nn}] \{\theta_n\} = \{\mathbf{F}^*\} \quad (4.7a) \quad \text{unde:} \quad \{\mathbf{F}^*\} = \{\mathbf{F}_n\} - [\mathbf{K}_{nc}] \{\theta_c\} \quad (4.7b)$$

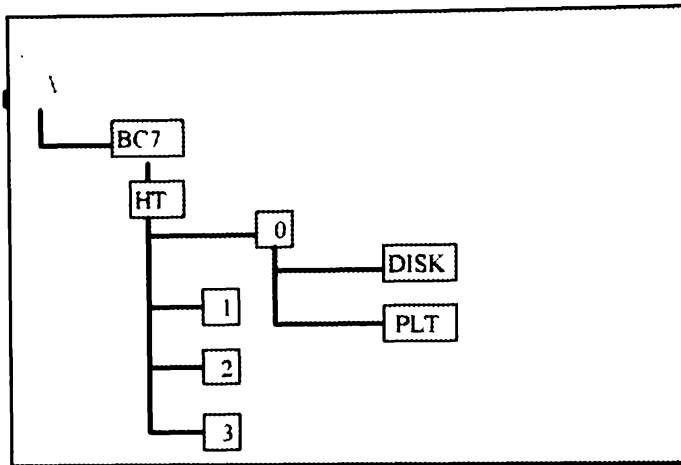
Se observă că componentele vitezelor hidraulice ale vectorului $\{v_0^*\}$ din relația (4.4) sunt mărimi ce se determină în funcție de sarcinile necunoscute din nodurile domeniului discretizat. Deci, relațiile (4.2)...(4.4) și (4.6)...(4.7) reprezintă un *sistem de ecuații cuplate pentru mișcarea hidraulică și a transferului de căldură în regim staționar*.

Rezolvarea sistemului de ecuații (4.2)...(4.4) și (4.6)...(4.7) constă în decuplarea sistemului de ecuații. Se determină sarcinile hidraulice $\{\mathbf{H}_k\}$ necunoscute în nodurile discretizării rezolvând ecuațiile (4.2) iar cu relațiile (4.4) se determină componentele vitezelor pe toate elementele domeniului. Din rezolvarea sistemului de ecuații a transferului de căldură dat de ecuațiile (4.7), rezultă temperaturile necunoscute $\{\theta_k\}$ ale discretizării. Operațiunea de rezolvare a sistemului de ecuații (4.7) presupune cunoașterea temperaturilor în nodurile cu schimb convectiv de căldură. Din această cauză procedeul de rezolvare se face în sistem iterativ prin modificarea succesivă a temperaturilor rezultate într-o etapă de calcul, cunoscând valorile acestor temperaturi din iterația anterioară. Se determină valoarea maximă a diferențelor temperaturilor în două iterații succesive și se compară cu un coeficient σ foarte mic impus. Dacă valoarea maximă a diferențelor de temperatură este mai mică decât acest coeficient, valorile temperaturilor rezultate în urma rezolvării sistemului de ecuații sunt considerate cele adevărate și procesul s-a încheiat.

4.3. Program general de introducere a datelor de intrare necesare modelării hidraulice subterane și a transferului de căldură

4.3.1 Considerații generale.

Pentru generarea bazei de date necesare modelării hidraulice și termice cuplate s-a generat pe hard disk o structură tip arbore care conține următoarele subdirectoare:



Baza de date aferentă unui domeniu discretizat, este formată din șapte fișiere, numele lor este format din patru caractere alfanumerice ce reprezintă denumirea domeniului [numk] (în care "k" reprezintă un număr și are ca semnificație numărul de ordine al unui regim de funcționare posibilă), o liniuță de unire (cratină), două cifre distincte (caracterul ".") și extensia ".dat". Subdirectoarele numerice specificate cuprind baza de date formată din cele șapte fișiere referitoare la:

- 0 - domeniul general de ansamblu;
- 1 - domeniul de detaliu aferent localității Sânnicolau Mare;
- 2 - domeniul de detaliu aferent localității Tomnatie;
- 3 - domeniul de detaliu aferent localității Lovrin.

4.3.2 Program generare bază de date - GENTERM.BAS.

Baza de date necesară modelării hidraulice subterane și a transferului de căldură a condus la realizarea unui program general denumit **GENTERM.BAS**, schematic este prezentat în fig.4.2. Programul este prevăzut cu un modul principal de selectare a domeniului de discretizare, un modul de selectare a operațiilor din baza de date, o subrutină de stabilire a operațiilor din baza de date, 3 module care cuprind: introducerea, corectarea sau vizualizarea în baza de date și un modul de reprezentare grafică a domeniilor discretizate cu posibilitatea salvării imaginii grafice în fișiere externe cu extensia ".dxf". Aceste fișiere pot fi încărcate ulterior de alte utilitare și trimise la imprimantă sau ploter. Programul sursă de preprocesare a modelărilor numerice (pentru un domeniu general și trei domenii de detaliu) - **GENTERM.BAS** - este scris în limbajul *QuickBASIC vers. 4.0-7.1* și generează

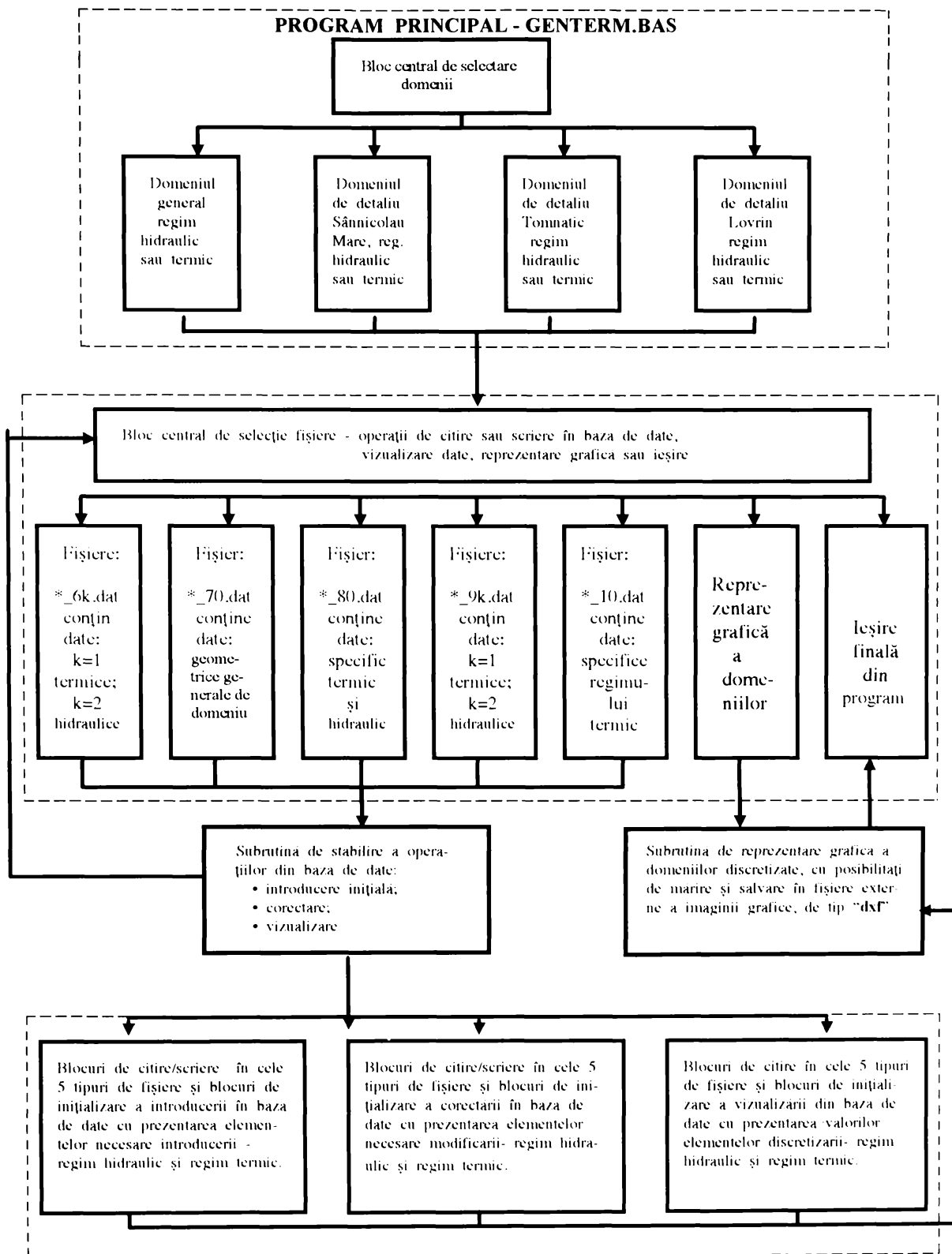


Fig. 4.2 Shemă generală de prezentare a programului de generare bază de date.

(Anexa A) succesiv baze de date necesare execuției simulărilor secvențiale cuplate a mișcării hidraulice subterane și a transferului de căldură prin domeniile menționate anterior [programul de execuție este denumit - *TERMAL.EXE*].

* reprezintă prefixul numelui fișierului din bazele de date.

În subdirectorul "III", de unde se lansează în execuție preprocesarea simulării numerice, există fișierul executabil *GENERMEXE* și fișierul cod obiect *GENERM.OBJ* rezultate în urma compilării programului sursă din limbajul *QuickBASIC ver.7.1*

La lansarea în execuție a programului, se citește într-un fișier predefinit "*PREFIXE.DAT*" - care cuprinde primele patru caractere alfanumerice ale fișierelor utilizate pentru generarea unui model denumit general și trei modele denumite de detalii și precizate anterior. Există două alternative prin a răspunde la întrebarea:

" Se modifică fișierul de prefixe? [Y/N] "

Dacă operația este după instalarea programelor sau vrem să realizăm o bază nouă, fișierul de prefixe "*PREFIXE.DAT*" ce s-a deschis va fi modificat, obligatoriu se răspunde "Y". Dacă se răspunde "Y", fișierul "*PREFIXE.DAT*" se modifică și cele patru prefixe predestinate care nu erau denumite înaintea execuției vor fi precizate, conform răspunderii la întrebările specificate:

```

Se modifica fisierul de prefixe? [ Y/N ]y
Prefix nume general...[ numk ]gen2
Prefix nume detaliu1...[ numk ]sin2
Prefix nume detaliu2...[ numk ]tom2
Prefix nume detaliu3...[ numk ]lov2

Prefix nume de utilizat..[ gen2,sin2,tom2,lov2]gen2

Subdirector [0,1,2,3] 0
    
```

cu precizarea prefixului ce devine curent și locul unde se află în subdirectoare. Dacă se răspunde "N", se afișează numele celor patru prefixe de utilizat, cu așteptare la alegerea prefixului care va defini baza operațională curentă, după cum se arată mai jos:

```

Se modifica fisierul de prefixe? [ Y/N ]n

Prefix nume de utilizat..[ gen1,sin1,tom1,lov1]gen1

Subdirector [0,1,2,3] 0
    
```

Operațiile posibile într-o bază de date curentă pot fi de: introducere date în bază, vizualizarea datelor din bază, corectarea datelor din bază, după cum alegem opțiunile precizate mai jos:

```

Introducere date .....[1]
Vizualizare date .....[2]
Corectare date .....[3]
Exit.....[4]
Tasteaza nr.....[1...4]
    
```

Aceste operații sunt posibile pentru fiecare din cele șapte tipuri de fișiere existente în cadrul unei baze de date. Alegerea numelui fișierului curent din baza de date specificată se face selectând una din opțiunile posibile din meniul:

```

Fisier date [ gen2_6k.dat ].....[1]
Fisier date [ gen2_70.dat ].....[2]
Fisier date [ gen2_80.dat ].....[3]
Fisier date [ gen2_9K.dat ].....[4]
Fisier date [ gen2_10.dat ].....[5]
Vizualizare discretizare .....[6]
Exit.....[7]
Tasteaza nr.....[1...7]
    
```

Dacă se alege opțiunea “1” adică selectarea secvențială a celor două fișiere denumite “*numx 6k.dat*” care conțin datele generale de control referitoare la fișierele din baza curentă pentru regimul hidraulic (*k* 2) respectiv termic (*k* 1) și reprezintă mărimile:

```

Regim hidraulic - date de control

NPROBL 2
NFLAG 0
NE 325
NN 187
NNTIMP 18
NECONV 0
NEFLUX 60
NIT 0
DTI 0

Tasteaza .....[Enter]
    
```

```

Regim termic - date de control

NPROBL 1
NFLAG 0
NE 325
NN 187
NNTIMP 18
NECONV 0
NEFLUX 60
NIT 0
DTI 0

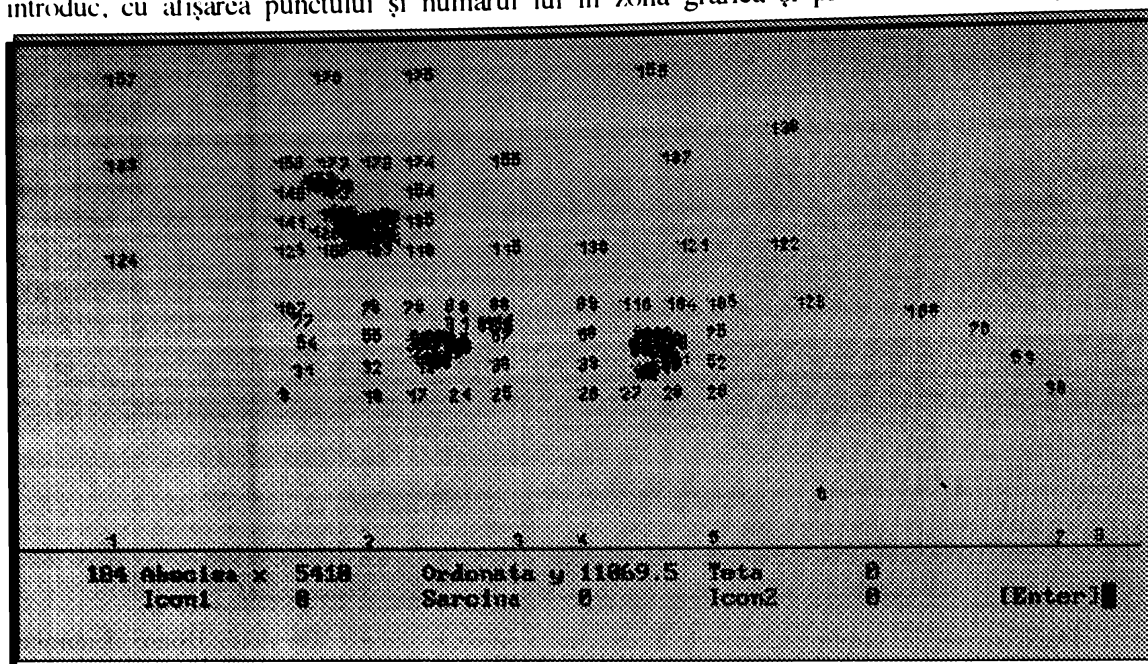
Tasteaza .....[ Enter ]
    
```

Datele de control din aceste secvențe sunt prezentate într-o ordine secvențială având următoarele semnificații:

- NPROBL 1 - regim termic; 2- regim hidraulic;
- NFLAG 0 - mișcare plană; 1 - mișcare axial simetrică;
- NE - număr total de elemente;
- NN - număr total de noduri;
- NNTIMP - număr de noduri cu temperaturi respectiv sarcini impuse;
- NNCONV - număr de noduri cu schimb convectiv de temperatură;
- NNFLUX - număr de noduri cu flux termic respectiv flux hidraulic;
- NIT - valoarea timpului de analiză pentru regimul nestaționar;
- DTI - valoarea pasului de timp de analiză pentru regimul nestaționar.

Dacă se alege opțiunea “2” adică fișierul “*numk 70.dat*”, acesta conține date referitoare la coordonatele nodurilor într-un sistem general și date referitoare la condiții de margină în

nod de tip sarcină hidraulică respectiv temperatură impusă. În sistemul de generare respectiv de vizualizare sau corectare a bazei de date se intră într-o fereastră grafică cu rezervarea la partea de jos a trei linii tip text în care sunt precizate mărimile ce se introduc, cu afișarea punctului și numărul lui în zona grafică și precizările de mai jos:



în care semnificația parametrilor ce sunt afișați reprezintă:

Abscisa x - valoarea coordonatei x a nodului specificat;

Ordonata y - valoarea coordonatei y a nodului specificat;

Teta - valoarea temperaturii în nod dacă este impusă [0 - dacă nu se cunoaște];

Icon1 - variabilă de semnalizare a nodului cu temperatură impusă [1- impusă, 0- necunoscută];

Sarcina - valoarea sarcinii în nod dacă este impusă [0 - dacă nu se cunoaște];

Icon2 - variabilă de semnalizare a nodului cu sarcină impusă [1- impusă, 0- necunoscută].

Dacă se alege opțiunea "3", adică fișierul "numk 80.dat", acesta conține date referitoare la matricea de definire a nodurilor elementului, date referitoare la condițiile de margină pe suprafața elementului de tip flux termic respectiv flux hidraulic și conductivitatea respectiv permeabilitatea absolută. Inițial se face precizarea tipului de regim posibil în simularea numerică (în lucrare sunt introduse doar mărimile necesare simulării regimului staționar - hidraulic și termic; pentru regimul tranzitoriu există varianta din /46/, elementele acestea pot constitui o bază de plecare pentru dezvoltări ulterioare), conform meniului:

Regim staționar[1]
 Regim tranzitoriu[2]

Tasteaza nr[1...2]

Alegând varianta "1", în sistemul de generare, vizualizare sau corectare a bazei de date se afișează meniul:

```

Element      9
Nod i       26
Nod j       4
Nod k       27
Debit qt    3.18E-09
Alfadx      67
Alfady      67
Debit qh    0
Transm. kx  4.85E-11
Transm. ky  4.85E-11
Hstrat      0

Tasteaza .....[Enter]
    
```

în care semnificația parametrilor este:

Nod i - numărul primului nod al elementului specificat;

Nod j - numărul nodului al doilea pentru elementul specificat;

Nod k - numărul nodului al treilea pentru elementul specificat;

Debit q_t - fluxul caloric al surselor pe suprafața elementului, în kcal/sm² sau W/m²;

Alfadx - conductivitatea termică după axa x a elementului în kcal/sm² °C sau W/sm²;

Alfady - conductivitatea termică după axa y a elementului în kcal/sm² °C sau W/m² °C;

Debit q_h - fluxul hidraulic al surselor pe suprafața elementului în m³/sm²;

Transm. k_x - permeabilitatea absolută după axa x a elementului, în m²;

Transm. k_y - permeabilitatea absolută după axa y a elementului, în m²;

Hstrat - grosimea elementului, în m.

Dacă se alege opțiunea "4" adică selectarea secvențială a celor două fișiere "numx 9k.dat" (pentru regimul hidraulic $k=2$ respectiv termic $k=1$), acestea conțin datele generale de stabilire a elementelor cu flux termic respectiv flux hidraulic pe suprafețele laterale ale elementelor referitoare la fișierele din baza curentă:

```

Regim termic- Flux termic si temperaturi
Nr. crt. 1
Nflux(k,1) 112
Nflux(k,2) 83
Nflux(k,3) 84
Flux(k) -108.00

Tasteaza.....[Enter]
    
```

```

Regim hydr.- Flux masic si sarcina hydr.
Nr. crt. 2
Nflux(k,1) 114
Nflux(k,2) 82
Nflux(k,3) 83
Flux(k) -.00108

Tasteaza.....[Enter]
    
```

cu semnificația termenilor:

Nflux(k,1) - numărul de ordine al elementului;

Nflux(k,2) - primul nod al laturii cu flux hidraulic respectiv flux termic;

Nflux(k,3) - al doilea nod al laturii cu flux hidraulic respectiv flux termic;

Nflux(k) - valoarea fluxului hidraulic în m³/sm², respectiv fluxului termic în kcal/sm² °C.

Dacă se alege opțiunea "5" adică fișierul "numk 10.dat", acesta conține date generale de stabilire a elementului cu schimb convectiv de căldură pe suprafața laterală a elementului, precum și caracteristicile de schimb convectiv. În sistemul de generare respectiv de vizualizare sau corectare a bazei de date se afișează meniul:

```

Nr. crt. 5
Ncon(k,1) 122
Ncon(k,2) 63
Ncon(k,3) 62
Alfa(k) 7.39E-04
Tetae(k) 70

Tasteaza .....[Enter]
    
```

în care semnificația parametrilor este:

Ncon(k,1) - numărul de ordine al elementului;

Ncon(k,2) - primul nod al laturii cu schimb convectiv pentru element;

Ncon(k,3) - al doilea nod al laturii cu schimb convectiv pentru element;

Alfa(k) - valoarea coeficientului de transmitere a căldurii prin convecție, în kcal/sm² °C;

Tetae(k) - temperatura mediului exterior la suprafața laterală a elementului cu schimb convectiv, în °C sau °K.

Dacă se alege opțiunea "6" adică selectarea vizualizării discretizării, cu reprezentarea nodurilor elementelor, se afișează meniul de mai jos:

```

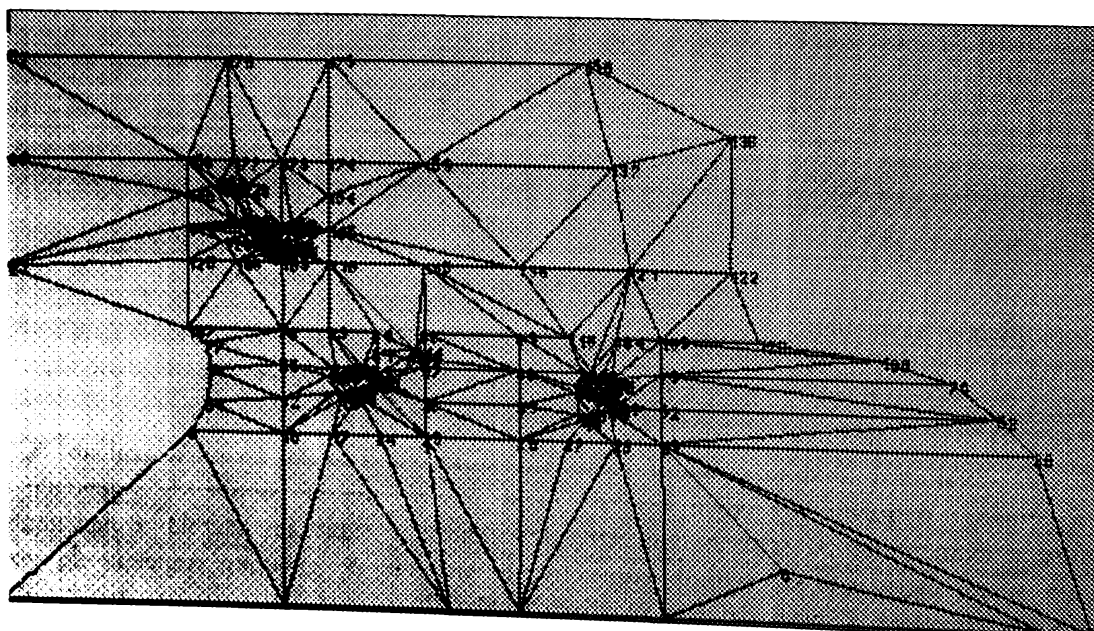
Factor de translatare...[ 228 ... 1370 ] 100

Scrierea nodurilor ? .....[ Y/N ] Y

Trasarea elementelor ? .....[ Y/N ] Y

Inaltime scriere noduri...[4...10] 3
    
```

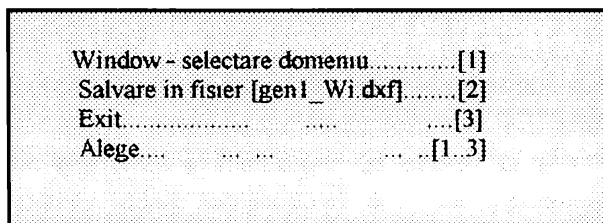
în care se cer precizări suplimentare referitoare la: alegerea pasului de translatare a desenului față de originea ferestrei grafice, dacă se dorește scrierea nodurilor și trasarea elementelor. După ce aceste opțiuni au fost setate, apare imaginea grafică a domeniului dis-



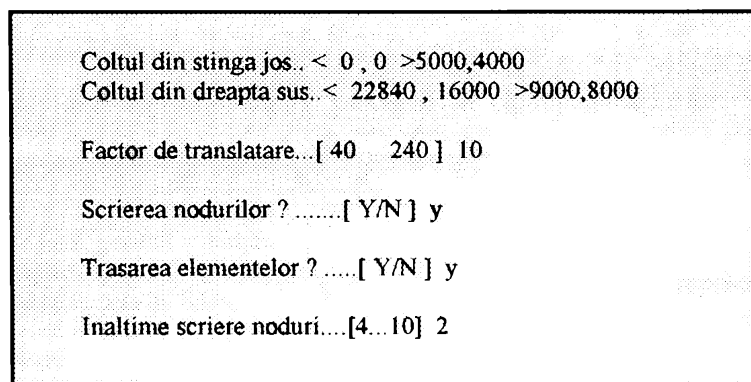
cretizat în care parametrii necesari ferestrei grafice sunt determinați de către program.

Această imagine poate fi captată cu utilitare specializate (în exmplele de față toate ferestrele fie de tip "text" sau tip "grafic" utilizate în programul *GENTERM.EXE* sunt captate cu utilitarul "CorelCAPTURE" din pachetul de programe *COREL50*) și stocată în fișier distinct care ulterior poate fi trimis la imprimantă sau ploter în condiții de claritate modeste pentru o imagine grafică.

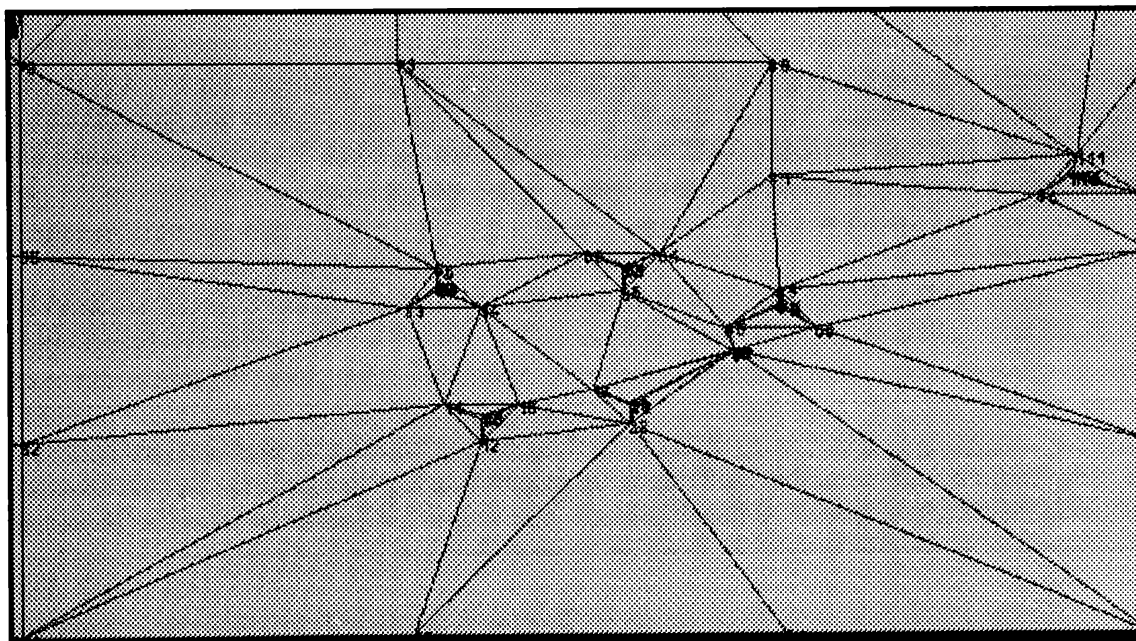
Dacă domeniul este de mare întindere și există zone în care elementele au dimensiuni reduse (în domeniul general de prezentare unele elemente se suprapun), există posibilitatea de selectare a unui domeniu mai restrâns din zona grafică, dacă din meniul:



se selectează "1", adică opțiunea "Window". În această situație apare meniul prin care se precizează coordonatele colțului din stânga jos și colțul din dreapta sus a ferestrei grafice



pe care dorim să o vizualizăm (și care reprezintă o situație grafică aglomerată din zona localității Sănnicolau Mare) și prezentată mai jos:



Dacă se selectează "2", adică opțiunea de "Salvare într-un fișier general de forma - genl *Wi.dxf*", se salvează automat imaginea grafică printr-o operație generală de translatare a fiecărui segment sau bloc tip text. Aceste fișiere se pot importa, imaginile se pot mărire sau micșora, modifica și se pot trimite apoi la printer sau ploter. În fereastra de mai jos este prezentată imaginea astfel obținută, importată cu utilitarul "ACADWIN-Release 12" și copiată în "WORD 6.0".

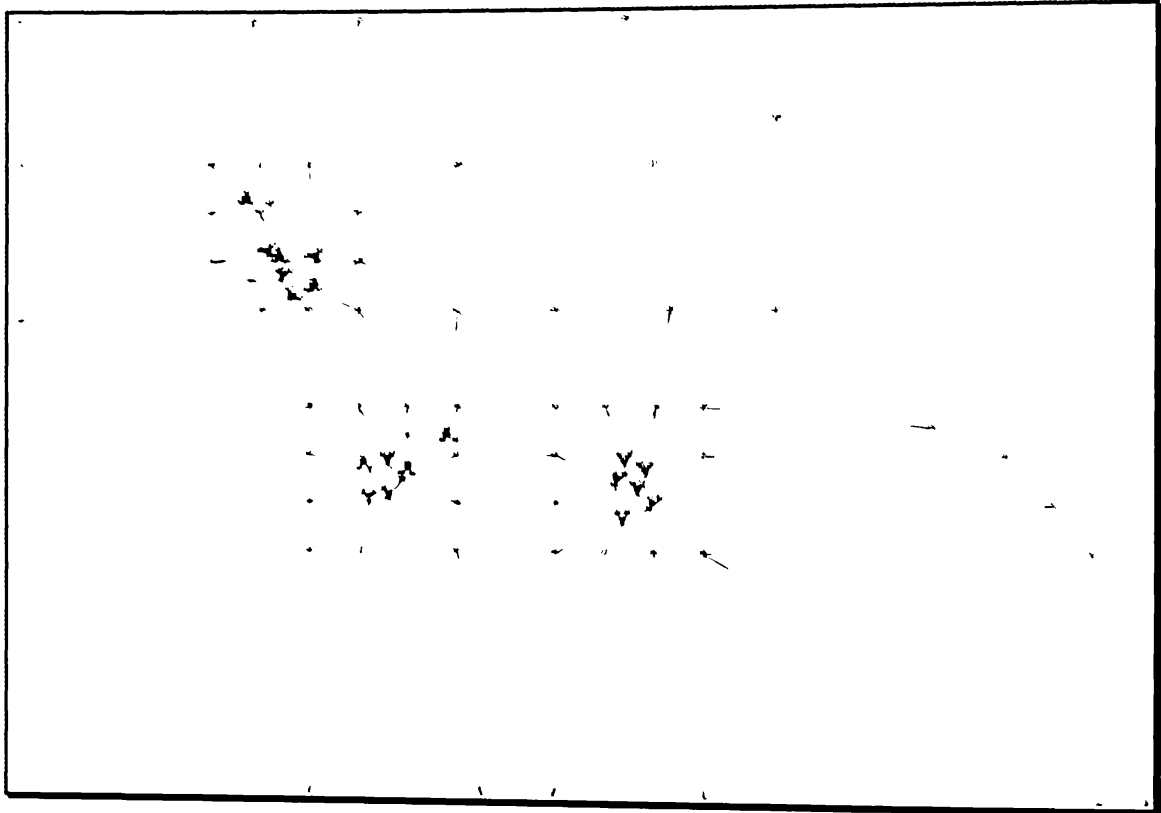


Fig.4.3 Plan general de discretizare al domeniului general

Se remarcă claritatea imaginii în comparație cu imaginea anterioară care a fost capturată cu ajutorul utilitarului "CorelCAPTURE" din pachetul de programe **COREL50**.

Datele generale referitoare la regimul de funcționare - staționar, tipărire sau netipărire a datelor de intrare, și execuția propriu-zisă a regimului - staționar sunt precizate într-un fișier denumit "PARAM.DAT". Aceste valori vor fi citite la lansarea simulării numerice pentru regimul hidraulic și termic.

4.4 Program general de simulare numerică a regimului hidraulic și termic cuplat - program TERMAL.BAS

Baza de date necesară modelării hidraulice subterane și a transferului de căldură a condus la realizarea unui program general denumit **TERMAL.BAS** (Anexa B), schematic este prezentat în fig.3.4. Programul este prevăzut cu un modul principal de selectare a domeniului de discretizare “**TERMAL**”, un modul “**INN**” de citire în fișiere externe din baza de date (cu o subrutină de determinare a numărului de ecuații “**BAD**” și lățimea maximă a benzii matricii coeficienților), un modul de constituire a coeficienților sistemului general “**FMK**” (cu 4 subrutine - o subrutină “**SHP**” pentru calculul ariei elementului, o subrutină “**CON**” pentru introducerea transferului convectiv, o subrutină “**FLX**” pentru introducerea fluxului hidraulic sau termic pe suprafața laterală a elementului și o subrutină “**ASM**” pentru asamblarea matricii [K] pentru un element curent), un modul “**SISTEM**” de rezolvare a sistemului de ecuații prin metoda substituției Gauss (o subrutină “**RED**” pentru citire consecutivă a două blocuri din fișiere externe în memoria internă - subrutina “**RDF**” - sau scrierea în fișere externe a celor două blocuri din memoria internă - subrutina “**WRI**”, o subrutină “**SOLVE**” - substituția Gauss pentru reducerea coeficienților, o subrutină “**SUB**” pentru transferul de blocuri necesare execuției substituției înapoi).

La lansarea în execuție pentru simularea domeniului general de ansamblu și a celor trei domenii de detalii, a fost realizat următorul fișier de comenzi în MS-DOS (**termal.bat** - comentariul din interiorul fișierului aduce precizări în claritatea expunerii) :

```
@echo off
termal.exe 'sistem general - hidraulic
termal.exe 'sistem general -termic
termal.exe 'sistem detaliu Sănnicolau Mare - hidraulic
termal.exe 'sistem detaliu Sănnicolau Mare - termic
termal.exe 'sistem detaliu Tomnatic - hidraulic
termal.exe 'sistem detaliu Tomnatic - termic
termal.exe 'sistem detaliu Lovrin - hidraulic
termal.exe 'sistem detaliu Lovrin - termic
```

În subdirectorul “**HT**”, de unde se lansează în execuție preprocesarea simulării numerice, există fișierul executabil **TERMAL.EXE** și fișierul cod obiect **TERMAL.OBJ** rezultate în urma compilării programului

sursă din limbajul *QuickBASIC ver.7.1*.

Programul direct executabil (*termal.exe*) există deci la lansarea în execuție a fișierului “**termal.bat**” Variabilele indexate de tip tablou alocate elementelor bazei de date sunt precizate prin două variabile citite dintr-un fișier extern - “**TABLOU.DAT**”, valorile lor “**TMJ, TMK**”, corespunzătoare celor patru domenii sunt precizate de o variabilă de “**control**” (cu valorile 0,1,2,3) citită din fișierul extern “**DECONTA.DAT**” .

Pentru selectarea domeniului de analiză, la fiecare lansare a fișierului executabil “*termal.exe*” se deschide fișierul de control denumit “**DECONTA.DAT**”, din care se inițializează variabila de selectare a domeniului [cu valorile posibile - 0,1,2,3]. La execuția simulării unui regim hidraulic și a unui regim termic (deci execuția a două comenzi executabile din “**TERMAL.BAT**”), se reactualizează în fișierul de control variabila de selectare următoare a domeniului (cu **DKN=DKN+1**).

Asemănător se procedează pentru selectarea regimului hidraulic sau termic, prin inițializarea a două variabile din fișierul de control denumit “**contor.dat**”. După executarea

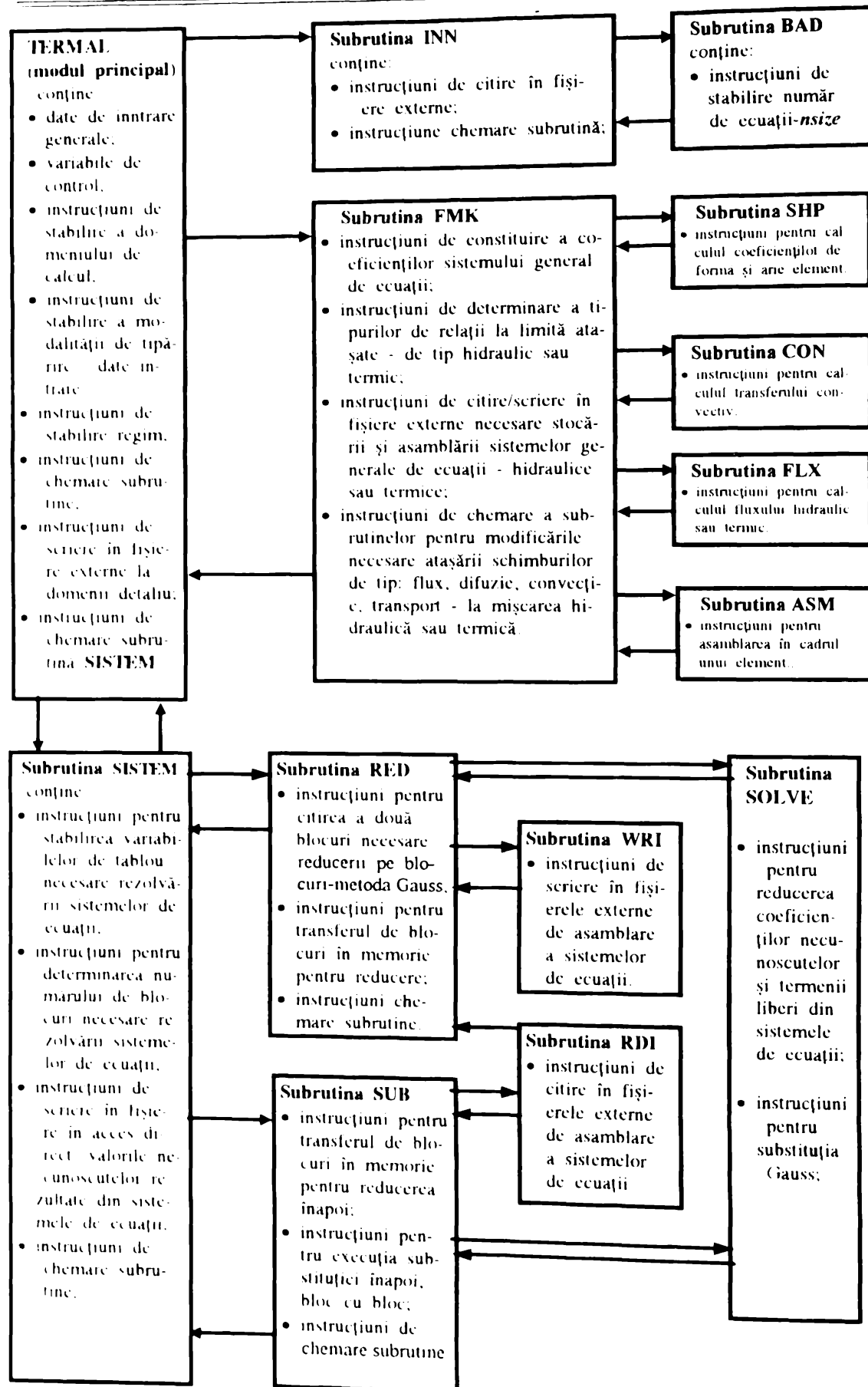


Fig.4.4 Schemă generală de prezentare a programului de simulare **TERMALEXE**

unui regim (de exemplu - regimul hidraulic), prin reactualizarea variabilelor din fișier, la o nouă execuție se execută regimul următor (exemplu - regimul termic). Această secvență este periodică în cadrul fișierului de comenzi. Numărul total de execuții din fișierul “*termal.bat*” este contorizat în fișierul “*HIDCONTR.DAT*”.

Deci parcurgând cele 8 linii de comenzi, variabila de control $DKN=3$, iar variabila $gtes=8$. Dacă dorim să reluăm execuția de la început, este necesar să reactualizăm valorile: $DKN=0$ și $gtes=1$ printr-o operație de editare într-un editor de text în cele două fișiere.

La începutul lansării în execuție se deschide un fișier de date, denumit “*dategen.dat*” din care se pot citi: densitatea, căldura specifică și diferența de temperatură.

În cadrul unui domeniu de discretizare, se începe cu simularea regimului hidraulic. În urma procesării se determină numărul maxim de ecuații “*nsize*”, lățimea benzii “*mband*” și se salvează în fișiere externe: pentru regim hidraulic - “*fis52.dat*”, respectiv regim termic - “*fis51.dat*” mărimile acestor parametri. Asamblarea matricii sistemului de ecuații se face prin poziționare în fișiere externe: - “*fis62.dat*” la regimul hidraulic, respectiv “*fis61.dat*” la regimul termic cu reprezentarea valorilor în sistem binar pe 8 octeți.

Rezolvarea sistemului de ecuații se face prin metoda Gauss, aplicată pe blocuri de lățimi egale cu “*mband*”. Rezultatele sistemului de ecuații sunt salvate în fișiere externe binare de tip “*sarcina.dat*”, respectiv “*tempera.dat*”, și caractere “ASCII” în fișier extern “*numk_so.dat*”. Pentru prelucrarea datelor cu programe specializate de postprocesare, rezultatele sunt salvate în același timp și în fișiere externe: “*numk_ph.dat*” - regim hidraulic, respectiv “*numk_pt.dat*” - regim termic (“*num*” reprezintă denumirea domeniului, “*k*” numărul regimului de funcționare).

La simularea regimului hidraulic se salvează în fișiere (*vx1xh.dat*, *vy1yh.dat*) pe disc, coeficienții podusului matricial $\frac{H_o \rho g}{\mu} [K_e]_e [B]_e$, din relația (2.50) necesari determinării

componentelor vitezelor hidraulice. La nivelul de determinare al lor, sarcinile hidraulice din nodurile discretizării sunt necunoscute, motiv pentru care nu sunt numite viteze. În pasul următor (cazul regimului termic) se deschid aceste fișiere și valorile lor se multiplică cu valorile vectorului sarcinii hidraulice pentru fiecare element, rezultând valorile componentelor vitezelor hidraulice, necesare asamblării termice.

Câmpul vitezelor hidraulice sunt salvate în “*numk_vh.dat*”, iar printr-o repetare suplimentară (numai în regimul termic pentru efectuarea produsului matricial $[K_\theta]_e [B]_e$) se obțin vitezele termice care sunt depuse în fișierul “*numk_vt.dat*”.

4.5 Considerații generale privind postprocesarea rezultatelor simulării numerice

În subdirectorul “*PLT*” sunt stocate sarcinile hidraulice și temperaturile în nodurile discretizării, în fișierele externe denumite “*numk_ph.dat*” pentru sarcini hidraulice, respectiv “*numk_pt.dat*” pentru temperaturi.

Un fișier de acest tip conține: numărul nodului cu coordonatele sale și sarcina hidraulică, respectiv temperatura în nod. Prin postprocesarea cu ajutorul unui program specializat de interpolare bidimensională cu funcții spline la diferite puteri “*PLOT88*”, se reprezintă câmpul sarcinilor hidraulice sau câmpul de temperaturi în funcție de coordonatele geometrice ale nodurilor (x,y).

Deci, prin postprocesarea rezultatelor din fișierele “*gen1_ph.dat*” și “*gen1_pt.dat*”, se obține câmpul sarcinii hidraulice, respectiv câmpul de temperaturi la: *sistemul general de ansamblu, detaliu Sânnicolau Mare, detaliu Tomnatic și detaliu Lovrin*.

Partea III-a.

**Optimizarea exploatării sistemelor geotermale din zona perimetrelor localităților:
Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin**

Cap.5. Probleme specifice de modelare a mișcării hidraulice și termice cuplate

5.1. Considerații generale

Coeficienții de permeabilitate relativă sau permeabilitate absolută sunt determinați pe cale experimentală prin analiza unor carote sau rezultați din măsurători experimentale la sondele existente în exploatare.

- Permeabilitatea straturilor din zona perimetrelor localităților: Sănnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin, din analizele făcute pe carote este cuprinsă în domeniul 50...3500 mD.

Pentru o grosime medie $H_a = 300m$, permeabilitatea absolută are limitele în domeniul $3.5 \cdot 10^{-9} \dots 5.0 \cdot 10^{-11} m^2$;

- Permeabilitățile absolute rezultate din măsurătorile efectuate în cadrul exploatării sondelor geotermale din domeniile considerate s-au determinat cu relații de forma /102/:

$$k_{xx} = \frac{\mu \beta \ln \frac{r_c}{r_s}}{2 \pi A H_a} \tag{5.1}$$

unde: β - factorul de volum al apei geotermale;

μ - vâscozitatea apei geotermale din cadrul stratului, în N/sm^2 ;

r_c - raza de influență a sondei geotermale, în m;

r_s - raza geometrică a sondei geotermale, în m;

A - indice experimental;

H_a - înălțimea stratului prin care are loc mișcarea.

Valoarea indicelui A s-a determinat cunoscând indicele de productivitate al sondelor, dat

de relația:

$$I_p = \frac{Q_1}{\Delta P} = \frac{1}{A} \tag{5.2}$$

unde: ΔP - reprezintă diferența dintre presiunea statică și presiunea dinamică obținută din măsurători experimentale în timpul exploatării, în N/m^2 ;

Q_1 - debitul de apă geotermală extrasă, în m^3/s .

Variația cu temperatura și presiunea a factorului de volum β al apei dulci și a apei saturată cu gaze naturale, este prezentată în tabelul nr.5.1 /102/:

Tabelul nr. 5.1

Presiunea în $10^5 N/m^2$	β în m^3/m^3 , la temperatura°C și presiunea							
	apă dulce				apă saturată cu gaze naturale			
	37.77	65.55	93.33	121.11	37.77	65.55	93.33	121.11
68.93	1.0025	1.0153	1.0335	1.0560	1.0045	1.0183	1.0361	1.0584
137.80	0.9995	1.0125	1.0304	1.0523	1.0031	1.0168	1.0345	1.0568
206.78	0.9966	1.0095	1.0271	1.0487	1.0017	1.0154	1.0330	1.0552
275.71	0.9938	1.0067	1.0240	1.0452	1.0003	1.0140	1.0316	1.0537
344.64	0.9910	1.0039	1.0210	1.0418	0.9989	1.0126	1.0301	1.0522

Variația vâscozității apelor nemineralizate este dependentă de temperatură, presiune și crește cu cantitatea de săruri dizolvate. Dependența vâscozității cu temperatura și presiunea este prezentată în tabelul nr. 5.2 /102/:

Tabelul nr. 5.2

Presiunea $10^5 N/m^2$	Vâscozitatea $10^{-3} N/sm^2$ la°C			
	0	10.28	30	41.44
1	1.792	1.400	0.871	0.396
486	1.680	1.350	0.895	0.411
1000	1.650	1.330	0.921	0.428
1458	1.670	1.330	0.950	0.443
2000	1.710	1.350	0.980	0.460

Dacă se consideră pentru constante datele următoare: factorul de volum al apei geotermale $\beta=1.0345 \text{ m}^3/\text{m}^3$, vâscozitatea $\mu=0.54\text{e-}3 \text{ N/sm}^2$, raza de influență $r_c=250 \text{ m}$, raza geometrică a sondei $r_s=0.10 \text{ m}$, valorile permeabilității absolute pentru perimetrele precizate sunt date în tabelul nr.5.3.

Tabelul nr.5.3

Localitate	Nr. sondei	Debit [m^3/s]	ΔP [N/m^2]	K_{xx} [m^2]	K_{yy} [m^2]
Sănnicolau Mare	1526	20	2.93e5	1.58e-10	1.58e-10
	4645	18	2.73e5	1.53e-10	1.53e-10
	4028	6	2.33e5	.596e-10	.596e-10
Tomnatic	4633	15	2.62e5	1.33e-10	1.33e-10
	4637	12	2.45e5	1.13e-10	1.13e-10
	1564	35	3.17e5	2.56e-10	2.56e-10
Lovrin	4607	22	2.95e5	1.73e-10	1.73e-10
	4632	15	2.62e5	1.33e-10	1.33e-10
	4636	10	2.40e5	9.65e-10	9.65e-10

Coefficienții de termoconductivitate pot fi determinați pe cale experimentală prin analiza unor carote. Din analize experimentale, pentru cazul probelor de rocă sedimentară din Câmpia de Vest a României, au rezultat valori cuprinse în limitele domeniului $\lambda=0.98\cdot 10^{-5} \dots 8.37\cdot 10^{-4} \text{ Kcal/ms}^\circ\text{C}$ [$\lambda=0.40 \dots 3.5 \text{ J/ms}^\circ\text{C}$].

Fluxul surselor interioare pe o suprafață orizontală dat din efectul termic al substanțelor radioactive, pentru zona Depresiunii Panonice în roci sedimentare, este cuprins în domeniul $2.4\text{e-}7\text{...}3.3\text{e-}7 \text{ Kcal/ms}^\circ\text{C}$. În tabelul nr.5.4 sunt prezentate valorile coeficienților de termoconductivitate și căldura specifică volumetrică la diferite calități de pământuri din Germania (după Th. Söll - 1987) /103/.

Tabelul nr.5.4

Nr.c rt.	Material	Conductivitatea λ [$\text{J/sm}^\circ\text{K}$]	Căldura spec. volumetrică ρc [$\text{MJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}$]
1.	Apă (20°C)	0.6	4.2
2.	Aer (uscat, 0 °C 760 torr)	0.024	$1.3\cdot 10^{-3}$
3.	Cuarț	6.0	2.0
3.	Nisip cuarțos uscat	0.2-0.4	0.98-1.4
5.	Nisip cuarțos saturat	2.1-3.1	-
6.	Nisip umed	0.704	1.15
7.	Granit	2.9-4.1	2.0-2.5
8.	Gresie	1.28-2.1	1.6-1.8
		1.375	1.8-2.0
9.	Calcar	1.2-2.7	2.1-2.2
10.	Rocă sedimentară	2.3	-
11.	Calcar cochilifer	2.6-3.3	-
12.	Lut	0.9-1.6	1.3-1.4
13.	Argilă, nisipoasă (40% umid.)	1.28	1.3
14.	Lut mociros	1.1	1.7
15.	Argilă nisipoasă	1.3-1.77	1.2
16.	Șist	1.5-3.7	2.0-2.2
17.	Teren arabil (nisipos, apă 10%)	1.26	-

5.2 Discretizarea domeniului - elemente finite triunghiulare

5.2.1 Discretizare domeniu general de ansamblu

Discretizarea subterană a complexului geotermal s-a făcut în cadrul unui sistem general de ansamblu (fig.5.1), cu ajutorul a 187 noduri și 325 elemente triunghiulare, încă-drat superior la o suprafață dreptunghiulară în valoare de $22840\cdot 16000 \text{ m}^2$.

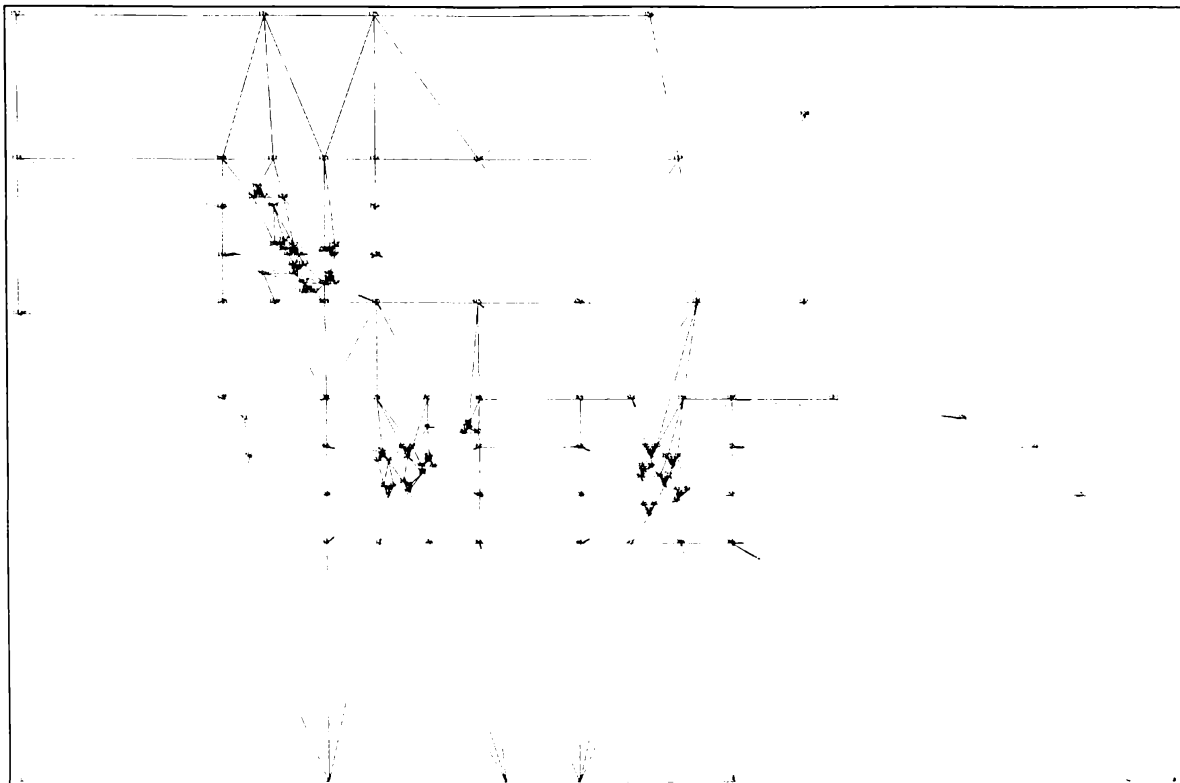


Fig.5.1 Plan general de discretizare al domeniului general

În zona perimetrelor localităților Sânnicolau, Tomnatic și Lovrin, domeniul de ansamblu conține 21 sonde geotermale de extracție sau posibile de injectare. Distanța dintre ele este în limitele 200m...450m. Pentru a se vedea modul de discretizare în zona perimetrului Sânnicolau Mare, se prezintă în figura următoare (fig.5.2) la o scară mai mică detaliat, numărul de ordine al elementelor, numerotarea nodurilor și numerele de inventariere ale sondelor. Pentru a se vedea modul de discretizare în zona perimetrului Tomnatic, se prezintă în

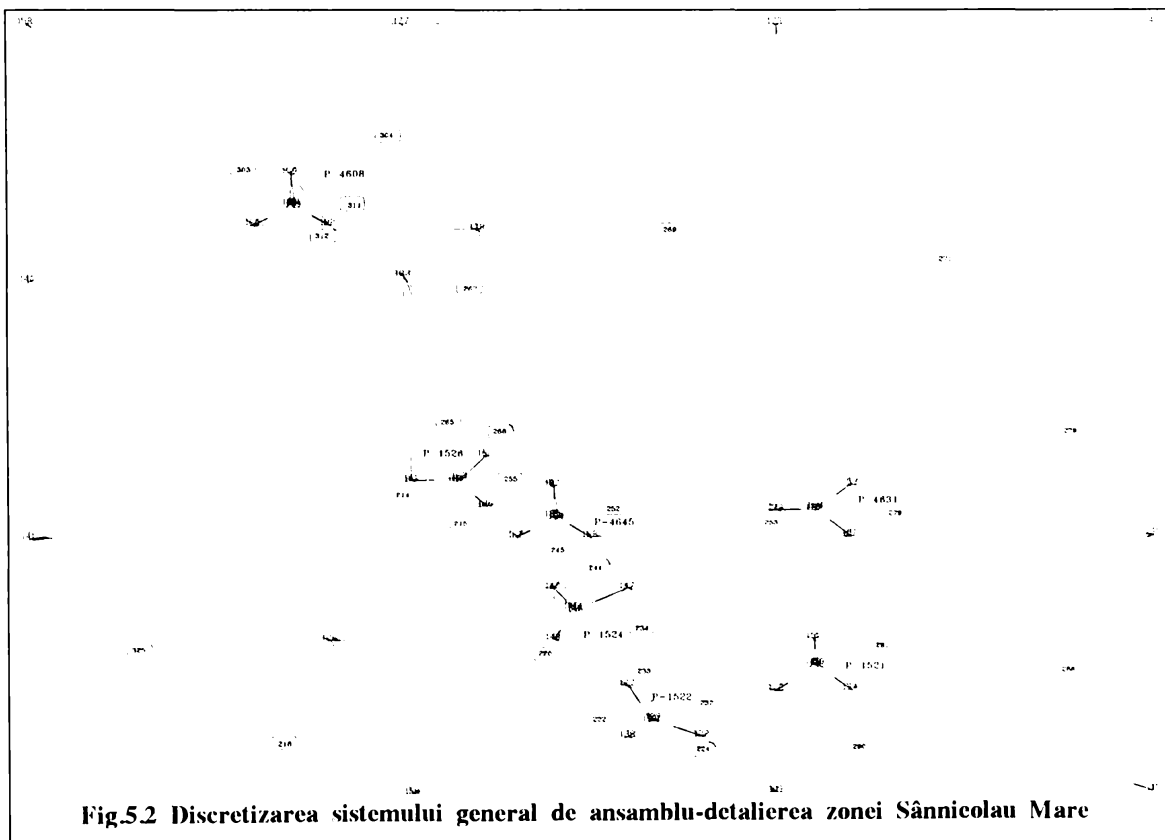


Fig.5.2 Discretizarea sistemului general de ansamblu-detalierea zonei Sânnicolau Mare

figura următoare (fig.5.3) la o scară mai mică detaliat, numărul de ordine al elementelor, numerotarea nodurilor și numerele de inventariere ale sondelor de extracție sau injectare.

Similar, se prezintă la o scară mai mică în figura (fig.5.4) zona perimetrului locali-

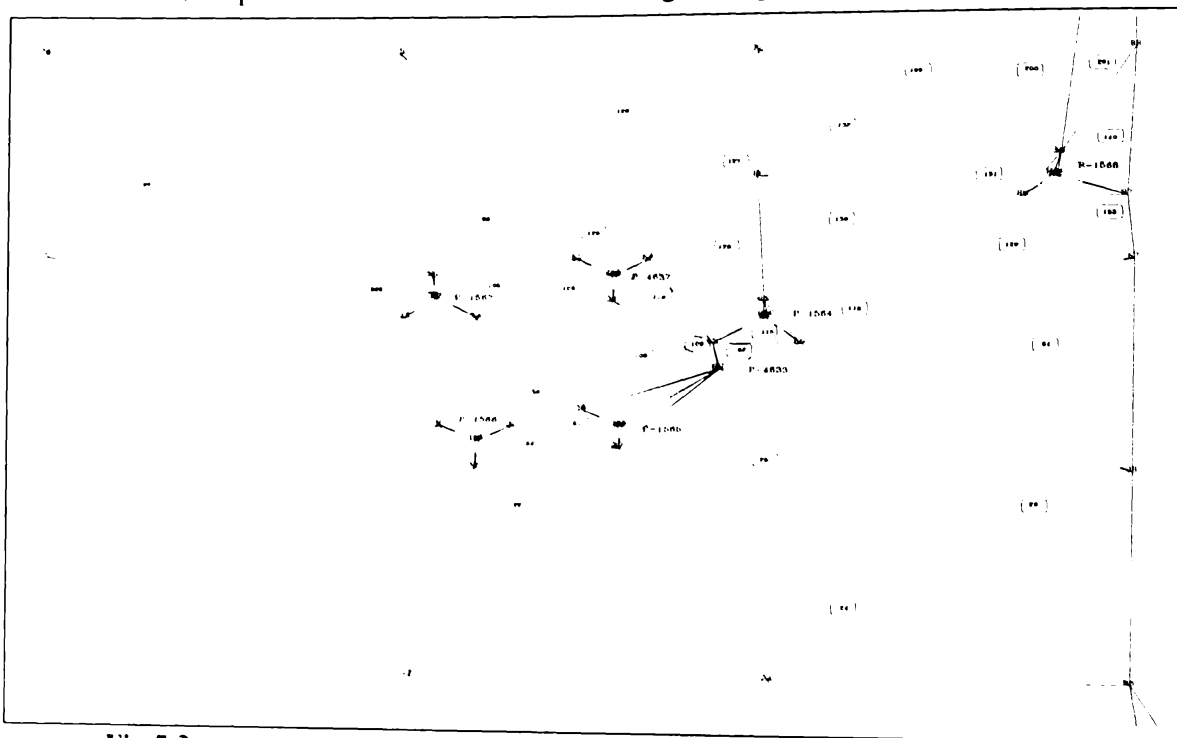


Fig.5.3 Discretizarea sistemului general de ansamblu-detalierea zonei Tomnatic
 tăii Lovrin Fluxurile hidraulice și termice specifice posibile de extracție sau injectare în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr. 5.4.

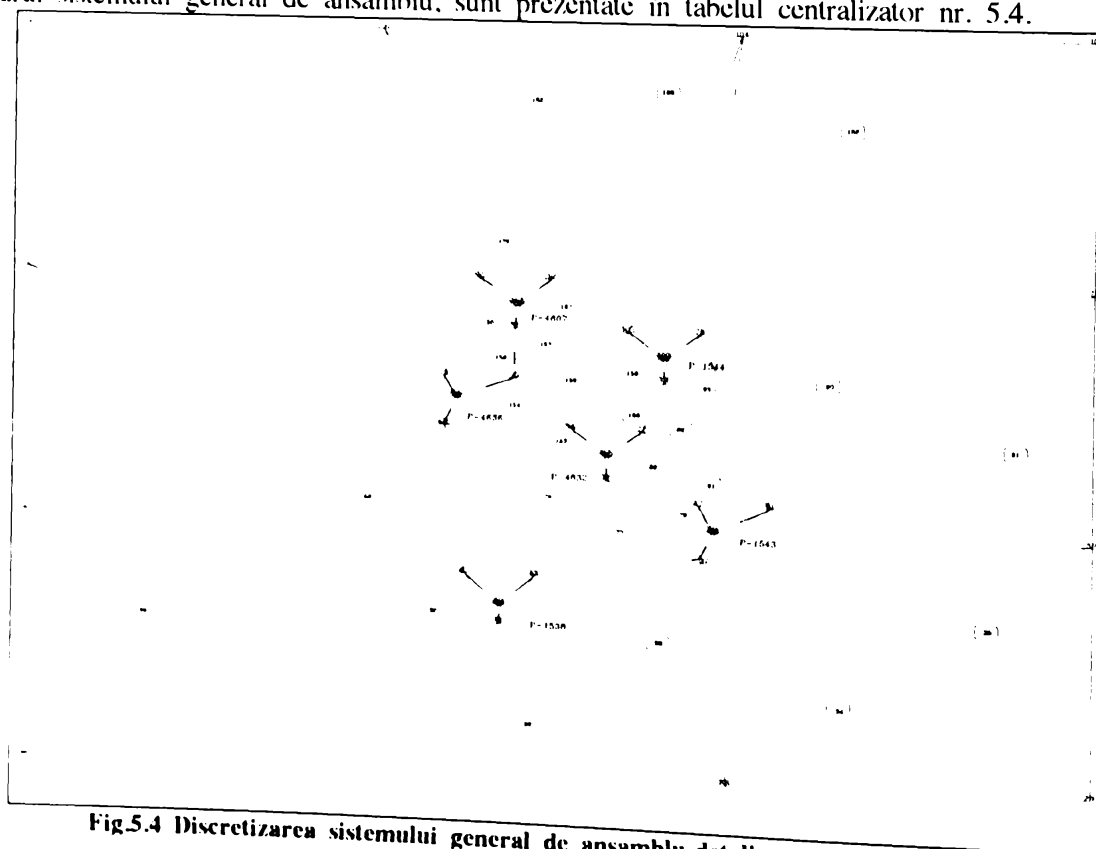


Fig.5.4 Discretizarea sistemului general de ansamblu-detalierea zonei Lovrin

Tabel centralizator pentru stabilirea debitelor specifice posibile de extracție (hidraulice și termice) nr. 5.4

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Sistem geotermal general												Perimetrul element în m (S)	Q _h în l/s	q _h în m ³ /sm (*10 ³)	q _t în kcal/sm ²
			Coordonate carteziene (m)						Nod									
			Nod	X	Y	Nod	X	Y	Nod	X	Y	Nod	X	Y				
1.	Sânnicolau Mare	P-4631	169	6105.50	11110.50	170	6100.50	11100.00	171	6110.50	11100.50	171	6110.50	11100.50	32.80	-18	-0.5488	-0.53526
		P-4608	179	4710.00	12289.50	180	4699.50	12300.00	181	4710.50	12300.50	181	4710.50	12300.50	36.87	-10	-0.2712	-0.26451
		P-1522	129	5670.00	10289.50	130	5659.50	10280.00	131	5670.50	10280.50	131	5670.50	10280.50	34.19	-12	-0.3510	-0.34234
		P-1524	144	5460.50	10720.50	145	5449.50	10720.00	146	5460.50	10720.50	146	5460.50	10720.50	37.22	-12	-0.3224	-0.31444
		P-1521	148	6110.00	10489.50	149	6099.50	10500.50	150	6110.50	10500.50	150	6110.50	10500.50	37.22	-12.5	-0.3358	-0.32752
		P-1526	163	5150.00	11230.50	164	5139.50	11219.50	165	5150.50	11219.50	165	5150.50	11219.50	37.22	-20	-0.5374	-0.52414
		P-4645	184	5410.00	11069.50	185	5399.50	11080.50	186	5410.50	11080.50	186	5410.50	11080.50	49.43	-18	-0.3642	-0.35522
		P-1568	112	8825.00	7390.50	113	8819.50	7400.50	114	8830.50	7400.50	114	8830.50	7400.50	33.83	-15	-0.4434	-0.43246
		P-1566	13	7250.00	6140.00	14	7239.00	6129.50	15	7250.50	6129.50	15	7250.50	6129.50	37.22	-15	-0.4030	-0.39306
		P-1565	20	7645.00	6210.50	21	7639.50	6199.50	22	7650.50	6199.50	22	7650.50	6199.50	35.60	-10	-0.2810	-0.27407
2.	Tomnatic	P-1567	57	7130.00	6810.50	58	7119.50	6820.50	59	7130.50	6820.50	59	7130.50	6820.50	35.51	-15	-0.4220	-0.41159
		P-4637	61	7630.00	6930.50	62	7619.50	6919.50	63	7630.50	6919.50	63	7630.50	6919.50	37.22	-12	-0.3224	-0.31445
		P-1564	82	8045.00	6720.50	83	8039.50	6729.50	84	8050.50	6729.50	84	8050.50	6729.50	32.10	-35	-1.0930	-1.06604
		P-4633	19	7910.00	6470.00	36	7915.00	6480.00	37	7920.00	6480.00	37	7920.00	6480.00	25.81	-10	-0.3874	-0.37784
		P-4607	117	12445.50	6900.50	118	12440.00	6889.50	119	12450.50	6889.50	119	12450.50	6889.50	34.88	-22	-0.6307	-0.61514
		P-4636	92	12280.50	6509.50	93	12270.50	6509.50	94	12275.00	6520.50	94	12275.00	6520.50	34.18	-10	-0.2926	-0.28538
		P-4632	97	12700.00	6300.50	98	12695.50	6290.50	99	12705.50	6290.50	99	12705.50	6290.50	32.38	-15	-0.4632	-0.45177
		P-1544	100	12860.00	6700.50	101	12855.50	6690.50	102	12865.50	6690.50	102	12865.50	6690.50	32.38	-8	-0.2471	-0.24100
		P-1543	48	13000.00	6010.50	49	12995.50	6000.50	50	13005.50	6000.50	50	13005.50	6000.50	32.38	-10	-0.3088	-0.30118
		P-1538	42	12400.50	5680.50	43	12395.50	5670.50	44	12405.50	5670.50	44	12405.50	5670.50	32.36	-10	-0.3090	-0.30138
3.	Lovrin																	

5.2.2 Discretizare domeniu de detaliu - Sânnicolau Mare

Domeniul subteran de detaliu a complexului geotermal în zona aferentă localității Sânnicolau Mare s-a ales prin decuparea unui pătrat de $3000 \times 3000 \text{ m}^2$ din cadrul sistemului general de ansamblu (fig.5.1 - valoarea decupată de detaliu este ca mărime identică cu pătratul din detalierea din fig.5.2, punctele de pe contur sunt fixe și reprezintă noduri cu numere de ordine diferite în discretizarea de detaliu).

Discretizarea domeniului s-a făcut cu ajutorul a 164 noduri și 286 elemente triunghiulare cu condiția respectării coordonatelor pătratului din sistemul general și condițiile impuse sau calculate în sistemul general de ansamblu.

În fig.5.5 este prezentată modalitatea de discretizare a domeniului de detaliu aferent localității Sânnicolau Mare cu numerotarea nodurilor elementelor.

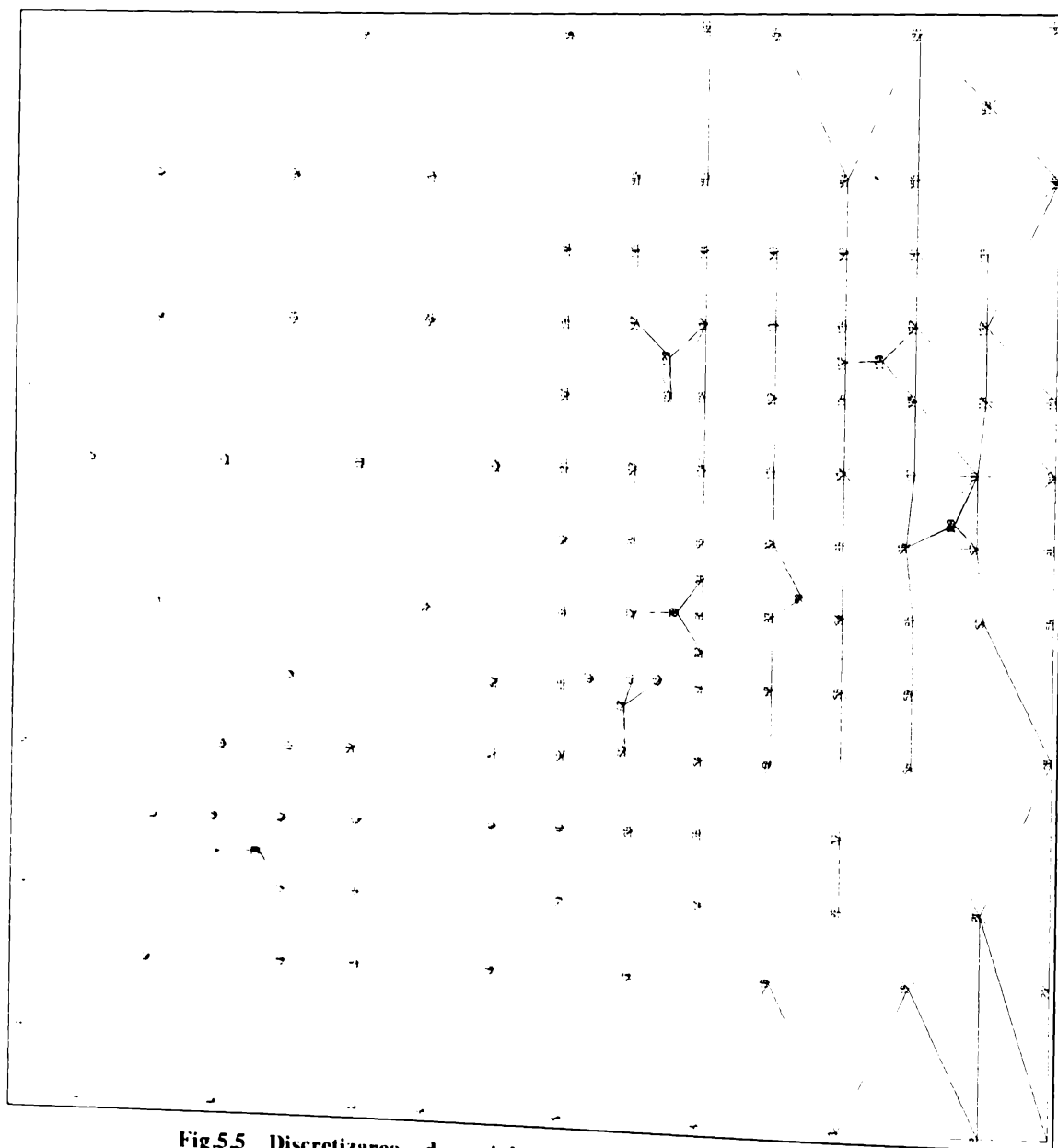


Fig.5.5 Discretizarea domeniului de detaliu - Sânnicolau Mare

Nodurile din sistemul general de ansamblu ce se găsesc pe frontiera pătratului de decupare au valorile sarcinii hidraulice sau temperaturile cunoscute și reprezintă condiții de margină pentru simularea numerică de detaliu.

5.2.3 Discretizare domeniu de detaliu - Tomnatic

Domeniul subteran de detaliu a complexului geotermal în zona aferentă localității Tomnatic s-a ales prin decuparea unui pătrat de $3000 \times 3000 \text{ m}^2$ din cadrul sistemului general de ansamblu (fig.5.1 - valoarea decupată de detaliu este ca mărime identică cu pătratul din detalierea din fig.5.3, punctele de pe contur sunt fixe și reprezintă noduri cu numere de ordine diferite în discretizarea de detaliu).

Discretizarea domeniului s-a făcut cu ajutorul a 197 noduri și 346 elemente triunghiulare (cu condiția respectării coordonatelor pătratulului din sistemul general și condițiile impuse sau calculate în sistemul general de ansamblu).

În fig.5.6 este prezentată modalitatea de discretizare a domeniului de detaliu aferent localității Tomnatic cu numerotarea nodurilor elementelor.

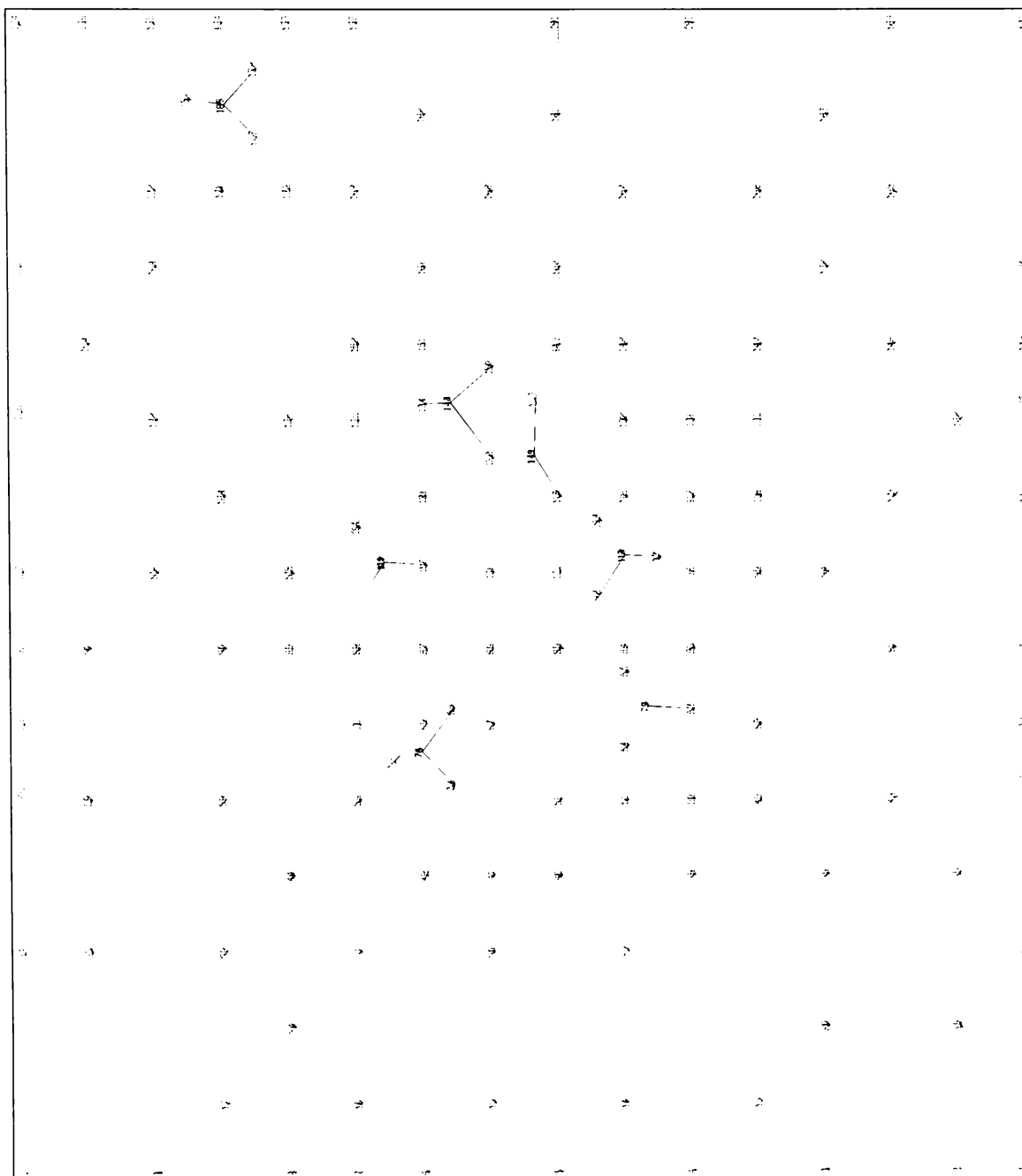


Fig. 5.6 Discretizarea domeniului de detaliu - Tomnatic

5.2.3 Discretizare domeniu de detaliu - Lovrin

Domeniul subteran de detaliu a complexului geotermal în zona aferentă localității Lovrin s-a ales prin decuparea unui pătrat de 3000×3000 m² din cadrul sistemului general de ansamblu (fig.5.1 - valoarea decupată de detaliu este ca mărime identică cu pătratul din detalierea din fig.5.4, punctele de pe contur sunt fixe și reprezintă noduri cu numere de ordine diferite în discretizarea de detaliu). Discretizarea domeniului s-a făcut cu ajutorul a 178 noduri și 313 elemente triunghiulare (cu condiția respectării coordonatelor pătratului din sistemul general și condițiile impuse sau calculate în sistemul general de ansamblu).

În fig.5.7 este prezentată modalitatea de discretizare a domeniului de detaliu aferent localității Lovrin cu numerotarea nodurilor elementelor.

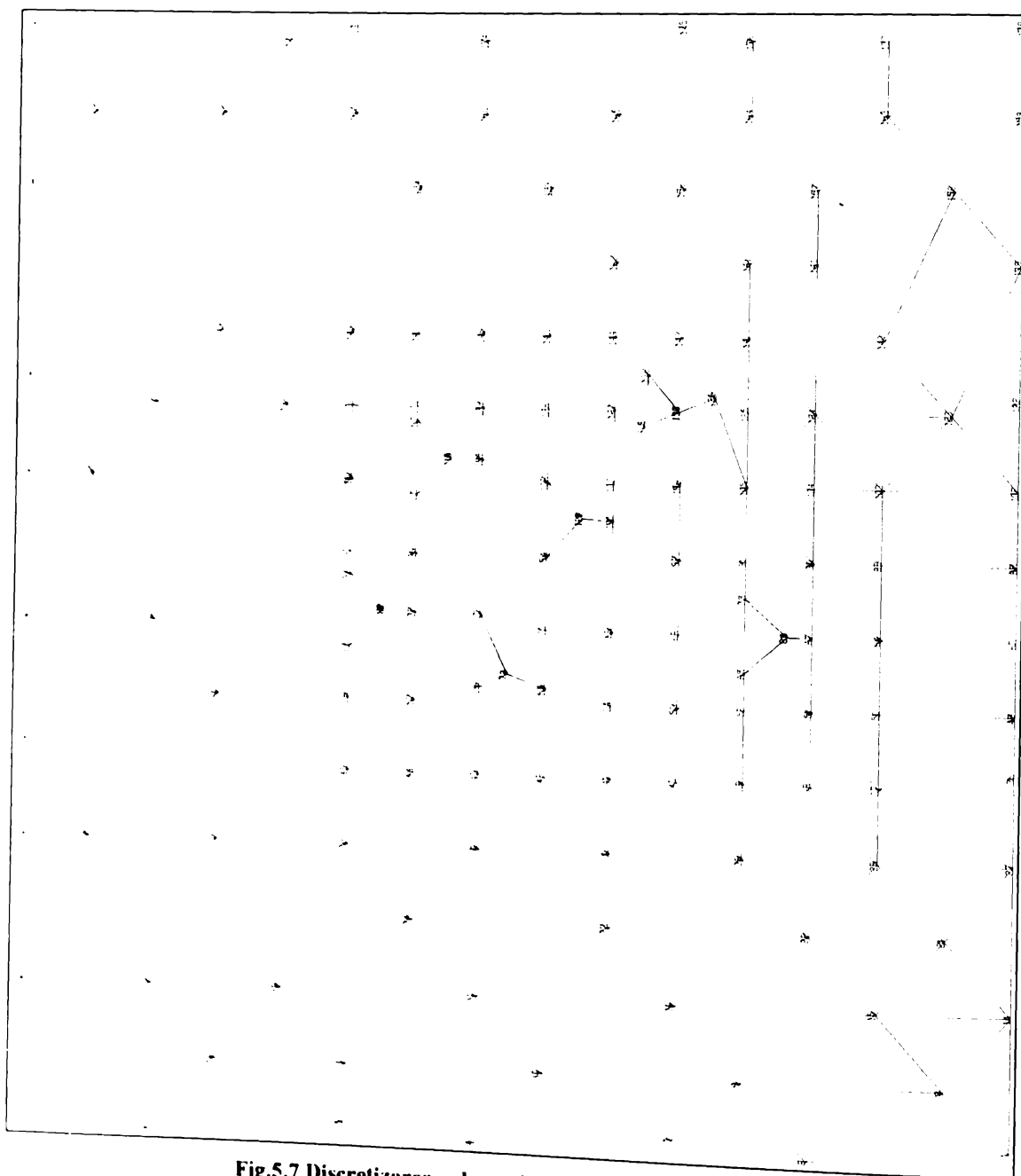


Fig.5.7 Discretizarea domeniului de detaliu - Lovrin

Fluxurile hidraulice și termice specifice de extracție sau posibile de injectare în cadrul sistemelor de detalii, sunt prezentate în tabelul centralizator nr. 5.5.

Tabel centralizator pentru stabilirea debitelor specifice posibile de extracție (hidraulice și termice) nr. 5.5

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Sistem geotermal detaliu																Perimetrul element în m (S)	Q _h în l/s	q _h în m ³ /sm (*10 ⁻⁵)	q _t în kcal/sm ²
			Coordonate carteriene (m)								Nod											
			Nod	X	Y	Nod	X	Y	Nod	X	Y	Nod	X	Y	Nod	X	Y					
1.	Sănnicolau Mare	P-4631	127	6105.50	11105.00	128	6105.00	11104.00	129	6106.00	11104.00	129	6106.00	11104.00	129	6106.00	11104.00	3.24	-18	-5.5555	-5.4184	
		P-4608	34	4705.50	12289.50	32	4705.00	12296.00	33	4706.00	12296.50	33	4706.00	12296.50	33	4706.00	12296.50	3.24	-10	-3.0864	-3.0103	
		P-1522	108	5664.50	10285.00	109	5663.50	10284.00	110	5664.00	10284.00	110	5664.00	10284.00	110	5664.00	10284.00	3.92	-12	-3.0612	-2.9856	
		P-1524	90	5455.00	10715.00	91	5454.00	10715.00	92	5454.50	10714.00	92	5454.50	10714.00	92	5454.50	10714.00	3.24	-12	-3.7037	-3.6123	
		P-1521	133	6105.50	10493.00	134	6105.00	10494.00	135	6106.00	10494.00	135	6106.00	10494.00	135	6106.00	10494.00	3.24	-12.5	-3.8580	-3.7628	
		P-1526	62	5145.50	11225.00	63	5145.00	11224.00	64	5146.00	11225.00	64	5146.00	11225.00	64	5146.00	11225.00	3.24	-20	-6.1728	-6.0205	
		P-4645	78	5405.50	11074.00	79	5405.50	11075.50	80	5405.00	11075.00	80	5405.00	11075.00	80	5405.00	11075.00	3.24	-18	-5.5555	-5.4185	
		P-1568	187	8825.50	7394.50	185	8825.00	7395.00	186	8826.00	7395.00	186	8826.00	7395.00	186	8826.00	7395.00	3.24	-15	-4.6296	-4.5154	
2.	Tomnatic	P-1566	77	7245.50	6136.00	78	7245.00	6135.00	79	7246.00	6135.00	79	7246.00	6135.00	79	7246.00	6135.00	3.24	-15	-4.6296	-4.5154	
		P-1565	114	7644.50	6205.00	112	7644.00	6206.00	113	7645.00	6205.00	113	7645.00	6205.00	113	7645.00	6205.00	3.03	-10	-3.3003	-3.2189	
		P-1567	75	7125.50	6814.00	74	7125.00	6815.00	76	7126.00	6815.00	76	7126.00	6815.00	76	7126.00	6815.00	3.24	-15	-4.6296	-4.5154	
		P-4637	109	7625.50	6926.00	111	7626.00	6925.00	110	7625.00	6925.00	110	7625.00	6925.00	110	7625.00	6925.00	3.24	-12	-3.7037	-3.6123	
		P-1564	144	8044.50	6724.00	142	8044.00	6725.00	143	8045.00	6725.00	143	8045.00	6725.00	143	8045.00	6725.00	3.24	-35	-10.8025	-10.5360	
		P-4633	139	7905.00	6475.00	140	7905.50	6474.00	141	7906.00	6475.00	141	7906.00	6475.00	141	7906.00	6475.00	3.24	-10	-3.0864	-3.0103	
		P-4607	81	12445.50	6896.50	80	12440.00	6889.50	82	12450.50	6889.50	82	12450.50	6889.50	82	12450.50	6889.50	3.24	-22	-6.7901	-6.6226	
		P-4636	77	12280.50	6509.50	78	12270.50	6509.50	79	12275.00	6520.50	79	12275.00	6520.50	79	12275.00	6520.50	3.24	-10	-3.0864	-3.0103	
3.	Lorvin	P-4632	119	12700.00	6300.50	121	12659.50	6290.50	120	12705.50	6290.50	120	12705.50	6290.50	120	12705.50	6290.50	3.24	-15	-4.6296	-4.5154	
		P-1544	114	12860.00	6700.50	116	12855.50	6690.50	115	12865.50	6690.50	115	12865.50	6690.50	115	12865.50	6690.50	3.24	-8	-2.4691	-2.4082	
		P-1543	150	13000.00	6010.50	137	12995.50	6000.50	136	13005.50	6000.50	136	13005.50	6000.50	136	13005.50	6000.50	3.03	-10	-3.3003	-3.2189	
		P-1538	84	12400.50	5680.50	83	12395.50	5670.50	85	12405.50	5670.50	85	12405.50	5670.50	85	12405.50	5670.50	3.24	-10	-3.0864	-3.0103	

5.3 Concluzii parțiale

În simularea numerică a sistemului general de ansamblu s-au ales sarcinile hidraulice adimensionale $H=100$ și temperaturile $\theta=87^{\circ}\text{C}$ pe laturile marginale posibile de alimentare.

Fluxurile de extracție hidraulice respectiv termice pentru sistemul general de ansamblu (și unele caracteristici geometrice) specificate în tabelul nr.5.4, sunt distribuite pe cele trei laturi care încadrează sonda.

Din rezolvarea sistemelor generale de ecuații, se determină sarcinile hidraulice și temperaturile pe domeniile de simulare numerică de detalii, la limitele de decupare din sistemul general de ansamblu. Aceste valori constituie condiții de margină pentru nodurile fixate pe laturile marginale.

Fluxurile de extracție hidraulice respectiv termice (și unele caracteristici geometrice) specificate în tabelul nr.5.5, sunt distribuite pe cele trei laturi care încadrează sonda pentru cele trei domenii de detalii - Sănnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin.

Deci, condițiile de margină impuse în cadrul sondelor de exploatare din sistemul general de ansamblu sunt impuse și în simulările numerice de detalii.

Pentru automatizare s-au ales două variabile de control în fișierele externe de intrare care pot avea valoarea 0 sau 1. Dacă valorile sunt 1, aceasta semnalizează că mărimile (sarcina hidraulică, respectiv temperatura) sunt cunoscute.

În simularea numerică a sistemului general de ansamblu, după rezolvarea celor două sisteme de ecuații, există o secvență de scriere în baza de date curentă pentru domeniile de detalii, după următorul procedeu:

- se deschide succesiv fișierul extern - detaliu curent - de date, pentru domeniul specificat (nume_70.dat), într-un ciclu cu pasul constant unitar, dela 1 la NTU (numărul total de noduri);

- se citesc variabilele de control la înregistrarea j ($j=1$). Dacă valorile sunt 0 ciclul se mărește cu valoarea ($j=j+1$) și se repetă citirea la înregistrarea următoare (j). Dacă variabilele de control citite au valorile 1, se verifică dacă coordonatele nodului curent din domeniul de detaliu sunt identice cu valorile din sistemul general de detaliu (nodul face parte din clasa fixă de noduri de pe laturile marginale ale domeniului de detaliu curent).

Dacă sunt identice, se scriu valorile sarcinii hidraulice și temperaturii în baza de date de detaliu curentă (nume_70.dat).

Cap.6 Program experimental de simulare hidraulică și termică cuplată

6.1. Considerații generale

Având în vedere caracterul limitat al apelor geotermale din punct de vedere al alimentării acviferului, optimizarea acestor resurse se poate realiza prin reinjectarea apei reziduale geotermale în sondele existente, la debite și presiuni hidraulice prestabilite, rezultate din modelarea câmpurilor geotermale aferente perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin, prin utilizarea metodei elementelor finite.

În vederea optimizării s-a plecat de la ideea de asociere a unui sistem de reprezentare **3D** pentru domeniul geotermal, în care suprafața (aproximativă) orizontală a acviferului să fie în planul xOy , valorile presiunii și temperaturii geotermale după axa Z . Se poate asocia un volum de presiune și un volum de temperatură.

Problema optimizării exploatarei acviferului geotermal se reduce la minimizarea volumelor de presiuni și a volumelor de temperatură în cadrul unor regimuri de funcționare.

Din aceste motive autorul și-a propus realizarea unui program de modelare hidraulică și termică cuplată, pentru un sistem general de ansamblu și 3 domenii de detalii aferente localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin. Volumele de presiune și temperatură determinate pe cele 3 domenii de detalii se vor utiliza pentru minimizare și se va determina funcționarea optimă a exploatarei acviferului geotermal.

În Câmpia de Vest, limita inferioară a complexului geotermal este marcată de formațiunile marnoase impermeabile din partea superioară a Panonianului inferior, la adâncimea de 2000m în zonele depresionare (Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin).

Limita superioară a complexului acvifer este în zona Panonianului superior, greu de apreciat datorită caracterului predominant nisipos a formațiunilor.

După operații de calare a modelelor, pentru simularea hidraulică și termică cuplată a domeniului general de ansamblu și a celor 3 domenii de detalii (Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin), s-au ales următorii parametri:

- factorul de volum al apei geotermale $\beta = 1.0345 \text{ m}^3/\text{m}^3$;
- vâscozitatea apei geotermale $\mu = 0.54e-3 \text{ N/sm}^2$;
- permeabilitatea absolută a straturilor din zona aferentă perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin, pentru o grosime medie ($H_a \cong 300\text{m}$), are valoarea $1.062e-10 \text{ m}^2$ (tabelul nr.5.3);
- coeficienții de termoconductivitate din zona aferentă perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin, pentru o grosime medie ($H_a \cong 1\text{m}$) are valoarea $2.0e-4 \text{ Kcal/ms}^\circ\text{C}$;
- sarcina hidraulică adimensională $H=100$ și temperatura $\theta=87^\circ\text{C}$ impusă în sistemul general de ansamblu pe două suprafețe laterale îndepărtate și variabilă pe laturile marginale ale domeniilor de detalii (la limita domeniilor de decupare din sistemul general de ansamblu), cu valori cunoscute, rezultate din rezolvarea sistemelor de ecuații;
- fluxul surselor interioare pe suprafața orizontală, dat din efectul termic al substanțelor radioactive (roci sedimentare), are valoarea $2.4e-7 \text{ Kcal/ms}^\circ\text{C}$;
- fluxurile termice specifice de inițializare pe suprafața laterală a elementului finit în kcal/sm^2 (tabelul nr.5.4);
- coeficientul de transmitere a căldurii prin convecție (α) la suprafața laterală a sondei la contactul cu mediul exterior, are valoarea $6.38e-4 \text{ Kcal/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$;

• temperatura de referință a mediului exterior (θ_E) se calculează secvențial și reprezintă diferența dintre temperatura medie pe latura de schimb convectiv (media aritmetică a temperaturii din cele 2 noduri - rezultate prin rezolvarea sistemului de ecuații - care conectează latura elementului finit) și pierderea de temperatură de la adâncimea de 2000m până la suprafață (7-8°C).

Acest parametru (θ_E) este stocat în fișierele de tip "numei_10.dat", valorile temperaturilor sunt introduse în mod secvențial pentru fiecare sondă.

Fluxurile termice specifice extrase sunt determinate pe suprafața laterală a elementelor care încadrează o sondă cu relația:

$$q_t = \frac{m \cdot c \cdot (\theta - \theta_0)}{H_s} = \frac{\rho \cdot q_h \cdot c \cdot (\theta - \theta_0)}{H_s} \quad (6.1)$$

Mărimile determinate sunt valori de inițializare a fluxurilor termice ce sunt extrase sau injectate în cadrul unei sonde (la extracție $\theta_0=0^\circ\text{C}$, la injectare $\theta_0=65^\circ\text{C}$).

Se constată că valoarea curentă θ este necunoscută. Rezolvarea sistemelor de ecuații termice se face secvențial (în aproximații succesive) și se corectează valorile fluxurilor termice specifice în cadrul fiecărui pas de calcul.

Stocarea acestor valori (fluxuri termice) se face în fișierele bazei date de intrare, valoare din tabelul nr.5.4 este doar o mărime de inițializare.

Semnul acestor valori este cel mai important parametru de intrare, pentru că nu se modifică în cadrul procesului iterativ și *stabilește natura procesului de exploatare: extracție sau injectare*.

Semnul "-" indică o sondă de extracție, semnul "+" indică o sondă de injectare. Acest principiu se respectă întotdeauna la fluxurile hidraulice. Pentru fluxul termic de injectare la care $(\theta - \theta_0)$ are valoarea negativă ($-(\theta - \theta_0)$ și $\theta_0=65^\circ\text{C}$), semnul de injecție trebuie să fie negativ și reprezintă cantitatea de căldură necesară pentru apa geotermală reinjectată de a ajunge la temperatura din vecinătatea sondei.

Programul conține o secvență în care se face un test de stabilire a semnului fluxului hidraulic. Dacă acesta este pozitiv, atunci semnul fluxului termic este negativ.

Un regim de funcționare este determinat de valorile debitelor hidraulice și fluxurile termice la cele 21 de sonde de extracție, eventual de injectare.

Variația de temperatură $(\theta - \theta_0)$ de inițializare pentru fluxurile termice de extracție s-a ales de 70°C .

În procesul iterativ de determinare a acestei mărimi, pentru o latură curentă (l_{ij}) a unui element care încadrează o sondă de extracție, se determină cu o relație simplă:

$$(\theta - \theta_0) = \frac{\theta_i + \theta_j}{2} - 7 \quad (6.2)$$

în care s-a considerat pierderea medie de temperatură până la suprafață (7°C).

În procesul *iterativ* de determinare a variației de temperatură $(\theta - \theta_0)$ pentru fluxurile termice de injectare, s-a considerat că apa reziduală are temperatura de 65°C , mediul subteran fiind mai cald, cedează căldură apei reziduale de injectare (și semnul minus).

Prin rezolvarea sistemelor de ecuații cuplate rezultă valorile sarcinii hidraulice și valorile temperaturii în toate nodurile elementelor.

Aceste valori reprezintă puncte distincte $P(x,y,z)$ în sistemul de axe **3D** ce sunt procesate cu un program specializat de interpolare bidimensională "**PLOT88**" după direcțiile O_x , O_y , utilizând *funții spline* de gradul 3.

6.2 Simularea modelării - regim de funcționare R_1

6.2.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_1

Se consideră regimul de exploatare R_1 în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-1564 și P-4632. Debitele hidraulice specifice de extracție și fluxuri-

Tabel nr.6.1

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_b în l/s	q_b în m^3/sm ($\cdot 10^{-3}$)	q_t în $kcal/sm^2$
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52414
2.	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06604
3.	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45177

le termice se introduc în fișierele de tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.1 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.2 pentru sistemele de detaliu..

Tabel nr.6.2

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_b în l/s	q_b în m^3/sm ($\cdot 10^{-3}$)	q_t în $kcal/sm^2$
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.1728	-6.0205
2.	Tomnatic	P-1564	144	142	143	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
3.	Lovrin	P-4632	119	121	120	3.24	-15	-4.6296	-4.5154

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_E din fișierele tip "numk_10.dat" este de 70°C.

6.2.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R_1

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.1, se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.2.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.3 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.4.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr. 6.3...6.4 -sistem detaliu Sănnicolau Mare, tabelul nr.6.5...6.6 - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr.6.7...6.8 - sistem detaliu Lovrin.

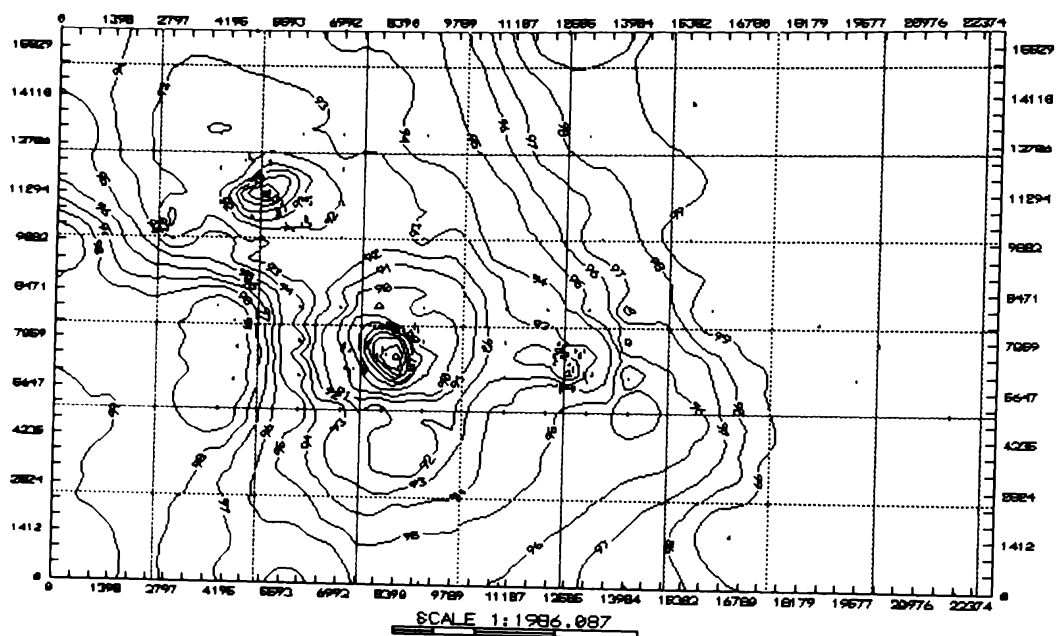


Fig.6.1 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană- regim R_1

Sarcina hidraulică: maximă 100.00, minimă 79.32.

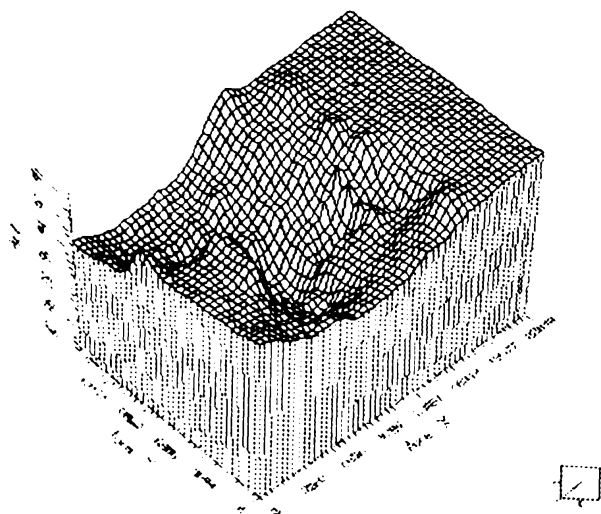


Fig.6.2 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R_1

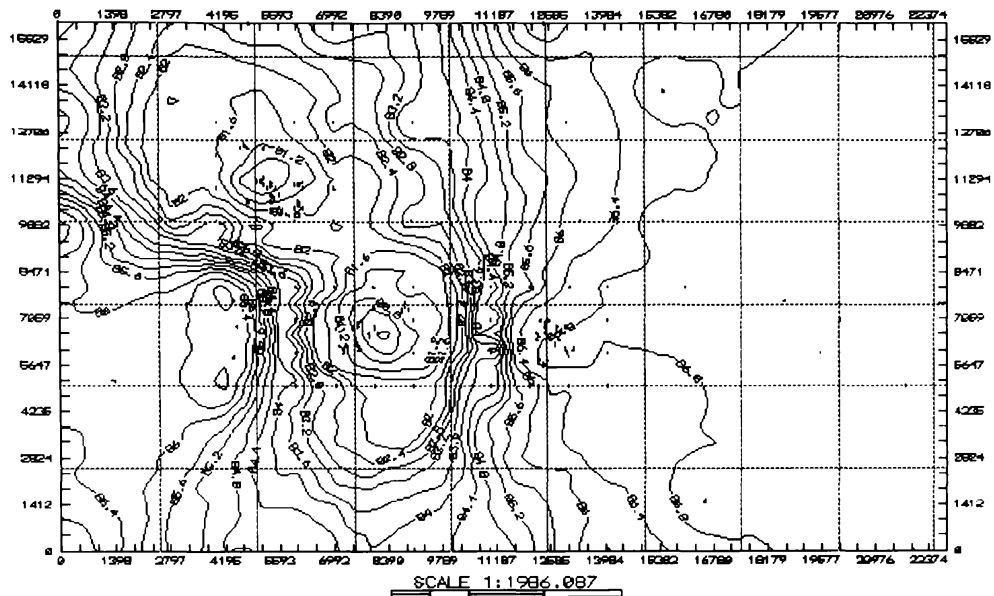


Fig.6.3 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₁

Temperatura: maximă 87.00, minimă 80.36.

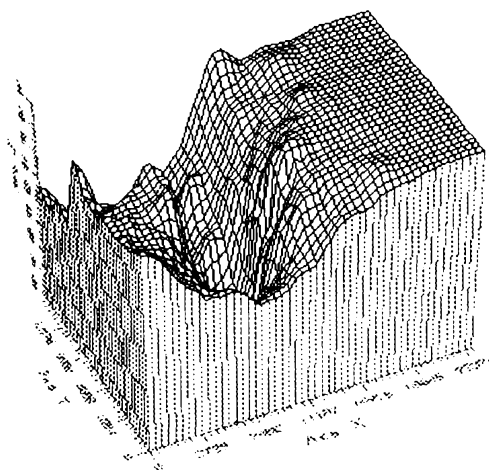


Fig.6.4 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.2

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [±0.00]	Baza de ref. superioară [±100.00]
Trapezoidală	831.482.314,97	74.517.685,03
Simpson	831.502.163,76	74.497.836,23
Simpson 3/8	831.501.074,59	74.498.925,40

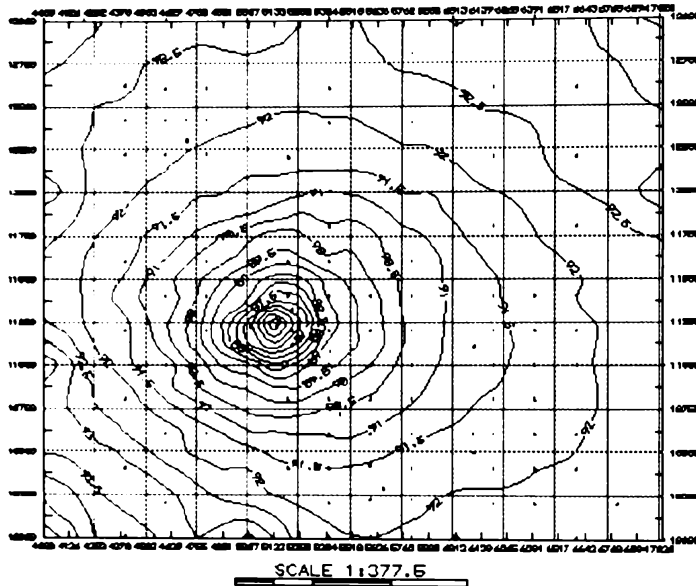


Fig.6.5 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

Pentru sistemul de detaliu Sănnicolau Mare în fig.6.5 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.6.

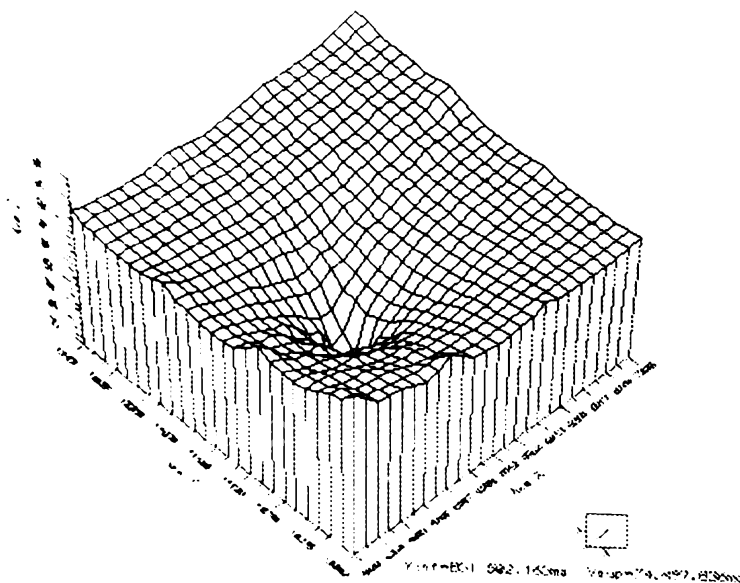


Fig.6.6 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Sarcina hidraulică: maximă 95.49; minimă 83.19.

Tabel nr. 6.3

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	737.750.170,16	50.469.829,83
Simpson	737.754.988,11	50.465.011,88
Simpson 3/8	737.749.612,38	50.470.387,61

Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.7 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.8.

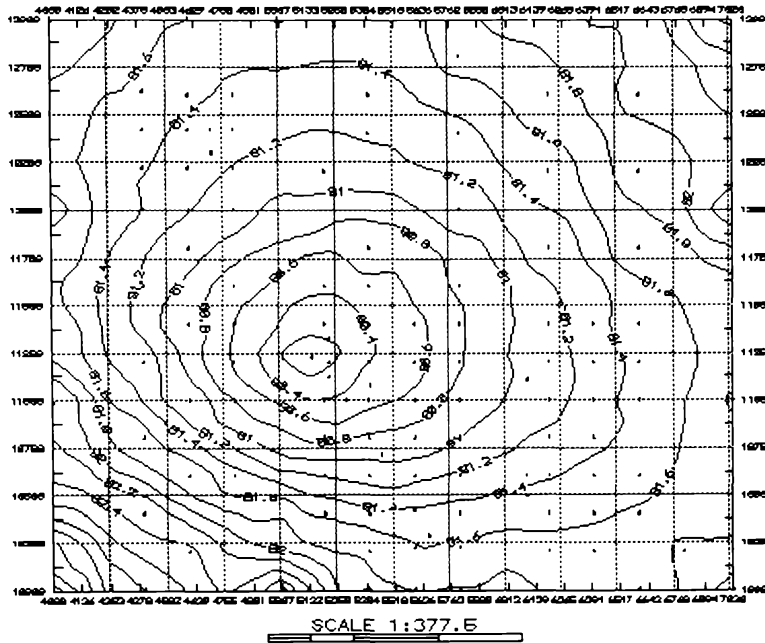


Fig.6.7 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană- regim R₁

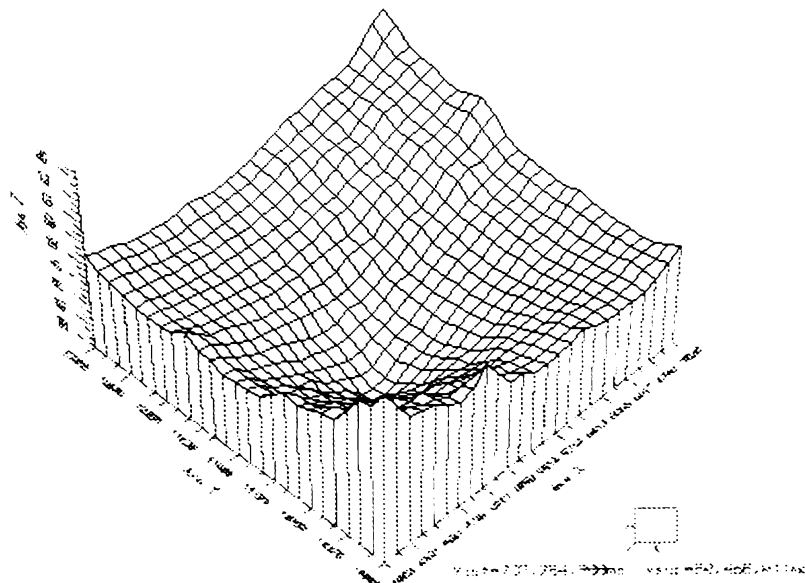


Fig.6.8 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperaturi reprezentare spațială - regim R₁

Temperatura: maximă 83.99; minimă 80.65.

Tabel nr. 6.4

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	811.719.982,64	94.280.017,35
Simpson	811.660.902,69	94.339.097,30
Simpson 3/8	811.732.326,38	94.267.673,61

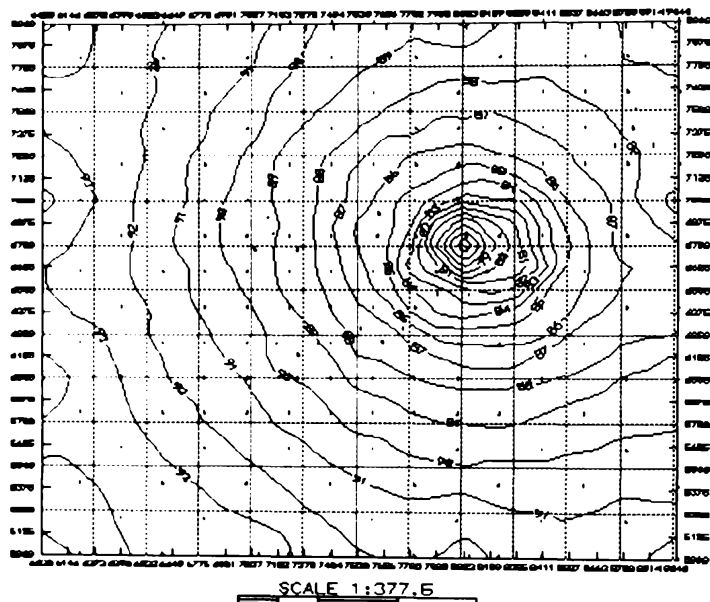


Fig.6.9 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.9 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.10. Sarcina hidraulică: maximă 95.96; minimă 74.68.

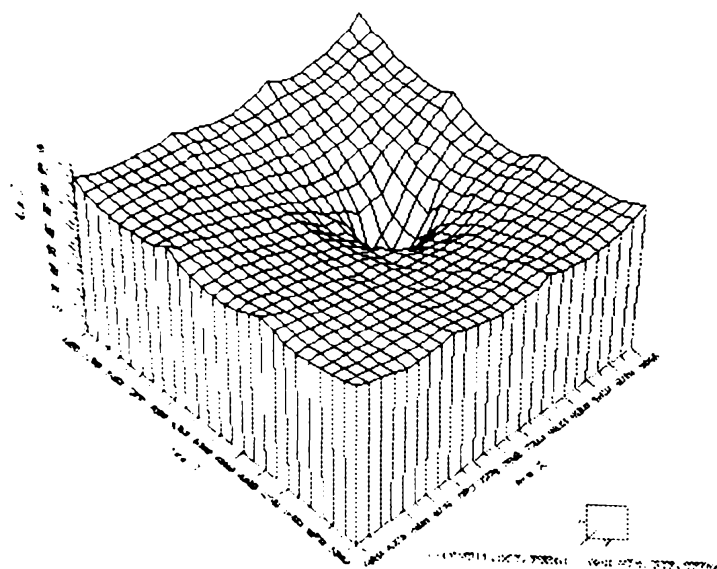


Fig.6.10 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.5

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	738.619.132,01	49.600.867,98
Simpson	738.593.396,83	49.626.603,16
Simpson 3/8	738.620.732,81	49.599.267,18

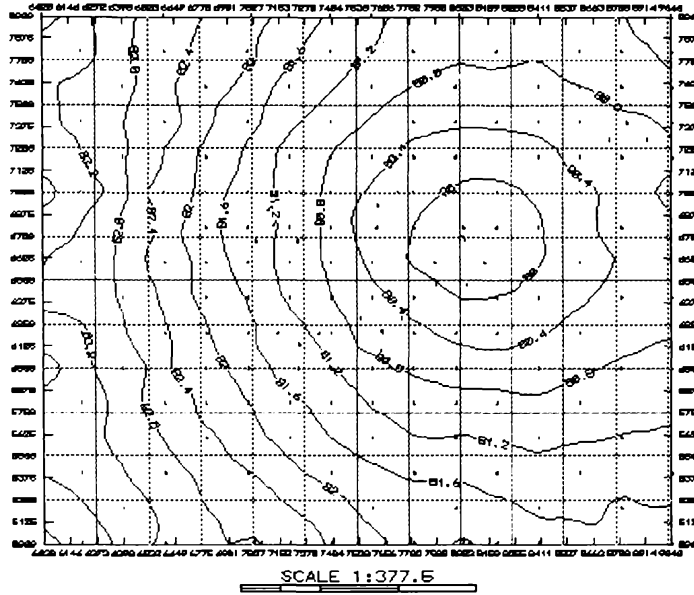


Fig.6.11 Sistem detaliu Tomnatic - câmp de temperatură, reprezentare plană - regim R₁

Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.11 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.12. Temperatura: maximă 84.43; minimă 80.20

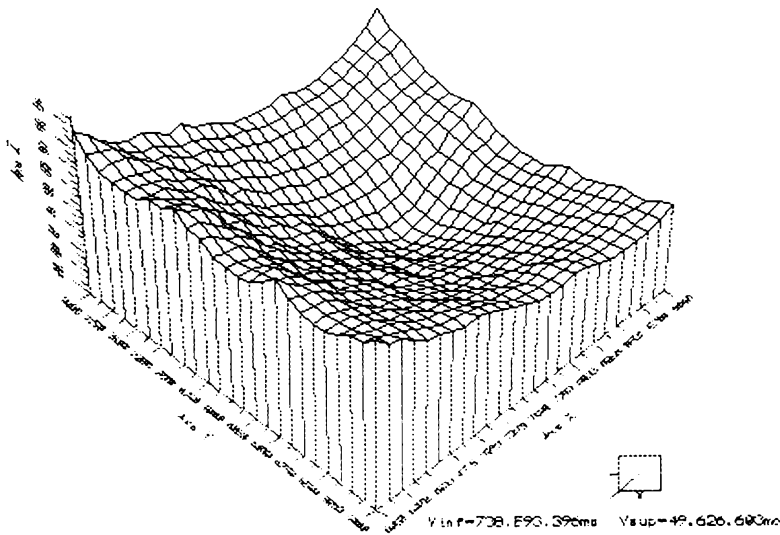


Fig.6.12 Sistem detaliu Tomnatic - câmp de temperatură, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.6

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară (+0.00)	Baza de ref. superioară (+100.00)
Trapezoidală	856.532.149,36	55.467.850,63
Simpson	856.508.490,26	55.491.169,73
Simpson 3/8	856.549.919,27	55.450.080,72

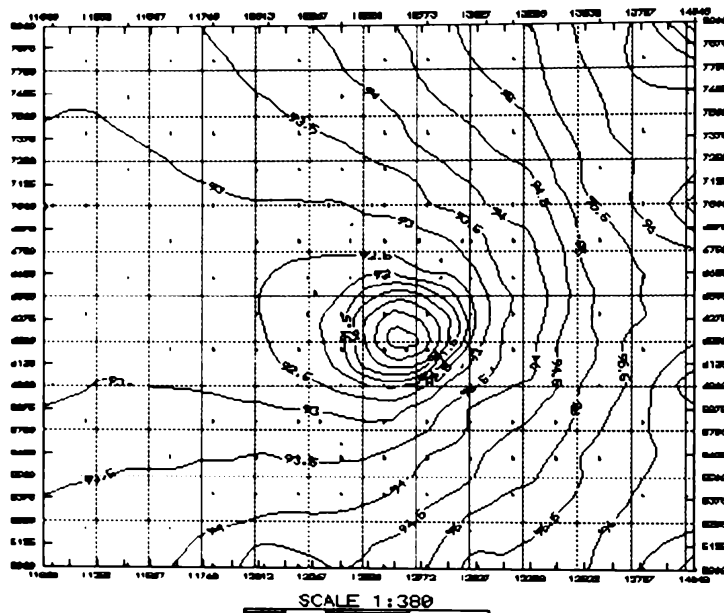


Fig.6.13 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.13 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.14. Sarcina hidraulică: maximă 98.42; minimă 87.74.

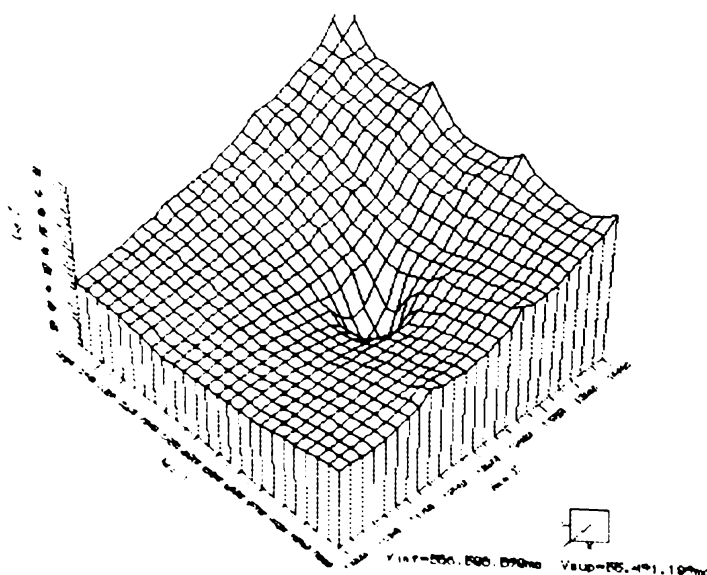


Fig.6.14 Sistem detaliu Lovrin - câmp de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.7

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	779.410.132,49	14.029.867,50
Simpson	779.400.619,25	14.039.380,74
Simpson 3/8	779.413.503,73	14.026.496,26

Temperatura: maximă 86.88; minimă 83.26. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.15 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.16.

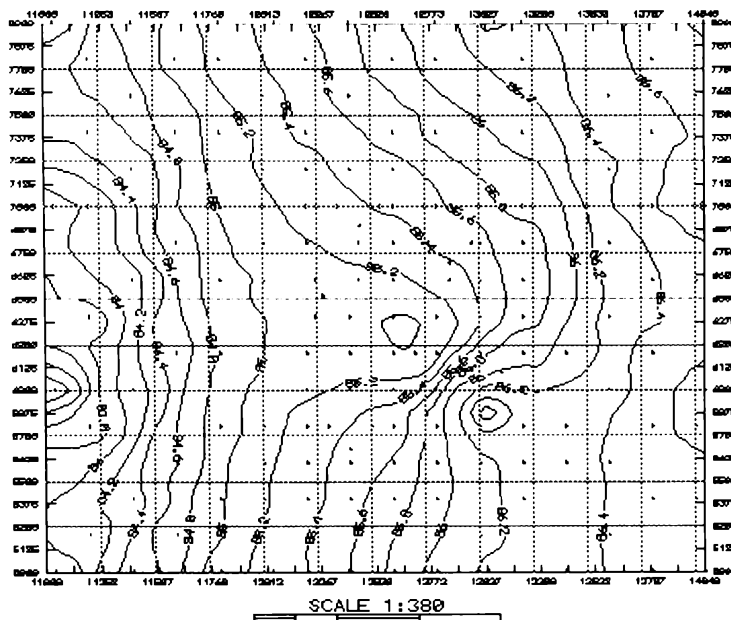


Fig.6.15 Sistem detaliu Lovrin - câmp de temperatură, reprezentare plană - regim R₁

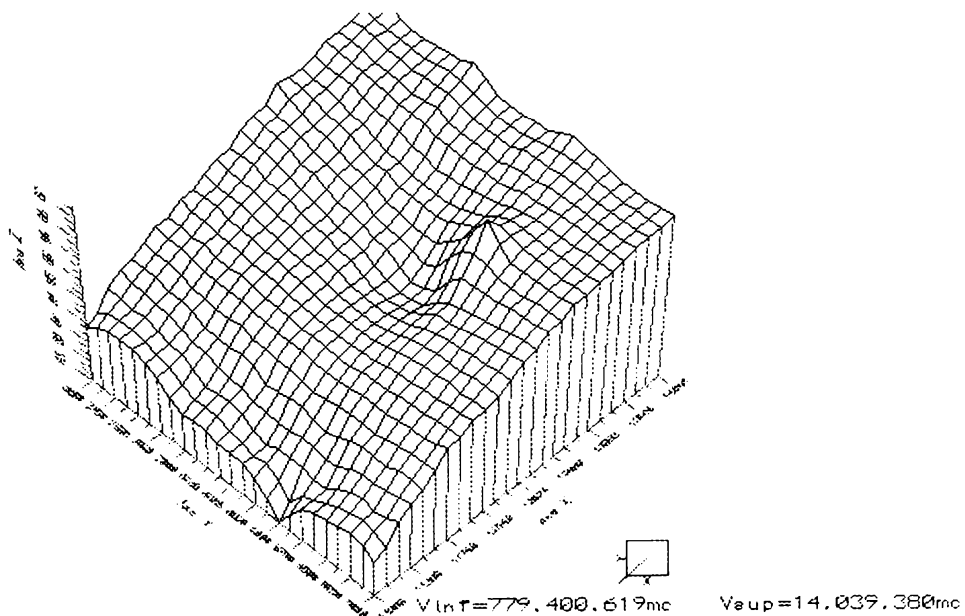


Fig.6.16 Sistem detaliu Lovrin - câmp de temperatură, reprezentare spațială - regim R₁

6.3 Simularea modelării - regim de funcționare R_2

6.3.1 Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_2

Se consideră regimul de exploatare R_2 în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-1564 și P-4632 și injectare $25\% Q_{ext}$ la sondele: P-1522, P-1566 și P-1538. Debitul hidraulic și termic specific de extracție/injecție se introduc în

Tabel nr.6.9

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_b în l/s	q_b în m^3/sm ($\cdot 10^{-3}$)	q_t în $kcal/sm^2$
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52414
		P-1522	129	130	131	34.19	20	0.5849	-0.57047
2.	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06604
		P-1566	13	14	15	35.60	35	0.98315	-0.95889
3.	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45177
		P-1538	42	43	44	32.36	15	0.46353	-0.45210

fișierele specificate la cap.4 de tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.9 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.10 pentru sistemele de detaliu.

Tabel nr.6.10

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_b în l/s	q_b în m^3/sm ($\cdot 10^{-3}$)	q_t în $kcal/sm^2$
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.1728	-6.0205
		P-1522	108	109	110	3.92	20	5.10204	-4.9762
2.	Tomnatic	P-1564	144	142	143	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
		P-1566	77	78	79	3.24	35	10.8025	-10.5360
3.	Lovrin	P-4632	119	121	120	3.24	-15	-4.6296	-4.5154
		P-1538	83	84	85	3.24	15	4.6296	-4.5154

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_{T_i} din fișierele tip "numk_10.dat" este de $70^\circ C$.

6.3.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R_2

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.17 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.18.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.19 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.20.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr.6.11...6.12 - sistem detaliu Sănnicolau Mare, tabelul nr.6.13...6.14 - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr.6.15...6.16 - sistem detaliu Lovrin.

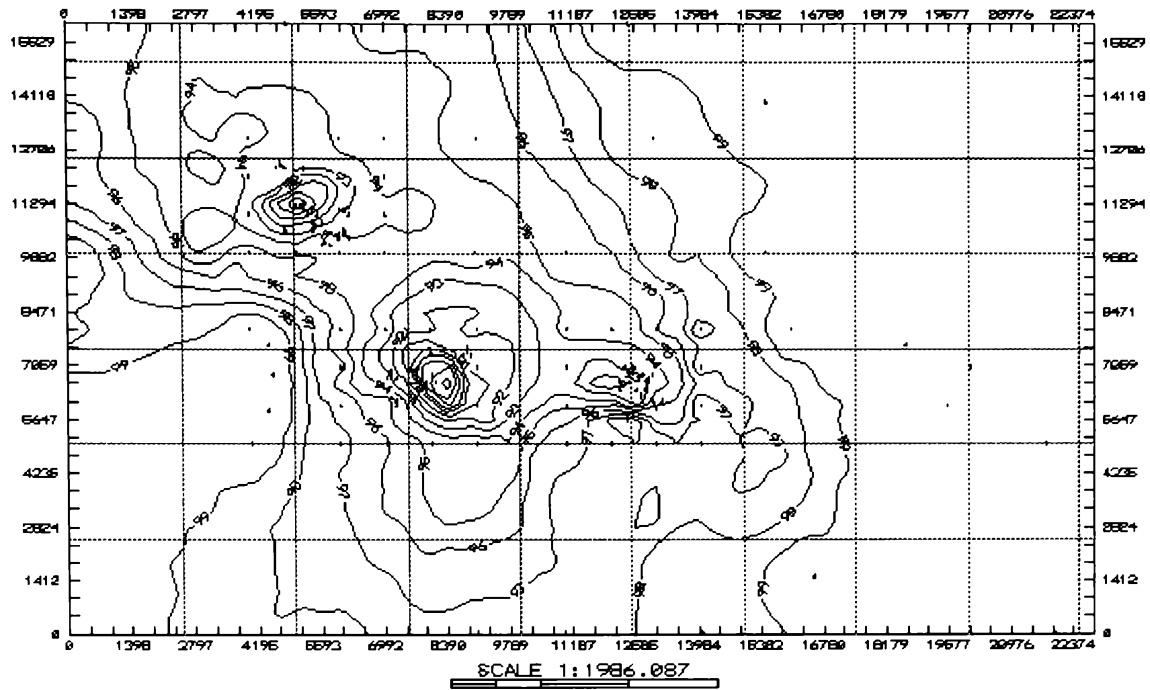


Fig.6.17 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană - regim R_2

Sarcina hidraulică: maximă 100.00 , valoarea minimă 82.176

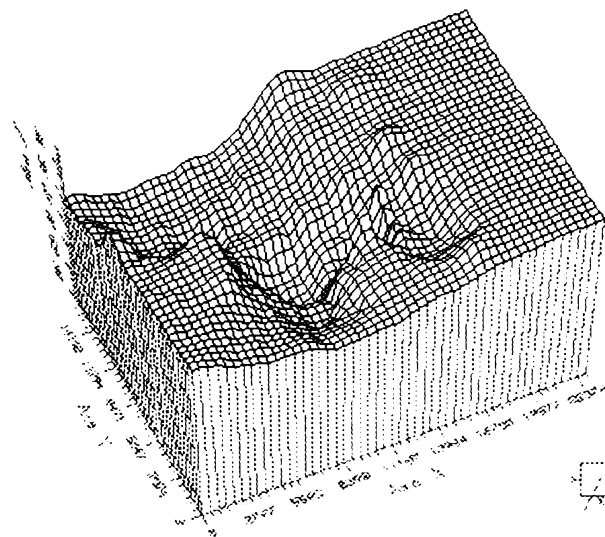


Fig.6.18 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R_2

Temperatura: maximă 87.00, minimă 78.28

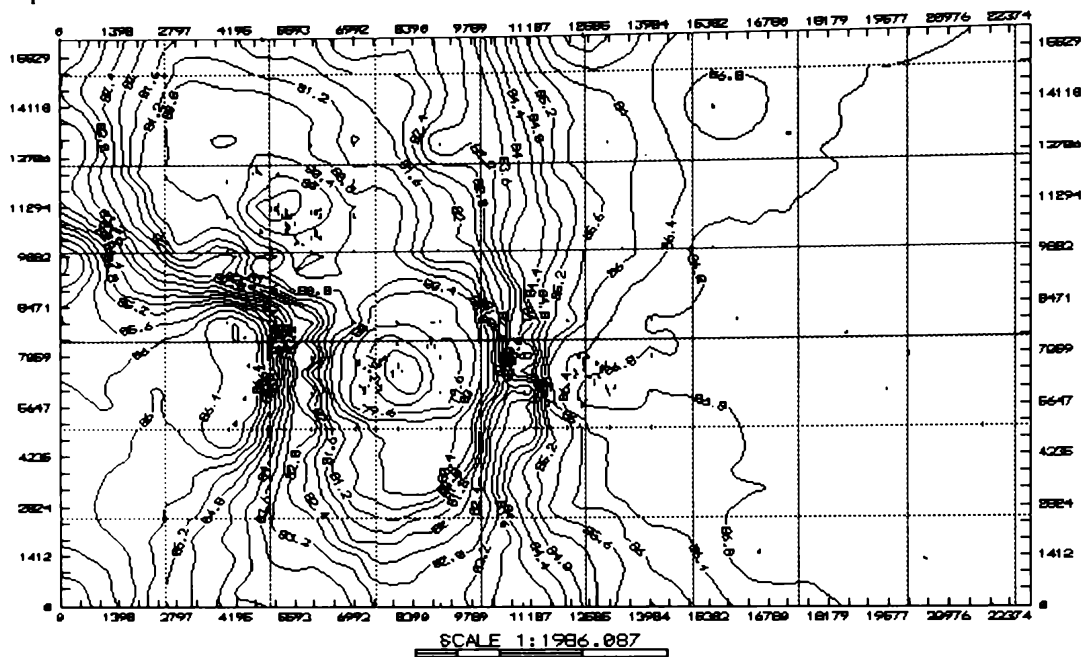


Fig.6.19 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_2

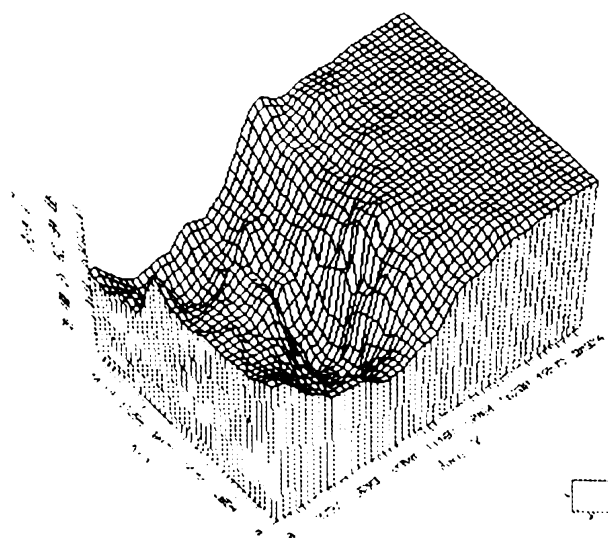


Fig.6.20 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_2

Tabel nr. 6.11

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	847.165.247,25	58.834.752,74
Simpson	847.162.266,75	58.837.733,24
Simpson 3/8	847.192.919,46	58.807.068,28

Sarcina hidraulică: maximă 96.43, minimă 86.04

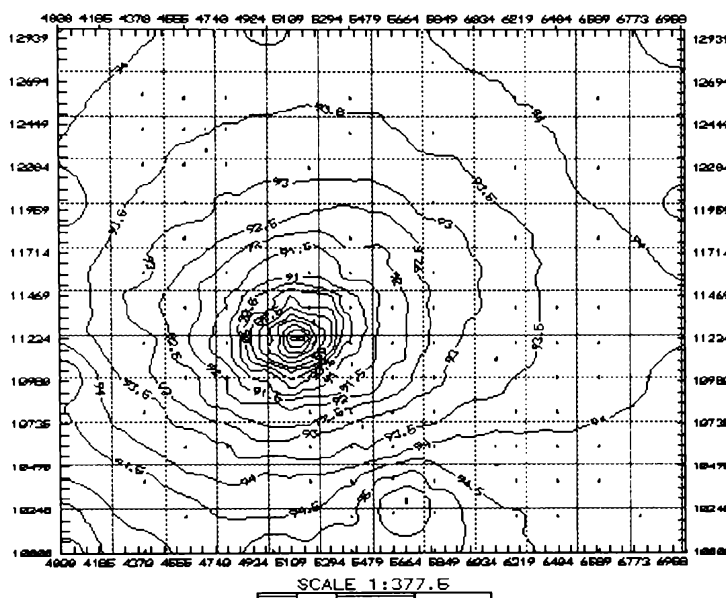


Fig.6.21 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₂

Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.21 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.22.

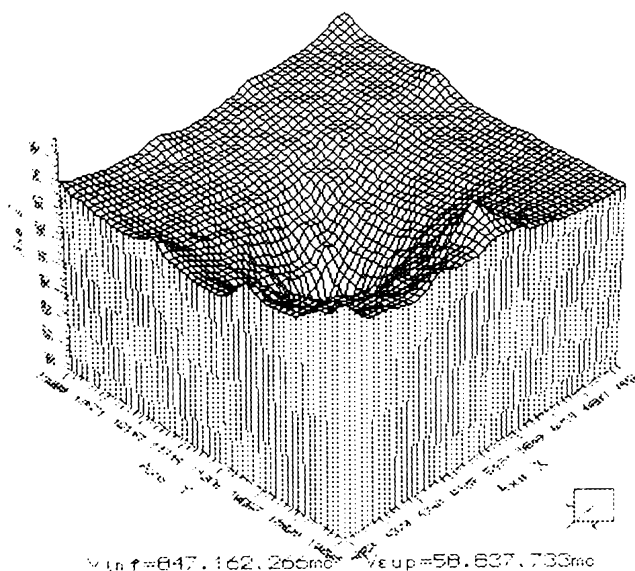


Fig.6.22 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₂

Tabel nr. 6.12

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	727.338.637,34	60.881.362,65
Simpson	727.336.123,40	60.883.876,59
Simpson 3/8	727.342.170,34	60.877.832,05

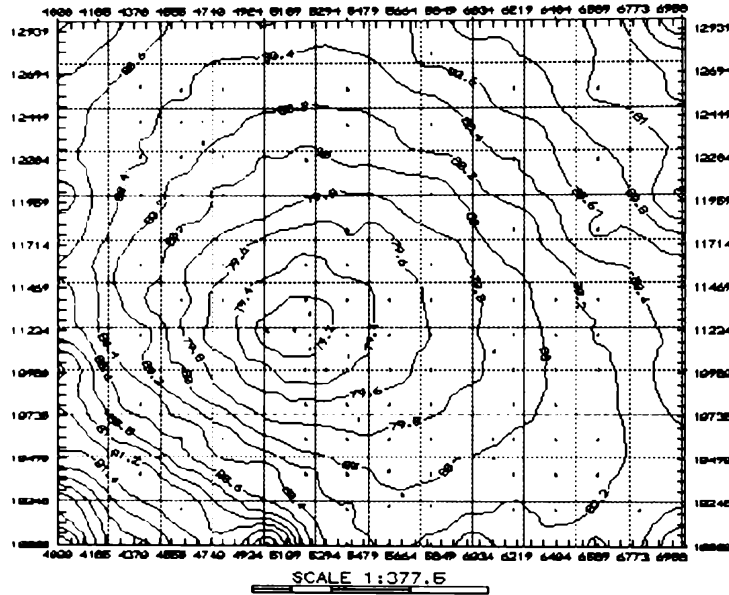


Fig.6.23 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₂

Temperatura: maximă 82.96, minimă 79.04 Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.23 se prezintă câmpul de temperatura într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.24.

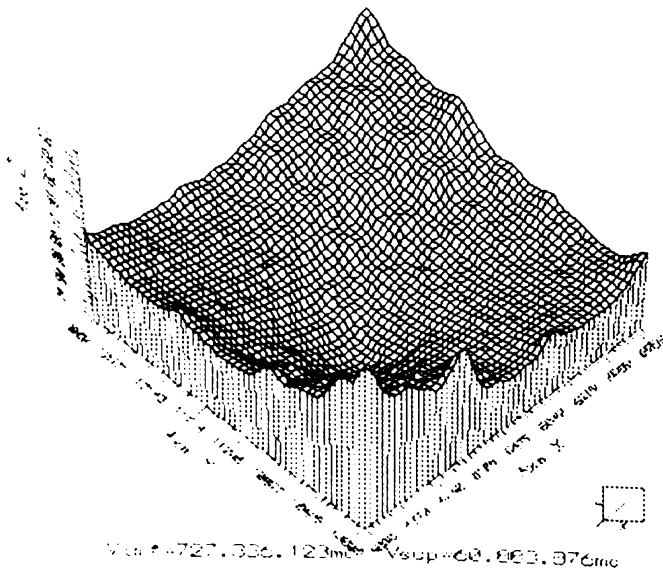


Fig.6.24 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₂

Tabel nr. 6.13

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	837.054.576,27	68.945.423,72
Simpson	837.046.746,83	68.953.253,16
Simpson 3/8	837.044.406,79	68.955.593,20

Sarcina maximă: maximă 97.48, minimă 77.64. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.25 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.26.

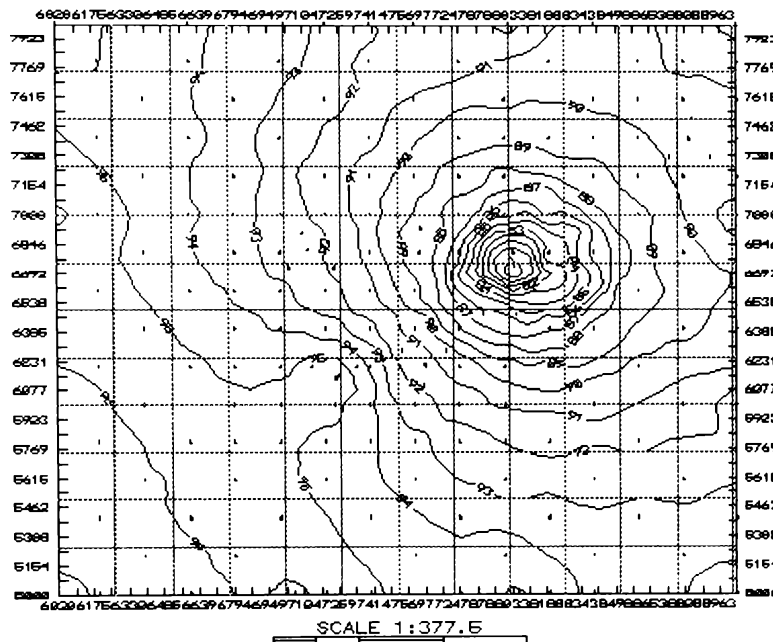


Fig.6.25 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₂

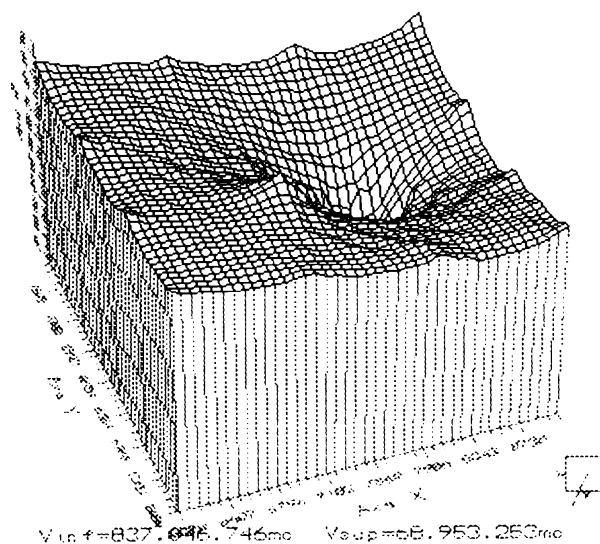


Fig.6.26 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₂

Tabel nr. 6.14

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+37.00]
Trapezoidală	724.529.297,96	63.690.702,03
Simpson	724.528.296,56	63.691.703,43
Simpson 3/8	724.525.713,78	63.694.286,21

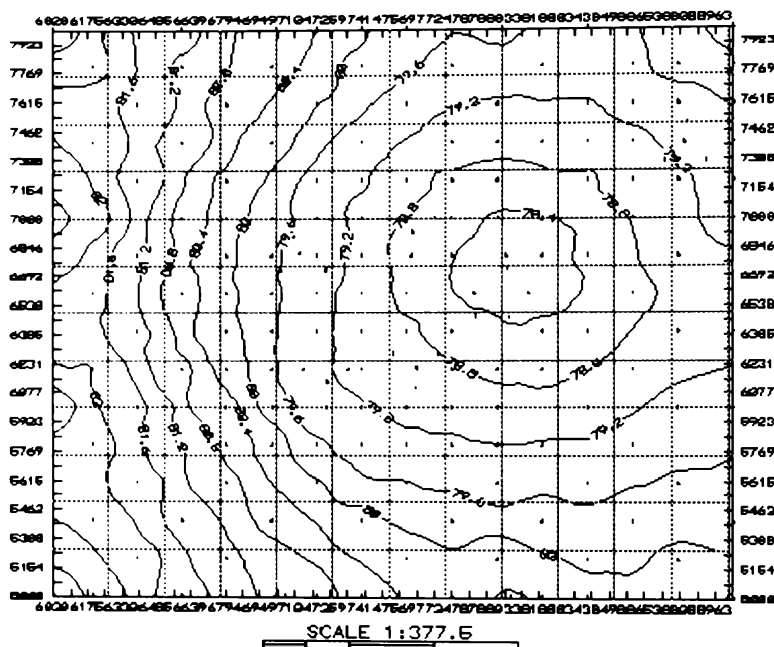


Fig.6.27 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₂

Temperatura: maximă 83.24, minimă 78.08. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.27 se prezintă câmpul de temperatura într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.28.

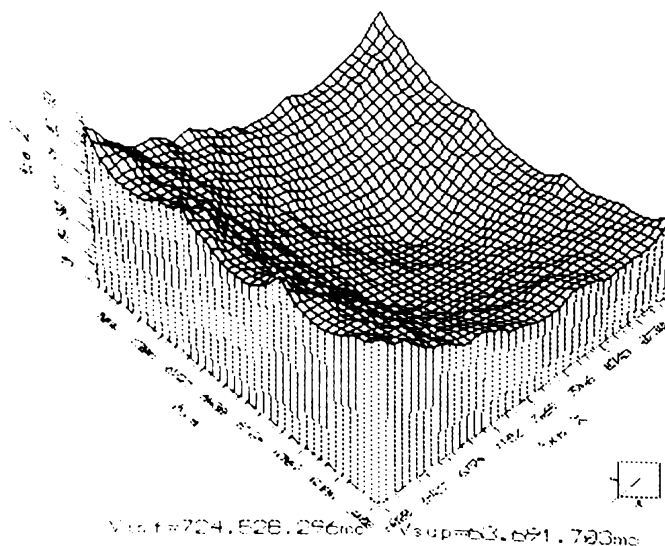


Fig.6.28 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₂

Tabel nr. 6.15

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	868.580.636,52	43.419.363,47
Simpson	868.590.283,31	43.409.716,68
Simpson 3/8	868.581.568,25	43.418.431,56

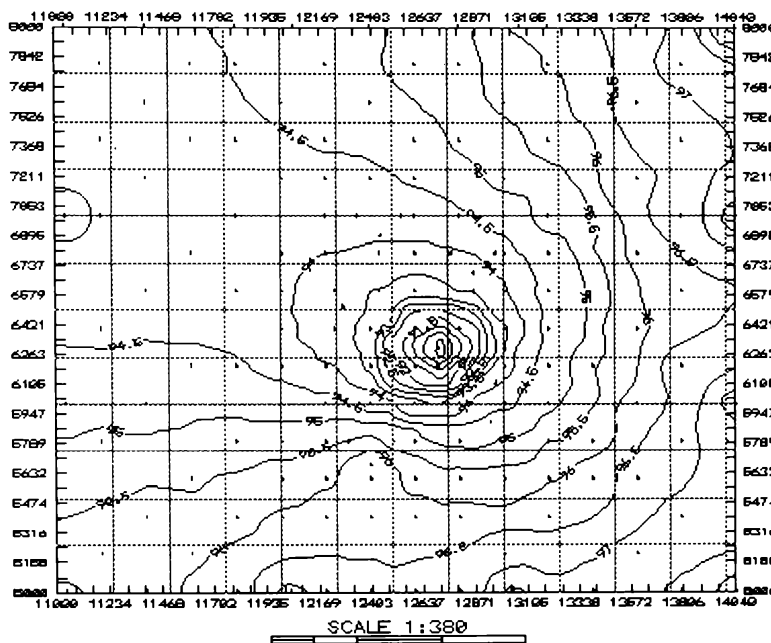


Fig.6.29 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₂

Sarcina hidraulică: maximă 98.68, minimă 80.48. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.29 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.30

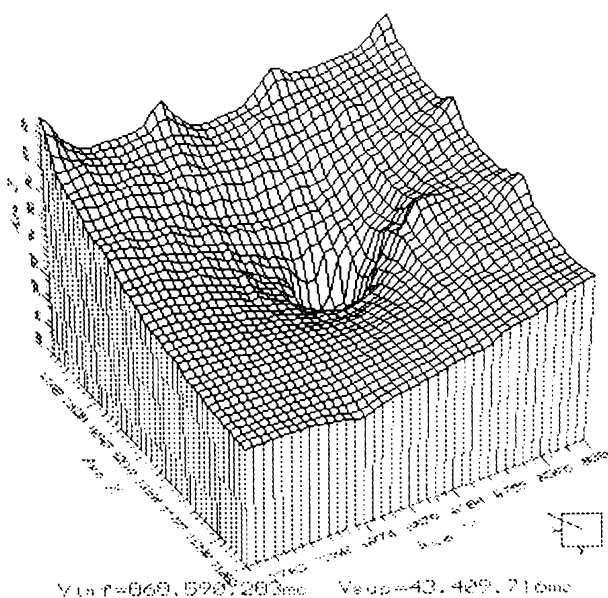


Fig.6.30 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₂

Tabel nr. 6.16

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+37.00]
Trapezoidală	771.087.152,65	22.352.847,34
Simpson	771.085.310,80	22.354.689,19
Simpson 3/8	771.089.618,52	22.350.381,31

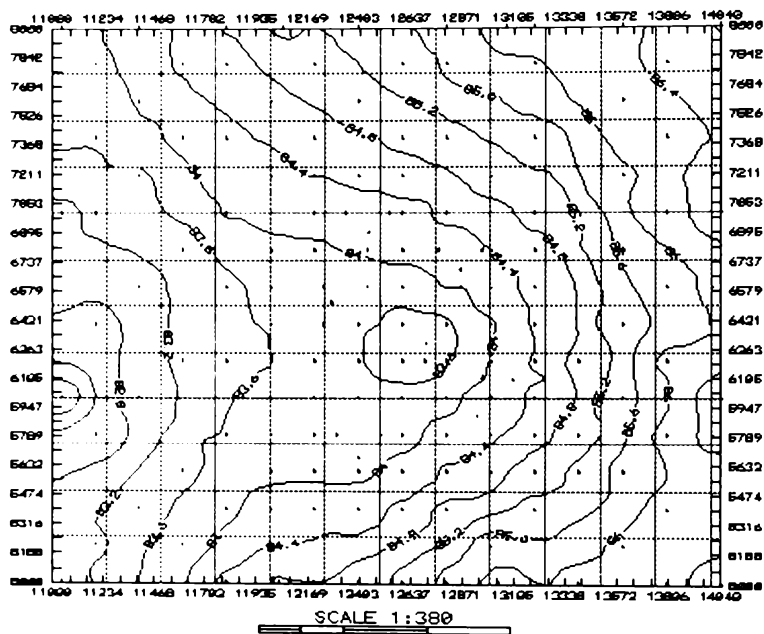


Fig.6.31 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₂

Temperatura: maximă 86.84, minimă 81.65. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.31 se prezintă câmpul de temperaturi într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.32

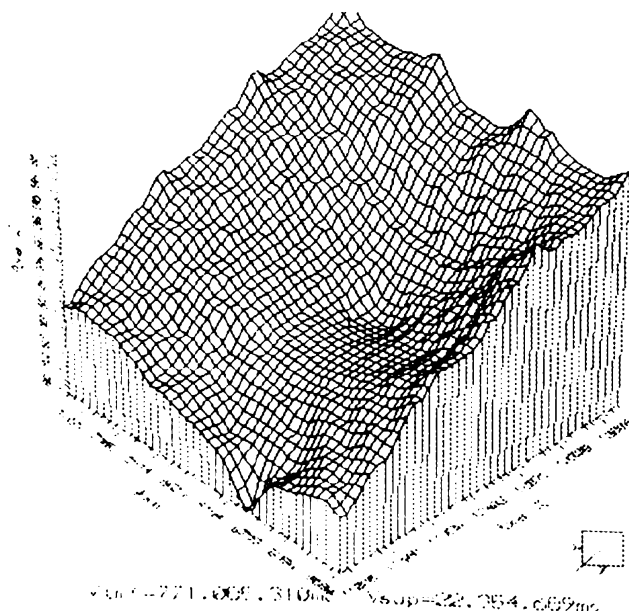


Fig.6.32 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₂

6.4 Simularea modelării - regim de funcționare R₃

6.4.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R₃

Se consideră regimul de exploatare R₃ în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-1564 și P-4632 și injecțare parțială la sondele: P-1522, P-1566 și P-1538. Debitele hidraulice și termice specifice de extracție/injecție se introduc în

Tabel nr.6.17

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q _b în l/s	q _b în m ³ /sm (*10 ⁻³)	q _t în kcal/sm ²
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52414
		P-1522	129	130	131	34.19	10	0.2925	-0.28527
2.	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06604
		P-1566	13	14	15	35.60	17.5	0.49157	-0.47945
3.	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45177
		P-1538	42	43	44	32.36	7.5	0.23177	-0.22605

fișierele specificate la cap.4 de tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.17 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.18 pentru sistemele de detaliu.

Tabel nr.6.18

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr. nr.	Nod			Perimetru element în m	Q _b în l/s	q _b în m ³ /sm (*10 ⁻³)	q _t în kcal/sm ²
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.1728	-6.0205
		P-1522	108	109	110	3.92	10	2.55102	-2.4881
2.	Tomnatic	P-1564	144	142	143	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
		P-1566	77	78	79	3.24	17.5	5.40123	-5.2680
3.	Lovrin	P-4632	119	121	120	3.24	-15	-4.6296	-4.5154
		P-1538	83	84	85	3.24	7.5	2.3148	-2.2577

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_i din fișierele tip "numk_10.dat" este de 70°C.

6.4.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R₃

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.33 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.34.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.35 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.36.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr.6.19...6.20 - sistem detaliu Sănnicolau Mare, tabelul nr.6.21...6.22 - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr. 6.23...6.24 - sistem detaliu Lovrin.

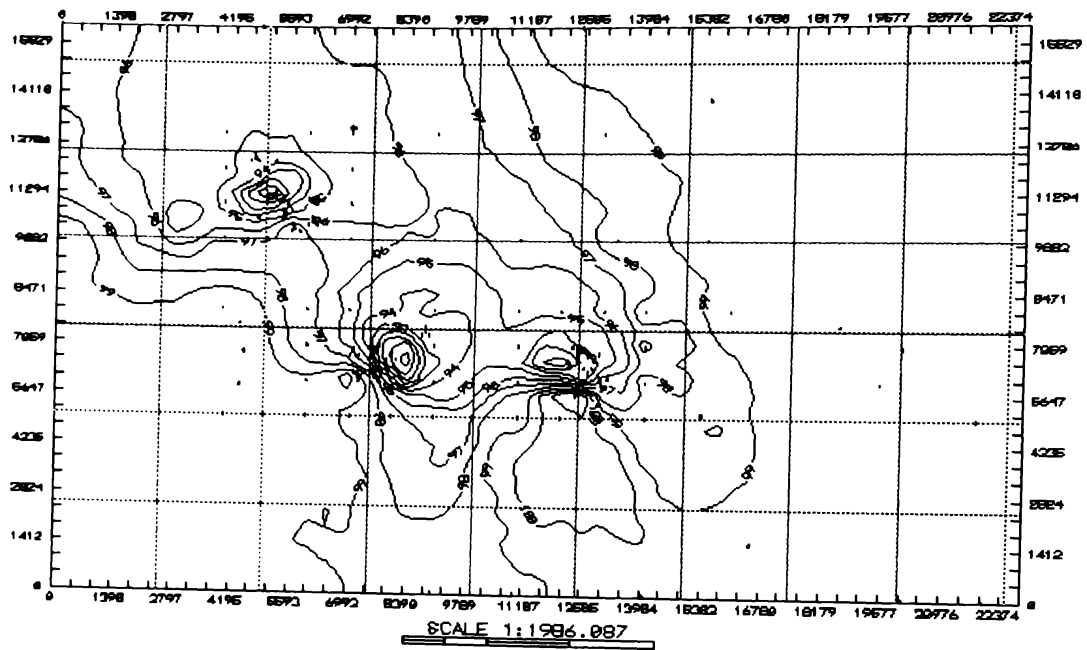


Fig.6.33 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană - regim R₃

Sarcina hidraulică: maximă 103.24, minimă 85.03

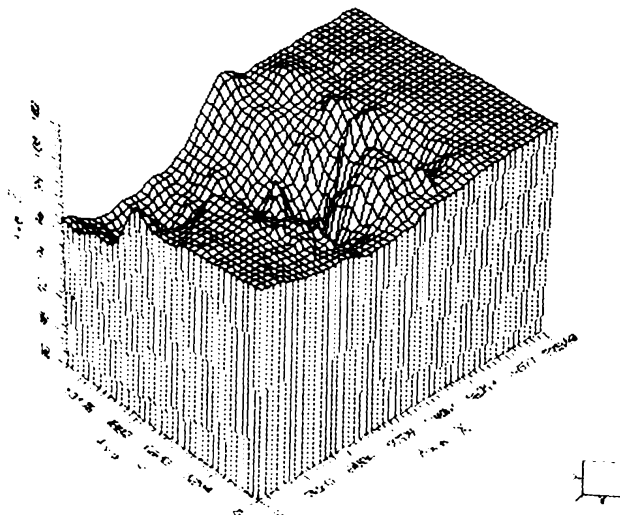


Fig.6.34 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R₃

Temperatura: maximă 87.00, minimă 75.12

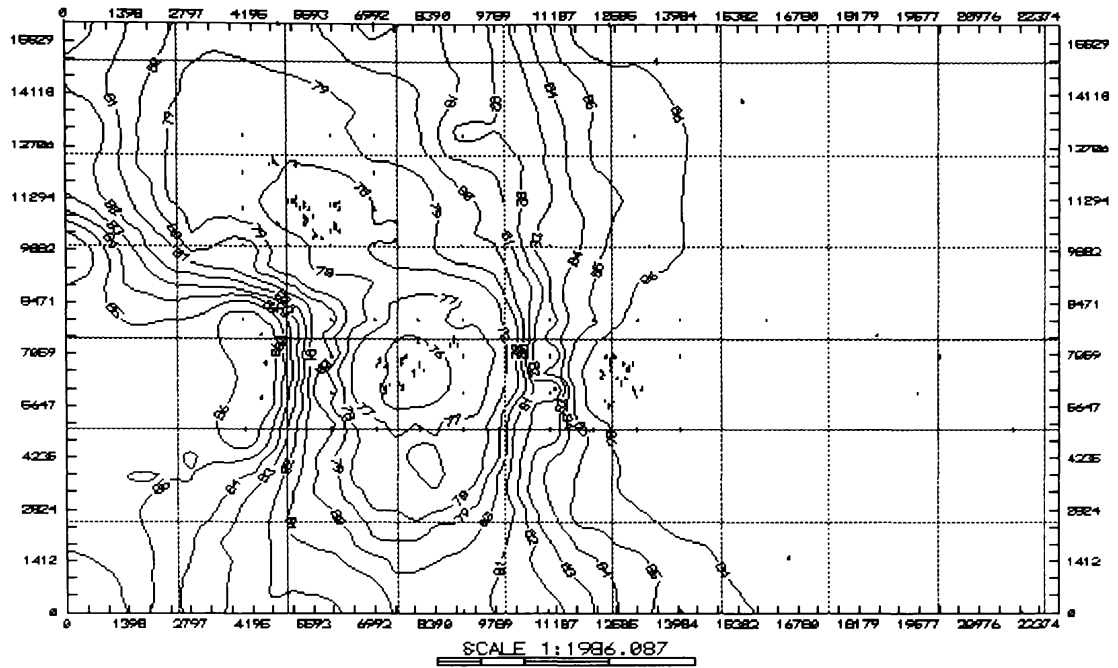


Fig.6.35 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₃

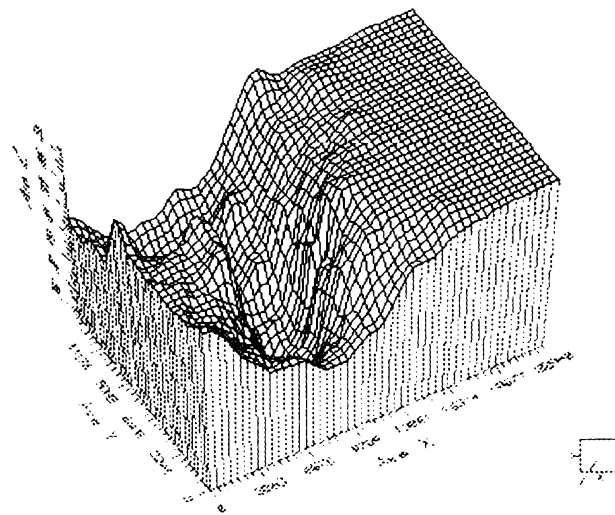


Fig.6.36 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₃

Tabel nr. 6.19

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară (+0.00)	Baza de ref. superioară (+100.00)
Trapezoidală	862.845.700,98	43.154.299,01
Simpson	862.843.521,39	43.156.475,60
Simpson 3/8	862.874.182,18	43.125.820,56

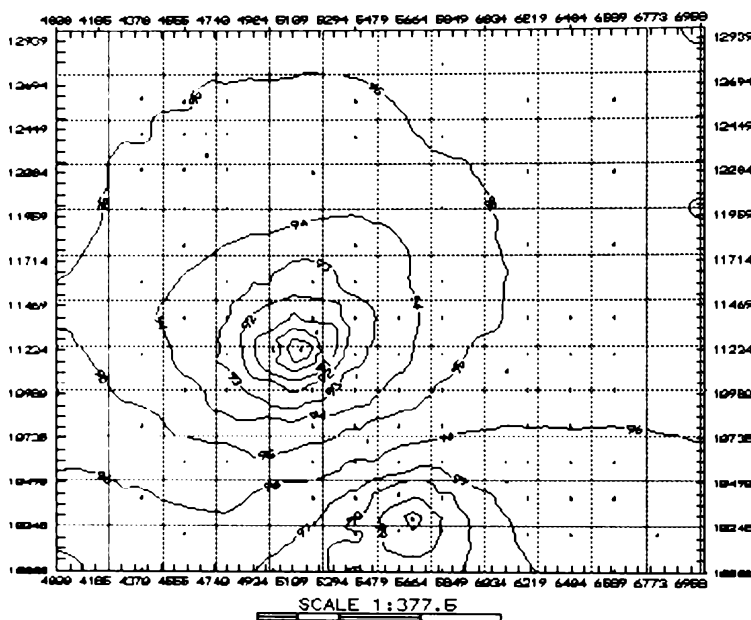


Fig.6.37 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R_3

Sarcina hidraulică: maximă 100.34, minimă 87.86. Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare, în fig.6.37 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.38.

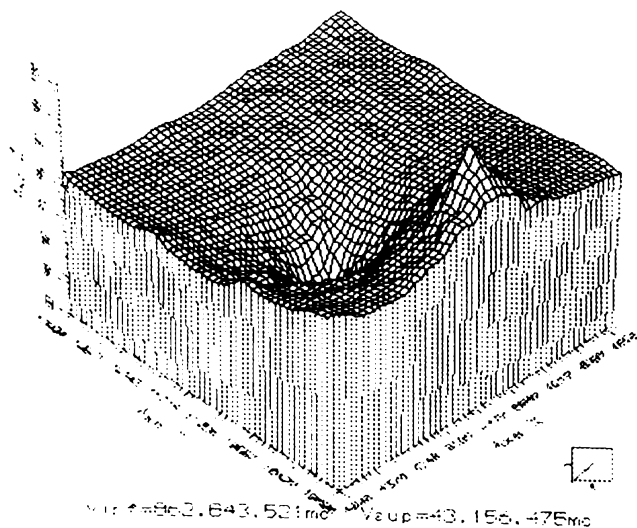


Fig.6.38 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R_3

Tabel nr. 6.20

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	706.701.063,11	81.518.936,88
Simpson	706.698.238,88	81.521.761,31
Simpson 3/8	706.704.080,60	81.515.921,79

Temperatura: maximă 81.26, minimă 76.74. Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare, în fig.6.37 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.38.

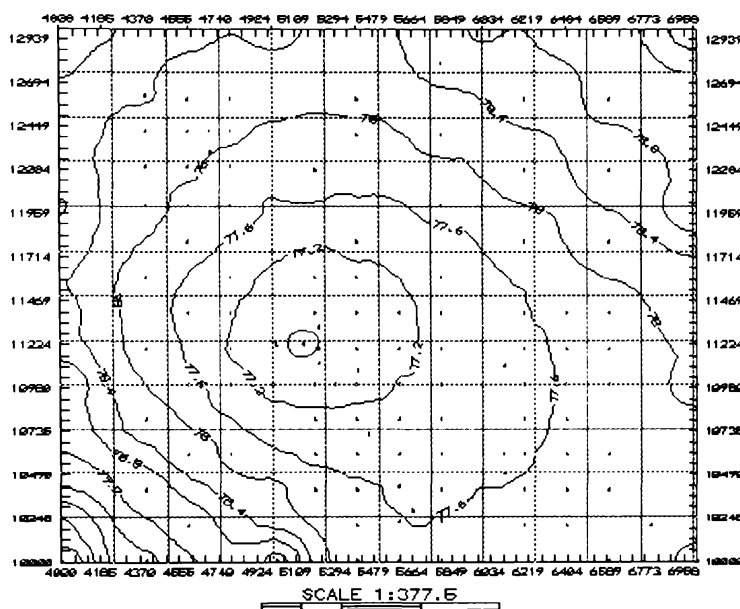


Fig.6.39 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₃

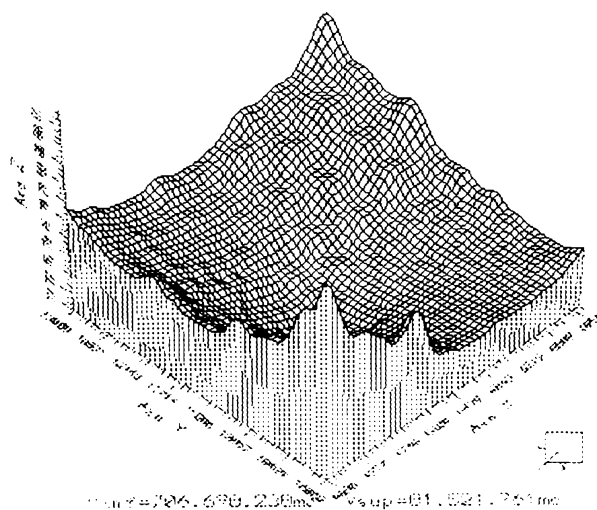


Fig.6.40 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₃

Tabel nr. 6.21

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	862.386.748,03	42.613.251,96
Simpson	862.391.437,81	42.613.251,18
Simpson 3/8	862.368.589,36	43.631.413,38

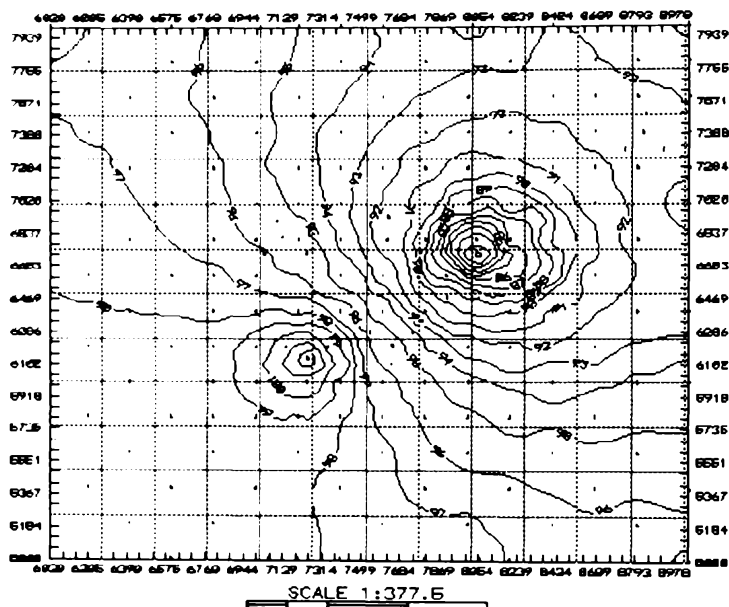


Fig.6.41 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₃

Valoarea maximă 102.67, valoarea minimă 80.59. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic, în fig.6.41 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.42.

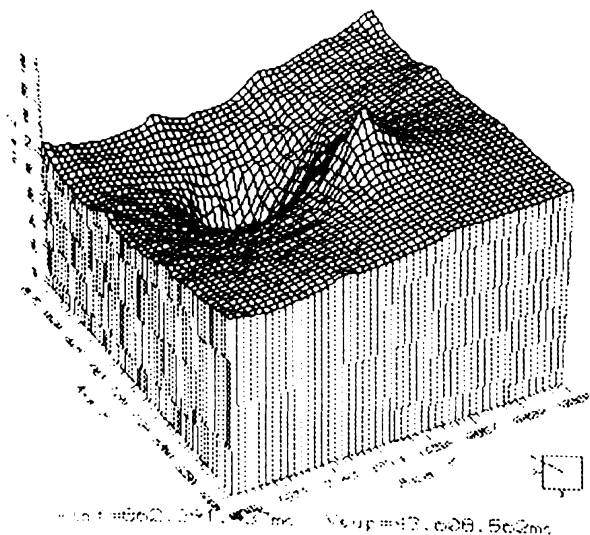


Fig.6.42 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₃

Tabel nr. 6.22

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+07.00]
Trapezoidală	694.265.128,09	93.954.871,90
Simpson	694.264.981,19	93.955.018,80
Simpson 3/8	694.265.935,88	93.954.066,51

Temperatura: maximă 80.45, minimă 74.88. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic, în fig.6.43 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.44.

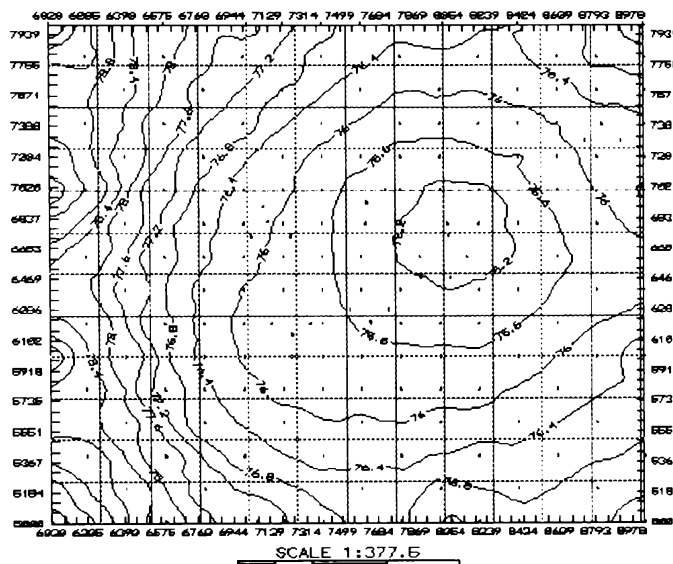


Fig.6.43 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₁

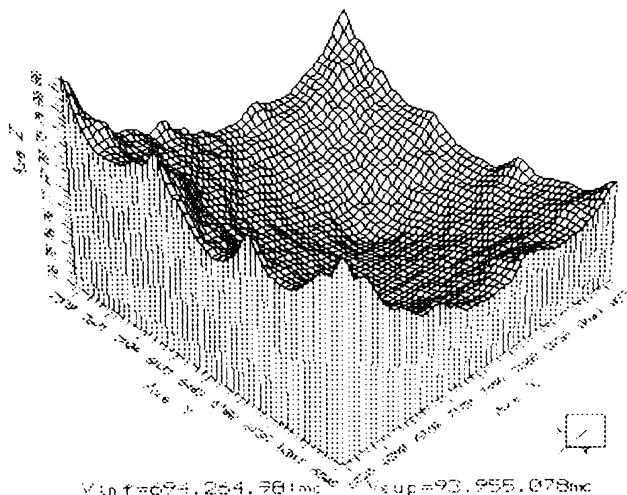


Fig.6.44 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.23

Metoda de integrare	Volumul (m ³)	
	Baza de ref. inferioară (+0.00)	Baza de ref. superioară (+100.00)
Trapezoidală	882.157.971,83	29.842.028,16
Simpson	882.160.611,52	29.839.388,47
Simpson 3/8	882.177.110,74	29.822.890,64

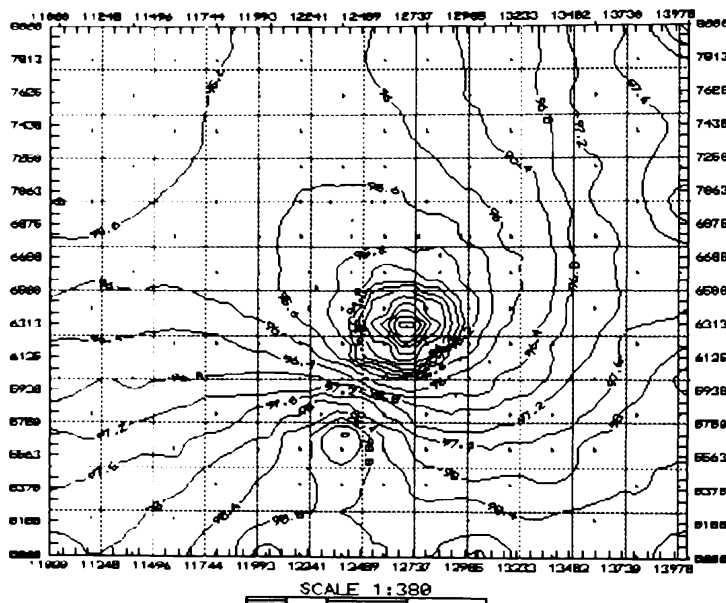


Fig.6.45 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R_s

Sarcina hidraulică: maximă 99.71, minimă 91.22. Pentru sistemul de detaliu Lovrin, în fig.6.45 se prezintă câmpul de sarcini hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.46.

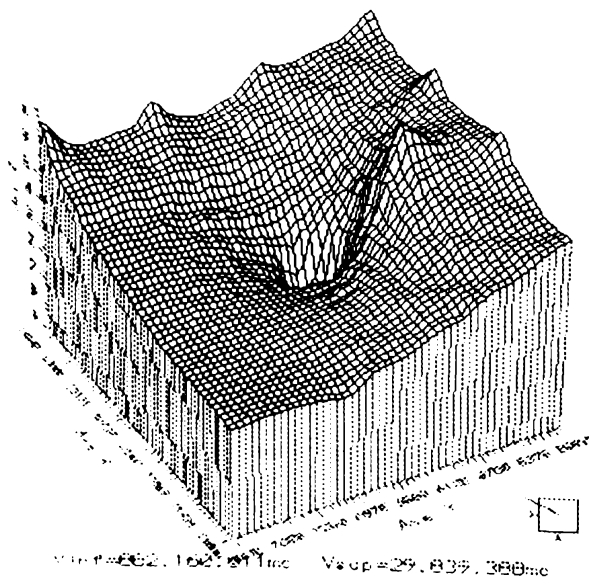


Fig.6.46 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R_s

Tabel nr. 6.24

Metoda de integrare	Volumul, m ³	
	Baza de ref. inferioară (+0.00)	Baza de ref. superioară (+07.00)
Trapezoidală	764.415.804,51	29.024.195,48
Simpson	764.414.428,76	29.024.571,23
Simpson 3/8	764.420.170,22	29.019.830,98

Temperatura: maximă 86.80, minimă 79.87. Pentru sistemul de detaliu Lovrin, în fig.6.47 se prezintă câmpul de temperatură într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.48.

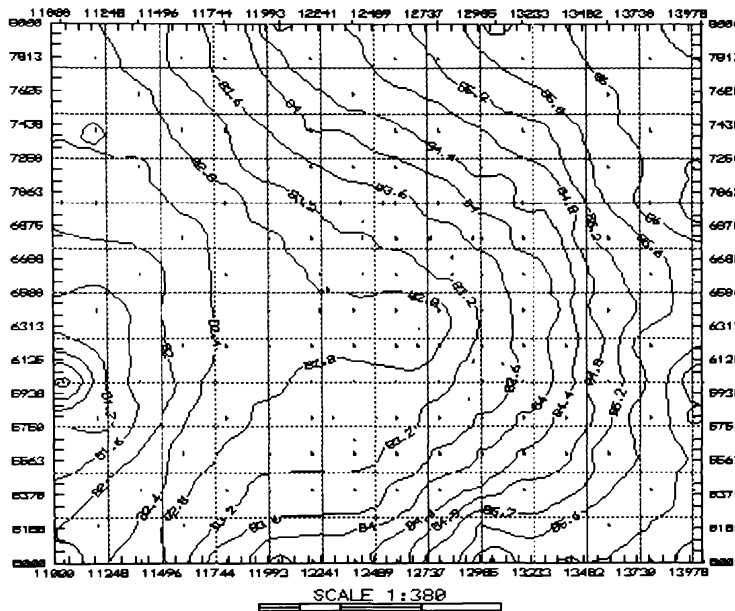


Fig.6.47 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₃

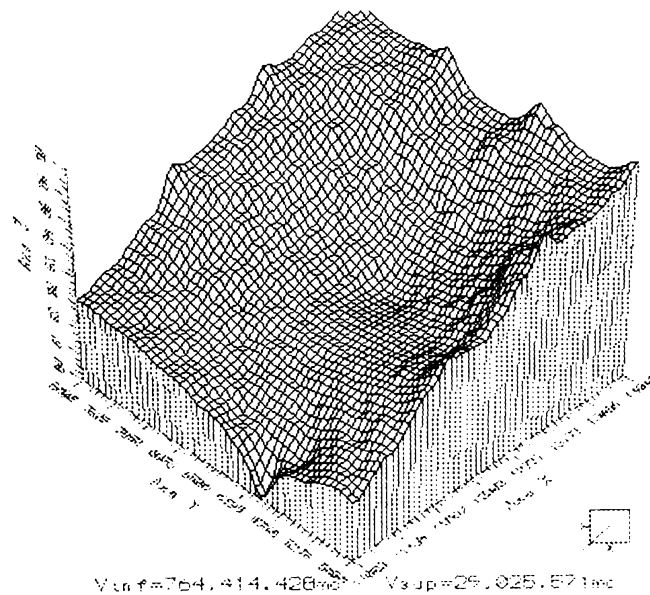


Fig.6.48 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₃

6.5 Simularea modelării - regim de funcționare R_4

6.5.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_4

Se consideră regimul de exploatare R_4 în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-4631, P-4645, P-1564, P-1566, P-1567, P-4632, P-4607, P-1543. Debitul hidraulic și termic de extracție se introduc în fișiere specificate la cap.4 de

Tabel nr.6.25

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_h în l/s	q_h în m^3/sm ($*10^{-3}$)	q_t în kcal/ sm^2
1	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52409
		P-4631	169	170	171	32.80	-18	-0.5488	-0.53524
		P-4645	184	185	186	49.39	-18	-0.3644	-0.35546
2	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06345
		P-1566	13	14	15	37.22	-15	-0.4030	-0.39307
		P-1567	57	58	59	35.51	-15	-0.4224	-0.41199
3	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45182
		P-4607	117	118	119	34.88	-22	-0.6307	-0.61518
		P-1543	48	49	50	32.38	-10	-0.3088	-0.30121

tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.25 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.26 pentru sistemele de detaliu.

Tabel nr.6.26

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_h în l/s	q_h în m^3/sm ($*10^{-3}$)	q_t în kcal/ sm^2
1	Sănnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.17283	-6.02057
		P-4631	127	128	129	3.24	-18	-6.55555	-5.41852
		P-4645	78	79	80	3.24	-18	-5.55555	-5.41852
2	Tomnatic	P-1564	142	143	144	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
		P-1566	77	78	79	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-1567	74	75	76	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
3	Lovrin	P-4632	119	120	121	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-4607	80	81	82	3.24	-22	-6.79012	-6.62263
		P-1543	136	137	150	3.03	-10	-3.30033	-3.21892

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_f din fișierele tip "numk_10.dat" este de 70°C.

6.5.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R_4

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.49 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.50.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.51 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.52.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr. 6.27...6.28 -sistem detaliu Sănnicolau Mare, tabelul nr. 6.29..6.30) - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr. 6.31...6.32 - sistem detaliu Lovrin.

Sarcina hidraulică: maximă 100.00, minimă 68.13

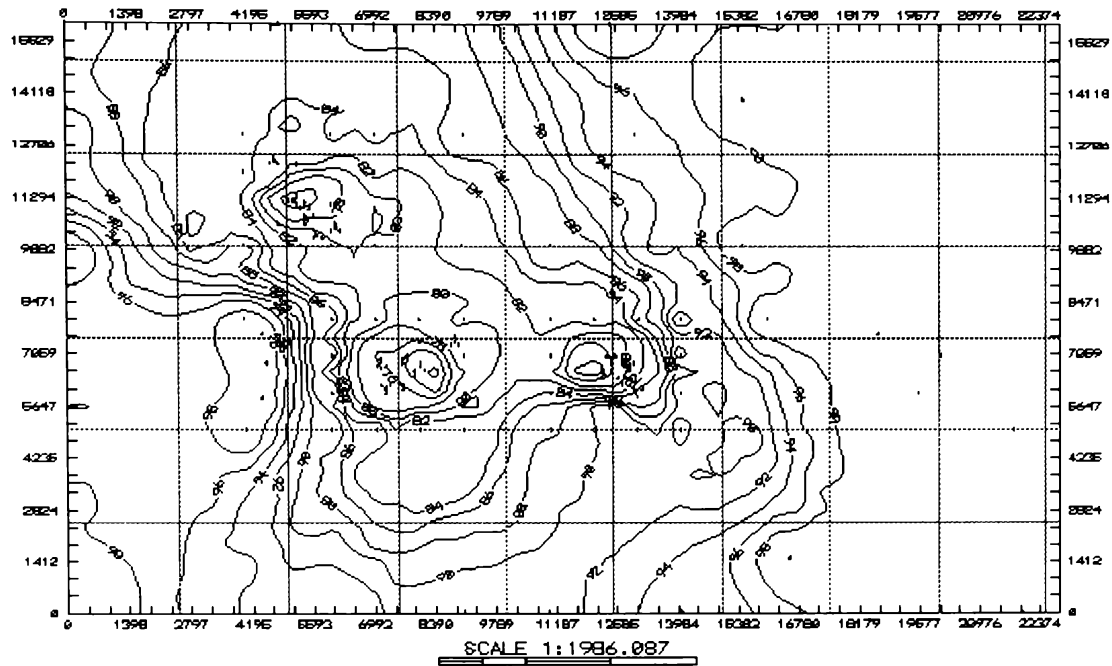


Fig.6.49 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană - regim R_4

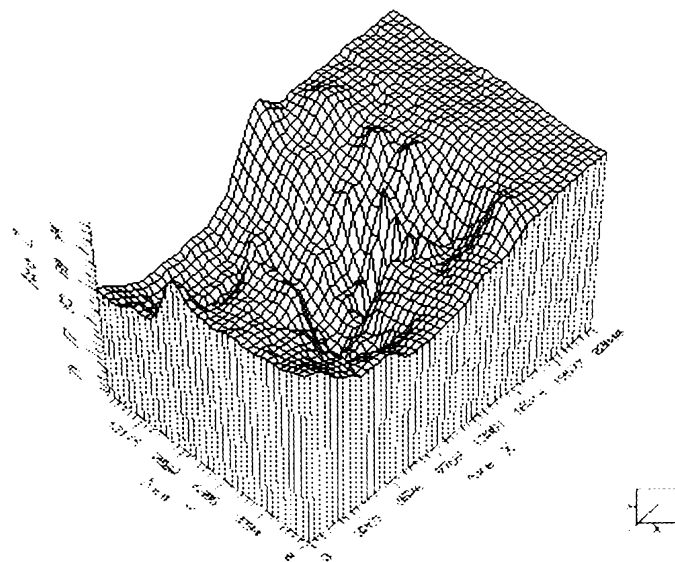


Fig.6.50 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R_4

Temperatura: maximă 87.00, minimă 80.78

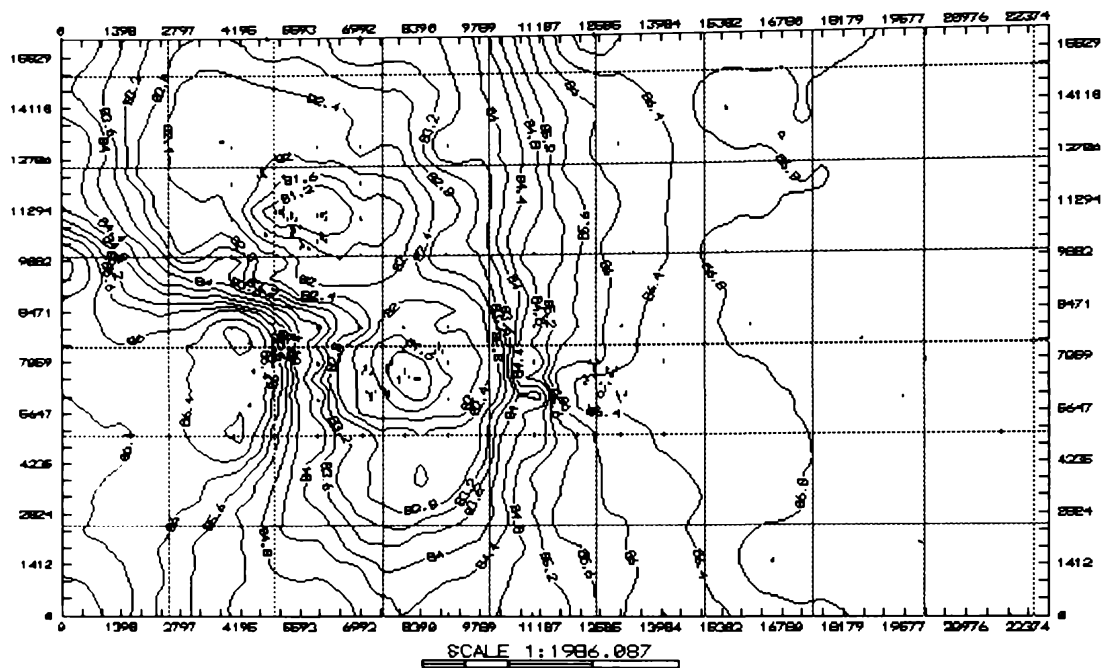


Fig.6.51 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_4

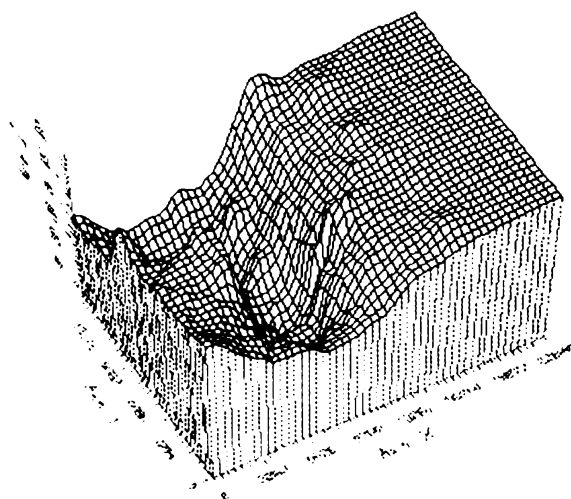


Fig.6.52 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_4

Tabel nr. 6.27

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	723.604.010,90	182.395.989,09
Simpson	723.591.428,76	182.406.579,29
Simpson 3/8	723.662.359,30	182.337.643,45

Sarcina hidraulică: maximă 90.14, minimă 68.22. Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.53 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.54.

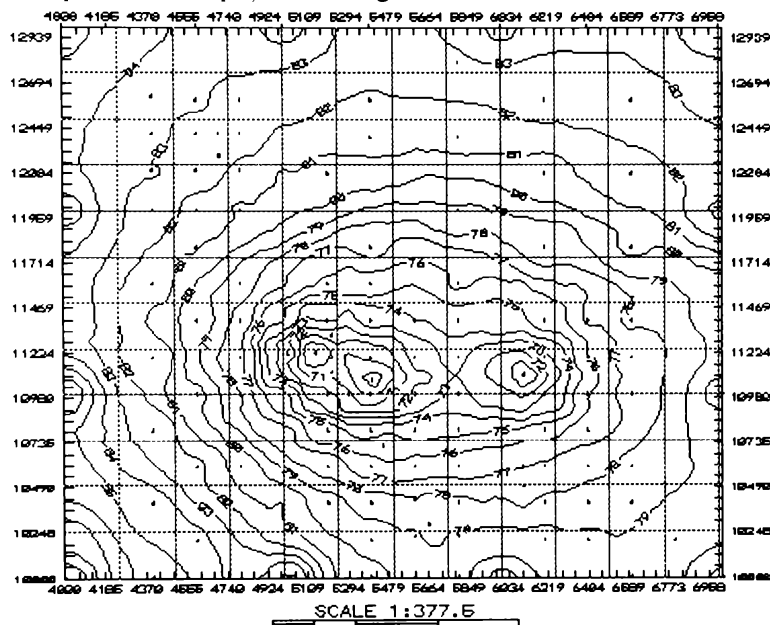


Fig.6.53 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

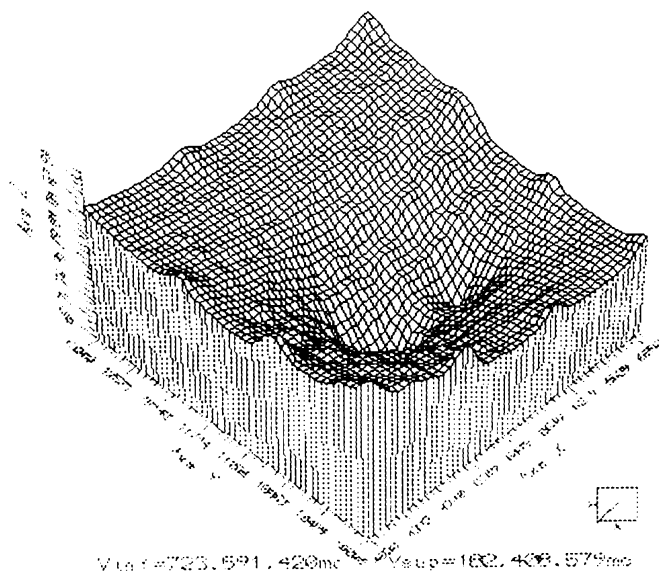


Fig.6.54 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.28

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+57.00]
Trapezoidală	739.823.567,77	48.396.432,22
Simpson	739.821.426,72	48.398.479,27
Simpson 3/8	739.828.047,41	48.391.954,97

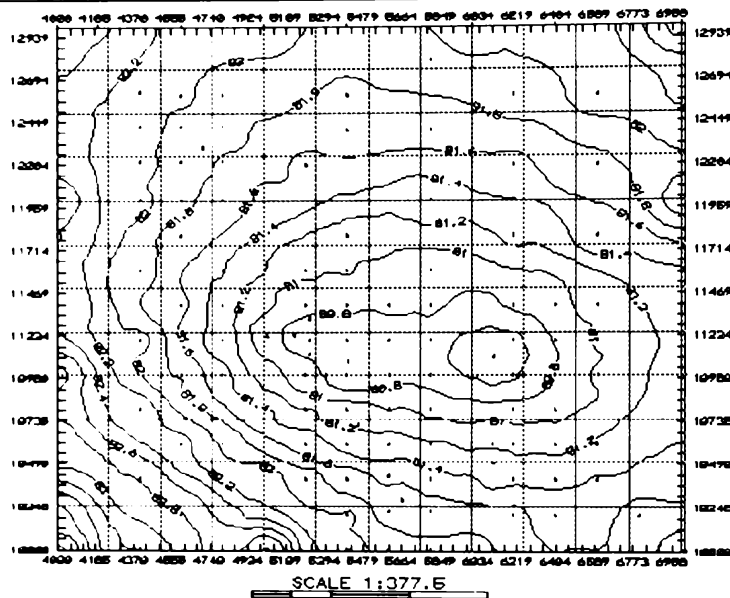


Fig.6.55 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₁

Temperatura: maximă 84.08, minimă 80.45 Pentru sistemul de detaliu Sănnicolau Mare în fig.6.55 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.56.

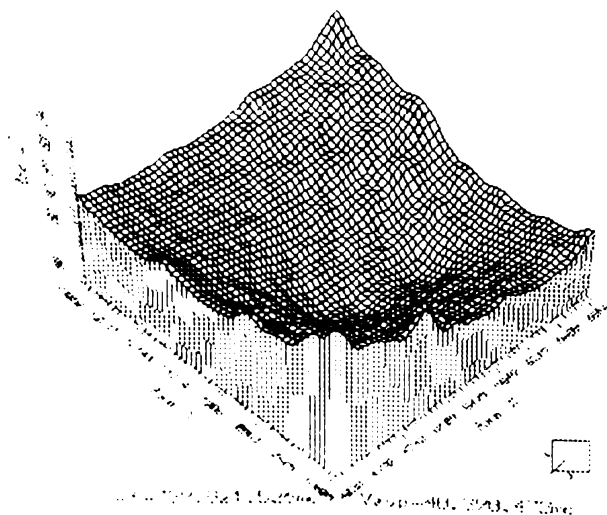


Fig.6.56 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.29

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	713.107.431,82	192.892.568,17
Simpson	713.105.071,24	192.894.928,75
Simpson 3/8	713.134.327,27	192.865.675,98

Sarcina hidraulică: maximă 91.08, minimă 62.83. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.57 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.58.

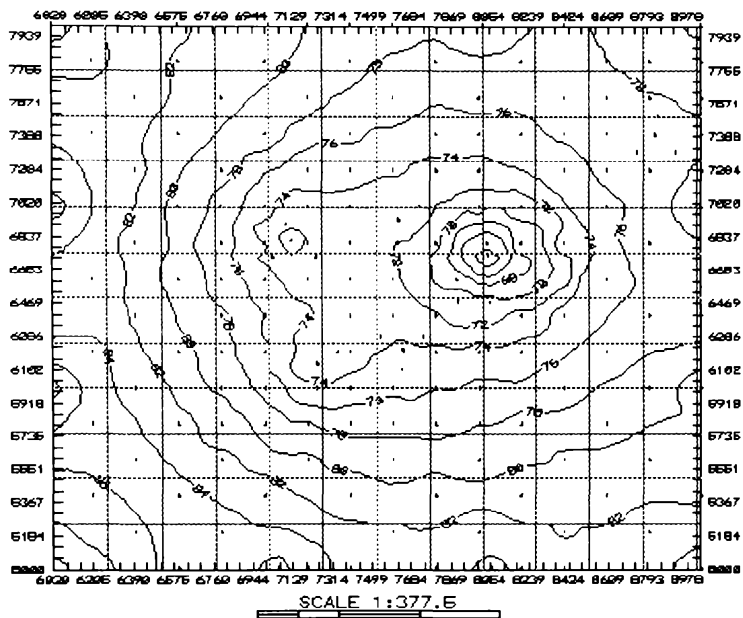


Fig.6.57 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

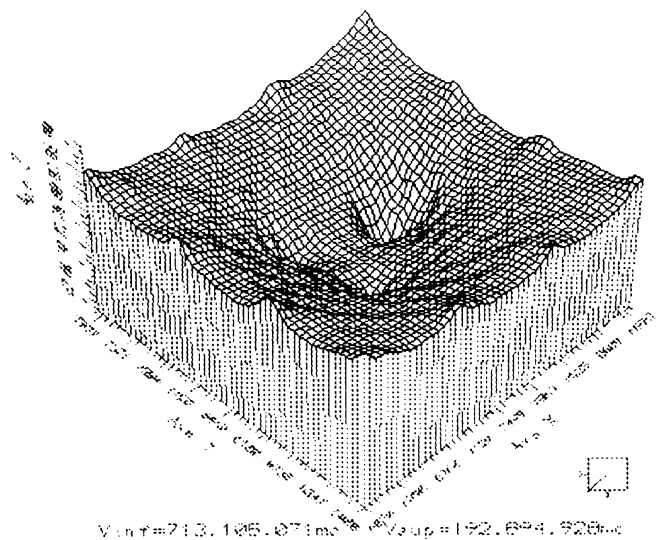


Fig.6.58 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.30

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+07.00]
Trapezoidală	744.438.933,94	43.781.066,05
Simpson	744.438.820,01	43.781.179,08
Simpson 3/8	744.440.858,13	43.779.144,26

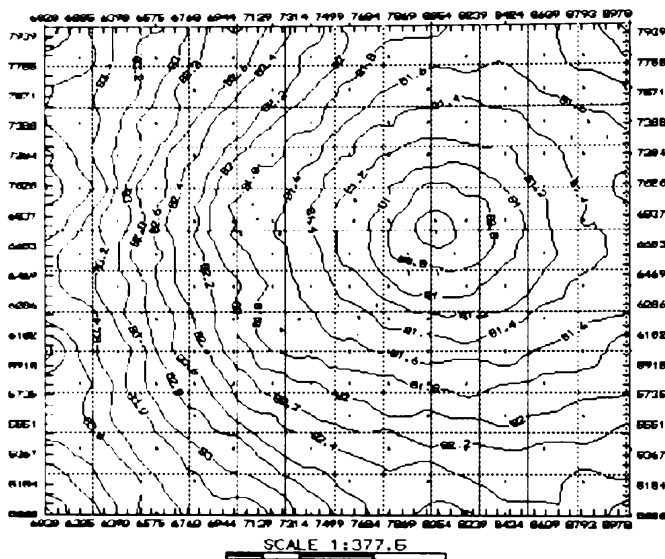


Fig.6.59 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₄

Temperatura: maximă 84.49, minimă 80.51. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.59 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.60.

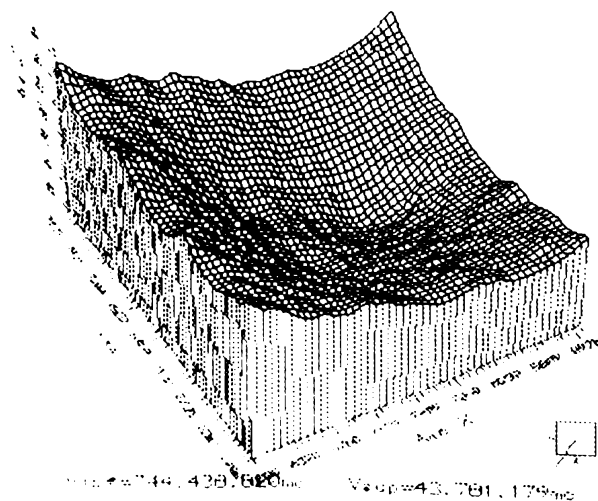


Fig.6.60 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₄

Tabel nr. 6.31

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	768.704.835,66	143.295.164,33
Simpson	768.699.332,36	143.300.667,63
Simpson 3/8	768.765.678,47	143.294.322,90

Sarcina hidraulică: maximă 95.80, minimă 73.46. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.61 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.62.

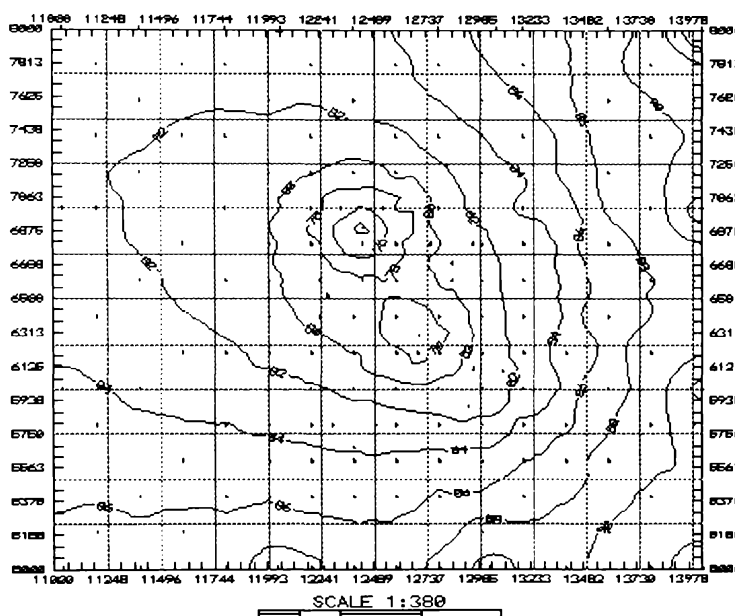


Fig.6.61 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₁

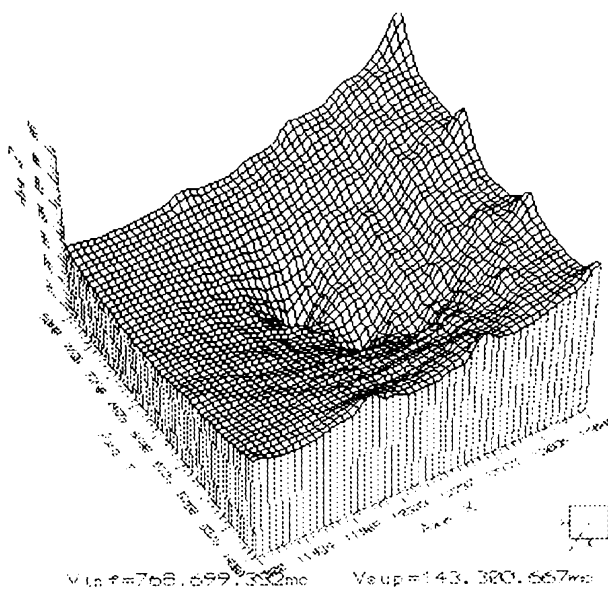


Fig.6.62 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₁

Tabel nr. 6.32

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+57.00]
Trapezoidală	774.001.275,13	19.438.724,86
Simpson	774.000.184,11	19.439.815,83
Simpson 3/8	774.007.688,86	19.432.312,33

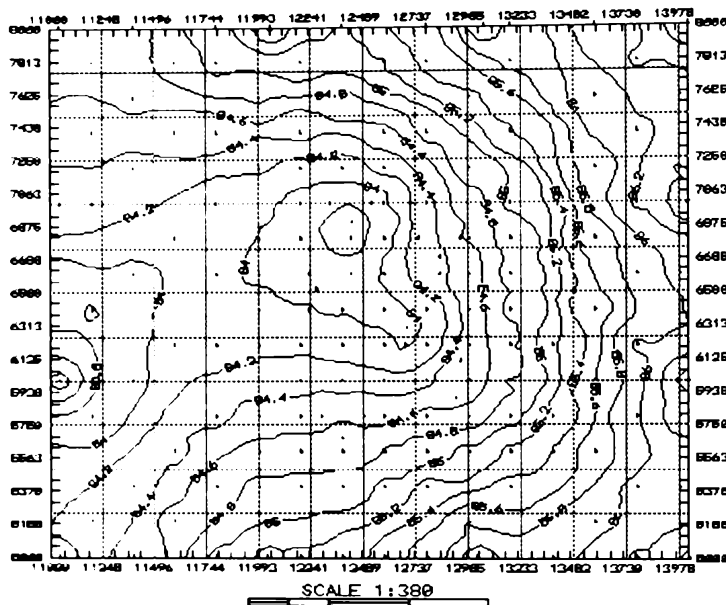


Fig.6.63 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₄

Temperatura: maximă 86.79, minimă 83.33. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.63 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.64.

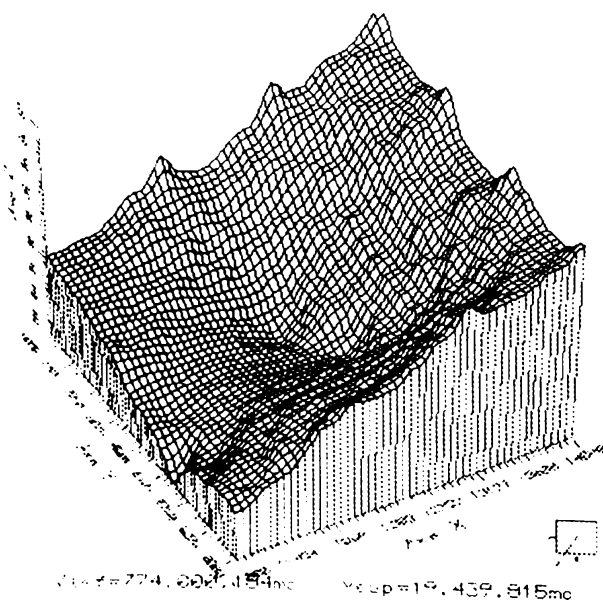


Fig.6.64 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₄

6.6 Simularea modelării - regim de funcționare R₅

6.6.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R₅

Se consideră regimul de exploatare R₅ în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-4631, P-4645, P-1564, P-1566, P-1567, P-4632, P-4607, P-1543 și se injectează în proporție de 25%*Q_{ext} la sondele: P-4608, P-1522, P-1521, P-1568, P-1565, P-4637, P-4636, P-4544, P-1538.

Debitele hidraulice și termice de extracție, respectiv de injectare se introduc în fișiere specificate la cap.4 de tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Tabel nr.6.33

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetrul element în m	Q _h în l/s	q _h în m ³ /sm (*10 ⁻³)	q _t în kcal/sm ²
1.	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52409
		P-4631	169	170	171	32.80	-18	-0.5488	-0.53524
		P-4645	184	185	186	49.39	-18	-0.3644	-0.35546
		P-4608	179	180	181	36.87	+5	+0.1356	-0.13226
		P-1522	129	130	131	34.19	+4.5	+0.1316	-0.12837
		P-1521	148	149	150	37.22	+4.5	+0.1209	-0.11792
2.	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06345
		P-1566	13	14	15	37.22	-15	-0.4030	-0.39307
		P-1567	57	58	59	35.51	-15	-0.4224	-0.41199
		P1568	112	113	114	33.83	+6.25	+0.1847	-0.18019
		P-1565	20	21	22	35.60	+5	+0.1404	-0.13698
		P-4637	61	62	63	37.22	+5	+0.1343	-0.13102
3.	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45182
		P-4607	117	118	119	34.88	-22	-0.6307	-0.61518
		P-1543	48	49	50	32.38	-10	-0.3088	-0.30121
		P-4636	92	93	94	34.18	+5.5	+0.1609	-0.15694
		P-1543	100	101	102	32.38	+2.5	+0.0772	-0.07530
		P-1538	42	43	44	32.36	+3.75	+0.1158	-0.11302

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.33 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.34 pentru sistemele de detaliu..

Tabel nr.6.34

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetru clement în m	Q _n în l/s	q _n în m ³ /sm (*10 ⁻³)	q _t în kcal/sm ²
1	Sănnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.17283	-6.02057
		P-4631	127	128	129	3.24	-18	-6.55555	-5.41852
		P-4645	78	79	80	3.24	-18	-5.55555	-5.41852
		P-4608	32	33	34	3.24	+5	+1.54321	-1.50514
		P-1522	108	109	110	3.92	+4.5	+1.14796	-1.11964
		P-1521	133	134	135	3.24	+4.5	+1.38888	-1.35463
2	Tomnatic	P-1564	142	143	144	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
		P-1566	77	78	79	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-1567	74	75	76	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-1568	185	186	187	3.24	+6.25	+1.92901	-1.88143
		P-1565	112	113	114	3.03	+5	+1.65016	-1.60946
		P-4637	109	110	111	3.24	+5	+1.54321	-1.50514
3	Lovrin	P-4632	119	120	121	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-4607	80	81	82	3.24	-22	-6.79012	-6.62263
		P-1543	136	137	150	3.03	-10	-3.30033	-3.21892
		P-4636	77	78	79	3.24	+5.5	+1.69753	-1.65565
		P-1544	114	115	116	3.24	+2.5	+0.77160	-0.75257
		P-1538	83	84	85	3.24	3.75	+1.15740	-1.12885

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_i din fișierele tip "numk_10.dat" este de 70°C.

6.6.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R_s

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.65 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.66.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.67 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.68.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr. 6.35...6.36 -sistem detaliu Sănnicolau Mare, tabelul nr. 6.37..6.38 - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr. 6.39...6.40 - sistem detaliu Lovrin.

Sarcina hidraulică: maximă 100.00, minimă 77.50

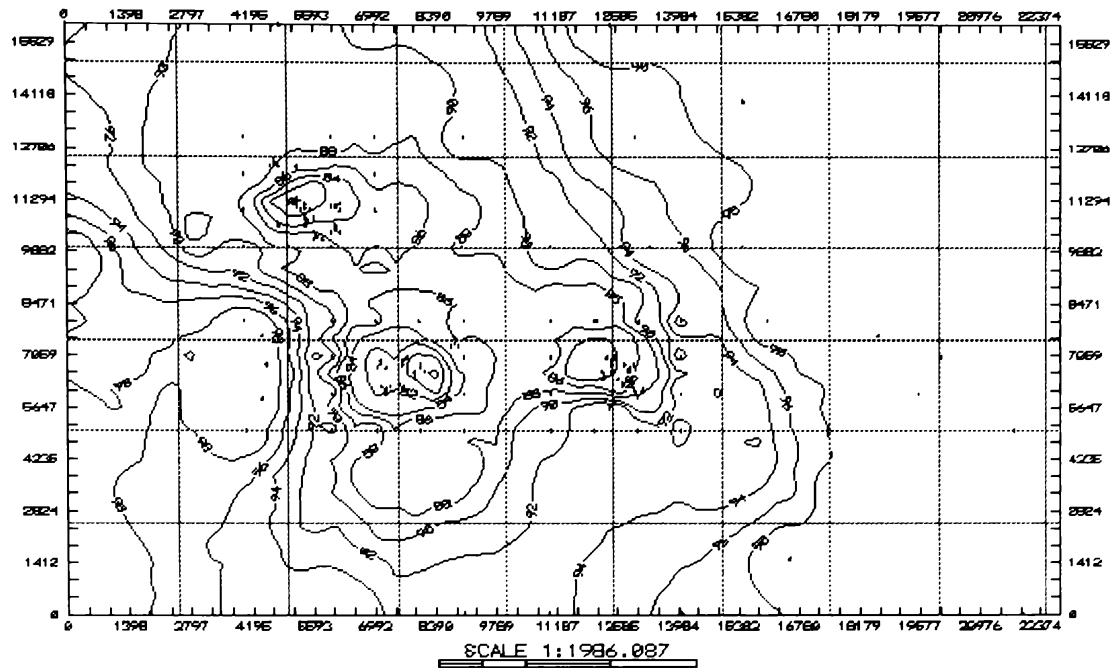


Fig.6.65 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană - regim R_s

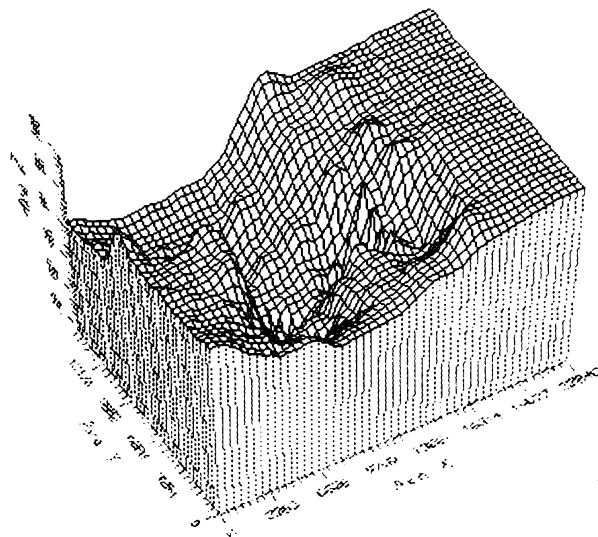


Fig.6.66 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R_s

Temperatura: maximă 87.00, minimă 78.57

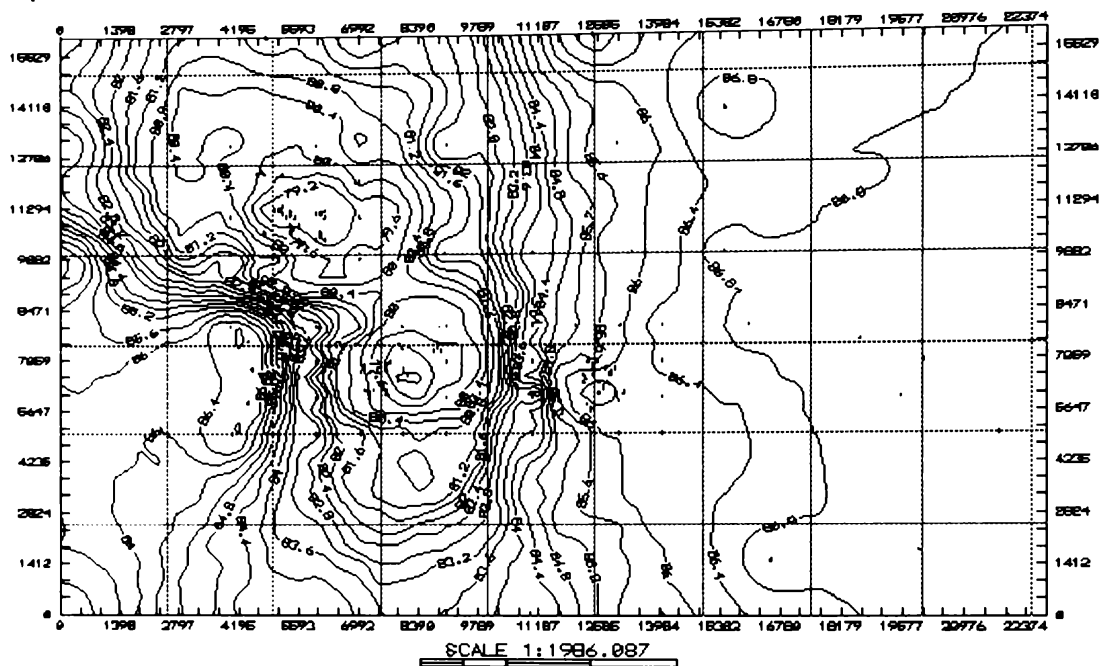


Fig.6.67 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_s

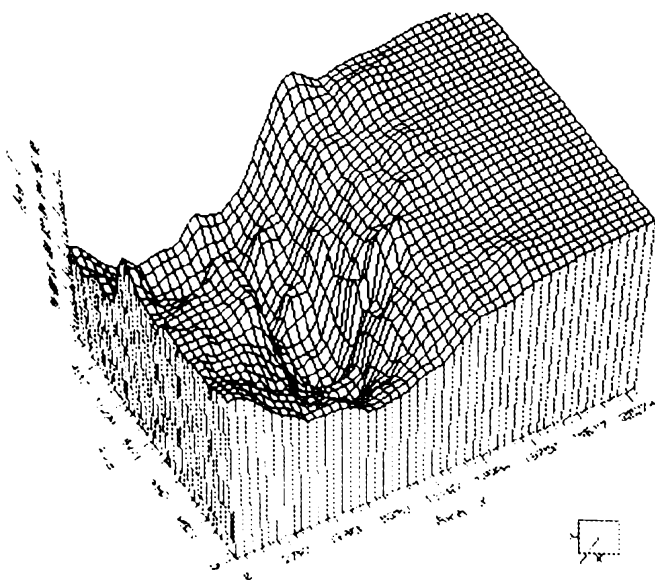


Fig.6.68 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_s

Tabel nr. 6.35

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	769.852.753,58	136.147.242,41
Simpson	769.842.494,71	136.157.505,28
Simpson 3/8	769.919.390,03	136.080.612,72

Sarcina hidraulică: maximă 92.73, minimă 73.61. Pentru sistemul de detaliu Sănnicolau Mare în fig.6.69 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.70.

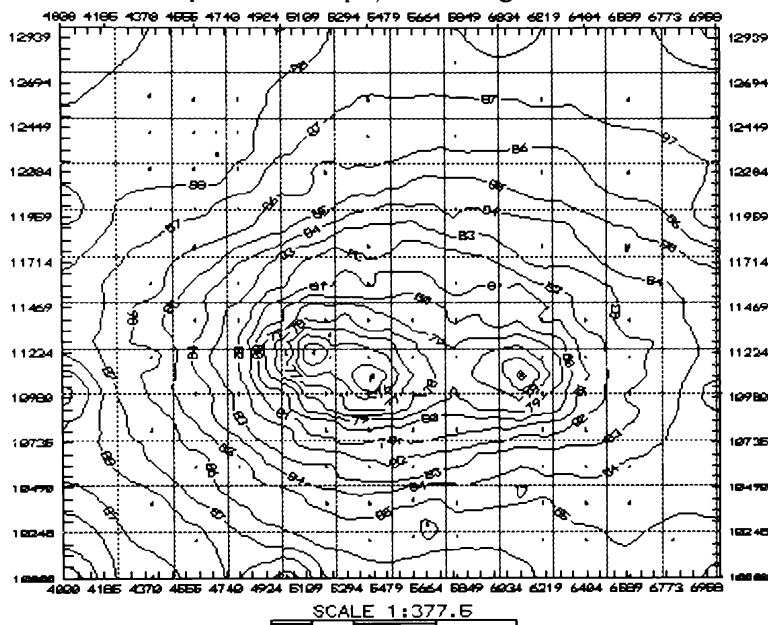


Fig.6.69 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₅

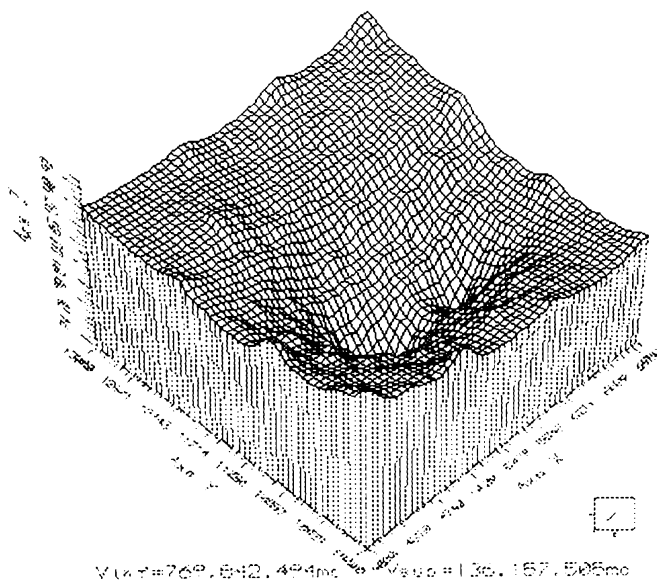


Fig.6.70 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₅

Tabel nr. 6.36

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	721.632.239,93	66.587.760,06
Simpson	721.629.712,45	66.590.287,44
Simpson 3/8	721.635.821,73	66.584.180,66

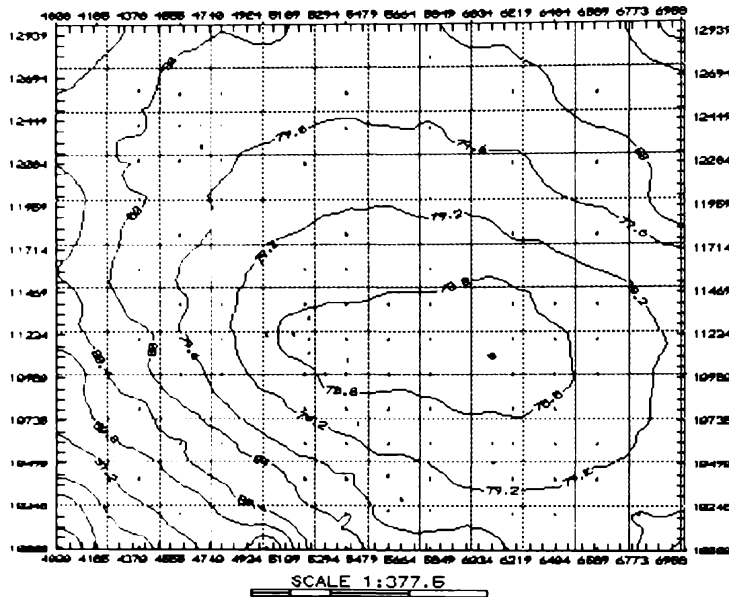


Fig.6.71 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₅

Temperatura: maximă 82.88, minimă 78.39. Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.71 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.72.

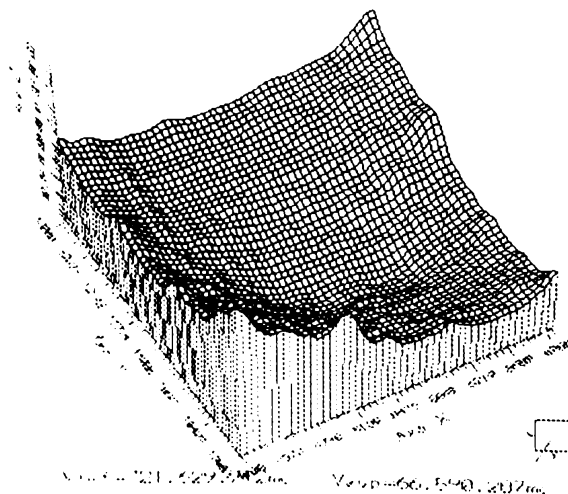


Fig.6.72 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₅

Tabel nr. 6.37

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	761.364.282,29	144.635.717,70
Simpson	761.363.633,56	144.636.366,43
Simpson 3/8	761.391.521,30	144.608.481,45

Sarcina hidraulică: maximă 93.21, minimă 69.57. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.73 se prezintă câmpul sarcinilorlor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.74.

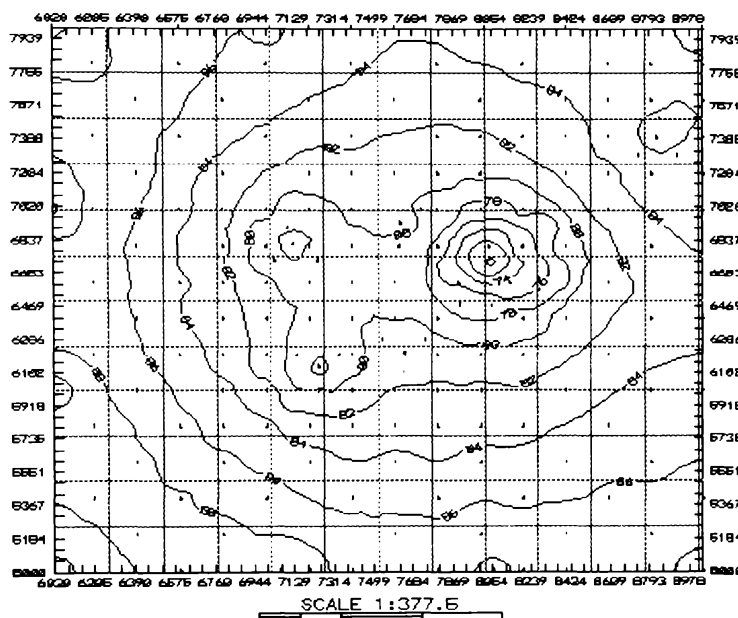


Fig.6.73 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R_s

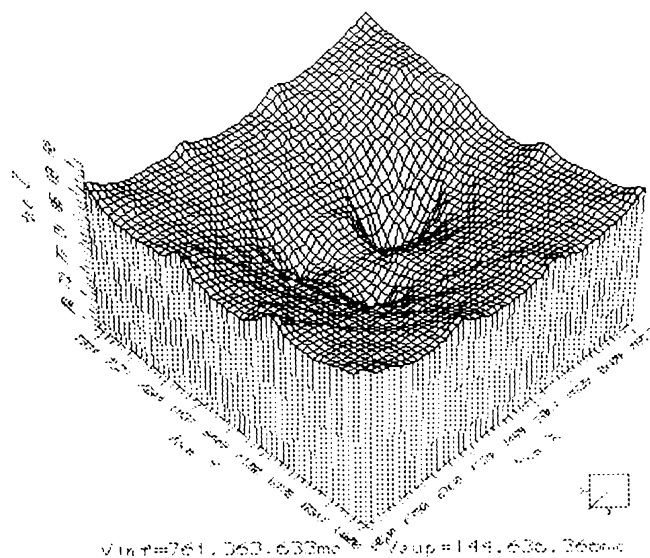


Fig.6.74 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R_s

Tabel nr. 6.38

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+97.00]
Trapezoidală	728.452.280,56	59.767.719,43
Simpson	728.452.027,86	59.767.972,13
Simpson 3/8	728.454.578,68	59.765.423,70

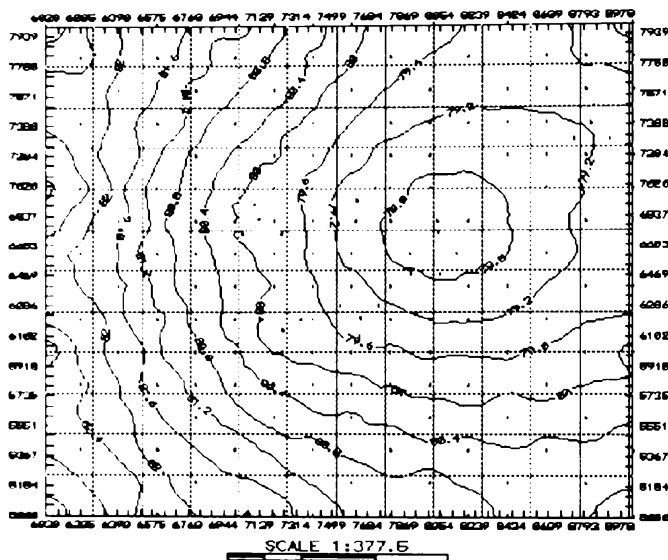


Fig.6.75 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₅

Temperatura: maximă 83.57, minimă 78.43. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.75 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.76.

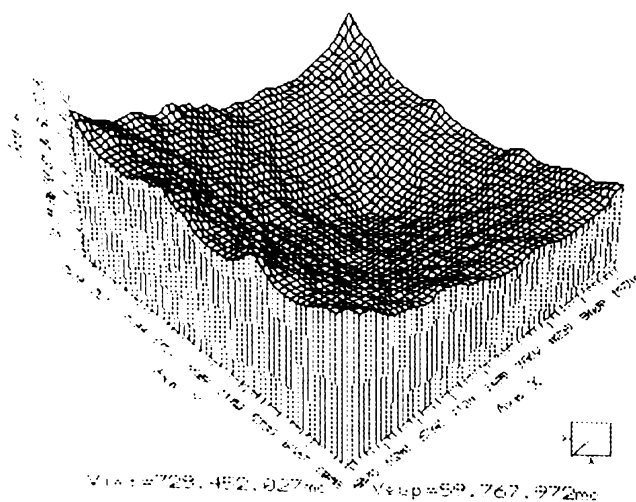


Fig.6.76 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₅

Tabel nr. 6.39

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	805.831.672,35	106.168.327,64
Simpson	805.828.478,20	106.171.529,79
Simpson 3/8	805.877.518,87	106.122.482,50

Sarcina hidraulică: maximă 96.85, minimă 78.85. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.77 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.78.

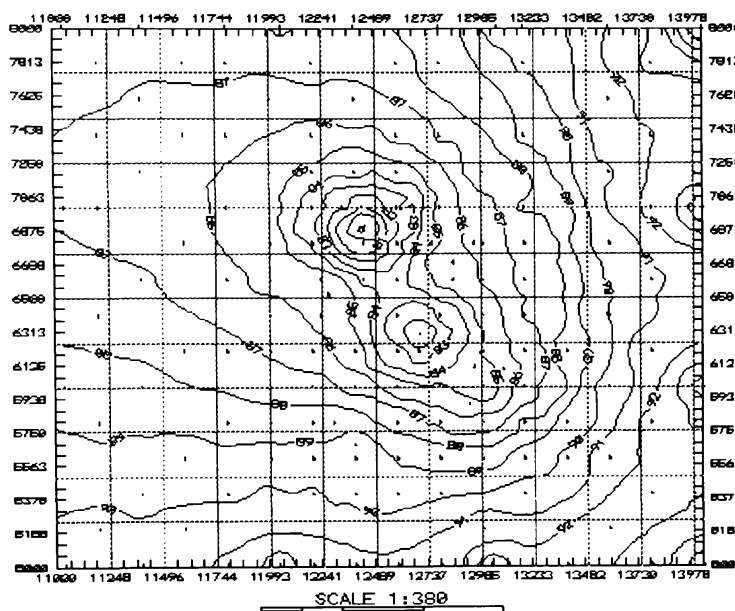


Fig.6.77 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₅

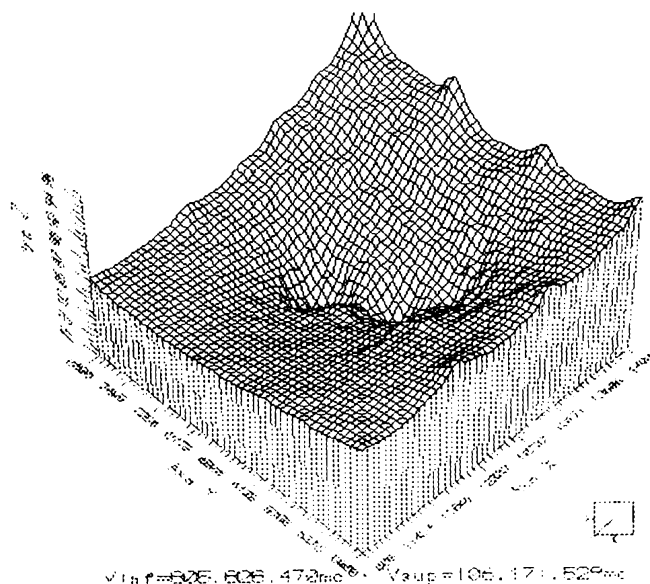


Fig.6.78 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₅

Tabel nr. 6.40

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	767.421.181,76	26.018.818,23
Simpson	767.419.728,72	26.020.271,27
Simpson 3/8	767.429.320,03	26.010.681,17

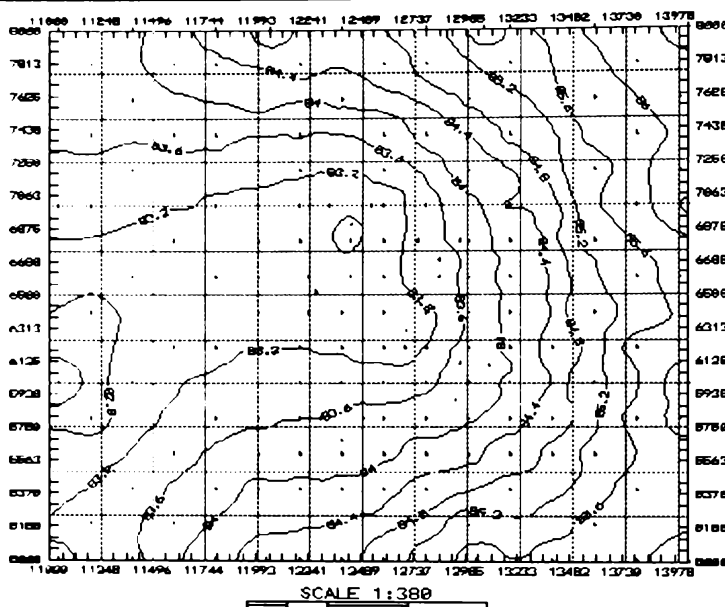


Fig.6.79 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R₅

Temperatura: maximă 86.72, minimă 82.00. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.79 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.80.

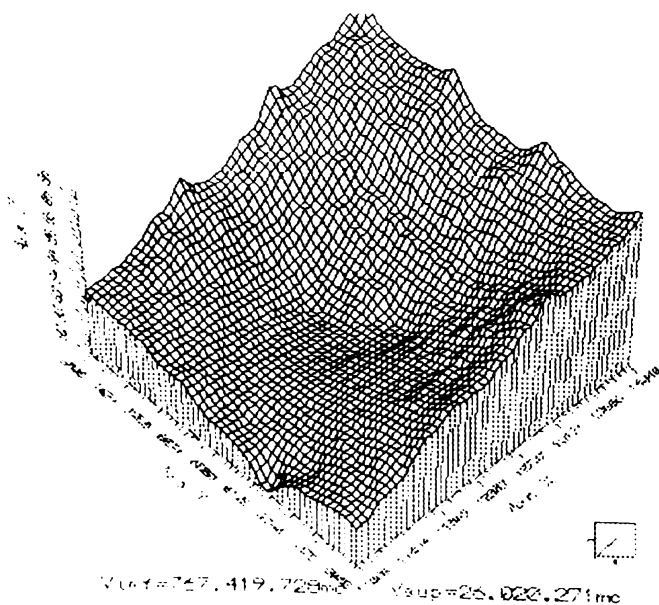


Fig.6.80 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R₅

6.7 Simularea modelării - regim de funcționare R_6

6.7.1. Condiții de margină referitoare la simularea hidraulică și termică cuplată - regim R_6

Se consideră regimul de exploatare R_6 în care se extrage apă geotermală la sondele: P-1526, P-4631, P-4645, P-1564, P-1566, P-1567, P-4632, P-4607, P-1543 și se injectează în proporție de $50\% \cdot Q_{ext}$ la sondele: P-4608, P-1522, P-1521, P-1568, P-1565, P-4637, P-4636, P-4544, P-1538.

Debitele hidraulice și termice de extracție, respectiv de injectare se introduc în fișiere specificate la cap.4 de tip "numk_9i.dat" utilizând programul de generare date de intrare "genterm.exe".

Tabel nr.6.41

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetru element în m	Q_h în l/s	q_h în m^3/sm ($\cdot 10^{-3}$)	q_t în $kcal/sm^2$
1	Sănnicolau Mare	P-1526	163	164	165	37.22	-20	-0.5374	-0.52409
		P-4631	169	170	171	32.80	-18	-0.5488	-0.53524
		P-4645	184	185	186	49.39	-18	-0.3644	-0.35546
		P-4608	179	180	181	36.87	+10	+0.27122	-0.26453
		P-1522	129	130	131	34.19	+9	+0.26323	-0.25674
		P-1521	148	149	150	37.22	+9	+0.24181	-0.23584
2.	Tomnatic	P-1564	82	83	84	32.10	-35	-1.0930	-1.06345
		P-1566	13	14	15	37.22	-15	-0.4030	-0.39307
		P-1567	57	58	59	35.51	-15	-0.4224	-0.41199
		P1568	112	113	114	33.83	+12.5	+0.36949	-0.36038
		P-1565	20	21	22	35.60	+10	+0.28090	-0.27397
		P-4637	61	62	63	37.22	+10	+0.26867	-0.262045
3.	Lovrin	P-4632	97	98	99	32.38	-15	-0.4632	-0.45182
		P-4607	117	118	119	34.88	-22	-0.6307	-0.61518
		P-1543	48	49	50	32.38	-10	-0.3088	-0.30121
		P-4636	92	93	94	34.18	+11	+0.32183	-0.31389
		P-1543	100	101	102	32.38	+5	+0.15442	-0.15061
		P-1538	42	43	44	32.36	+7.5	+0.23177	-0.22605

Valorile fluxurilor hidraulice și termice specifice posibile de extracție în cadrul sistemului general de ansamblu, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.6.41 pentru sistemul general de ansamblu și în tabelul centralizator nr.6.42 pentru sistemele de detaliu..

Tabel nr.6.42

Nr. crt.	Localitatea	Sonda nr.	Nod			Perimetru element în m	Q _h în l/s	q _h în m ³ /sm (*10 ⁻³)	q _t în kcal/sm ²
1	Sânnicolau Mare	P-1526	62	63	64	3.24	-20	-6.17283	-6.02057
		P-4631	127	128	129	3.24	-18	-6.55555	-5.41852
		P-4645	78	79	80	3.24	-18	-5.55555	-5.41852
		P-4608	32	33	34	3.24	+10	+3.08642	-3.01029
		P-1522	108	109	110	3.92	+9	+2.29592	-2.23928
		P-1521	133	134	135	3.24	+9	+2.77777	-2.70926
2	Tomnatic	P-1564	142	143	144	3.24	-35	-10.8025	-10.5360
		P-1566	77	78	79	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-1567	74	75	76	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-1568	185	186	187	3.24	+12.5	+3.98089	-3.88270
		P-1565	112	113	114	3.03	+10	+3.30033	-3.21892
		P-4637	109	110	111	3.24	+10	+3.08642	-3.01029
3	Lovrin	P-4632	119	120	121	3.24	-15	-4.62963	-4.51543
		P-4607	80	81	82	3.24	-22	-6.79012	-6.62263
		P-1543	136	137	150	3.03	-10	-3.30033	-3.21892
		P-4636	77	78	79	3.24	+11	+3.39506	-3.31132
		P-1544	114	115	116	3.24	+5	+1.54321	-1.50514
		P-1538	83	84	85	3.24	+7.5	+2.31481	-2.25772

Valoarea de inițializare pentru temperatura θ_E din fișierele tip "numk_10.dat" este de 70°C.

6.7.2. Rezultate experimentale referitoare la simularea numerică hidraulică și termică cuplată - regim R₆

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.81 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.82.

Pentru sistemul general de ansamblu în fig.6.83 se prezintă câmpul de temperatură în reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.84.

Valorile volumelor asociate pentru cele 3 domenii de detaliu sunt prezentate în: tabelul nr. 6.43...6.44 -sistem detaliu Sânnicolau Mare, tabelul nr. 6.45..6.46 - sistem detaliu Tomnatic, tabelul nr. 6.47...6.48 - sistem detaliu Lovrin.

Sarcina hidraulică: maximă 100.00, minimă 83.55.

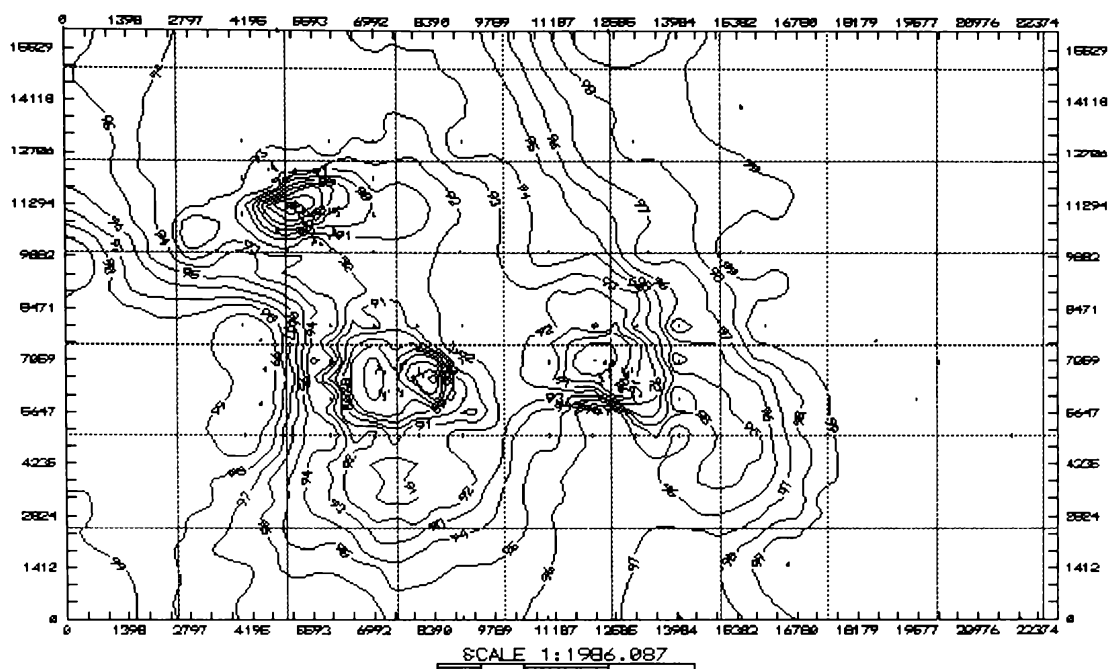


Fig.6.81 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare plană - regim R_c

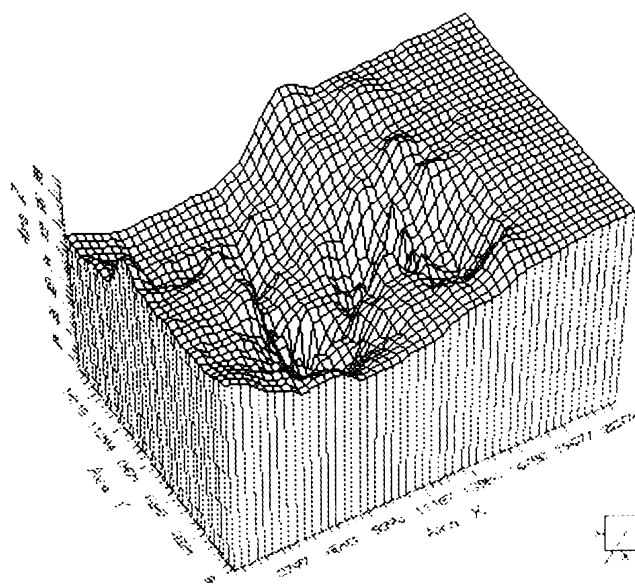


Fig.6.82 Sistem general de ansamblu - câmpul sarcinilor hidraulice, reprezentare spațială - regim R_c

Temperatura: maximă 87.00, minimă 75.20

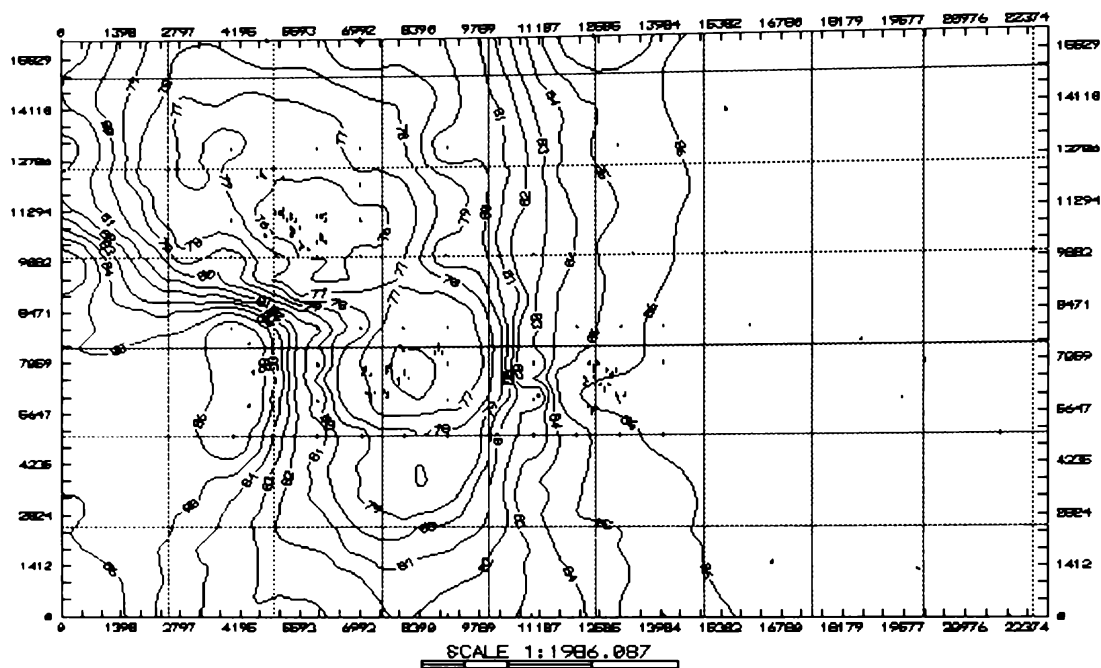


Fig.6.83 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_c

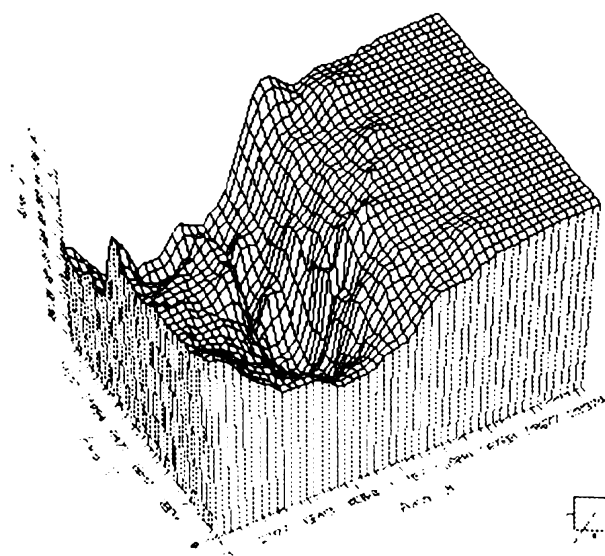


Fig.6.84 Sistem general de ansamblu - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_c

Tabel nr. 6.43

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	816.103.227,54	89.896.772,45
Simpson	816.095.308,52	89.904.699,47
Simpson 3/8	816.178.151,84	89.821.850,90

Sarcina hidraulică: maximă 95.31, minimă 79.28. Pentru sistemul de detaliu Sănnicolau Mare în fig.6.85 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.86.

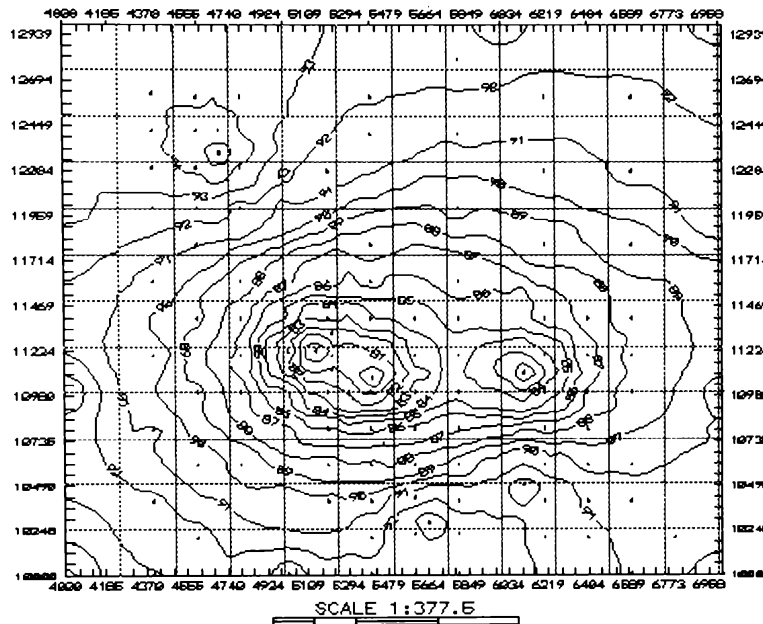


Fig.6.85 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₆

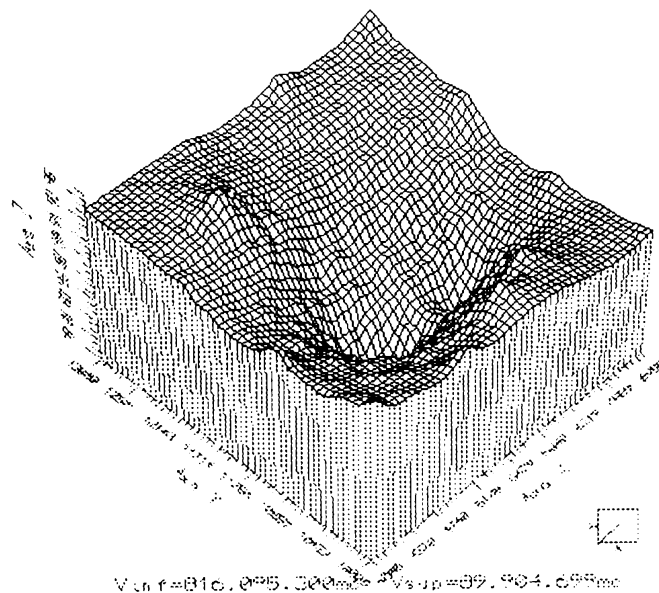


Fig.6.86 Sistem detaliu Sănnicolau Mare - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₆

Tabel nr. 6.44

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+07.90]
Trapezoidală	689.700.286,86	98.519.713,13
Simpson	689.697.195,80	98.522.804,19
Simpson 3/8	689.703.342,58	98.516.659,81

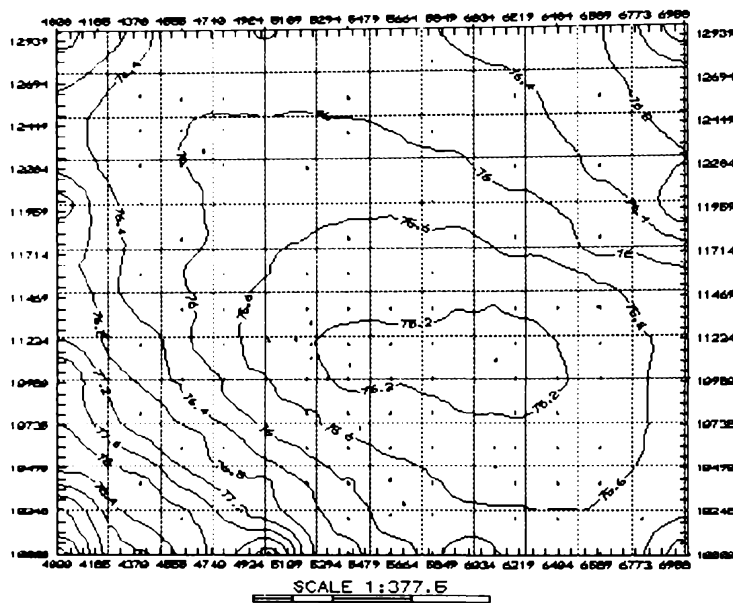


Fig.6.87 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_c

Temperatura: maximă 80.60, minimă 74.86. Pentru sistemul de detaliu Sânnicolau Mare în fig.6.87 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.88.

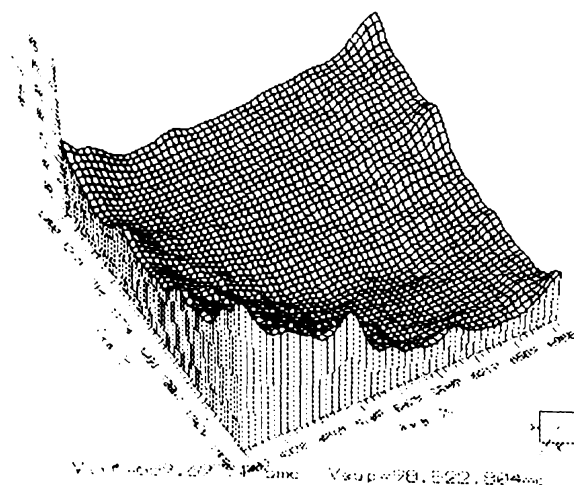


Fig.6.88 Sistem detaliu Sânnicolau Mare - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_c

Tabel nr. 6.45

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	809.623.263,14	96.376.736,85
Simpson	809.624.326,04	96.375.673,95
Simpson 3/8	809.650.845,38	96.349.157,36

Sarcina hidraulică: maximă 95.40, minimă 76.31. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.89 se prezintă câmpul sarcinilorlor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.90.

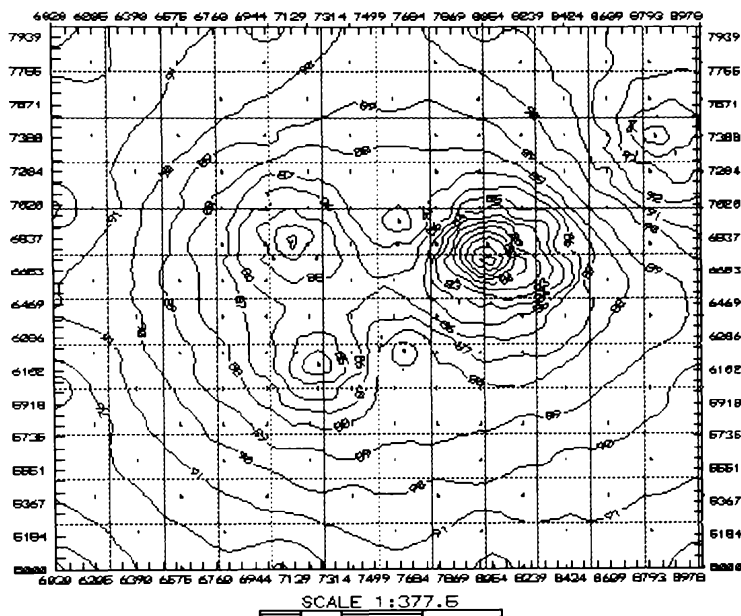


Fig.6.89 Sistem detaliu Tomnatic - câmp de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R_c

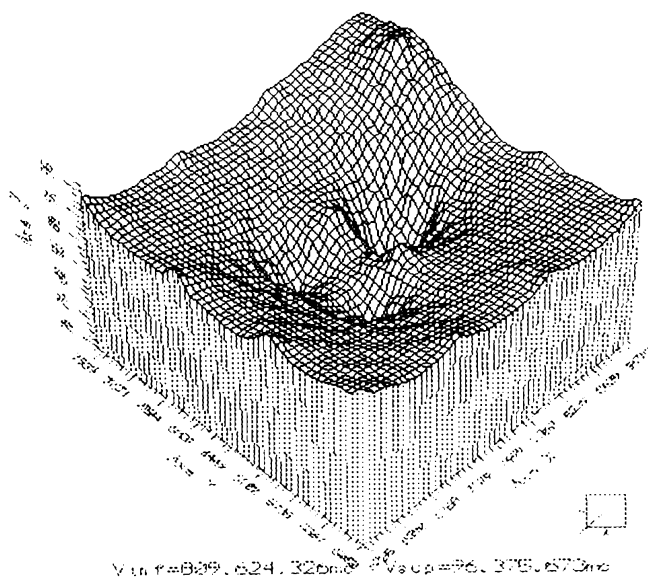


Fig.6.90 Sistem detaliu Tomnatic - câmp de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R_c

Tabel nr. 6.46

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+87.00]
Trapezoidală	702.715.067,45	85.504.932,54
Simpson	702.714.936,11	85.505.063,08
Simpson 3/8	702.718.808,56	85.501.193,83

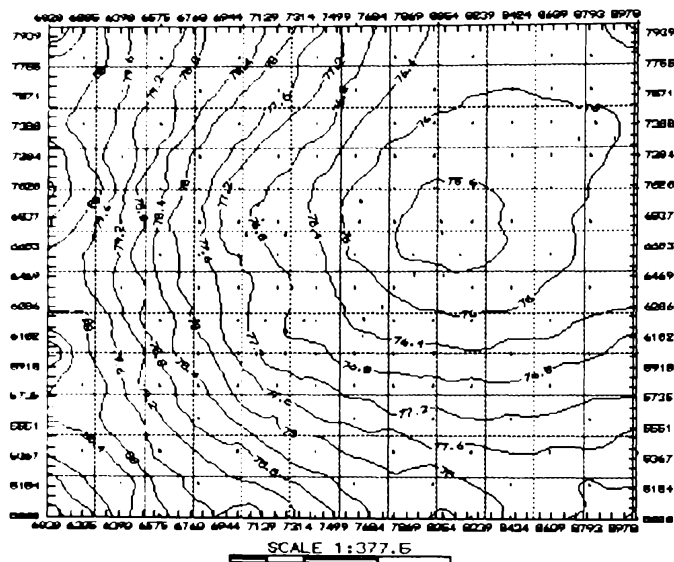


Fig.6.91 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_g

Temperatura: maximă 81.96, minimă 75.32. Pentru sistemul de detaliu Tomnatic în fig.6.91 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.92.

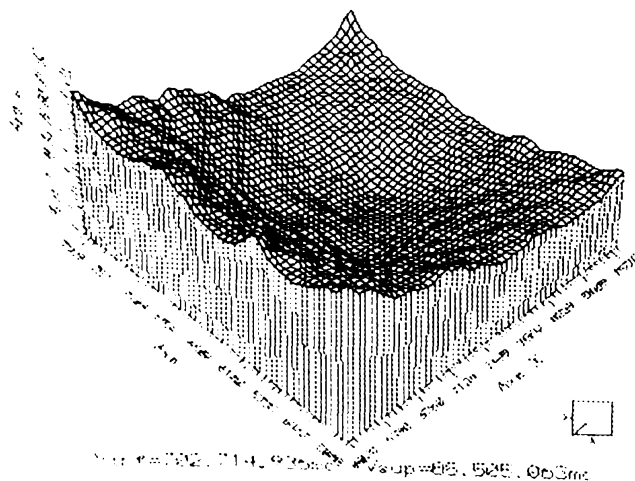


Fig.6.92 Sistem detaliu Tomnatic - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_g

Tabel nr. 6.47

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+100.00]
Trapezoidală	842.960.160,32	69.039.839,67
Simpson	842.959.259,46	69.040.740,53
Simpson 3/8	842.991.010,80	69.008.990,58

Sarcina hidraulică: maximă 97.89, minimă 84.01. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.93 se prezintă câmpul sarcinilor hidraulice într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.94.

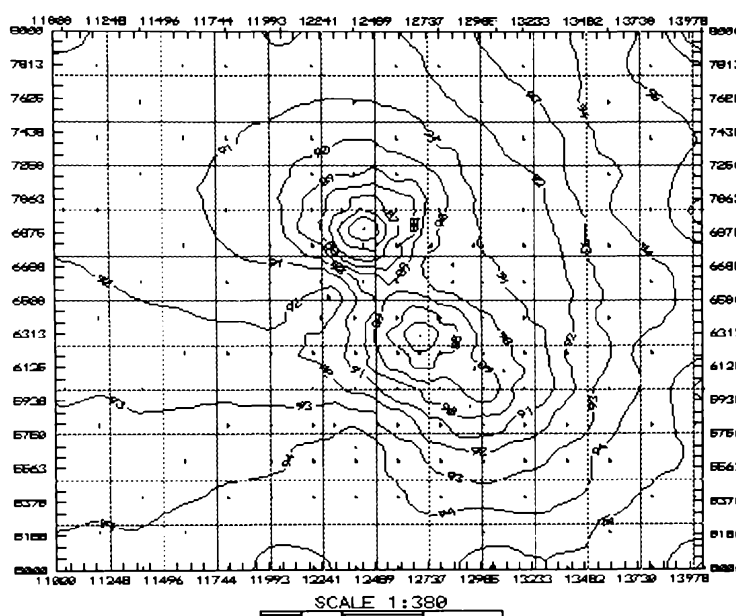


Fig.6.93 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare plană - regim R₆

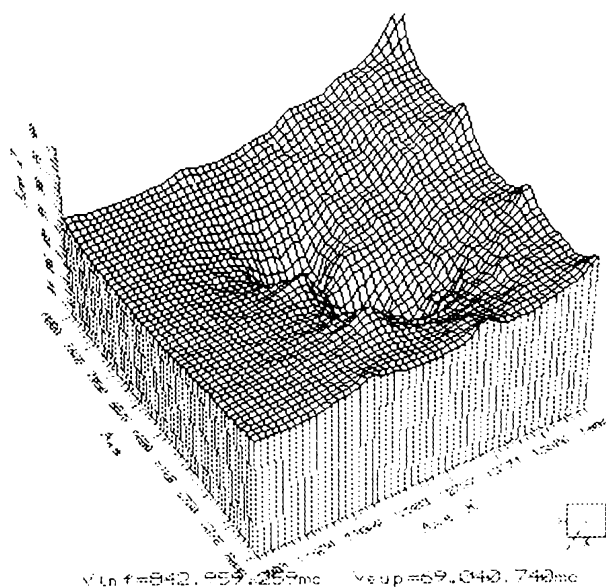


Fig.6.94 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de sarcini hidraulice, reprezentare spațială - regim R₆

Tabel nr. 6.48

Metoda de integrare	Volumul [m ³]	
	Baza de ref. inferioară [+0.00]	Baza de ref. superioară [+07.00]
Trapezoidală	757.408.787,76	36.031.212,23
Simpson	757.406.912,81	36.033.087,18
Simpson 3/8	757.418.259,18	36.021.742,01

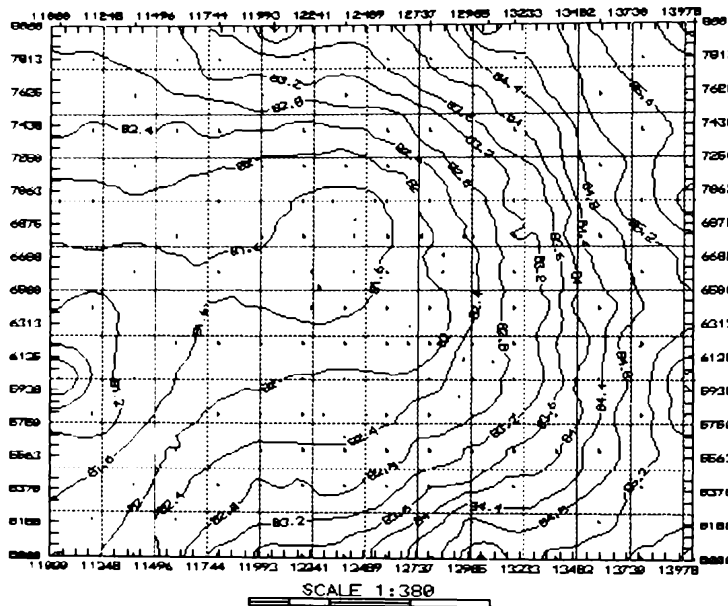


Fig.6.95 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare plană - regim R_g

Temperatura: maximă 86.61, minimă 80.02. Pentru sistemul de detaliu Lovrin în fig.6.95 se prezintă câmpul temperaturilor într-o reprezentare plană, respectiv într-o reprezentare spațială în fig.6.96.

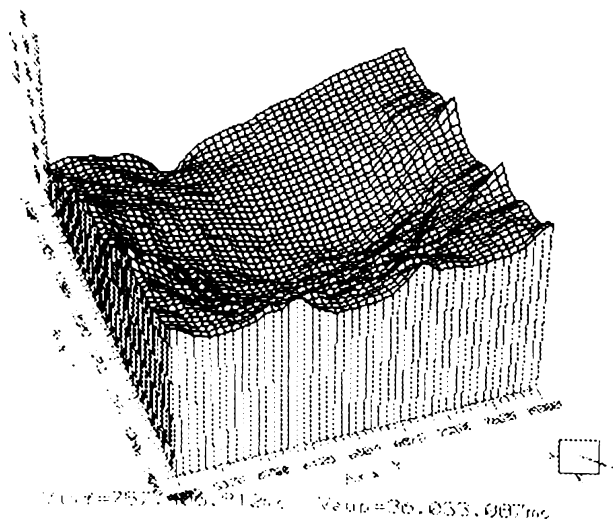


Fig.6.96 Sistem detaliu Lovrin - câmpul de temperatură, reprezentare spațială - regim R_g

7. Optimizarea exploatarii sistemelor geotermale din zona perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin

7.1. Considerații generale. Metodologie de optimizare a exploatarii sistemelor geotermale prin reinjectarea apei reziduale

Forajele cele mai importante existente în zona localităților Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin sunt deschise în 2 orizonturi: panonianul inferior și superior, cu temperaturi în domeniul 75°C - 88°C /59/. Apa reziduală rezultată în urma proceselor industriale este deversată frecvent în emisarii locali (temperatura apei reziduale de la schimbătoarele de căldură este cuprinsă în limitele de 60-64°C) - canalele de irigații-deseccare (canalele Aranca, Galața și Grincosin) provocând mai ales o poluare termică a mediului înconjurător.

Având în vedere caracterul limitat al apelor geotermale din Câmpia de Vest a României din punct de vedere al alimentării acviferului și efectul termic poluant rezultat în urma deversării asupra mediului înconjurător, s-a ajuns la ideea de elaborare a unei metode de optimizare a acestor resurse geotermale prin reinjectarea apei reziduale în sondele existente, la debite și presiuni hidraulice prestabilite, rezultate din modelarea câmpurilor geotermale, utilizând metoda elementelor finite.

Injectarea unui debit de apă reziduală geotermală în acvifer, la o anumită presiune și temperatură, are următoarele efecte pozitive și negative asupra exploatarii:

- un efect pozitiv de realimentare a acviferului geotermal și mărirea presiunii subterane;
- un efect negativ de răcire a acviferului geotermal datorită temperaturii inferioare a apei de injectare față de temperatura din interior;
- un efect pozitiv de reducere parțială a efectului termic poluant asupra mediului.

Metodologia de optimizare a exploatarii sistemelor geotermale prin reinjectarea apei reziduale, are la bază sistemul geotermal din zona perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin.

În vederea optimizării, s-a plecat de la ideea de asociere a unui sistem de reprezentare **3D** domeniului geotermal, în care suprafața (aproximativă) orizontală a acviferului să fie în planul xOy , valorile presiunii și temperaturii apei geotermale după axa Z . Se pot deci asocia volume de presiuni și temperaturi pentru un regim de exploatare precizat.

Ținând seama de aceste considerente, problema optimizării exploatarii unui acvifer geotermal se va reduce la minimizarea volumelor de presiuni și a volumelor de temperaturi în cadrul unor regimuri posibile de funcționare.

Problemele majore pentru alegerea soluției optime sunt legate de procedura evaluării acestor volume asociate din punct de vedere numeric la diferite regimuri de exploatare.

Din aceste motive autorul și-a propus, realizarea unui program automat de modelare hidraulică și termică cuplată pentru un sistem general de ansamblu și a 3 domenii de detaliu aferente localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic, Lovrin, la care se poate atașa separat un modul de evaluare a acestor volume - utilitarul "**PLOT88**".

Volumele de presiune și temperatură determinate pe cele 3 domenii de detaliu se vor utiliza pentru determinarea funcționării optime a exploatarii acviferului geotermal.

Utilitarul "**PLOT88**" este prevăzut cu un modul denumit "**volume.exe**" cu ajutorul căruia se pot determina prin 3 procedee de evaluare diferite (metoda trapezelor, metoda Simpson, metoda Simpson 3/8) volumul cuprins între un plan de referință cu normala paralelă cu axa Z , suprafața spațială generată prin interpolare bidimensională cu funcții spline și o rețea cu maximum 50*50 puncte (în interpolările din cap.6 sau utilizat - funcții spline de gradul 3) și cele 4 plane ce conțin laturile rețelei de puncte și în același timp normale pe axa Z . Alegerea planului de referință se face în două moduri:

- cu suprafața spațială de interpolare deasupra acestui nivel de referință - acest volum în exemplele din cap.6 a fost notat cu "Baza de referință inferioară" și reprezintă nivelul 0.00.

- cu suprafața spațială de interpolare sub acest nivel de referință - acest volum în exemplele din cap.6 a fost notat cu "Baza de referință superioară" și reprezintă nivelul 100.00 pentru câmpul sarcinilor hidraulice, respectiv 87.00 pentru câmpul de temperaturi.

În tabelul nr.7.1 sunt prezentate volumele de sarcini hidraulice în toate cele 6 regimuri de exploatare, metoda de evaluare a integrării - metoda Simpson, baza de referință 0.00.

Tabel nr. 7.1

Localitate și regim	Volumul [$\cdot 10^3$] m ³					
	R ₂	R	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Sănnicolau	831502.2	847162.3	862843.5	723591.4	769842.5	816095.3
Tomnatic	811660.9	837046.7	862391.4	713105.1	761363.6	809624.3
Lovrin	856508.9	868590.3	882160.6	768699.3	805828.5	842959.3

În reprezentarea grafică din fig.7.1 se observă modul de evoluție a volumelor de sarcini hidraulice în cele 6 regimuri distincte de funcționare. Volumele din regimul R₆ se apropie de valorile din regimul R₁. Rapoartele volumelor V_{R1} / V_{R6} și rapoartele dintre debitele de injectare/extracție și Q_{R1} / Q_{R6} pentru cele 3 perimetre au valorile:

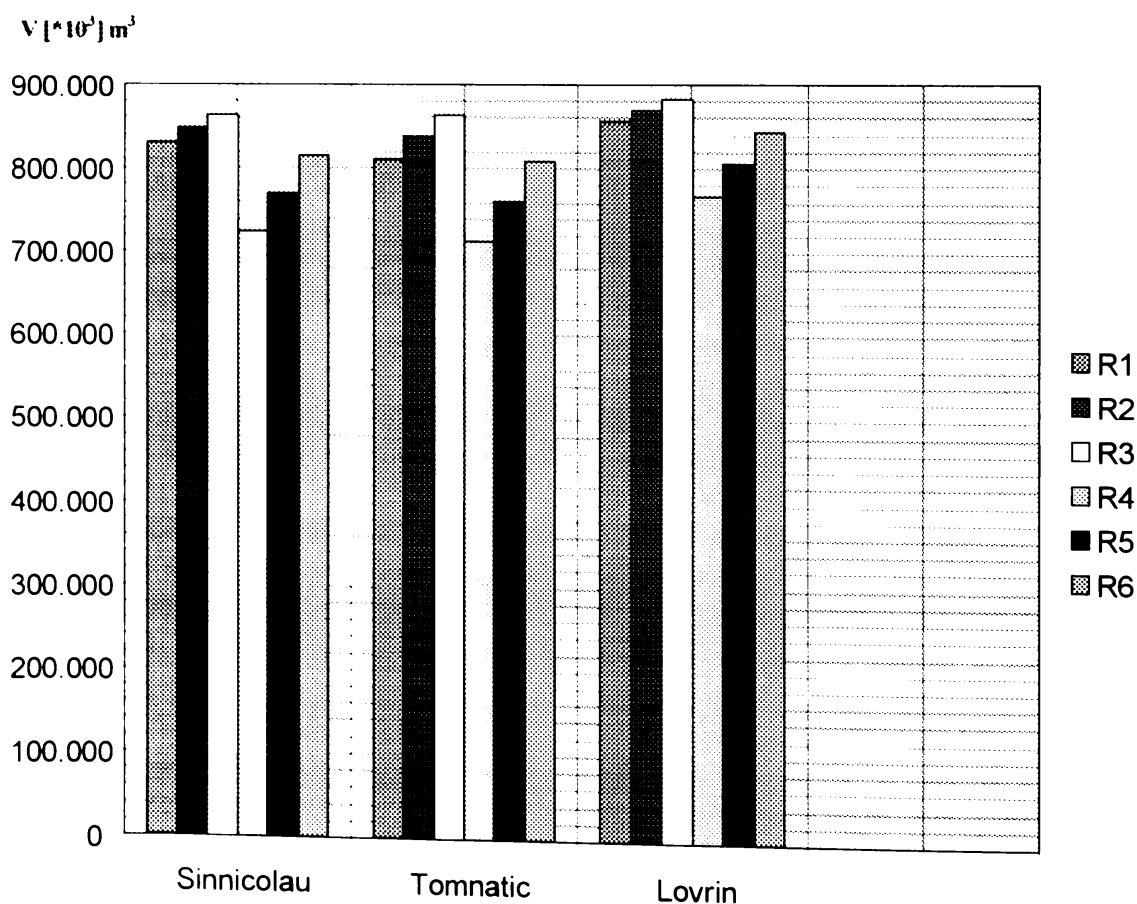


Fig.7.1 Reprezentarea variației sarcinii hidraulice în diferite regimuri de funcționare în cadrul unui amplasament

- Sănnicolau Mare $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.019$ și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.357$;

- Tomnatic $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.0025$; și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.538$;
- Lovrin $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.016$; și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.319$;

În tabelul nr.7.2 sunt prezentate volumele de temperaturi în toate cele 6 regimuri de exploatare, metoda de evaluare a integrării - metoda Simpson, baza de referință 0.00.

Tabel nr. 7.2

Localitate și regim	Volumul [$\cdot 10^3$] m ³					
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Sânnicolau	737754.9	727336.1	706698.2	739821.5	721629.7	689697.2
Tomnatic	738593.4	724528.3	694264.9	744438.8	728452.0	702714.9
Lovrin	779400.6	771089.2	764414.4	774000.1	767419.7	757406.9

În reprezentarea grafică din fig.7.2 se observă modul de evoluție a volumelor de temperaturi în cele 6 regimuri distincte de funcționare. Volumele din regimul R₆ se observă că scade față de valorile din regimul R₁. Rapoartele volumelor V_{R1}/V_{R6} și ra-

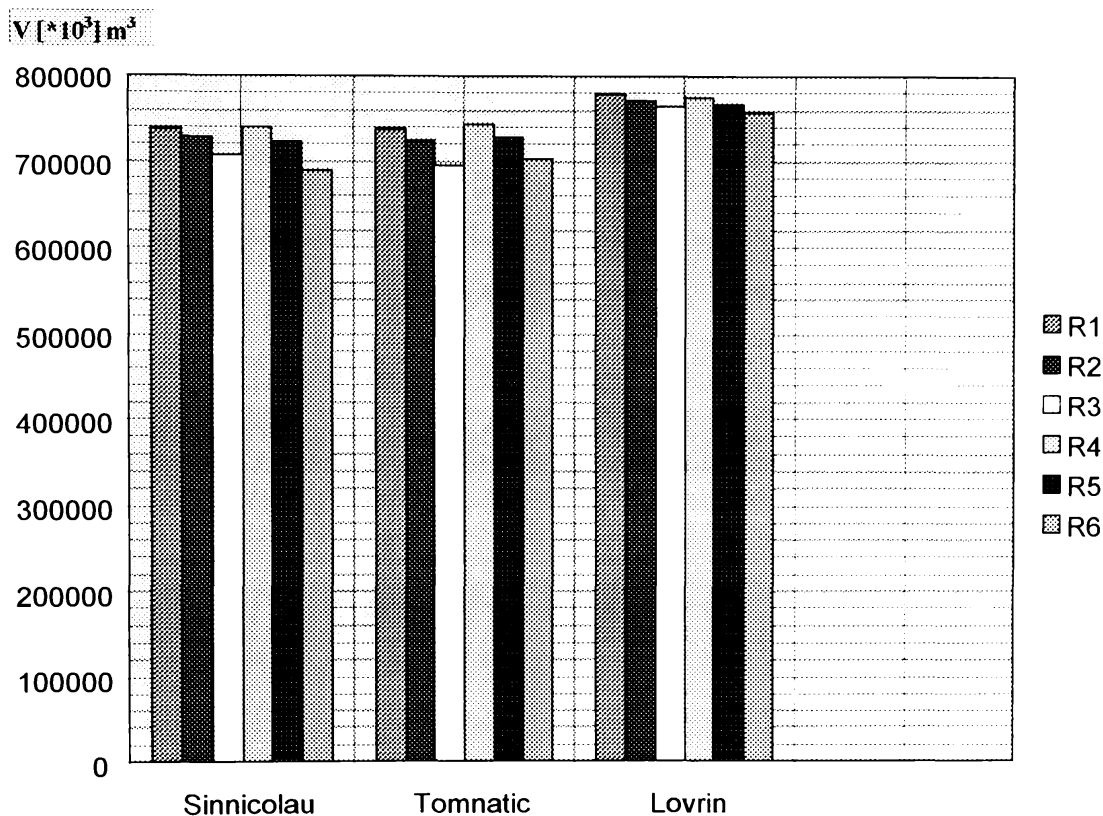


Fig.7.2 Reprezentarea variației temperaturii în diferite regimuri de funcționare în cadrul unui amplasament

poartele dintre debitele injecție/extracție Q_{R1} / Q_{R6} pentru cele 3 perimetre au valorile:

- Sânnicolau Mare $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.070$ și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.357$;
- Tomnatic $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.051$; și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.538$;
- Lovrin $\rightarrow V_{R1} / V_{R6} \approx 1.029$; și $Q_{R1} / Q_{R6} \approx 0.319$;

În reprezentarea grafică din fig.7.3 se observă modul de evoluție a volumelor de presiuni în cele 6 regimuri distincte de funcționare în situația de reprezentare cu amplasamentele grupate. Se observă creșterea sarcinilor hidraulice în regimurile de reinjectare R₂...R₃, respectiv R₅...R₆ față de regimurile fără reinjectare R₁, R₄.

În reprezentarea grafică din fig.7.4 se observă modul de evoluție a volumelor de tem-

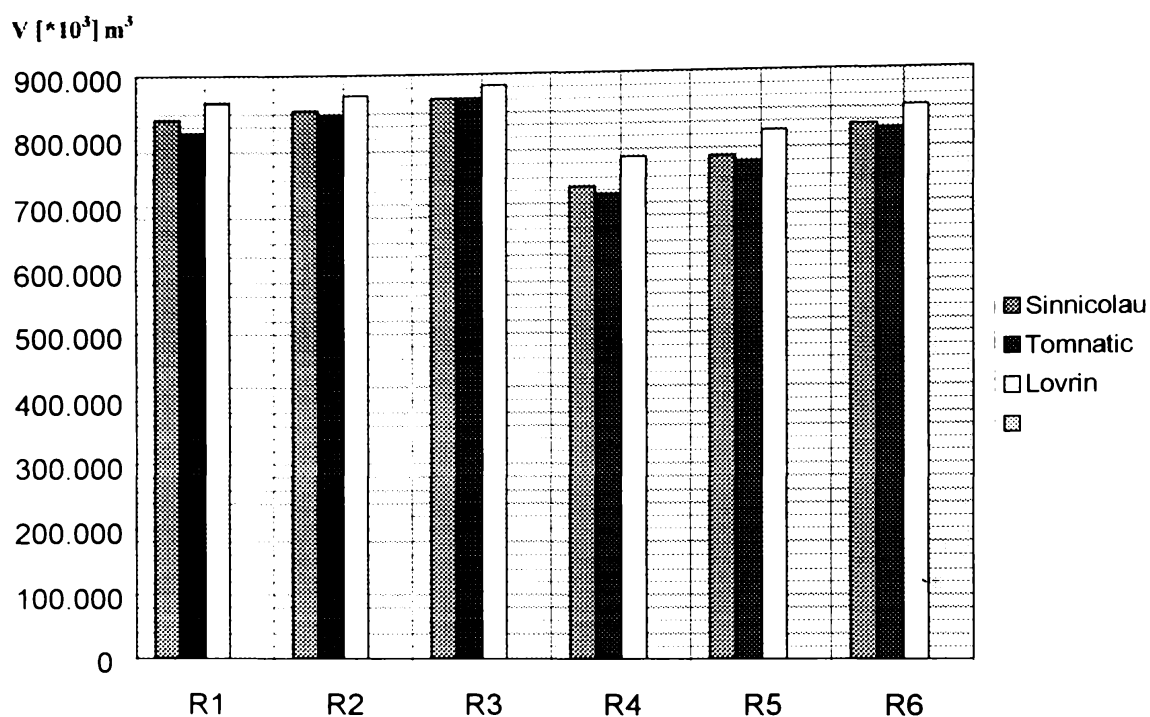


Fig.7.3 Reprezentarea variației sarcinii hidraulice în diferite regimuri de funcționare cu amplasamentele grupate.

peratururi în cele 6 regimuri distincte de funcționare în situația de reprezentare cu

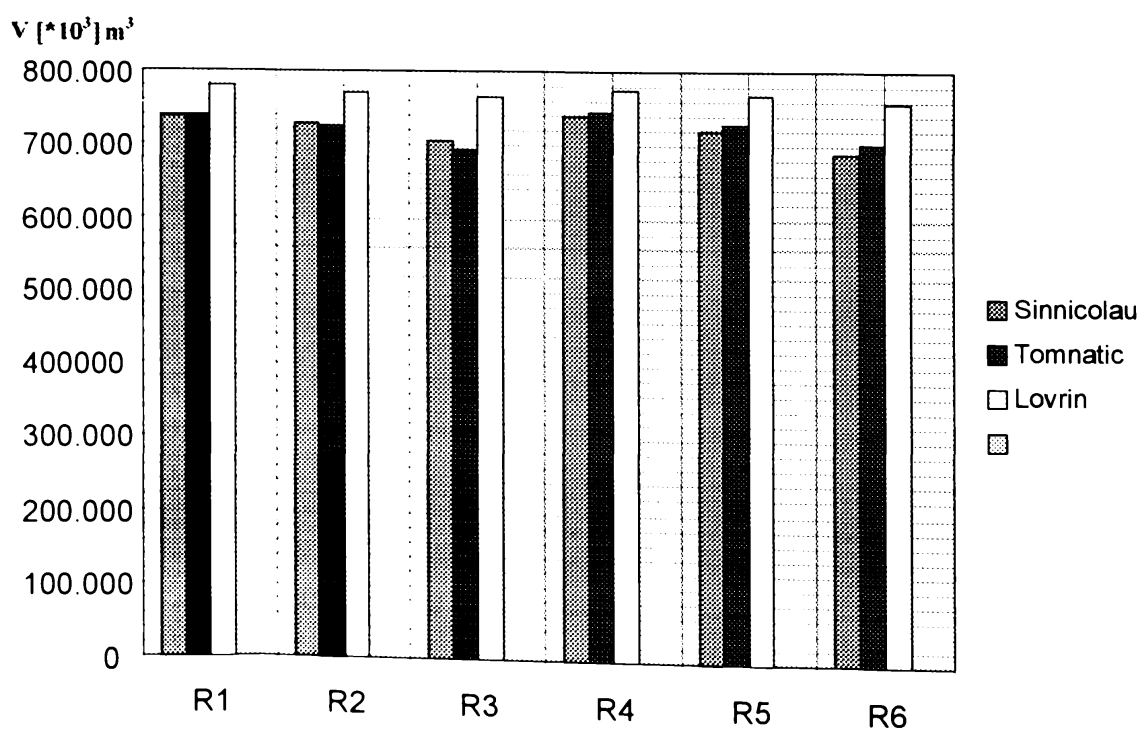


Fig.7.4 Reprezentarea variației temperaturii în diferite regimuri de funcționare cu amplasamentele grupate.

amplasamentele grupate. Se observă micșorarea temperaturii în regimurile de reinjectare $R_2...R_3$, respectiv $R_5...R_6$ față de regimurile fără reinjectare R_1, R_4 .

În situația posibilă de exploatare - fără extracție, câmpul de sarcini hidraulice stabil la 100.00, respectiv câmpul de temperaturi stabil la 87.00 - alegerea "*bazei de referință*" la valoarea 0.00 are volumele constante și diferite. Alegerea "*bazei de referință*" la valoarea 100.00 pentru câmpul de sarcini hidraulice, respectiv 87.00 pentru câmpul de temperaturi are volumele constante și egale cu zero.

Din acest considerent a fost utilizată această ultimă reprezentare a volumelor de sarcini hidraulice sau temperaturi pentru minimizare. Aceste volume asociate reprezintă de fapt volume de pierderi hidraulice, respectiv volume de pierderi de temperaturi.

7.2. Determinarea soluției optime de reinjectare

În tabelul nr.7.3 sunt prezentate volumele de sarcini hidraulice în toate cele 6 regimuri de exploatare, metoda de evaluare a integrării - metoda Simpson, *baza de referință superioară* la valoarea **100.00**.

Tabel nr. 7.3

Localitate și regim	Volumul [$\cdot 10^3$] m ³					
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Sânnicolau	74497.8	58837.7	43156.5	182408	136157	89896.8
Tomnatic	94339.1	68953.3	42613.3	192894	144636	96375.7
Lovrin	55491.1	43409.7	29839.4	143360	106171	69040.7
Q _{inj} /Q _{extracție}	0.0	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50

În tabelul nr.7.4 sunt prezentate volumele de temperaturi în toate cele 6 regimuri de exploatare, metoda de evaluare a integrării - metoda Simpson, *baza de referință superioară* la valoarea **87.00**.

Tabel nr. 7.4

Localitate și regim	Volumul [$\cdot 10^3$] m ³					
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Sânnicolau	50465	60883.9	81521.8	48398.5	66590.3	98522.9
Tomnatic	49626.6	63691.7	93955	43781.2	59767.9	85505.1
Lovrin	14039.4	22354.7	29025.6	19439	26020.3	36033.1
Q _{inj} /Q _{extracție}	0.0	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50

Se observă că volumele câmpurilor de sarcini hidraulice în situațiile reinjectării cu apă reziduală geotermală în rapoarte $Q_{inj}/Q_{extracție} = 0.0...0.5$ reprezintă șiruri de valori crescătoare pentru cele 3 domenii aferente localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin. În mod asemănător se observă că volumele câmpurilor de temperaturi în situațiile reinjectării cu apă reziduală geotermală în rapoarte $Q_{inj}/Q_{extracție} = 0.0...0.5$ reprezintă șiruri de valori descrescătoare pentru cele 3 domenii.

Această constatare a condus la reprezentarea într-un sistem de referință bidiimensional, în care pe axa orizontală s-a reprezentat raportul adimensional $Q_{inj}/Q_{extracție}$ și pe axa verticală volumele de sarcini hidraulice, respectiv volumele de temperaturi.

Utilizând această reprezentare, se prezintă în fig.7.5 variația volumelor de sarcini hidraulice și a volumelor de temperaturi pentru regimul de exploatare $R_1...R_3$.

S-a utilizat metoda de interpolare exponențială pentru curbele valorilor volumelor și s-a extrapolat pentru a se obține valoarea raportului 1.00. De fapt în situația

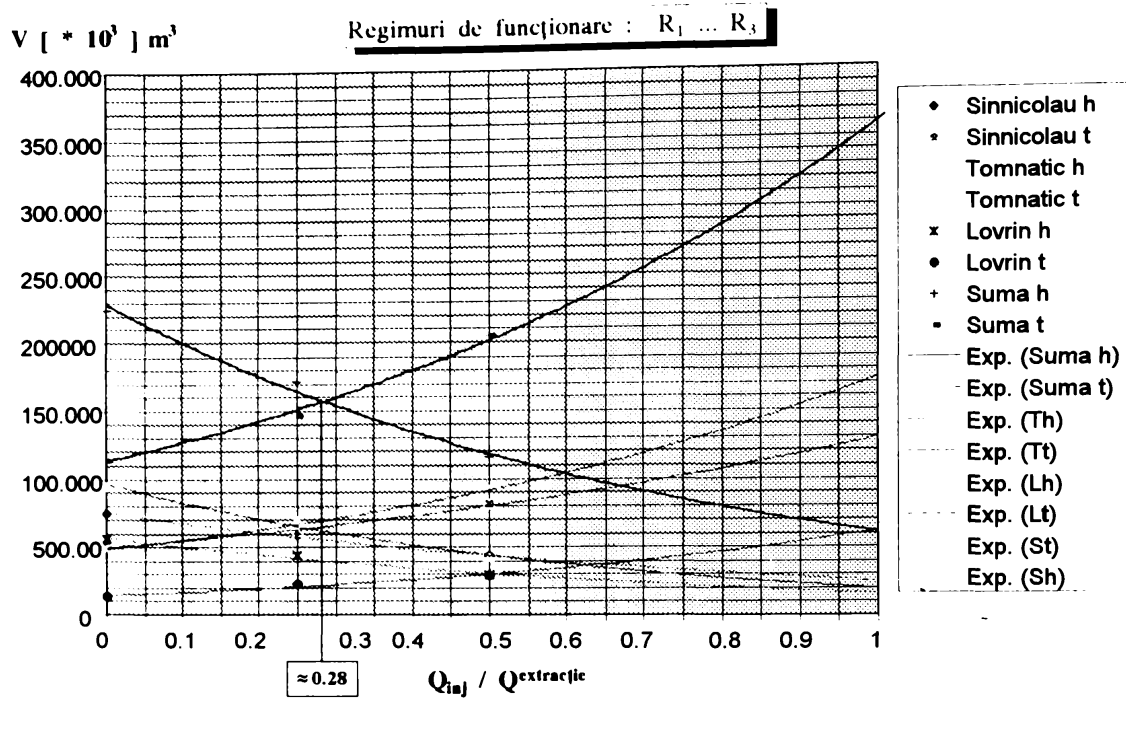


Fig.7.5 Variația volumelor sarcinilor hidraulice și temperaturilor.
 Volume totale. Extrapolare exponențială.

inițială pentru regimurile $R_2 \dots R_3$, rapoartele $Q_{inj}/Q_{extracție}$ au fost 0.50, respectiv 1.00. S-a observat scăderea semnificativă a temperaturii o dată cu o creștere importantă a

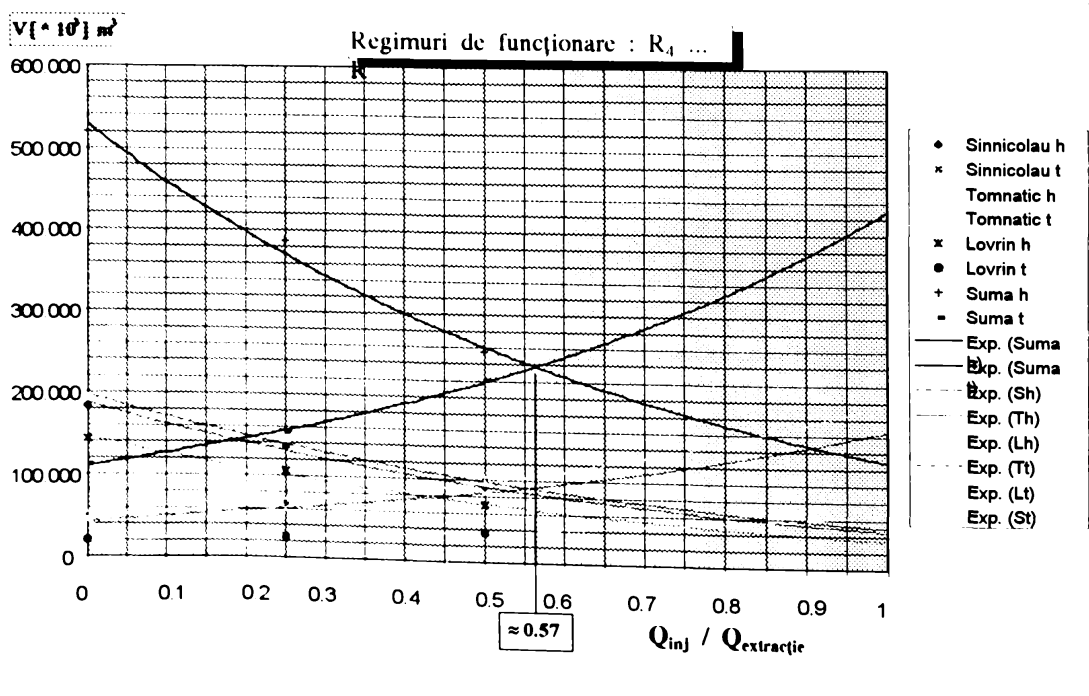


Fig.7.6 Variația volumelor sarcinilor hidraulice și temperaturilor.
 Volume totale. Extrapolare exponențială.

sarcinii hidraulice, motiv pentru care s-au ales valorile rapoartelor de 0.25...0.50.

Prin însumarea volumelor de sarcini hidraulice, respectiv volume de temperaturi pentru un amplasament și cele 3 regimuri de funcționare, se obțin curbele asamblate.

Din intersecția acestor curbe care reprezintă valoarea de minim, se obține valoarea optimă a rapoartelor debitelor de $Q_{inj}/Q_{extractie} \approx 0.28$.

În mod asemănător se obține reprezentarea din fig.7.6 cu variația volumelor de sarcini hidraulice și a volumelor de temperaturi pentru regimul de exploatare $R_4...R_6$.

În mod asemănător la intersecția curbelor asamblate, care reprezintă valoarea de minim, se obține valoarea optimă a rapoartelor debitelor de $Q_{inj}/Q_{extractie} \approx 0.57$.

Se constată că valoarea raportului debitelor $Q_{inj}/Q_{extractie}$ crește odată cu mărirea debitului de extracție. Dacă se reprezintă cele 4 curbe asamblate de la cele două situații anterioare, se obțin reprezentările din fig.7.7.

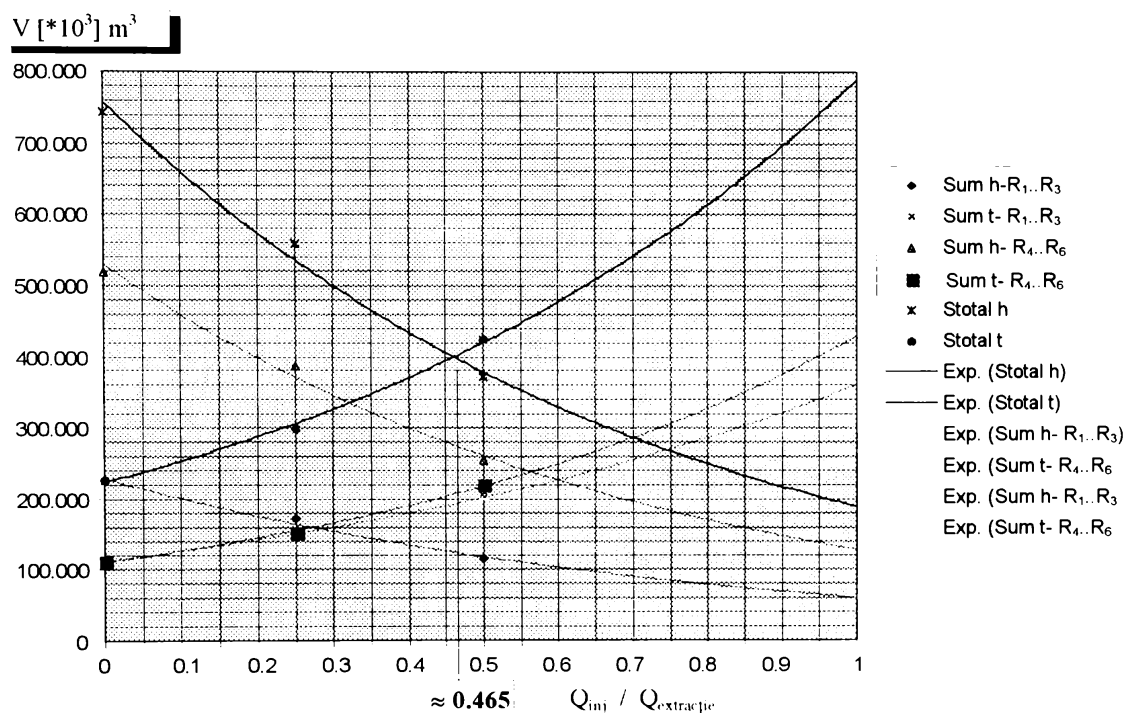


Fig.7.7 Variația volumelor sarcinilor hidraulice și temperaturilor.
Volume totale. Extrapolare exponențială.

Intersecția curbelor asamblate totale, care reprezintă noua valoare de minim obținută prin extrapolare, se ajunge la o nouă valoare optimă a rapoartelor debitelor de injectare/extracție de $Q_{inj}/Q_{extractie} \approx 0.465$.

7.3. Concluzii parțiale referitoare la metodologia de optimizare a reinjecției apei reziduale geotermale

Din cercetările efectuate prin simulări numerice în diferite regimuri de funcționare utilizând procedeul reinjecției apei reziduale rezultată în urma utilizărilor fie la încălzirea locuințelor sau complexe de sere, se observă că valoarea optimă a raportului debitelor $Q_{inj}/Q_{extractie}$ are o valoare de 0.465. Acest raport este relativ, poate fi mai mare sau se mai mic după cum valoarea temperaturii apei reziduale geotermale este mai mare sau mai mică de 65°C (temperatura de referință pentru stabilirea fluxurilor termice de injectarea).

Din analiza efectuată asupra câmpurilor geotermale din zona perimetrelor localităților: Sănnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin, se constată că regimul de funcționare denumit R_6 , caracterizat de raportul debitelor de $Q_{in}/Q_{extracte} = 0.50$, este foarte aproape de domeniul optim de exploatare a unui sistem cu reinjectare în sonde existente.

Din aceste considerente se vor face câteva precizări suplimentare referitoare la parametrii ce caracterizează sarcinile hidraulice (presiuni), respectiv temperaturile în interiorul acviferului în comparație cu parametrii similari cunoscuți din măsurătorile efectuate în timpul exploatării.

În cap.2 s-au făcut precizări referitoare la evoluția în timp a sarcinii hidraulice în cele 3 zone aferente localităților, astfel la 31 martie 1982 pentru: • *perimetrul localității Sănnicolau Mare* - nivelul apei față de sol este între limitele **-24.08m...-30.48m**; • *perimetrul localității Tomnatic* - nivelul apei față de sol este între limitele **-21.08m ... -27.28m**; • *perimetrul localității Lovrin* - nivelul apei față de sol este între limitele **-14.40m... -23.15m**.

Analizând câmpurile sarcinilor hidraulice în comparație cu datele existente, valoarea adimensională adoptată a sarcinii hidraulice de 100.00 reprezintă de fapt aproximativ suprafața naturală a terenului.

Dacă se analizează nivelurile din regimurile R_4 , R_6 , se observă că sarcinile hidraulice în cele 3 zone aferente localităților, au valorile: • *perimetrul Sănnicolau Mare* - regim R_4 ...68.22 \Rightarrow **-31.78m** regim R_6 ...78.98 **-21.02m**; • *perimetrul Tomnatic* - regim R_4 ...62.73 \Rightarrow **-37.27m** regim R_6 ...76.22 **-23.78m**; • *perimetrul localității Lovrin* - regim R_4 ...73.46 \Rightarrow **-26.54m** regim R_6 ...83.76 \Rightarrow **-16.24**;

Prin operația de reinjectare a apei reziduale este necesară realizarea unei sarcini hidraulice maxime la nivelul sondelor astfel:

- perimetrul localității Sănnicolau, sonda P-4608: sarcina de 95.31 \Rightarrow **-4.69m**;
- perimetrul localității Tomnatic, sonda P-4608: sarcina de 95.40 \Rightarrow **-4.60m**;
- perimetrul localității Lovrin, sonda P-4608: sarcina de 97.89 \Rightarrow **-2.10m**.

Din punct de vedere tehnic pentru realizarea reinjectării este suficient realizarea unui bazin de înmagazinare a apei reziduale geotermale la suprafața terenului, care trebuie să fie prevăzut cu o protecție termică pentru stocarea căldurii.

Din analiza câmpurilor termice se constată că valorile minime a temperaturilor pentru regimurile de funcționare R_6 și R_4 sunt la nivelul interior al sondelor astfel:

- perimetrul localității Sănnicolau Mare, sonda \square P-4631: temperatura de 74.86 la R_6 față de 80.45 la R_4 ;
- perimetrul localității Tomnatic, sonda \square P-1564: temperatura de 75.32 la R_6 față de 80.51 la R_4 ;
- perimetrul localității Lovrin, sonda \square P-4608: temperatura de 80.02 la R_6 față de 83.33 la R_4 .

Simulările numerice sau efectuate ținând seama de sondele existente amplasate pe domeniile de analiză. Reinjectarea a fost realizată doar în aceste puncte care de fapt au o distanță între ele de aproximativ 250m...450m. Problema alegerii și a altor distanțe nu s-a luat în considerare pentru că realizarea unui foraj la aprox. 2000m adâncime nu se face din considerente geotermale.

Modalitatea aceasta de optimizare a exploatărilor de ape geotermale se poate extinde și asupra zăcămintelor de hidrocarburi.

În regimuri staționare de mișcare a fluidelor polifazice ce reprezintă mișcări cuplate (fază lichidă - hidrocarburi, apa caldă de injectare pentru migrarea hidrocarburilor, fază gazoasă - metan - CH_4), se pot serie relații asemănătoare, simularea numerică iterativă decuplată se poate adopta și pentru aceste situații.

8. Concluzii generale

Obiectul lucrării de față are ca scop realizarea unei modelări numerice a mișcării hidraulice și termice în acvifere de mare adâncime, în vederea optimizării exploatarei.

Lucrarea este structurată pe 3 părți, conținând 8 capitole.

Partea I-a tratează situația actuală privind exploatarea resurselor de energie geotermală, punând în evidență tipurile de energie și evoluția în exploatare a zăcămintelor geotermale din Câmpia de Vest a României.

În capitolul 1 sunt prezentate cele 3 tipuri de zăcăminte: zăcăminte de energie geotermică înaltă, zăcăminte de roci calde și uscate, zăcăminte de energie geotermică joasă - specifice Câmpiei de Vest a României. Aceste zăcăminte sunt răspândite de-a lungul zonelor de anomalie geotermică. Se prezintă o clasificare generală a surselor geotermale din Câmpia de Vest a României, evoluția în exploatare a lor cu referințe predominante pentru zonele aferente perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin.

Deasemenea se fac precizări de utilizare complexă în trepte a energiei geotermice la zăcămintele de joasă energie, cu referire predominantă - Câmpia de Vest a României - paragraful 1.2.5.

Partea II-a care cuprinde modelarea matematică a mișcării apei geotermale în regim hidraulic și termic staționar, este structurată pe 4 părți, conținând 4 capitole.

Capitolul 2 care se ocupă *cu simularea mișcării apei geotermale în regim staționar*, precizează bazele matematice ale mișcării hidraulice subterane pentru un domeniu bidimensional, prevăzut cu surse de suprafață (precipitații), sonde de extracție sau injecție dispuse pe suprafețele laterale domeniului bidimensional stabilind:

① relațiile fundamentale ale mișcării hidraulice subterane date de: □ legea filtrației - Darcy (2.3); □ ecuația de continuitate (2.2); □ condițiile suplimentare de margină de tip sarcină impusă (2.7); □ condițiile suplimentare de margină de tip flux hidraulic impus (2.8).

② relația fundamentală a metodei elementelor finite - *varianta metodei variaționale* - precizând forma funcției asociată mișcării - funcționala $J(\Pi)$ - (2.9), cu termenii suplimentari pentru sursele de suprafață și sondele de extracție sau injecție.

③ relațiile necesare pentru transformarea permeabilității din sistemul global de coordonate față de un sistem local de coordonate (2.12)...(2.14) și relațiile pentru determinarea coeficienților funcțiilor de interpolare (2.22.a,b):

④ relațiile necesare pentru determinarea coeficienților matricii permeabilității absolute pentru un mediu neomogen și anizotropic (2.42)...(2.43) și coeficienții vectorului condițiilor de margină (2.42):

⑤ relația generală a metodei elementelor finite pentru un element curent (2.44):

⑥ relațiile generale ale sistemului de ecuații decuplate specifice metodei elementelor finite (2.49a,b):

⑦ relațiile generale ale componentelor vitezelor normale pe suprafețele laterale ale unui element curent (2.50):

⑧ un procedeu de rezolvare a sistemelor de ecuații utilizând o matrice de tip *bandă* de lățime maximă (64-1) termeni pe linie, din care ultimul termen reprezentând valoarea coeficientului vectorului condițiilor de margină.

Capitolul 3 care se ocupă *cu simularea termică a apei geotermale în regim staționar*, precizează modul de transmitere a căldurii prin: difuziune termică, dispersie termică datorată neuniformității distribuției vitezelor hidraulice, convecție liberă la suprafețele laterale de separație.

Cap.8 Concluzii generale

În bazele matematice ale mișcării termice subterane pentru un domeniu bidimensional, prevăzut cu surse interioare de căldură, sonde de extracție sau injectare dispuse pe suprafețele laterale domeniului bidimensional se precizează:

① relațiile necesare pentru determinarea fluxurilor termice la transfer dispersiv de căldură, datorat neuniformității distribuției de viteze hidraulice (3.14);

② relațiile fundamentale necesare simulării mișcării termice: □ legea experimentală a lui Fourier, la care se adaugă fluxul termic unitar de transport (3.18.a,b); □ legea de conservare a energie (3.25); □ condițiile suplimentare de margină de tip temperatură impusă (3.30); □ condițiile suplimentare de margină de tip flux termic impus (3.31); □ condițiile suplimentare de margină de tip schimb convectiv impus (3.32);

③ relația diferențială generală pentru descrierea mișcării termice bidimensionale printr-un mediu poros, cu dispersie termică datorată distribuției neuniforme de viteze hidraulice și cu transport termic (3.28);

④ relația fundamentală a metodei elementelor finite - *varianta metodei variaționale* - precizând forma funcției asociată mișcării - funcționala $J(\theta)$ - (3.33) ... (3.34) și dezvoltată pentru un element finit curent "e" (3.37), cu termenii suplimentari pentru: surse interioare de căldură, sonde de extracție sau injectare, schimb termic convectiv și transport termic;

⑤ relațiile pentru determinarea coeficienților funcțiilor de interpolare (3.42);

⑥ relațiile necesare pentru determinarea coeficienților matricii de conductivitate din sistemul global de coordonate în funcție de valorile matricii de conductivitate din sistemul local de coordonate pentru un mediu neomogen și anizotropic (3.47);

⑦ relațiile generale pentru determinarea coeficienților Jacobianului transformării utilizând unghiurile Euler (3.20)...(3.21) pentru un sistem de axe 3D și situația particulară la un sistem de axe 2D;

⑧ relațiile necesare pentru determinarea coeficienților sistemului de ecuații la: matricea de ansamblu tip $[K_1]$ (3.61.a,b), matricea de ansamblu tip $[K_2]$ (3.62a,b), matricea de ansamblu tip $[K_3]$ (3.65.a,b,c) și coeficienții vectorului condițiilor impuse de margină (3.66);

⑨ relația generală a sistemului de ecuații decuplat al metodei elementelor finite (2.72a,b);

Capitolul 4 care se ocupă cu *simularea hidraulică și termică cuplată a apei geotermale în regim staționar*, precizează bazele matematice ale mișcării hidraulice și termice subterane într-un sistem de ecuații decuplate (4.2)...(4.3), (4.6)...(4.7a,b) și relația de cuplaj (4.4) a vitezelor hidraulice, pentru un domeniu bidimensional, regim staționar.

Relațiile obținute în capitolele 2, 3 și 4 sunt scrise într-o formă adecvată pentru generarea a două programe distincte și o subrutină de conversie a unor imagini grafice:

✱ program general *GENTERM.BAS* în limbaj QuikBasic var.4.1-7.1 ⇒ de generare a unei baze de date necesară modelării numerice a mișcării hidraulice și termice cuplate, pentru un domeniu *general de ansamblu* și 3 domenii de detalii denumite: *detaliu Sănnicolau Mare*, *detaliu Tomnatic*, *detaliu Lovrin* (Anexa A);

✱ program general *TERMAL.BAS* în limbaj QuikBasic var.4.1-7.1 ⇒ de simulare numerică a regimului hidraulic și termic cuplat (Anexa B). Acest program utilizează baza de date pentru cele 4 domenii de modelare și determină valoarea sarcinii hidraulice, respectiv temperatura în toate nodurile discretizării, pentru un regim de exploatare precizat și generat cu *GENTERM.BAS* cu toți parametrii necesari stocați în baza de date.

✱ subrutină de conversie (în Anexa A) a unei imagini grafice (care reprezintă divizarea în elemente a domeniului curent discretizat) în fișiere externe de tip “*dxg*” ce se pot importa cu alte utilitare - frecvent utilitarul “*AUTOCAD*”, în care se pot executa operații de mărire, micșorare, editare, dar mai important - trimiterea lor la un tipăritor - printer sau ploter. Aceste imagini grafice sunt importante pentru depistarea eventualelor erori comise la discretizarea domeniului.

Tot în acest capitol sunt prezentate două scheme generale ce cuprind modulele necesare, una pentru realizarea bazei de date (fig.4.2) și alta pentru programul de simulare numerică (fig.4.4).

În paragraful 4.3.2 se descrie modalitatea de utilizare a programului de generare bază de date, cu semnificația parametrilor din fișiere. În paragraful 4.4 se descrie modalitatea de utilizare prin citire sau rescriere a unor parametri externi, pentru o alegere succesivă automată a bazei de date curente, necesară rezolvării celor 4 domenii de simulare distincte, precum și modalitatea de stocare a rezultatelor în fișierele externe.

În **Anexa A** sunt prezentate pe 18 pagini instrucțiunile necesare programului sursă **GENTERM.BAS**, iar în **Anexa B** sunt prezentate pe 34 de pagini instrucțiunile necesare programului sursă **TERMAL.BAS**.

Partea III.-a care are ca obiectiv *optimizarea exploatării sistemelor geotermale* cu studiu de caz pentru zona aferentă perimetrelor localităților: Sânnicolau Mare, Tomnatic și Lovrin se dezvoltă pe 4 capitole.

În capitolul 5 se prezintă date referitoare la permeabilitățile absolute a straturilor obținute din măsurători făcute pe carote sau din măsurători efectuate în cadrul exploatării sondelor geotermale din domeniile considerate, debitele de extracție (tabel nr.5.3), coeficienți de termoconductivitate orientativi (tabelul nr.5.4 - după Sööl) /103/ cât și valorile lor obținute din analizele experimentale pentru rocile sedimentare din Câmpia de Vest a României.

În paragraful 5.2 sunt prezentate planurile generale de discretizare prin elemente finite triunghiulare, numerotarea nodurilor și elementelor, numerele de inventariere a celor 21 de sonde existente, cuprinzând:

- un plan general de discretizare a domeniului general de ansamblu (fig.5.1), care conține 325 elemente, 187 noduri cu detalierea de prezentare mai clară a zonelor:
 - ♦ Sânnicolau Mare (fig.5.2); ♦ Tomnatic (fig.5.3); ♦ Lovrin (fig.5.4);
- un plan de discretizare a domeniului de detaliu Sânnicolau Mare (fig.5.5), care conține 286 elemente, 164 noduri;
- un plan de discretizare a domeniului de detaliu Tomnatic (fig.5.6), care conține 346 elemente, 197 noduri;
- un plan de discretizare a domeniului de detaliu Lovrin (fig.5.7) care conține 313 elemente, 178 noduri.

Numerele de nod și coordonatele (x,y) corespunzătoare laturilor elementelor pentru cele 21 sonde de extracție din zonele aferente celor 3 localități, debitele hidraulice, fluxurile termice de inițializare, sunt prezentate în tabelul centralizator nr.5.4 pentru domeniul de discretizare general, respectiv tabelul centralizator nr.5.5 pentru cele 3 domenii de detalii.

Capitolul 6 are ca scop realizarea programului experimental de simulare hidraulică și termică cuplată în diferite situații de exploatare posibile, în vederea alegerii unei soluții optime din punct de vedere hidraulic și termic.

În vederea optimizării s-a plecat de la ideea de asociere a unui sistem de reprezentare **3D** a domeniului geotermal, în care suprafața orizontală a acviferului să fie în planul xOy, valorile presiunii și temperaturii geotermale după axa Z. Se asociază un volum de presiune și un volum de temperatură.

Cap.8 Concluzii generale

Problema optimizării exploatarei acviferului geotermal se reduce la minimizarea volumelor de presiuni și volumelor de temperatură în cadrul regimurilor de funcționare posibile.

Programul executabil de simulare hidraulică și termică cuplată "TERMAL.EXE" introduce în calcule datele din fișierele bazei de date pentru o variantă posibilă, rezolvă sistemul de ecuații decuplat pentru regimul hidraulic. Cu ajutorul relației de cuplaj (4.4) determină componentele vitezelor hidraulice și inițializează fluxurile termice de extracție sau injectare, fluxurile termice de convecție și rezolvă sistemul termic de ecuații la prima iterație.

Cu valorile temperaturilor astfel obținute recalculază fluxurile termice și modifică în baza de date aceste valori. Se face un studiu de analiză a acestor mărimi determinând diferența maximă dintre valoarea de inițializare și valoarea calculată la capătul ciclului, pe care o compară cu o valoare infinit mică denumită valoare de aproximare. Când diferența maximă este mai mică față de valoarea de aproximare, ciclul iterativ se încheie, valorile anterioare ale temperaturilor reprezintă necunoscutele din nodurile discretizării.

Programul este general și alege parametrii necesari în mod automat pentru 4 secvențe succesive de module duble (un modul dublu reprezintă un regim hidraulic și o succesiune de secvențe iterative pentru regimul termic) pentru rezolvarea completă a domeniului general de ansamblu și a celor 3 domenii de detalii, pentru o variantă de exploatare dată.

Cu ajutorul utilitarului "PLOT88" se execută operațiile de postprocesare a rezultatelor determinând:

- reprezentarea câmpurilor de sarcini hidraulice, respectiv temperaturi într-o reprezentare plană obținută prin interpolare după două direcții, utilizând *funcții spline* - gradul 3;
- reprezentarea câmpurilor de sarcini hidraulice, respectiv temperaturi într-o reprezentare spațială utilizând o rețea cu maximum 50*50 puncte la bază;
- volumele asociate de sarcini hidraulice sau termice.

Utilitarul "PLOT88" este prevăzut cu un modul denumit "volume.exe" cu ajutorul căruia se pot determina prin 3 procedee de evaluare diferite (metoda trapezelor, metoda Simpson, metoda Simpson 3/8) volumul cuprins între un plan de referință cu normala paralelă cu axa *Z*, suprafața spațială de interpolare generată și 4 plane ce conțin laturile rețelei de puncte și în același timp normale pe axa *Z*. Alegerea planului de referință se face în două moduri:

- cu suprafața spațială de interpolare deasupra acestui nivel de referință - acest volum în exemplele din cap.6 a fost notat cu "Baza de referință inferioară" și reprezintă nivelul **0.00**.

- cu suprafața spațială de interpolare sub acest nivel de referință - acest volum în exemplele din cap.6 a fost notat cu "Baza de referință superioară" și reprezintă nivelul **100.00** pentru câmpul sarcinilor hidraulice, respectiv **87.00** pentru câmpul de temperaturi.

Capitolul 6 cuprinde rezultatele de postprocesare efectuate pentru 6 regimuri de exploatare distincte, pentru domeniul general și cele 3 domenii de detalii, reprezentând:

- 96 figuri (fig.6.1 fig.6.96) într-o reprezentare plană, respectiv spațială;
- 32 tabele (tabel nr.6.3...6.48) cu valorile volumelor de sarcini hidraulice, respectiv temperaturi rezultate în urma integrării prin cele 3 metode și cele două baze de referință.

În capitolul 7 care are ca scop alegerea soluției optime de reinjectare a apei reziduale geotermale prin stabilirea raportului optim al debitelor $Q_{inj} / Q_{extracție}$, se prezintă evoluția volumelor de sarcini hidraulice pentru cele 6 regimuri grupate pe cele 3 amplasamente (fig.7.1), respectiv evoluția volumelor de temperaturi grupate pe cele 3 amplasamente (fig.7.2), evoluția volumelor de sarcini hidraulice pentru cele 6 regimuri cu amplasamentele grupate (fig.7.3), respectiv evoluția volumelor de temperaturi cu amplasamentele grupate (fig.7.4).

Se realizează o reprezentare de analiză în care pe axa orizontală se pune raportul debitelor $Q_{inj} / Q_{extracție}$ considerând *baza de referință superioară* pentru volume, iar pe axa verticală volumele de sarcini hidraulice, respectiv volumele de temperaturi și se obțin diagramele din figurile 7.5...7.7 din care se determină valoarea rapoartelor optime a debitelor în domeniul 0.28...0.57.

Lucrarea de față se dorește a fi un punct de sprijin în direcția simulărilor numerice subterane la sisteme cuplate, cu predilecție acviferele geotermale și sintetizează o activitate de peste 15 ani în acest domeniu a autorului.

Contribuții originale ale lucrării.

Sintetizând, elementele originale ale lucrării sunt următoarele:

- ① determinarea relațiilor necesare obținerii coeficienților matricii de permeabilitate în varianta *permeabilitate absolută*, pentru un mediu neomogen și anizotropic;
- ② relația diferențială care descrie mișcarea termică bidimensională printr-un mediu poros, cu dispersie termică datorată distribuției neuniforme de viteze hidraulice și cu transport termic;
- ③ relația funcției asociată mișcării - funcționala $J(\theta)$ - dezvoltată pentru un element finit, cu termenii suplimentari pentru: sonde de extracție sau injectare, schimb termic convectiv și transport termic;
- ④ determinarea relațiilor necesare pentru determinarea coeficienților matricii de conductivitate din sistemul global de coordonate în funcție de valorile matricii de conductivitate din sistemul local de coordonate;
- ⑤ determinarea relațiilor necesare pentru determinarea coeficienților la: matricea de ansamblu tip $[K_1]$ (3.61a,b), matricea de ansamblu tip $[K_2]$ (3.62a,b), matricea de ansamblu tip $[K_3]$ (3.65a,b,c);
- ⑥ program general *GENTERM.BAS* de generare a unei baze de date necesară modelării numerice a mișcării hidraulice și termice cuplate și modul de conversie grafică de tip "dxf" (Anexa A);
- ⑦ program general *TERMAL.BAS* de simulare numerică a regimului hidraulic și termic cuplat (Anexa B);
- ⑧ ideea de realizare a postprocesării valorilor rezultate în urma simulărilor numerice utilizând utilitare puternice de interpolare de tipul lui "PLOT88";
- ⑨ o metodă de optimizare a exploatării acviferelor geotermale prin minimizarea volumelor de presiuni și a volumelor de temperatură din cadrul unor regimuri de funcționare care utilizează reinjectarea apei reziduale;
- ⑩ o metodă de determinare a raportului optim a debitului $Q_{inj}/Q_{extracție}$, necesar proceselor de reinjectare.

Direcții de cercetare în viitor

Pornind de la ideea că programul de modelare este limitat la simulările numerice în regim staționar, faptul că conține o secvență primară de simulare a mișcării nestaționare și că metoda injectiei pe suprafețele laterale ale elementelor care încadrează sonda de extracție se îndepărtează față de metoda introducerii unei singularității în metoda elementelor de frontieră, atenția autorului este îndreptată în viitor în următoarele direcții posibile:

ⓐ dezvoltarea modulelor existente de simulare prin metoda elementelor finite și introducerea unui modul de cuplaj în zona singularităților, rezolvarea mișcării prin metoda elementelor de frontieră pentru aflarea debitelor de injectare;

ⓑ dezvoltarea secvențelor primare de simulare a mișcărilor în regim nepermanent pentru mișcarea hidraulică și transferul termic cu transport pentru modulele existente, eventual și introducerea modulului de cuplaj în zona singularităților;

↳ extinderea metodei simulării numerice pentru situația acviferelor de zăcămin-
te de hidrocarburi.

Bibliografie

- /1/. **Ashton-Tate**, dBASE II. Assembly Language Relational Database Management System ver. 2.3, Osborne Computer Corp., Hayward California.
- /2/. **Bako A., Szucs L.**, Utilizarea în trepte a apei geotermale din forajul de la Institutul de Invățământ Superior din Oradea, în vederea valorificării integrale a potențialului geotermal, Simpozion "Utilizarea Apelor Geotermale", vol.I, Timișoara, 17-18 iunie 1982.
- /2*/. **Banarjee P.K., Butterfield R.**, Boundary Element Methodes in Engineering Science, McGraw Hill Book Company London-New York, 1981.
- /3/. **Bathe K.J., Wilson E.L.**, Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey.
- /4/. **Barelli A., Economides M., Manetti G., Miller G.F.**, Reservoir Engineering Studies of the Travale-Radicondoli Reservoir. In: Proc. II ENEL-DOE Workshop for the cooperative research in geothermal energy, Berkley, oct.20-23 1980.
- /5/. **Berteky L., Korim K.**, Magyarország hevizkutylai 1965-1970, II. Vizgazdalkodasi Tudomanyos Kutato Intezet Kiadvanya, Budapest, 1971.
- /6/. **Bichea I.**, Contribuții la studiul infiltrațiilor prin roci fisurate. Teză de doctorat, I.C. București, 1986.
- /7/. **Brătianu C.**, Metoda cu elemente finite în dinamica fluidelor. Ed. Acad. RSR, București 1983.
- /7*/. **Bredhoeft I. D., Pinder G. F.**, Mass Transport in Flowing Groundwater, Water Resources Research, feb. 1973, vol.9, nr.1.
- /8/. **Bucur C. M.**, Metode numerice. Ed. Facla, Timișoara, 1973.
- /9/. **Burchil I., Berbecaru D.**, Utilizarea apelor geotermale la clădiri industriale, Simpozion "UAG", vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /10/. **Burgassi P. D., Cataldi R., Rossi A.**, Recent developments of geothermal exploration in the Travale-Radicondoli area. Symposium Development Use Geothermal Resources, San Francisco.
- /11/. **Căprariu V., Enyedi A., Muntean M., Chiorean M.**, Sistemul de operare DOS. Comenzi., ed. II, Microinformatica, Cluj Napoca, 1991.
- /12/. **Carradori G., Neri G.**, The simulation of well tests and production data of the Travale geothermal field by a mathematical model, Seminar on Utilization of Geothermal energy for electric power production and space heating, Florence (Italy), 14-17 May 1984.
- /13/. **Carabelli E., Moia E., Fiordelisi**, Seismic monitoring during geothermal wells stimulation as contribution to the individuations of prevailing fracturation trends, Seminar on Utilization of geothermal energy for electric power production and space heating, Florence (Italy), 14-17 May 1984.
- /14/. **Cataldi R., Rossi A.**, Contribution to the knowledge of the Larderello geothermal region: remarks on the Travale field. Geothermics Sp. 1970.
- /15/. **Celati R., Squarci P., Stefani G.C., Taffi L.**, Study of water levels in Larderello region geothermal wells for reconstruction of reservoir pressure trend. Geothermics 6, 1977.
- /16/. **Celati R., Squarci P. and Taffi L.**, Geological, hydrogeological and physical Characteristics of the Tuscan Geothermal Fields In: Proc. of the Italian Days of Science, Budapest, april 21-28, 1978.
- /17/. **Chang M.V., Fillayson B.A.**, On the Proper Boundary Conditions for the Termal Entry Problem. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 17, 6 iun.1981

Bibliografie

- /18/. **Charbeneau R.J., Sreet R.L.**, Modelling groundwater flow fields containing point singularities: A technique for singularity removal. *Water Resour. Res.* 15, 1979.
- /19/. **Chung T.J.**, Finit Element Analisis in Fluid Dinamics. McGraw- Hill International Book Company, New York, 1978.
- /20/. **55 CP/M** Utilites in One Package POWER, San Francisco.
- /21/. **Cocheci V., Petca Gh.**, Stabilirea caracterului incrustant sau agresiv al apelor geotermale. Simpozion "UAG", vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /22/. **F. Conner, T. Huddleston, R. Tidrow**, Autocad Student Workbook, New Riders Publishing, Crmel, Indiana, 1991.
- /23/. **Gh. Costache**, Exploatarea apelor subterane prin sonde, Ed. tehnică, București, 1989.
- /24/. **Combs J., Hadley D.**, Microearthquake investigation of the Mesa geothermal anomaly, Imperial Valley (California). *Geophysics*, vol. 42, nr. 1, 1977.
- /25/. **Creța G., Bara A.**, Studiu privind posibilitatea de utilizare a apelor geotermale din regiunea Banat, la producerea energiei electrice, Simpozion "UAG", vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /26/. **Crețu G., Lupșa C.**, Programarea la calculatorul Felix C-256 FORTRAN-COBOL. Ed. Stiințifică, București, 1973.
- /27/. **DAF-2020** Carte tehnică, 1987.
- /28/. **Dancea I.**, Metode de optimizare. Ed. Dacia, Cluj Napoca, 1976
- /29/. **David E., Gogonea S., Ene H.I.**, Hidrodinamica mediilor poroase neomogene, Ed. tehnică, București, 1989.
- /30/. **David I.**, Hidraulică vol. II. Litografia IPTV Timișoara, 1984.
- /31/. **David I.**, Bazele teoretice ale metodei elementelor de frontieră pentru probleme de mișcări potențiale plane, fundamentate pe reprezentarea integrală Cauchy. Simpozion "Soluții noi și eficiente în proiectarea și execuția structurilor", Timișoara, 14-15 nov. 1986.
- /32/. **David I., Lazăr Gh.**, Calculul infiltrațiilor pe sub construcții hidrotehnice, utilizând metoda elementelor de frontieră, Conferința energetică, București, 1989.
- /33/. **David I., Lazăr Gh.**, Program expert de utilizare rațională a apelor geotermale de joasă energie, în sisteme industriale închise, nepoluante. Conferința "Sisteme hidrotehnice în impact cu mediul", 8-10 nov. 1991.
- /34/. **David I., Gerders H.**, Incorporation of the local three-dimensional flow in the plane BEM to model complex groundwater supply-system. *Computational Methodes in Water Resources*, X., vol. I pag. 135. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London, 1994.
- /34/. **David I., Carabeț I., Șumălan I., Nitușcă A.**, Transportul poluanților prin medii fluide, Litografia IPT, Timișoara, 1996.
- /35/. **Dincă G., Spătaru M.**, Potențialul de iradiere al apelor geotermale la unele utilizări, Simpozion "UAG", vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /36/. **Doughty C., Hellström G., Tsang C.**, A dimensionless parameter approach to the thermal behavior of an aquifer thermal energy storage system. *Water Resour. Res.* 18(3), 1982.
- /37/. **Dorn W. S., Cracken D. D.**, Metode numerice cu programare în FORTRAN. Ed. tehnică, București, 1976.
- /38/. **DOS-3.30** Referance (Abridged). IBM Corp. and Microsoft, Inc., 1983.
- /39/. **DOS-3.30** User's Guide. IBM Corp. and Microsoft, Inc., 1983.
- /40/. **Drug C., Grunfeld I., Popovici V.**, Utilizarea apelor geotermale în județul Timiș, Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /41/. **Ene I., Gogonea S.**, Probleme în teoria filtrației. Ed. Academiei RSR, București 1973.

- /42/. **EPSON** GW-BASIC 3.20. Epson, Technologie die Zeichen setzt Epson Deutschland GmbH, Dusseldorf, 1988.
- /43/. **EPSON** MS-DOS 3.30 Dokumentation, SEIKO Epson Corporation Suwa, Japan, 1989.
- /44/. **O. Florea, R. Dima**, Procese de transfer de masă și utilaje specifice, Ed. didactică și pedagogică, București, 1984.
- /45/. **Gallagher R.H., Oden J.T., Taylor C., Zienkiewicz O.C.**, Finite Elements in Fluids vol.I. Ed. John Wilky, New York, 1975.
- /46/. **Gârbea D.**, Analiză cu elemente finite. Ed. tehnică, București, 1990.
- /47/. **Georgescu H., Preoteasa P.**, Introducere în sistemul de operare SIRIS, Ed. Albatros, 1978.
- /48/. **Gheorghita St.I.**, Metode matematice în hidrodinamica subterană. Ed. Academiei RSR. București 1966.
- /49/. **Gîrleanu I.**, Aspecte igienico- sanitare ale radioactivității apelor termominerale din județul Timiș. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /50/. **Grunfeld I.**, Metodă de determinare a economicității instalațiilor de încălzire cu apă geotermală. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /51/. **Grunfeld I.**, Unele aspecte ale utilizării surselor energetice neconvenționale. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /52/. **Hâncu S., Popescu M., Zaharescu E., Duma D., Danchiv Al., Dan P. Constantinescu Al., Rus E.**, Hidraulică aplicată. Ed. tehnică, București 1985.
- /53/. **Herrera I., Yates R.**, Integrodifferential equation for systems, of leaky aquifers and applications. 3. A numerical method of unlimited applicability. Water Resour. Res. 13(4), 1977.
- /54/. **Henderson Th.B.**, The Osborne Portable Computer ISBN. Que Corporation, Indianapolis, 1982.
- /55/. **Hogan Th.B., Iannamico M.**, Osborne's User's Reference Guide, 1981.
- /56/. **Hogan Th.**, Osborne CPM- User Guide. Osborne/McGraw-Hill, Berkley, California, 1982.
- /57/. **IGWMC.**, Heat Transport Models which are Documented and Available. International Ground Water Modelling Center, Holcomb Research Institute, Butler University, Indianapolis, Indiana, 1982.
- /58/. **Ion Michael.** Calculul structurilor hidrotehnice, Curs, Tipografia IPT, Timișoara, 1982.
- /59/. **Ionescu V.**, Transportul apelor geotermale pe conducte lungi în vederea valorificării energiei geotermale. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /60/. **Ivan C.**, Modele de calcul analogic în hidraulica subterană. Ed. tehnică, București 1975.
- /61/. **Jura C., Mirel I., Giurconiu M., Păcurariu M., Retezan A., Prelushek E., Sârbu I., Mercea C., Jura S.**, Aspecte caracteristice ale valorificării complexe a resurselor geotermale. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /62/. **Jura C., Mirel I., Giurconiu M., Păcurariu M., Retezan A., Prelushek E., Sârbu I., Mercea C., Jura S.**, Studiul transportului apelor termale în instalații de valorificare a resurselor geotermale. Contract nr.155/1980, Benf. ICH București, faza I și II, 1981.
- /63/. **Jura C., Mirel I., Giurconiu M., Păcurariu M., Retezan A., Prelushek E., Sârbu I., Mercea C., Jura S.**, Studiul transportului apelor termale în instalații de valorificare a resurselor geotermale. Contract nr.6208/1981, Benf. ICH București, faza I și II, 1981.
- /64/. **Kinzelbach W.**, Numerische Methoden zur Modellierung des Transport von Schadstoffen im Grundwasser. Schriftenreihe Wasser, Abwasser, Oldenbourg, Munchen 1987.

64. **Kobus H.**, Numerische Modellierung des großräumigen Wärmenud schadstofftransports im Grundwasser. In DFG Forschungsberichts Band 1., VCH Verlagsgesellschaft, Deutschland, 1996, pg.24.
65. **Lazăr Gh.**, Problema infiltrațiilor bidimensionale printr-un mediu anizotropic și neomogen, prin metoda elementelor finite. Simpozion "SNIC", Timișoara 1988.
66. **Lazăr Gh.**, Hydraulic simulation program of the low energy thermal water, using the finite element method. Buletinul științific UTT, fasc.1,2-Tom.40/54, 1995.
67. **Lazăr Gh.**, Thermal simulation program of the low energy thermal water, using the finite element method. Buletinul științific UTT, fasc.1,2-Tom.40/54, 1995.
68. **Lazăr Gh.**, Probleme specifice de simulare numerică cuplată a mișcării apei geotermale, prin metoda elementelor finite. Buletinul științific UTT, Volum Hidrotehnica, Tom 42(56), 1997.
69. **Lazăr Gh.**, Criteriu de optimizare a reinjecției apei geotermale în perimetrul localităților: Sînnicolau Mare, Lovrin, Tomnatic. Buletinul științific UTT, Tom , Volum Hidrotehnica, Tom 42(56), 1997.
70. **Lazăr Gh.**, Considerații generale asupra generării bazei de date necesare discretizării domeniului (program-GENTERM.EXE) și execuției simulării regimului staționar hidrolic și termic cuplat (program-TERMAL.EXE)- faza I, Contr.nr.5004/93.
71. **Massonnet Ch., Deprez G., Maquoi R., Muller R., Fondor D.**, Calculul structurilor la calculatoare electronice, Ed. tehnică, București, 1974.
72. **Mateescu C.**, Hidraulică. Ed. did. și ped., București, 1963.
73. **MBASIC-Microsoft BASIC-80.** Reference manual, 1979.
74. **Mchlhorn h., Kobus H.**, Effects of buoyancy on the flow and temperature fields near injection wells. Proc. XVIII IAHR Congress, Cagliari, vol.3, 1979.
75. **Microcalculatorul MS-100** Carte tehnică, FMECTC Timișoara.
76. **Microsoft FORTRAN-80** ver.3.44, Osborne Computer Corporation, Hayward, California, 1983.
77. **Milcoveanu D.**, Geotermia și petrolul. Ed. Facla, Timișoara 1984.
78. **Mircescu V.**, Zăcămintele de ape geotermale din Cîmpia de Vest. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
79. **Mocsy I., Fulea C. și alții.**, Implicațiile sanitare ale apelor minerale și termale. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
80. **Moraru F., Atodiroaiei M.**, Programarea microcalculatoarelor în sistemul de operare CPM. Ed. științ. și encic., București 1989.
81. **Negoită V.**, Etude sur la distribution des temperatures en Roumanie. Rev. Roum. geol. geophys. geol. serie de geophys. 14,1, 1970.
82. **Negru D.**, Contribuții teoretice privind utilizarea pompelor de căldură pentru recuperarea căldurii din apele geotermale de temperatură scăzută în scopuri de încălzire. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
83. **Noyer M.L.**, Simulation des Transfers Thermiques dans les Aquiferes: Condition de Validite de Solution Analytique. BRGM, 77 SNG 598GTH, Orleans Cedex, 1977.
84. **Oancea I.**, Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și cercetare științifică. Ed. Dacia, Cluj, 1973.
85. **Oancea N.**, Ridicarea eficienței utilizării energiei termice a apelor geotermale cu ajutorul pompei termice. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
86. **Omura G.**, Mastering AutoCAD. SYBEX, San Francisco, Paris, Dusseldorf, London.
87. **Turbo BASIC- ver. 1.0.** Borland International, Inc., 1987.

- /87/. **Turbo BASIC- ver. 1.0.** Borland International, Inc., 1987.
- /88/. **Paal C., Mircescu V., Plaviță R.**, Studiu geologic de sinteză a lucrărilor de cercetare pentru ape geotermale în Depresiunea Panonică (Cîmpia de Vest). Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /89/. **Quick BASIC Extended- ver. 7.1**, Microsoft Corp., 1982-1990.
- /90/. **Pietraru V.**, Calculul infiltrațiilor. Ed. Ceres, București 1977.
- /91/. **Petrescu A., Rizescu Gh., Novăcescu C. și alții**, Totul despre calculatorul personal aMic. vol.I, II. Ed. tehnică, București 1985.
- /92/. **Popescu M.**, Considerații hidrogeologice asupra zăcămintelor de ape termominerale din municipiul Timișoara. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /93/. **Popovici V.**, Aspecte specifice în alimentarea cu apă geotermală pentru încălzirea locuințelor și serelor din jud. Timiș. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /94/. **Prickett T.A., Naymik A., Lonquist G.**, A Random Walk Solute Transport Model for Selected Groundwater Quality Evaluation. Illinois State Water Survey, Bulletin 65. 1981.
- /95/. **Pușcoiu N.**, Studiul transferului de căldură în cazul injecției cu agenți calzi în zăcămintele de petrol. Rev. Petrol și Gaze, vol. 21, Nr. 9/1970.
- /96/. **Raleigh C.B., Healy J.H., Bredehoff J.D.**, An experiment in earthquake control at Rangely. Colorado, Science 191, 1976.
- /97/. **Sauty I.P.**, An analysis of hydrodispersive transfer in aquifers. Water Resour. Res. 16(1), 1980.
- /98/. **Sauty I.P., Gringarden A.C., Menjoz A., Landel P.A.**, Sensible energy storage in aquifers. 1. Theoretical study. Water Resour. Res. 18(2), 1982.
- /99/. **Sauty I.P., Gringarden A.C., Menjoz A., Landel P.A.**, Sensible energy storage in aquifers. 2. Field experiments and comparison with theoretical results. Water Resour. Res. 18(2), 1982.
- /100/. **Simuț O.D.**, Domenii de utilizare a apelor termominerale din Cîmpia Banatului. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /101/. **Sistemul de operare CP/M.** implementat pe microcalculatoarele TPD și Junior, vol.I IEP București, 1989.
- /102/. **Soare Al., Bratu C.**, Cercetarea hidrodinamică a zăcămintelor de hidrocarburi. Ed. tehnică, București 1987.
- /103/. **Söll Th., Kobus H.**, Modellierung des großräumigen Wärmetransports im Grundwasser. VCH Verlagsgesellschaft mbH..D-6940 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland), 1992.
- /104/. **Spătaru M., Stoici S.**, Radioactivitatea apelor geotermale din Cîmpia de Vest a României. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- /105/. **Stematiu D.**, Calculul structurilor hidrotehnice prin metoda elementelor finite. Ed. Tehnică, București 1988.
- /106/. **Stewart Ch.O., Arnoff K.J., Smith A.M., & comp.**, Using WordPerfect 5.1. Que Development Grup. Que Corporation, 1989.
- /107/. **Tănăsescu A., Constantinescu R., Marinescu I.D., Busuioc L.**, Grafică asistată- Programe pentru reprezentări geometrice, vol.I, II, Ed. tehnică, București, 1989.
- /108/. **Tonko C.**, Aspecte preliminare privind evoluția în exploatare a zăcămintelor de ape geotermale. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.

- 110/. *Tenu A.*, Zăcămintele de ape hipertermale din nord-vestul României. Ed. Academiei, București 1981.
- 111/. *Văduva I., Popovici N.*, Introducere în programarea automată. Ed. did. și ped., București, 1973.
- 112/. *Vevera C., Stamo V.*, Utilizarea energiei geotermale în complexe de sere. Simpozion "UAG" vol. I, Timișoara 17-18 iunie 1982.
- 113/. *Walton W.C.*, Handbook of analytical ground Water models. GWMI 84/1, Holcomg Research Institute, Butler University, Indianapolis, Indiana, 1984.
- 114/. *Wilson E.L.*, SOLID-SAP. A general structural analysis program. U.C. Berkley, SESM Rep. 70-20, 1970.
- 115/. *X-Y Plotter DXY*, Command Reference Manual. Roland Digital Group.
- 116/. *XY Plotter DXY*, User's Manual. Roland Digital Group.
- 117/. *Young T.L., Van Woert*, Plot 88. Software Library Reference Manual, Plotworks, Inc., 1984-1988.
- 118/. *Zienkiewics O.C.*, The Finit Element Method in Engineering Science Mc Grow-Hill, London, 1972.
- 119/. *Zienkiewics O.C., Mayer P., Cheung Y.*, Solution of Anizotropic Seepage by Finite Elements. J. of the Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE febr.1966.
- 120/. *Zienkiewicz O.C.*, La methode des elements finits. Mc Graw Hill, Paris, 1979.

Rem Program generare baze de date - GENTERM.BAS

Rem Autor : s.l. ing. Gheorghe Lazar

Rem Declararea variabilelor de tablou indexate utilizate in baze

DIM S(64), S1(64), X(400), Y(400), DX(450), DY(450), W6\$(2)

DIM CS(3, 3), SES(3, 3), TV(3), CSP(450), GMA(450), WB4(2)

DIM FL(450), IC(400), ID(450, 3), TA(400), SE(3, 3), WA\$(2)

DIM FE(3), A(3), B(3), C(3), NC(350, 3), NF(350, 3), NJ(350)

DIM AL(350), TE(350), FU(350), A1\$(12), B1\$(12), SS(3, 64)

DIM KB(3), RP(3), ZP(3), SEC(3, 3), FEC(3), FEF(3), KK(3)

DIM ZX(3), ZY(3), IW(10)

SCREEN 0

COLOR 0, 7, 1

8 KF = 1

CLS

CLOSE

LOCATE 3, 20: PRINT "Se modifica fisierul de prefixe? [Y/N]";

INPUT "", WWA\$

OPEN "R", #15, "PREFIXE.DAT", 18

FIELD #15, 4 AS AW1\$, 4 AS AW2\$, 4 AS AW3\$, 4 AS AW4\$, 2 AS AW5\$

AW5\$ = CHR\$(13) + CHR\$(10)

IF WWA\$ = "Y" OR WWA\$ = "y" THEN

LOCATE 4, 20: PRINT "Prefix nume general...[numk]";

INPUT "", AQ1\$

LOCATE 5, 20: PRINT "Prefix nume detaliu1...[numk]";

INPUT "", AQ2\$

LOCATE 6, 20: PRINT "Prefix nume detaliu2...[numk]";

INPUT "", AQ3\$

LOCATE 7, 20: PRINT "Prefix nume detaliu3...[numk]";

INPUT "", AQ4\$

RSET AW1\$ = AQ1\$

RSET AW2\$ = AQ2\$

RSET AW3\$ = AQ3\$

RSET AW4\$ = AQ4\$

PUT #15, 1

END IF

GET #15, 1

AU1\$ = AW1\$

AU2\$ = AW2\$

AU3\$ = AW3\$

AU4\$ = AW4\$

LOCATE 10, 20: PRINT "Prefix nume de utilizat..[";

LOCATE 10, 47: PRINT AU1\$, ":", AU2\$, ":", AU3\$, ":", AU4\$, "];

INPUT "", AL1\$

LOCATE 12, 20: PRINT "Subdirector [0,1,2,3] ";

INPUT "", dkn

IF dkn = 0 THEN

' Domeniul general de ansamblu

W6\$(1) = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_61.DAT"

W6\$(2) = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_62.DAT"

WW7\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_70.DAT"

WW8\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_80.DAT"

W9\$(1) = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_91.DAT"

W9\$(2) = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_92.DAT"

WW10\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_10.DAT"

WV1\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_HD.OUT"

WV2\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_TE.OUT"

WV3\$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU1\$ + "_PH.DAT"

WV4\$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU1\$ + "_PT.DAT"

WV5\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_VH.DAT"

WV6\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_VT.DAT"

WV7\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_SO.DAT"

WW11\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_DH.DAT"

WW12\$ = "C:\BC7\HT\0\" + AU1\$ + "_DT.DAT"

END IF

ANEXA A

IF dkn = 1 THEN

· Domeniul de detaliu - Sannicolau Mare

```

W6$(1) = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_61.DAT"
W6$(2) = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_62.DAT"
WW7$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_70.DAT"
WW8$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_80.DAT"
W9$(1) = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_91.DAT"
W9$(2) = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_92.DAT"
WW10$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_10.DAT"
WV1$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_HD.OUT"
WV2$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_TE.OUT"
WV3$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU2$ + "_PH.DAT"
WV4$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU2$ + "_PT.DAT"
WV5$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_VH.DAT"
WV6$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_VT.DAT"
WV7$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_SO.DAT"
WW11$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_DH.DAT"
WW12$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_DT.DAT"

```

END IF

IF dkn = 2 THEN

· Domeniul de detaliu - Tomnatic

```

W6$(1) = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_61.DAT"
W6$(2) = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_62.DAT"
WW7$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_70.DAT"
WW8$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_80.DAT"
W9$(1) = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_91.DAT"
W9$(2) = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_92.DAT"
WW10$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_10.DAT"
WV1$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_HD.OUT"
WV2$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_TE.OUT"
WV3$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU3$ + "_PH.DAT"
WV4$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU3$ + "_PT.DAT"
WV5$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_VH.DAT"
WV6$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_VT.DAT"
WV7$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_SO.DAT"
WW11$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_DH.DAT"
WW12$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_DT.DAT"

```

END IF

IF dkn = 3 THEN

· Domeniul de detaliu - Lovrin

```

W6$(1) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_61.DAT"
W6$(2) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_62.DAT"
WW7$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_70.DAT"
WW8$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_80.DAT"
W9$(1) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_91.DAT"
W9$(2) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_92.DAT"
WW10$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_10.DAT"
WV1$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_HD.OUT"
WV2$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_TE.OUT"
WV3$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU4$ + "_PH.DAT"
WV4$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU4$ + "_PT.DAT"
WV5$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_VH.DAT"
WV6$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_VT.DAT"
WV7$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_SO.DAT"
WW11$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_DH.DAT"
WW12$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_DT.DAT"

```

END IF

CLS

- 9 LOCATE 6, 20: PRINT "Generare date de intrare.....[1]"
 LOCATE 8, 20: PRINT "Regim stationar.....[2]"
 LOCATE 10, 20: PRINT "Regim tranzitoriu.....[3]"
 LOCATE 12, 20: PRINT "Exit.....[4]"
 LOCATE 14, 20: PRINT "Tasteaza nr.....[1...4]";
 INPUT "", ZWS

```
15 IF ZWS = 1 THEN
    KWI = 2
    KF = 2
    GOSUB 6300
    GOTO 8
END IF
17 IF ZWS = 2 THEN
    YZY = 1
    KWI = 2
END IF
19 IF ZWS = 3 THEN
    YZY = 2
    KWI = 2
END IF
21 IF ZWS = 4 THEN
    CLS
    LOCATE 23, 5: PRINT "Tasteaza orice tasta "
    GOTO 4370
END IF
IF ZWS = 0 THEN
    GOTO 9
END IF
22 CLS
23 IF ZWP <> 0 THEN 29
    LOCATE 6, 20: PRINT "Run regim stationar.....[1]"
    LOCATE 8, 20: PRINT "Run regim tranzitoriu.....[2]"
    LOCATE 10, 20: PRINT "Exit.....[3]"
    LOCATE 23, 5: PRINT "Tasteaza nr.....[1...3]";
    INPUT "", ZWP
    CLS
29 IF ZWP = 3 THEN 4370
    LOCATE 6, 20: PRINT "Tiparire date intrare.....[1]"
    LOCATE 8, 20: PRINT "Netiparire date intrare.....[2]"
    LOCATE 10, 20: PRINT "Exit .....[3]"
    LOCATE 23, 5: PRINT "Tasteaza nr.....[1...3]";
    INPUT "", ZWR
    CLS
    ZWS = 4
    GOTO 21
40 NOD = 3
4370 STOP
END

6300 REM Subrutina de introducere date intrare program
6301 CLS
6302 LOCATE 6, 20: PRINT "Fisier date [ _6K.dat ].....[1]"
    LOCATE 6, 35: PRINT AL1$
    LOCATE 8, 20: PRINT "Fisier date [ _70.dat ].....[2]"
    LOCATE 8, 35: PRINT AL1$
    LOCATE 10, 20: PRINT "Fisier date [ _80.dat ].....[3]"
    LOCATE 10, 35: PRINT AL1$
    LOCATE 12, 20: PRINT "Fisier date [ _9K.dat ].....[4]"
    LOCATE 12, 35: PRINT AL1$
    LOCATE 14, 20: PRINT "Fisier date [ _10.dat ].....[5]"
    LOCATE 14, 35: PRINT AL1$
    LOCATE 16, 20: PRINT "Vizualizare discretizare .....[6]"
    LOCATE 18, 20: PRINT "Exit.....[7]"
    LOCATE 20, 20: PRINT "Tasteaza nr.....[1...7]";
    INPUT "", WES
    IF WES = 1 THEN 6320
    IF WES = 2 THEN 6470
    IF WES = 3 THEN 6669
    IF WES = 4 THEN 6791
    IF WES = 5 THEN 7010
```

ANEXA A

```

IF WES = 6 THEN 9000
IF WES = 7 THEN 7200
GOTO 6302
6320 CLOSE #KF
OPEN "R", #KF, W6$(KF), 12
FIELD #KF, 10 AS C1$, 2 AS C2$
IF WET = 2 THEN
  LOCATE 16, 9: PRINT " Tasteaza .....[ Enter ]":
  INPUT "", QAQ$
END IF
IF KF = 2 THEN
  GOSUB 7300
END IF
6324 CLS
IF WET = 4 THEN 6300
FOR K = 1 TO 9
  IF K = 1 THEN A1$(K) = "NPROBL"
  IF K = 2 THEN A1$(K) = "NFLAG "
  IF K = 3 THEN A1$(K) = "NE  "
  IF K = 4 THEN A1$(K) = "NN  "
  IF K = 5 THEN A1$(K) = "NNTIMP"
  IF K = 6 THEN A1$(K) = "NECONV"
  IF K = 7 THEN A1$(K) = "NEFLUX"
  IF K = 8 THEN A1$(K) = "NIT  "
  IF K = 9 THEN A1$(K) = "DTI  "
NEXT K
IF KF = 1 THEN
  LOCATE 4, 10: PRINT "Regim hidraulic - date de control"
  GOTO 6420
END IF
IF KF = 2 THEN
  LOCATE 4, 10: PRINT "Regim termic - date de control"
END IF
6420 FOR K = 1 TO 9
  LOCATE 5 + K, 10: PRINT A1$(K);
  IF WET = 3 THEN 6450
  IF WET = 2 THEN 6450
  INPUT " ", DID
  RSET C1$ = STR$(DID)
  RSET C2$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  PUT #KF, K
6450 NEXT K
IF WET = 1 THEN 6466
FOR K = 1 TO 9
  GET #KF, K
  IF K = 1 THEN
    NPROBL = VAL(C1$)
    LOCATE 6, 17: PRINT NPROBL
  END IF
  IF K = 2 THEN
    NFLAG = VAL(C1$)
    LOCATE 7, 17: PRINT NFLAG
  END IF
  IF K = 3 THEN
    NE = VAL(C1$)
    LOCATE 8, 17: PRINT NE
  END IF
  IF K = 4 THEN
    NN = VAL(C1$)
    LOCATE 9, 17: PRINT NN
  END IF
  IF K = 5 THEN
    NNTIMP = VAL(C1$)
    LOCATE 10, 17: PRINT NNTIMP

```

```

END IF
IF K = 6 THEN
    NECONV = VAL(C1$)
    LOCATE 11, 17: PRINT NECONV
END IF
IF K = 7 THEN
    IF KF = 2 THEN
        NFLUX2 = VAL(C1$)
        NEFLUX = NFLUX2
    END IF
    IF KF = 1 THEN
        NFLUX1 = VAL(C1$)
        NEFLUX = NFLUX1
    END IF
    LOCATE 12, 17: PRINT NEFLUX
.....
    IF K = 8 THEN
        NIT = VAL(C1$)
        LOCATE 13, 17: PRINT NIT
    END IF
    IF K = 9 THEN
        DTI = VAL(C1$)
        LOCATE 14, 17: PRINT DTI
    END IF
NEXT K
IF WET = 3 THEN
    WET = 1
    GOTO 6320
END IF
6466 IF KF = 2 THEN
    CLOSE #KF
    KF = 1
    GOTO 6320
END IF
IF KF = 1 THEN
    CLOSE #KF
    KF = 2
    GOTO 6320
END IF
IF KF = 1 THEN
    KF = 2
END IF
IF KF = 2 THEN
    KF = 1
END IF
CLOSE #1
CLOSE #2
IF WET = 2 THEN
    LOCATE 15, 20: PRINT "Tasteaza .....[ Enter ]";
    INPUT "", QAQ$
END IF
GOSUB 7300
GOTO 6320
6470 WET = 1
OPEN "R", #1, WW7$, 62
FIELD #1, 6 AS BB1$, 4 AS B1$(1), 10 AS B1$(2), 10 AS B1$(3), 10 AS B1$(4), 5 AS B1$(5), 10 AS
    B1$(6), 5 AS B1$(7), 2 AS BBX$
GOSUB 7300
FOR I = 1 TO 6
    IF I = 1 THEN
        A1$(I) = "Abscisa x "
        IW(I) = 10
    END IF
    IF I = 2 THEN

```

ANEXA A

```

    A1$(1) = "Ordonata y"
    IW(2) = 30
END IF
IF I = 3 THEN
    A1$(1) = "Teta  "
    IW(1) = 50
END IF
IF I = 4 THEN
    A1$(1) = "Icon1  "
    IW(1) = 10
END IF
IF I = 5 THEN
    A1$(1) = "Sarcina  "
    IW(1) = 30
END IF
IF I = 6 THEN
    A1$(1) = "Icon2  "
    IW(1) = 50
END IF
NEXT I
6551 IF WET = 4 THEN 6300
CLS
IF WET = 3 THEN
    LOCATE 5, 10: PRINT "Nod crt. ";
    INPUT " ", NCRT
    GOTO 6560
END IF
NCRT = 1
LOCATE 26, 1: PRINT "Nod ";
6560 FOR KC = 1 TO NN
    IF WET = 2 THEN
        GET #1, KC
        X(KC) = VAL(B1$(2))
        Y(KC) = VAL(B1$(3))
    END IF
    IF WET = 2 THEN 6564
    IF WET = 1 THEN 6564
    IF KC <> NCRT THEN 6640
6564 LOCATE 26, 5: PRINT KC
    I = 0
6566 IF WET = 2 THEN 6568
    RSET B1$(1) = STR$(KC)
    RSET BB1$ = " "
    RSET BBX$ = CHR$(13) + CHR$(10)
6568 GOTO 6610
6580 IF I <= 3 THEN
    LOCATE 26, IW(1): PRINT A1$(I);
END IF
IF I > 3 THEN
    LOCATE 27, IW(1): PRINT A1$(I);
END IF
IF WET = 2 THEN
    IF I <= 3 THEN
        A1A = VAL(B1$(I + 1))
        LOCATE 26, IW(1) + 10: PRINT " ";
        LOCATE 26, IW(1) + 10: PRINT A1A;
        GOTO 6610
    END IF
    IF I > 3 THEN
        A1A = VAL(B1$(I + 1))
        LOCATE 27, IW(1) + 10: PRINT " ";
        LOCATE 27, IW(1) + 10: PRINT A1A;
        GOTO 6610
    END IF

```

```

END IF
INPUT " ", A1A
6600 RSET B1$(I + 1) = STR$(A1A)
6610 I = I + 1
      IF I <= 6 THEN 6580
      NUM = KC
      IF KC = 1 THEN
        GOSUB 9999
      END IF
      GOSUB 9500
      IF WET = 2 THEN
        LOCATE 28, 50: PRINT "Tasteaza.....[Enter]";
        INPUT "", QAA$
        GOTO 6640
      END IF
      PUT #1, KC
6640 NEXT KC
      GOSUB 7310
      GOTO 6551
6669 WET = 1
      CLS
      LOCATE 5, 20: PRINT "Regim stationar .....[1]"
      LOCATE 6, 20: PRINT "Regim tranzitoriu .....[2]"
      LOCATE 8, 20: PRINT "Tasteaza nr .....[1...2]";
      INPUT "", YZY
      OPEN "R", #1, WW8$, 111
      FIELD #1, 13 AS AA1$, 4 AS A1$(1), 4 AS A1$(2), 4 AS A1$(3), 4 AS A1$(4), 10 AS A1$(5), 10 AS
        A1$(6), 10 AS A1$(7), 10 AS A1$(8), 10 AS A1$(9), 10 AS A1$(10), 10 AS A1$(11), 10
        AS A1$(12), 2 AS A1X$
      GOSUB 7310
      LOCATE 10, 20: PRINT "Sistem rapid de generare ? [ Y/N ]";
      INPUT "", SIS$
      IF SIS$ = "Y" OR SIS$ = "y" THEN
        NUS = 3
        A1$(5) = STR$(0)
        A1$(6) = STR$(0)
        A1$(7) = STR$(0)
        A1$(8) = STR$(0)
        A1$(9) = STR$(0)
        A1$(10) = STR$(0)
        A1$(11) = STR$(0)
        A1X$ = CHR$(13) + CHR$(10)
        GOTO 6680
      END IF
      NUS = 11
6680 FOR I = 1 TO NUS
      IF I = 1 THEN B1$(I) = "Nod i  "
      IF I = 2 THEN B1$(I) = "Nod j  "
      IF I = 3 THEN B1$(I) = "Nod k  "
      IF I = 4 THEN B1$(I) = "Debit qt "
      IF I = 5 THEN B1$(I) = "Alfadx "
      IF I = 6 THEN B1$(I) = "Alfady  "
      IF I = 7 THEN B1$(I) = "Debit qh "
      IF I = 8 THEN B1$(I) = "Transm. kx"
      IF I = 9 THEN B1$(I) = "Transm. ky"
      IF I = 10 THEN B1$(I) = "Greu. sp."
      IF I = 11 THEN B1$(I) = "Cald. sp."
    NEXT I
      LOCATE 6, 20: PRINT "Conversie date din fisier extern...[1]"
      LOCATE 8, 20: PRINT "Exit.....[2]"
      LOCATE 10, 20: PRINT "Testeaza nr.....[1...2]";
      INPUT "", ZQX
      IF ZQX = 1 THEN

```

ANEXA A

```

CLS
LOCATE 23, 5: PRINT "Nume fisier extern .....[nume.dat] ";
INPUT "", FW$
CLS
OPEN "R", #5, FW$, 31
FIELD #5, 17 AS S1$, 4 AS S2$, 4 AS S3$, 4 AS S4$, 2 AS S5$
LOCATE 8, 10: PRINT "Initializare date repetitive"
FOR I = 4 TO 11
  IF I >= 10 THEN
    IF YZY = 1 THEN
      H1H = 0
      GOTO 6692
    END IF
    GOTO 6691
  END IF
6691  LOCATE 5 + I, 10: PRINT B1$(I);
      INPUT " ", H1H
6692  TA(I + 1) = H1H
NEXT I
FOR I = 1 TO NE
  GET #5, I
  RSET AA1$ = " "
  X1 = VAL(S1$)
  RSET A1$(1) = STR$(X1)
  X2 = VAL(S2$)
  RSET A1$(2) = STR$(X2)
  X3 = VAL(S3$)
  RSET A1$(3) = STR$(X3)
  X4 = VAL(S4$)
  RSET A1$(4) = STR$(X4)
  FOR K = 4 TO 11
    RSET A1$(K + 1) = STR$(TA(K + 1))
  NEXT K
  RSET A1X$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  PUT #1, I
NEXT I
CLOSE #5
IF ZQX = 1 THEN
  ZQX = 2
END IF
GOTO 6782
END IF
6690 IF WET = 4 THEN 6300
CLS
IF WET = 3 THEN
  LOCATE 5, 10: PRINT "Element ";
  INPUT " ", NCRT
  LOCATE 5, 22: PRINT NCRT
  GOTO 6694
END IF
NCRT = 1
LOCATE 5, 10: PRINT "Element ";
6694 FOR K = 1 TO NE
  IF WET = 2 THEN
    GET #1, K
  END IF
  IF WET = 2 THEN 6698
  IF WET = 1 THEN 6698
  IF K <> NCRT THEN 6780
6698 LOCATE 5, 22: PRINT K
6700 I = 0
  IF WET = 2 THEN 6711
  RSET AA1$ = " "
  RSET A1$(1) = STR$(K)

```



```
6711 GOTO 6750
6715 IF I < 10 THEN 6726
      IF YZY = 2 THEN 6726
      A1A = 0
6718 GOTO 6740
6726 LOCATE 5 + I, 10: PRINT B1$(I);
      IF WET = 2 THEN
        A1A = VAL(A1$(I + 1))
        LOCATE 5 + I, 22: PRINT " ";
        LOCATE 5 + I, 22: PRINT A1A
        GOTO 6750
      END IF
6730 INPUT " ", A1A
6740 RSET A1$(I + 1) = STR$(A1A)
6750 I = I + 1
6760 IF I <= NUS THEN 6715
      IF WET = 2 THEN
        LOCATE 16, 10: PRINT "Tasteaza .....[Enter]";
        INPUT "", QAQ$
        GOTO 6780
      END IF
      RSET A1X$ = CHR$(13) + CHR$(10)
6770 PUT #1, K
6780 NEXT K
6782 GOSUB 7310
      GOTO 6690
6791 IF NEFLUX = 0 THEN 7000
      WET = 1
      CLS
6800 KF = 2
6810 CLOSE #KF
      OPEN "R", #KF, W9$(KF), 50
      FIELD #KF, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A1Y$
      GOSUB 7310
      FOR I = 1 TO 5
        IF I = 1 THEN B1$(I) = "Nr. crt. "
        IF I = 2 THEN B1$(I) = "Nflux(k,1)"
        IF I = 3 THEN B1$(I) = "Nflux(k,2)"
        IF I = 4 THEN B1$(I) = "Nflux(k,3)"
        IF I = 5 THEN B1$(I) = "Flux(k) "
      NEXT I
6872 IF WET = 4 THEN 6300
      CLS
      IF KF = 2 THEN
        LOCATE 4, 10: PRINT "Regim hidr.- Flux masic si sarcina hidr."
        NEFLUX = NFLUX2
      END IF
      IF KF = 1 THEN
        LOCATE 4, 10: PRINT "Regim termic-Flux termic si temperatura"
        NEFLUX = NFLUX1
      END IF
      IF WET = 3 THEN
        LOCATE 5, 10: PRINT "Nr. crt. ";
        INPUT " ", NCRT
        LOCATE 5, 22: PRINT NCRT
        GOTO 6890
      END IF
      NCRT = 1
      LOCATE 5, 10: PRINT "Nr. crt. ";
6890 FOR K = 1 TO NEFLUX
      IF WET = 2 THEN
        GET #KF, K
      END IF
      IF WET = 2 THEN 6892
```

ANEXA A

```

        IF WET = 1 THEN 6892
        IF K <> NCRT THEN 6960
6892 LOCATE 5, 22: PRINT K
6900 I = 0
        IF WET = 2 THEN 6904
        RSET A1$(1) = STR$(K)
6904 GOTO 6930
6905 LOCATE 5 + I, 10: PRINT B1$(I + 1);
        IF WET = 2 THEN
            A1A = VAL(A1$(I + 1))
            LOCATE 5 + I, 22: PRINT " ";
            LOCATE 5 + I, 22: PRINT A1A
            GOTO 6930
        END IF
        INPUT " ", A1A
        RSET A1$(I + 1) = STR$(A1A)
6930 I = I + 1
        IF I < 5 THEN 6905
        IF WET = 2 THEN
            LOCATE 10, 10: PRINT "Tasteaza.....[Enter]";
            INPUT "", QAQ$
            GOTO 6960
        END IF
        RSET A1Y$ = CHR$(13) + CHR$(10)
        PUT #KF, K
6960 NEXT K
        IF KF = 2 THEN
            CLOSE #KF
            KF = 1
            GOTO 6810
        END IF
        IF KF = 1 THEN
            KF = 2
        END IF
        GOTO 6810
7000 IF NECONV = 0 THEN 7200
        WET = 1
7010 OPEN "R", #1, WW10$, 50
        FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 8 AS A1$(5), 8 AS A1$(6), 2 AS
            A1Z$
        GOSUB 7310
        FOR K = 1 TO 6
            IF K = 1 THEN B1$(K) = "Nr. crt. "
            IF K = 2 THEN B1$(K) = "Ncon(k,1) "
            IF K = 3 THEN B1$(K) = "Ncon(k,2) "
            IF K = 4 THEN B1$(K) = "Ncon(k,3) "
            IF K = 5 THEN B1$(K) = "Alfa(k) "
            IF K = 6 THEN B1$(K) = "Tetae(k) "
        NEXT K
7105 IF WET = 4 THEN 6300
        CLS
        LOCATE 5, 10: PRINT "Nr. crt. ";
        IF WET = 3 THEN
            INPUT " ", NCRT
            GOTO 7110
        END IF
        NCRT = 1
7110 FOR K = 1 TO NEFLUX
        IF WET = 2 THEN
            GET #1, K
        END IF
        IF WET = 2 THEN 7115
        IF WET = 1 THEN 7115
        IF K <> NCRT THEN 7180

```

```

7115 LOCATE 5, 22: PRINT K
      I = 0
      IF WET = 2 THEN 7140
7125 LOCATE 5 + I, 10: PRINT B1$(I + 1);
      IF WET = 2 THEN
          A1A = VAL(A1$(I + 1))
          LOCATE 5 + I, 22: PRINT " ";
          LOCATE 5 + I, 22: PRINT A1A
          GOTO 7150
      END IF
      INPUT " ", A1A
7140 RSET A1$(I + 1) = STR$(A1A)
7150 I = I + 1
      IF I < 6 THEN 7125
      IF WET = 2 THEN
          LOCATE 10, 10: PRINT "Tasteaza .....[Enter]";
          INPUT "", QAQ$
          GOTO 7180
      END IF
      RSET A1Z$ = CHR$(13) + CHR$(10)
      PUT #1, K
7180 NEXT K
      GOSUB 7310
      GOTO 7105
7200 RETURN
      END

7300 REM Subrutina de intrare/verificare date
7310 CLS
      LOCATE 6, 20: PRINT "Introducere date .....[1]"
      LOCATE 8, 20: PRINT "Vizualizare date .....[2]"
      LOCATE 10, 20: PRINT "Corectare date .....[3]"
      LOCATE 12, 20: PRINT "Exit.....[4]"
      LOCATE 14, 20: PRINT "Tasteaza nr.....[1...4]";
      INPUT "", WET
      CLS
7342 IF WET = 4 THEN
      CLOSE #1
      END IF
      RETURN
      END

9000 OPEN "R", #1, WW7$, 62
      FIELD #1, 6 AS BB1$, 4 AS B1$(1), 10 AS B1$(2), 10 AS B1$(3), 10 AS B1$(4), 5 AS B1$(5), 10 AS
          B1$(6), 5 AS B1$(7), 2 AS BBX$
      FOR IJ = 1 TO NN
          GET #1, IJ
          X(IJ) = VAL(B1$(2))
          Y(IJ) = VAL(B1$(3))
          IF IJ = 1 THEN
              XMIN = X(IJ)
              XMAX = X(IJ)
              YMAX = Y(IJ)
              YMIN = Y(IJ)
              GOTO 9490
          END IF
          IF X(IJ) < XMIN THEN
              XMIN = X(IJ)
          END IF
          IF X(IJ) > XMAX THEN
              XMAX = X(IJ)
          END IF
          IF Y(IJ) < YMIN THEN
              YMIN = Y(IJ)
          END IF

```

ANEXA A

```

        END IF
        IF Y(IJ) > YMAX THEN
            YMAX = Y(IJ)
        END IF
9490 NEXT IJ
    CLS
    TWE = 0
    X1X = XMIN
    Y1Y = YMIN
    X2X = XMAX
    Y2Y = YMAX
    FOR KU = 1 TO 100
9295  X1X = XMIN
        Y1Y = YMIN
        X2X = XMAX
        Y2Y = YMAX
        SCX = 630 / (X2X - X1X) / 1.01587
        SCY = 440 / (Y2Y - Y1Y) / 1.02177
        X1Z = (X1X) * SCX
        Y1Z = (Y1Y) * SCY
        X2Z = SCX * (X2X)
        Y2Z = SCY * (Y2Y)
        IF Y2Y - Y1Y >= X2X - X1X THEN
            QQ = (Y2Y - Y1Y) / 20
        END IF
        IF Y2Y - Y1Y < X2X - X1X THEN
            QQ = (X2X - X1X) / 20
        END IF
        LOCATE 12, 10: PRINT "Factor de translatare...["; INT(.2 * QQ); "..."; INT(1.2 * QQ); "]" ";
        INPUT "", Q
        LOCATE 14, 10: PRINT "Scrierea nodurilor ? .....[ Y/N ] ";
        INPUT "", SCR$
        LOCATE 16, 10: PRINT "Trasarea elementelor ? .....[ Y/N ] ";
        INPUT "", TRS$
        LOCATE 18, 10: PRINT "Inaltime scriere noduri....[4...10] ";
        INPUT "", ITEXT
        CLS
        CLOSE #1
        OPEN "R", #1, WW8$, 111
        FIELD #1, 13 AS AA1$, 4 AS A1$(1), 4 AS A1$(2), 4 AS A1$(3), 4 AS A1$(4), 10 AS A1$(5), 10 AS
            A1$(6), 10 AS A1$(7), 10 AS A1$(8), 10 AS A1$(9), 10 AS A1$(10), 10 AS A1$(11), 10 AS
            A1$(12), 2 AS A1X$
9495 SCREEN 12
        COLOR 7
        WINDOW (0, 0)-(630, 470)
        LINE (0, 0)-(630, 0)
        LINE (630, 0)-(630, 470)
        LINE (630, 470)-(0, 470)
        LINE (0, 470)-(0, 0)
        LINE ((X1X + Q) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY)-((X2X + Q) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY)
        LINE ((X1X + Q) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY)-((X1X + Q) * SCX, (Y2Y + Q) * SCY)
        IF TESTSC = 1 THEN
            GOSUB 9500
            RETURN
        END IF
        IF TRS$ = "Y" OR TRS$ = "y" THEN
            FOR II = 1 TO NE
                GET #1, II
                NI = VAL(A1$(2))
                NJ = VAL(A1$(3))
                NK = VAL(A1$(4))
                LINE ((X(NI) - XMIN + Q) * SCX, (Y(NI) - YMIN + Q) * SCY)-((X(NJ) - XMIN + Q) * SCX,
                    (Y(NJ) - YMIN + Q) * SCY)
            
```

```

LINE ((X(NJ) - XMIN + Q) * SCX, (Y(NJ) - YMIN + Q) * SCY)-((X(NK) - XMIN + Q) * SCX,
(Y(NK) - YMIN + Q) * SCY)
LINE ((X(NK) - XMIN + Q) * SCX, (Y(NK) - YMIN + Q) * SCY)-((X(NI) - XMIN + Q) * SCX,
(Y(NI) - YMIN + Q) * SCY)
NEXT II
END IF
9499 DIM C$(10), D(10)
FOR II = 1 TO NE
  GET #1, II
  NI = VAL(A1$(2))
  NJ = VAL(A1$(3))
  NK = VAL(A1$(4))
  FOR IK = 1 TO 3
    IF IK = 1 THEN
      NUM = NI
    END IF
    IF IK = 2 THEN
      NUM = NJ
    END IF
    IF IK = 3 THEN
      NUM = NK
    END IF
    IF SCR$ = "Y" OR SCR$ = "y" THEN
      GOSUB 9500
    END IF
  NEXT IK
NEXT II
INPUT "", WERT
9309 CLS
SCREEN 0
COLOR 0, 7, 1
LOCATE 2, 10: PRINT "Window - selectare domeniu.....[1]"
LOCATE 3, 10: PRINT "Salvare in fisier [": AL1$ + "_ Wi.dxf": "]:...[2]"
LOCATE 4, 10: PRINT "Exit.....[3]"
LOCATE 5, 10: PRINT "Alege.....[1..3]";
INPUT "", WIN
CLS
IF WIN = 1 THEN
  LOCATE 5, 10: PRINT "Coltul din stinga jos...< ";
  LOCATE 5, 36: PRINT INT(XMIN); ", "; INT(YMIN); " >";
  INPUT "", XMIN, YMIN
9319 LOCATE 6, 10: PRINT "Coltul din dreapta sus...< ";
  LOCATE 6, 36: PRINT INT(XMAX); ", "; INT(YMAX); " >";
  INPUT "", XMAX, YMAX
9320 END IF
IF WIN = 1 THEN
  GOTO 9295
END IF

' Subrutina de generare fisier extern tip "" *.dxf""
IF WIN = 2 THEN
  LOCATE 12, 10: PRINT "Salvare grafica in max. 10 fisiere [ *.dxf]"
  LOCATE 14, 10: PRINT "Generare fisier - out..."; QZ$
  LOCATE 23, 50: PRINT " Wait!"
  CLOSE #1
  TWE = TWE + 1
  IF TWE = 1 THEN
    AX$ = "1"
  END IF
  IF TWE = 2 THEN
    AX$ = "2"
  END IF
  IF TWE = 3 THEN
    AX$ = "3"
  END IF

```

ANEXA A

```

END IF
IF TWE = 4 THEN
  AX$ = "4"
END IF
IF TWE = 5 THEN
  AX$ = "5"
END IF
IF TWE = 6 THEN
  AX$ = "6"
END IF
IF TWE = 7 THEN
  AX$ = "7"
END IF
IF TWE = 8 THEN
  AX$ = "8"
END IF
IF TWE = 9 THEN
  AX$ = "9"
END IF
IF TWE = 10 THEN
  AX$ = "10"
END IF
IF TWE > 10 THEN
  LOCATE 14, 10: PRINT "Atentie! S-a depasit nr. max. fisiere alocate."
  LOCATE 15, 10: PRINT "Se va rescrie in fisierul cu nr.10 !"
  LOCATE 17, 10: PRINT " Se doreste rescrierea ? [Y/N]";
  INPUT "", RS$
  IF RS$ = "N" OR RS$ = "n" THEN
    GOTO 9913
  END IF
END IF
OPEN "R", #1, WW8$, 111
FIELD #1, 13 AS AA1$, 4 AS A1$(1), 4 AS A1$(2), 4 AS A1$(3), 4 AS A1$(4), 10 AS A1$(5), 10
  AS A1$(6), 10 AS A1$(7), 10 AS A1$(8), 10 AS A1$(9), 10 AS A1$(10), 10 AS A1$(11),
  10 AS A1$(12), 2 AS A1X$
QZ$ = AL1$ + "_W" + AX$ + ".DXF"
OPEN "O", 3, QZ$
PRINT #3, " 0"
PRINT #3, "SECTION"
PRINT #3, " 2"
PRINT #3, "ENTITIES"
FOR JI = 1 TO NE
  GET #1, JI
  NI = VAL(A1$(2))
  NJ = VAL(A1$(3))
  NK = VAL(A1$(4))
  FOR JJ = 1 TO 3
    IF JJ = 1 THEN
      ZX(1) = X(NI)
      ZY(1) = Y(NI)
    END IF
    IF JJ = 2 THEN
      ZX(2) = X(NJ)
      ZY(2) = Y(NJ)
    END IF
    IF JJ = 3 THEN
      ZX(3) = X(NK)
      ZY(3) = Y(NK)
    END IF
  NEXT JJ
LUX = 1
FOR NX = 1 TO 3
  CONTE = 0
  RDX = NX MOD 3

```

```

IF RDX = 0 THEN
  LUX = -2
END IF
XA1 = (ZX(NX) + Q) * SCX
YA1 = (ZY(NX) + Q) * SCY
XA2 = (ZX(NX + LUX) + Q) * SCX
YA2 = (ZY(NX + LUX) + Q) * SCY
IF XA1 < XMIN * SCX AND XA2 < XMIN * SCX OR XA1 > XMAX * SCX AND XA2 > XMAX *
  SCX THEN
  GOTO 9912
END IF
IF YA1 < YMIN * SCY AND YA2 < YMIN * SCY OR YA1 > YMAX * SCY AND YA2 > YMAX *
  SCY THEN
  GOTO 9912
END IF
IF XA1 < XMIN * SCX AND YA2 < YMIN * SCY OR XA1 > YMAX * SCY AND YA2 < YMIN *
  SCY THEN
  GOTO 9912
END IF
IF XA1 < XMIN * SCX AND YA2 > YMAX * SCY OR XA1 > YMAX * SCY AND YA2 > YMAX *
  SCY THEN
  GOTO 9912
END IF
DEX = XA2 - XA1
DEY = YA2 - YA1
XMD = (XA1 + XA2) / 2
YMD = (YA1 + YA2) / 2
IF ABS(DEX) = 0 THEN
  DEX = .00001
END IF
IF ABS(DEY) = 0 THEN
  DEY = .00001
END IF
IF XA1 <= XMIN * SCX THEN
  CONTE = 1
  XC1 = XMIN * SCX
  YC1 = YMD + DEY / DEX * (XC1 - XMD)
  IF YC1 <= YMIN * SCY THEN
    YC1 = YMIN * SCY
    XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
  END IF
  IF YC1 >= YMAX * SCY THEN
    YC1 = YMAX * SCY
    XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
  END IF
END IF
IF XA1 >= XMAX * SCX THEN
  CONTE = 1
  XC1 = XMAX * SCX
  YC1 = YMD + DEY / DEX * (XC1 - XMD)
  IF YC1 <= YMIN * SCY THEN
    YC1 = YMIN * SCY
    XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
  END IF
  IF YC1 >= YMAX * SCY THEN
    YC1 = YMAX * SCY
    XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
  END IF
END IF
IF XA1 >= XMIN * SCX AND XA1 <= YMAX * SCY THEN
  CONTE = 1
  XC1 = XA1 * SCX
  YC1 = YA1 * SCY
  IF YC1 <= YMIN * SCY THEN

```

ANEXA A

```

        YC1 = YMIN * SCY
        XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
    END IF
    IF YC1 >= YMAX * SCY THEN
        YC1 = YMAX * SCY
        XC1 = XMD + DEX / DEY * (YC1 - YMD)
    END IF
END IF
IF XA2 <= XMIN * SCX THEN
    CONTE = 1
    XC2 = XMIN * SCX
    YC2 = YMD + DEY / DEX * (XC2 - XMD)
    IF YC2 <= YMIN * SCY THEN
        YC2 = YMIN * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
    IF YC2 >= YMAX * SCY THEN
        YC2 = YMAX * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
END IF
IF XA2 >= XMAX * SCX THEN
    CONTE = 1
    XC2 = XMAX * SCX
    YC2 = YMD + DEY / DEX * (XC2 - XMD)
    IF YC2 <= YMIN * SCY THEN
        YC2 = YMIN * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
    IF YC2 >= YMAX * SCY THEN
        YC2 = YMAX * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
END IF
IF XA2 <= XMIN * SCX AND XA2 <= YMAX * SCY THEN
    CONTE = 1
    XC2 = XA2
    YC2 = YA2
    IF YC2 <= YMIN * SCY THEN
        YC2 = YMIN * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
    IF YC2 >= YMAX * SCY THEN
        YC2 = YMAX * SCY
        XC2 = XMD + DEX / DEY * (YC2 - YMD)
    END IF
END IF
PRINT #3, " 0"
PRINT #3, "LINE"
PRINT #3, " 8"
PRINT #3, "0"
PRINT #3, " 10"
PRINT #3, XA1 - XMIN * SCX
PRINT #3, " 20"
PRINT #3, YA1 - YMIN * SCY
PRINT #3, " 30"
PRINT #3, "0.0"
PRINT #3, " 11"
PRINT #3, XA2 - XMIN * SCX
PRINT #3, " 21"
PRINT #3, YA2 - YMIN * SCY
PRINT #3, " 31"
PRINT #3, "0.0"
PRINT #3, " 0"

```



```

PRINT #3, "TEXT"
PRINT #3, " 8"
PRINT #3, "0"
PRINT #3, " 10"
PRINT #3, XA1 - XMIN * SCX
PRINT #3, " 20"
PRINT #3, YA1 - YMIN * SCY + Q / 2 * SCY
PRINT #3, " 30"
PRINT #3, "0.0"
PRINT #3, " 40"
PRINT #3, ITEXT
PRINT #3, " 1"
IF NX = 1 THEN
  XAT = NI
END IF
IF NX = 2 THEN
  XAT = NJ
END IF
IF NX = 3 THEN
  XAT = NK
END IF
PRINT #3, XAT
PRINT #3, " 72"
PRINT #3, " 1"
PRINT #3, " 11"
PRINT #3, XA1 - XMIN * SCX
PRINT #3, " 21"
PRINT #3, YA1 - YMIN * SCY
PRINT #3, " 31"
PRINT #3, "0.0"
9912 NEXT NX
NEXT JI
PRINT #3, " 0"
PRINT #3, "ENDSEC"
PRINT #3, " 0"
PRINT #3, "EOF"
CLOSE #3
GOTO 9309
END IF
STOP
9913 NEXT KU

9500 X10 = ((X(NUM) - XMIN) + Q / 2) * SCX
Y10 = ((Y(NUM) - YMIN) + Q) * SCY
PA1$ = STR$(NUM)
CUL = 14
A1 = LEN(PA1$)
AX = A1 - 1
FOR J = 1 TO AX
  C$(J) = MID$(PA1$, J + 1, 1)
  D(J) = VAL(C$(J))
NEXT J
PSET (X10, Y10), 9
FOR K = 1 TO AX
  J1 = (K - 1) * 6
  IF D(K) = 1 THEN
    PSET (X10 + J1 + 2, Y10 - 1), CUL
    DRAW "E2 D6" 'nr. 1
  END IF
  IF D(K) = 2 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 + 0), CUL
    DRAW "E1 R1 F1 DI G3 DI R3" 'nr. 2
  END IF
  IF D(K) = 3 THEN

```

ANEXA A

```

    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 0), CUL
    DRAW "E1 R1 F1 D1 G1 L1 R1 F1 D1 G1 L1 H1" 'nr. 3
END IF
IF D(K) = 4 THEN
    PSET (X10 + J1 + 4, Y10 + 1), CUL
    DRAW "G3 D1 R3 U1 D3" 'nr. 4
END IF
IF D(K) = 5 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 4), CUL
    DRAW "F1 R1 E1 U2 H1 L1 G1 U3 R3" 'nr.5
END IF
IF D(K) = 6 THEN
    PSET (X10 + J1 + 4, Y10 - 0), CUL
    DRAW "H1 L1 G1 D4 F1 R1 E1 U2 H1 L1 G1" 'nr. 6
END IF
IF D(K) = 7 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 0), CUL
    DRAW "U1 R3 D2 G3 D1" 'nr. 7
END IF
IF D(K) = 8 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 2), CUL
    DRAW "H1 U1 E1 R1 F1 D1 G1 F1 D1 G1 L1 H1 U1 E1 R1" 'nr. 8"
END IF
IF D(K) = 9 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 4), CUL
    DRAW "F1 R1 E1 U4 H1 L1 G1 D1 F1 R1 E1" 'nr. 9
END IF
IF D(K) = 0 THEN
    PSET (X10 + J1 + 1, Y10 - 0), CUL
    DRAW "E1 R1 F1 D4 G1 L1 H1 U4 F3" 'nr. 10
END IF
NEXT K
RETURN
END

```

9999 CLS

```

X1X = 0
Y1Y = 0
X2X = 26000
Y2Y = 20000
SCX = 630 / (X2X - X1X) / 1.01587
SCY = 440 / (Y2Y - Y1Y) / 1.02177
X1Z = (X1X) * SCX
Y1Z = (Y1Y) * SCY
X2Z = SCX * (X2X)
Y2Z = SCY * (Y2Y)
IF Y2Y - Y1Y >= X2X - X1X THEN
    Q = (Y2Y - Y1Y) / 6
END IF
IF Y2Y - Y1Y < X2X - X1X THEN
    Q = (X2X - X1X) / 6
END IF
WINDOW (0, 0)-(630, 470)
LINE (0, 0)-(630, 0)
LINE (630, 0)-(630, 470)
LINE (630, 470)-(0, 470)
LINE (0, 470)-(0, 0)
LINE ((X1X) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY - 10)-((X2X) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY - 10)
LINE ((X1X) * SCX, (Y1Y + Q) * SCY - 10)-((X1X) * SCX, (Y2Y + Q) * SCY - 10)
RETURN
END

```

Rem Program de simulare hidraulica si termica cuplata - TERMAL.BAS

Rem Autor: s.l.ing. Gheorghe Lazar

SCREEN 12

COLOR 3

controlc = 10000

pasdo = 0

OPEN "R", #2, "c:\bc7\ht\hidcontr.dat ", 7

FIELD #2, 5 AS hr\$, 2 AS ht\$

GET #2, 1

gtes = VAL(hr\$)

CLOSE #9

OPEN "R", #9, "C:\BC7\HT\DECONTA.DAT", 7

FIELD #9, 5 AS XQ1\$, 2 AS XQ2\$

GET #9, 1

IF pasdo = 0 THEN

DKN = VAL(XQ1\$)

IF DKN = 0 THEN

YCONT = 1

END IF

IF DKN <> 0 THEN

YCONT = 2

END IF

END IF

CLOSE #9

OPEN "R", #9, "TABLOU.DAT", 17

FIELD #9, 5 AS C11\$, 5 AS C12\$, 5 AS C13\$, 2 AS C14\$

GET #9, DKN + 1

TMJ = VAL(C12\$)

TMK = VAL(C13\$)

CLOSE #9

DO

IF pasdo = 0 THEN

DIM S(62), S1(62), X(TMJ), y(TMJ), DX(TMK), DY(TMK), W6\$(2)

DIM CS(3, 3), SES(3, 3), TV(3), CSP(15), GMA(15), WB4(2)

DIM SE(3, 3), WA\$(2)

DIM SS(3, 62), A1\$(12), B1\$(12)

DIM KB(3), RP(3), ZP(3), SEC(3, 3), FEC(3), FEF(3), KK(4)

DIM WB\$(2), W9\$(2), XAX\$(2), HH(TMJ), WE\$(2), WF\$(2)

END IF

REDIM FL(TMK), IC(TMK)

REDIM ID(TMK, 3), TA(TMK)

REDIM FE(3), A(3), B(3), C(3)

REDIM NC(TMK, 3)

REDIM NF(TMK, 3), NJ(60)

REDIM AL(TMK), TE(TMK), fu(TMK)

pasdo = pasdo + 1

8

KF = 1

WW13\$ = "C:\BC7\HT\DATEGEN.DAT"

WW14\$ = "C:\BC7\HT\CONTOR.DAT"

WW15\$ = "C:\BC7\HT\PARAM.DAT"

CLOSE #12

OPEN "R", #12, WW14\$, 22

FIELD #12, 10 AS YA\$, 10 AS YB\$, 2 AS YC\$

RSET YC\$ = CHR\$(13) + CHR\$(10)

GET #12, 1

KON = VAL(YA\$)

kwi = VAL(YB\$)

CLOSE #15

OPEN "R", #15, "PREFIXE.DAT", 18

FIELD #15, 4 AS AW1\$, 4 AS AW2\$, 4 AS AW3\$, 4 AS AW4\$, 2 AS AW5\$

GET #15, 1

AU1\$ = AW1\$

AU2\$ = AW2\$

AU3\$ = AW3\$

ANEXA B

```

AU4$ = AW4$
CLOSE #15
PI = 3.14159
TEX = KON MOD 2
IF controlc < .005 OR kwi = 2 THEN
  IF TEX = 0 THEN
    RSET YA$ = STR$(TEX + 1)
    RSET YB$ = STR$(2)
    PUT #12, 1
  END IF
END IF
IF TEX = 1 THEN
  RSET YA$ = STR$(TEX + 1)
  RSET YB$ = STR$(1)
  PUT #12, 1
END IF
CLOSE #12
CLS
CLOSE #1
OPEN "R", #1, WW13$, 82
FIELD #1, 10 AS A1$, 10 AS a2$, 10 AS A3$, 10 AS A4$, 10 AS A5$, 10 AS A6$, 10 AS A7$, 10
  AS A8$, 2 AS A9$
IF DKN = 0 THEN
  QHQ$ = "N"
  GOTO 6
END IF
IF kwi = 2 THEN
  QHQ$ = "n"
  IF QHQ$ = "Y" OR QHQ$ = "y" THEN
    LOCATE 23, 30: PRINT " "
    LOCATE 8, 20: PRINT "Densitatea apei.....[ kg/mc ] ";
    INPUT "", ROA
    LOCATE 10, 20: PRINT "Caldura specifica...[ cal/kg øC ] ";
    INPUT "", CSPE
    LOCATE 12, 20: PRINT "Dif. de temp. la intrare...[ øC ] ";
    INPUT "", dte0
    LOCATE 14, 20: PRINT "Dispersivitatea long.[al]...[ m ] ";
    INPUT "", AL0
    LOCATE 16, 20: PRINT "Dispersivitatea long.[ar]...[ m ] ";
    INPUT "", AT0
  END IF
  RSET A9$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  IF QHQ$ = "N" OR QHQ$ = "n" THEN
    GET #1, 1
    ROA = VAL(a2$)
    CSPE = VAL(A4$)
    dte0 = VAL(A6$)
    AL0 = VAL(A7$)
    AT0 = VAL(A8$)
    CLOSE #1
  END IF
  IF QHQ$ = "Y" OR QHQ$ = "y" THEN
    RSET A1$ = "Densitatea"
    RSET a2$ = STR$(ROA)
    RSET A3$ = "Cald.spec."
    RSET A4$ = STR$(CSPE)
    RSET A5$ = "Dif. temp."
    RSET A6$ = STR$(dte0)
    RSET A7$ = STR$(AL0)
    RSET A8$ = STR$(AT0)
    PUT #1, 1
    CLOSE #1
  END IF
END IF

```

```

6  IF kwi = 1 THEN
    GET #1, 1
    ROA = VAL(a2$)
    CSPE = VAL(A4$)
    dte0 = VAL(A6$)
    AL0 = VAL(A7$)
    AT0 = VAL(A8$)
  END IF
  IF DKN <> 0 THEN
    GET #1, 1
    ROA = VAL(a2$)
    CSPE = VAL(A4$)
    dte0 = VAL(A6$)
    AL0 = VAL(A7$)
    AT0 = VAL(A8$)
  END IF
  CLOSE #1
  IF DKN = 0 THEN
    ' Domeniul general de ansamblu
    W6$(1) = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_61.DAT"
    W6$(2) = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_62.DAT"
    WW7$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_70.DAT"
    WW8$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_80.DAT"
    W9$(1) = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_91.DAT"
    W9$(2) = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_92.DAT"
    WW10$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + "_10.DAT"
    WV1$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " HD.OUT"
    WV2$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " TE.OUT"
    WV3$ = "C:\ABC7\HT\0\PLT\" + AU1$ + " PH.DAT"
    WV4$ = "C:\ABC7\HT\0\PLT\" + AU1$ + " PT.DAT"
    WV5$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " VH.DAT"
    WV6$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " VT.DAT"
    WV7$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " SO.DAT"
    WW11$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " DH.DAT"
    WW12$ = "C:\ABC7\HT\0\" + AU1$ + " DT.DAT"
  END IF
  IF DKN = 1 THEN
    ' Domeniul de detaliu - Sannicolau Mare
    W6$(1) = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 61.DAT"
    W6$(2) = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 62.DAT"
    WW7$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 70.DAT"
    WW8$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 80.DAT"
    W9$(1) = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 91.DAT"
    W9$(2) = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 92.DAT"
    WW10$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " 10.DAT"
    WV1$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " HD.OUT"
    WV2$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " TE.OUT"
    WV3$ = "C:\ABC7\HT\1\OPLT\" + AU2$ + " PH.DAT"
    WV4$ = "C:\ABC7\HT\1\OPLT\" + AU2$ + " PT.DAT"
    WV5$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " VH.DAT"
    WV6$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " VT.DAT"
    WV7$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " SO.DAT"
    WW11$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " DH.DAT"
    WW12$ = "C:\ABC7\HT\1\" + AU2$ + " DT.DAT"
  END IF
  IF DKN = 2 THEN
    ' Domeniul de detaliu - Tomnatic
    W6$(1) = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 61.DAT"
    W6$(2) = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 62.DAT"
    WW7$ = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 70.DAT"
    WW8$ = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 80.DAT"
    W9$(1) = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 91.DAT"
    W9$(2) = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 92.DAT"
    WW10$ = "C:\ABC7\HT\2\" + AU3$ + " 10.DAT"
  
```

ANEXA B

```

WV1$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_HD.OUT"
WV2$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_TE.OUT"
WV3$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU3$ + "_PH.DAT"
WV4$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU3$ + "_PT.DAT"
WV5$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_VH.DAT"
WV6$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_VT.DAT"
WV7$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_SO.DAT"
WW11$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_DH.DAT"
WW12$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_DT.DAT"
END IF
IF DKN = 3 THEN
  ' Domeniul de detaliu - Lovrin
  W6$(1) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_61.DAT"
  W6$(2) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_62.DAT"
  WW7$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_70.DAT"
  WW8$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_80.DAT"
  W9$(1) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_91.DAT"
  W9$(2) = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_92.DAT"
  WW10$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_10.DAT"
  WV1$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_HD.OUT"
  WV2$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_TE.OUT"
  WV3$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU4$ + "_PH.DAT"
  WV4$ = "C:\BC7\HT\0\PLT\" + AU4$ + "_PT.DAT"
  WV5$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_VH.DAT"
  WV6$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_VT.DAT"
  WV7$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_SO.DAT"
  WW11$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_DH.DAT"
  WW12$ = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_DT.DAT"
END IF
' Fisiere comune generale
WB$(1) = "C:\BC7\HT\0\DISK\FIS51.DAT"
WB$(2) = "C:\BC7\HT\0\DISK\FIS52.DAT"
WA$(1) = "C:\BC7\HT\0\DISK\FIS61.DAT"
WA$(2) = "C:\BC7\HT\0\DISK\FIS62.DAT"
XAX$(1) = "C:\BC7\HT\0\DISK\TEMPERA.DAT"
XAX$(2) = "C:\BC7\HT\0\DISK\ISARCINA.DAT"
WE$(1) = "C:\BC7\HT\0\DISK\VX1XT.DAT"
WE$(2) = "C:\BC7\HT\0\DISK\VX1XH.DAT"
WF$(1) = "C:\BC7\HT\0\DISK\VY1YT.DAT"
WF$(2) = "C:\BC7\HT\0\DISK\VY1YH.DAT"
CLS
IF kwi = 1 THEN
  GOTO 30
END IF
9 ' LOCATE 8, 20: PRINT "Regim stationar.....[2]"
ZWS = 2
15 IF ZWS = 1 THEN
  PRINT "Datele de intrare se genereaza utilizind "
  PRINT "          programul GENTERM.BAS      "
  PRINT "Reluare program - apasa orice tasta  "
  INPUT "", ZZZ$
  GOTO 8
END IF
17 IF ZWS = 2 THEN
  YZY = 1
  kwi = 2
END IF
19 IF ZWS = 3 THEN
  YZY = 2
  kwi = 2
END IF
21 IF ZWS = 4 THEN
  CLS
  GOTO 4370

```

```

END IF
IF ZWS = 0 THEN
  GOTO 9
END IF
22 CLS
23 IF ZWP <> 0 THEN 29
  ' LOCATE 6, 20: PRINT "Run regim stationar.....[1]"
  ' LOCATE 8, 20: PRINT "Run regim tranzitoriu.....[2]"
  ' LOCATE 10, 20: PRINT "Exit.....[3]"
  ' LOCATE 23, 5: PRINT "Tasteaza nr.....[1...3]";
  ' INPUT "", ZWP
  ZWP = 1
  CLS
29 IF ZWP = 3 THEN 4370
  ' LOCATE 6, 20: PRINT "Tiparire date intrare.....[1]"
  ' LOCATE 8, 20: PRINT "Netiparire date intrare.....[2]"
  ' LOCATE 10, 20: PRINT "Exit .....[3]"
  ' LOCATE 23, 5: PRINT "Tasteaza nr.....[1...3]";
  ' INPUT "", ZWR
  ZWR = 2
  CLS
  IF ZWR = 3 THEN
    GOTO 9
  END IF
30 CLOSE #13
  OPEN "R", #13, WW15$, 27
  FIELD #13, 5 AS ZA$, 5 AS ZB$, 5 AS ZC$, 5 AS ZD$, 5 AS ZE$, 2 AS ZF$
  RSET ZF$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  IF kwi = 2 THEN
    RSET ZA$ = STR$(ZWS)
    RSET ZB$ = STR$(ZWP)
    RSET ZC$ = STR$(ZWR)
    RSET ZD$ = STR$(YZY)
    RSET ZE$ = STR$(kwi)
    PUT #13, 1
  END IF
  IF kwi = 1 THEN
    GET #13, 1
    ZWS = VAL(ZA$)
    ZWP = VAL(ZB$)
    ZWR = VAL(ZC$)
    YZY = VAL(ZD$)
    kwi = VAL(ZE$)
  END IF
  CLOSE #13
40 NOD = 3
  GOSUB 5455
  IF DKN = 0 THEN
    LOCATE 10, 20: PRINT "Sistem geotermal general - "
    COLOR 2
    LOCATE 10, 48: PRINT "ansamblu "
    COLOR 3
  END IF
  IF DKN = 1 THEN
    LOCATE 10, 20: PRINT "Sistem geotermal detaliu - "
    COLOR 2
    LOCATE 10, 48: PRINT " Sinnicolau Mare "
    COLOR 3
  END IF
  IF DKN = 2 THEN
    LOCATE 10, 20: PRINT "Sistem geotermal detaliu - "
    COLOR 2
    LOCATE 10, 48: PRINT "Tomnatic "
    COLOR 3
  END IF

```

ANEXA B

```

END IF
IF DKN = 3 THEN
  LOCATE 10, 20: PRINT "Sistem geotermal detaliu - "
  COLOR 2
  LOCATE 10, 48: PRINT "Lovrin "
  COLOR 3
END IF
IF kwi = 2 THEN
  LOCATE 12, 20: PRINT "Regim "
  COLOR 2
  LOCATE 12, 27: PRINT "hidraulic. "
  COLOR 3
  LOCATE 12, 38: PRINT "Flux masic si sarcina hidraulica"
END IF
IF kwi = 1 THEN
  LOCATE 12, 20: PRINT "Regim "
  COLOR 2
  LOCATE 12, 27: PRINT " termic. "
  COLOR 3
  LOCATE 12, 36: PRINT "Flux termic si temperaturi"
END IF
PI = 3.1415927#
IF kwi = 1 THEN
  REDIM SW(12, 12), F(12)
END IF
44 GOSUB 400
80 FOR I = 1 TO 62
  S1(I) = I
  S(I) = 0
110 NEXT I
120 GOSUB 6000
305 GOSUB 1500
  OPEN "R", #kwi, WB$(kwi), 24
  FIELD #kwi, 8 AS B1$, 8 AS B2$, 8 AS B3$
  LSET B1$ = MKD$(NSIZE)
  LSET B2$ = MKD$(MBAND)
  LSET B3$ = MKD$(NN)
  PUT #kwi, 1
  CLOSE #kwi
  MB1 = MBAND + 1
  OPEN "R", #13, WW15$, 27
  FIELD #13, 5 AS ZA$, 5 AS ZB$, 5 AS ZC$, 5 AS ZD$, 5 AS ZE$, 2 AS ZF$
  GET #13, 1
  kwi = VAL(ZE$)
  IF kwi = 2 THEN
    IF YZY = 2 THEN
      GOTO 9200
    END IF
    GOSUB 3710
    kwi = 1
    RSET ZE$ = STR$(kwi)
    PUT #13, 1
    GOTO 4370
  END IF
  IF kwi = 1 THEN
    IF YZY = 2 THEN
      GOTO 9200
    END IF
    GOSUB 3710
    GOTO 4370
  END IF
9200 IF kwi = 2 THEN
  PRINT " Analiza hidraulica -reg. nestationar"
  IF kwi = 1 THEN

```



```

    PRINT " Analiza termica - reg. nestationar "
  END IF
9210  TIMP = 0
      kwi = 1
9220  NOD = 3
      PRINT "Numarul de intervale de timp si mar. interval"
      PRINT "NIT="; NIT; TAB(20); "DTI="; DTI
9310  FOR JIJ = 1 TO NIT
      TIMP = TIMP + DTI
      PRINT #3, "TIMP="; TIMP
      GOSUB 8800
      GOSUB 1500
9430  NEXT JIJ
      IF kwi = 2 THEN
        kwi = 1
        GOTO 40
      END IF
      GOTO 4370
    END IF

400  REM Subrutina INN
    CLOSE
    REM Citeste date de intrare din fisierul: W6$(kwi) - date generale
    OPEN "R", #kwi, W6$(kwi), 12
    FIELD #kwi, 10 AS C1$, 2 AS C2$
    FOR K = 1 TO 9
      GET #kwi, K
      IF K = 1 THEN NPROBL = VAL(C1$)
      IF K = 2 THEN NFLAG = VAL(C1$)
      IF K = 3 THEN NE = VAL(C1$)
      IF K = 4 THEN NN = VAL(C1$)
      IF K = 5 THEN NNTIMP = VAL(C1$)
      IF K = 6 THEN NECONV = VAL(C1$)
      IF K = 7 THEN NEFLUX = VAL(C1$)
      IF kwi = 2 THEN
        Rem Numarul total de intrari in fisierele cu fluxuri hidraulice
        NEFLUXH = NEFLUX
        OPEN "R", #14, "reper.dat", 10
        FIELD #14, 8 AS ac1$, 2 AS ac2$
        RSET ac1$ = STR$(NEFLUXH)
        RSET ac2$ = CHR$(13) + CHR$(10)
        PUT #14, 1
        CLOSE #14
      END IF
      IF K = 8 THEN NIT = VAL(C1$)
      IF K = 9 THEN DTI = VAL(C1$)
    NEXT K
    CLOSE #kwi
    IF kwi = 1 THEN
      ' Citeste fluxurile termice pe elemente
      OPEN "R", #1, W9$(1), 50
      FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A1Z$
      KONX = 0
      FOR iq = 1 TO NEFLUX
        GET #1, iq
        ME = VAL(A1$(2))
        NI0 = VAL(A1$(3))
        NJ0 = VAL(A1$(4))
        fuk = VAL(A1$(5))
        IF fuk = 0 THEN
          H = 1
          KONX = KONX + 1
          ' Citeste componentele de generare a vitezelor hidraulice pe elemente
          OPEN "R", #4, WE$(2), 24

```

ANEXA B

```

OPEN "R", #5, WF$(2), 24
FIELD #4, 8 AS E1$, 8 AS E2$, 8 AS E3$
FIELD #5, 8 AS F1$, 8 AS F2$, 8 AS F3$
GET #4, ME
VX1 = CVD(E1$)
VX2 = CVD(E2$)
VX3 = CVD(E3$)
CLOSE #4
GET #5, ME
VY1 = CVD(F1$)
VY2 = CVD(F2$)
VY3 = CVD(F3$)
CLOSE #5
OPEN "R", #11, WW8$, 111
  ` Citeste numerele de nod a elementului curent
FIELD #11, 13 AS B3A$, 4 AS B1$(1), 4 AS B1$(2), 4 AS B1$(3), 4 AS B1$(4), 10 AS B1$(5),
      10 AS B1$(6), 10 AS B1$(7), 10 AS B1$(8), 10 AS B1$(9), 10 AS B1$(10), 10 AS
      B1$(11), 10 AS B1$(12), 2 AS B4A$
GET #11, ME
KK(1) = VAL(B1$(2))
KK(2) = VAL(B1$(3))
KK(3) = VAL(B1$(4))
CLOSE #11
OPEN "R", #2, XAX$(2), 8
  ` Citeste valorile sarcinii hidraulice calculata in nod - element curent
FIELD #2, 8 AS B$
FOR IK = 1 TO 3
  KX = KK(IK)
  GET #2, KX
  HH(IK) = CVD(B$)
NEXT IK
CLOSE #2
koxx = 1
  ` Calculeaza componentele vitezei hidraulice pe element si directia
VX = koxx * (HH(1) * VX1 + HH(2) * VX2 + HH(3) * VX3)
VY = koxx * (HH(1) * VY1 + HH(2) * VY2 + HH(3) * VY3)
OPEN "R", #12, WW7$, 62
  ` Calculeaza fluxul pe o suprafata laterala a elementului
FIELD #12, 6 AS B1A$, 4 AS B1$(1), 10 AS B1$(2), 10 AS B1$(3), 10 AS B1$(4), 5 AS B1$(5),
      10 AS B1$(6), 5 AS B1$(7), 2 AS B2A$
GET #12, NI0
XNI = VAL(B1$(2))
YNI = VAL(B1$(3))
GET #12, NJ0
XNJ = VAL(B1$(2))
YNJ = VAL(B1$(3))
CLOSE #12
LIJ = SQR((XNI - XNJ) ^ 2 + (YNI - YNJ) ^ 2)
fume = LIJ * H * SQR(VX ^ 2 + VY ^ 2)
IF VX >= 0 AND VY >= 0 THEN
  IF VX = 0 THEN
    TETA = PI / 2
    GOTO 501
  END IF
  TETA = ATN(ABS(VY / VX))
END IF
IF VX < 0 AND VY >= 0 THEN
  TETA = PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
END IF
IF VX <= 0 AND VY <= 0 THEN
  IF VX = 0 THEN
    TETA = 3 * PI / 2
    GOTO 502
  END IF

```

501

```

TETA = PI + ATN(ABS(VY / VX))
502  END IF
    IF VX > 0 AND VY <= 0 THEN
        TETA = 3 * PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
    END IF
    IF XNI >= XNJ AND YNI > YNJ THEN
        IF XNI - XNJ = 0 THEN
            ANOR = PI / 2
            GOTO 505
        END IF
        ANOR = PI / 2 + ATN(ABS((YNI - YNJ) / (XNI - XNJ)))
505  IF ABS(ANOR - TETA) >= PI / 2 THEN
        SEMN = 1
    END IF
    IF ABS(ANOR - TETA) < PI / 2 THEN
        SEMN = -1
    END IF
END IF
IF XNI >= XNJ AND YNI < YNJ THEN
    IF XNI - XNJ = 0 THEN
        ANOR = 0
        GOTO 506
    END IF
    ANOR = ATN(ABS((YNI - YNJ) / (XNI - XNJ)))
506  IF ABS(ANOR - TETA) <= PI / 2 THEN
    SEMN = -1
    END IF
    IF ABS(ANOR - TETA) > PI / 2 THEN
        SEMN = 1
    END IF
END IF
IF XNI <= XNJ AND YNI < YNJ THEN
    IF XNI - XNJ = 0 THEN
        ANOR = 3 * PI / 2
        GOTO 507
    END IF
    ANOR = 3 * PI / 2 + ATN(ABS((YNI - YNJ) / (XNI - XNJ)))
507  IF ABS(ANOR - TETA) <= PI / 2 THEN
    SEMN = -1
    END IF
    IF ABS(ANOR - TETA) > PI / 2 THEN
        SEMN = 1
    END IF
END IF
IF XNI <= XNJ AND YNI > YNJ THEN
    IF XNI - XNJ = 0 THEN
        ANOR = PI
        GOTO 508
    END IF
    ANOR = PI + ATN(ABS((YNI - YNJ) / (XNI - XNJ)))
508  IF ABS(ANOR - TETA) <= PI / 2 THEN
    SEMN = -1
    END IF
    IF ABS(ANOR - TETA) > PI / 2 THEN
        SEMN = 1
    END IF
END IF
FUMQ = SEMN * ABS(fume)
OPEN "R", #13, WW11$, 47
' Scrie valoarea fluxului hidraulic in fisier
FIELD #13, 5 AS B1$(1), 5 AS B1$(2), 5 AS B1$(3), 5 AS B1$(4), 25 AS B1$(5), 2 AS B1$(6)
RSET B1$(1) = STR$(KONX)
RSET B1$(2) = STR$(ME)
RSET B1$(3) = STR$(NI0)

```

ANEXA B

```

RSET B1$(4) = STR$(NJ0)
RSET B1$(5) = STR$(FUMQ)
RSET B1$(6) = CHR$(13) + CHR$(10)
PUT #13, KONX
fume = SEMN * ABS(fume) * ROA * CSPE / LIJ / H ' fluxul/dte0 calculat in zonele specificate
CLOSE #13
OPEN "R", #14, WW12$, 47
' Scrie valoarea fluxului termic in fisier
FIELD #14, 5 AS B1$(1), 5 AS B1$(2), 5 AS B1$(3), 5 AS B1$(4), 25 AS B1$(5), 2 AS B1$(6)
RSET B1$(1) = STR$(KONX)
RSET B1$(2) = STR$(ME)
RSET B1$(3) = STR$(NI0)
RSET B1$(4) = STR$(NJ0)
RSET B1$(5) = STR$(fume * dte0)
RSET B1$(6) = CHR$(13) + CHR$(10)
' PUT #14, KONX
CLOSE #14
END IF
NEXT iq
END IF
CLOSE #1
OPEN "R", #12, WW7$, 62
' Citeste date geometrice si conditii de margina de intrare
FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS A1$(5), 10
AS A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
FOR K = 1 TO NN
GET #12, K
I = 0
574 IF I = 1 THEN X(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 2 THEN y(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF kwi = 1 THEN 578
GOTO 581
578 IF I = 3 THEN TA(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 4 THEN IC(K) = VAL(A1$(I + 1))
GOTO 583
581 IF I = 5 THEN TA(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 6 THEN IC(K) = VAL(A1$(I + 1))
583 I = I + 1
IF I >= 6 THEN 574
NEXT K
CLOSE #12
OPEN "R", #11, WW8$, 111
' Citeste nodurile elementului curent, fluxurile uniforme si elemente generale domenii
FIELD #11, 13 AS A3A$, 4 AS A1$(1), 4 AS A1$(2), 4 AS A1$(3), 4 AS A1$(4), 10 AS A1$(5), 10 AS
A1$(6), 10 AS A1$(7), 10 AS A1$(8), 10 AS A1$(9), 10 AS A1$(10), 10 AS A1$(11), 10 AS
A1$(12), 2 AS A4A$
FOR K = 1 TO NE
I = 0
GET #11, K
600 IF I = 1 THEN ID(K, 1) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 2 THEN ID(K, 2) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 3 THEN ID(K, 3) = VAL(A1$(I + 1))
IF kwi = 1 THEN 630
GOTO 654
630 IF I = 4 THEN FL(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 5 THEN DX(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 6 THEN DY(K) = VAL(A1$(I + 1))
GOTO 658
654 IF I = 7 THEN FL(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 8 THEN DX(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 9 THEN DY(K) = VAL(A1$(I + 1))
658 IF YZY = 1 THEN 665
IF I = 10 THEN GMA(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 11 THEN CSP(K) = VAL(A1$(I + 1))

```

```

665   I = I + 1
      IF I <= 11 THEN 600
      NEXT K
      CLOSE #11
      IF NEFLUX = 0 THEN 810
      OPEN "R", #kwi, W9$(kwi), 50
      ' Citeste fluxul pe suprafata laterala a elementului
      FIELD #kwi, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A5A$
      FOR K = 1 TO NEFLUX
        I = 0
        GET #kwi, K
716   IF I = 1 THEN NF(K, 1) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 2 THEN NF(K, 2) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 3 THEN NF(K, 3) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 4 THEN fu(K) = VAL(A1$(I + 1))
      I = I + 1
      IF I <= 4 THEN 716
      IF kwi = 1 THEN
        KONX = 0
        IF fu(K) = 0 THEN
          KONX = KONX + 1
          OPEN "R", #14, WW12$, 47
          FIELD #14, 5 AS B1$(1), 5 AS B1$(2), 5 AS B1$(3), 5 AS B1$(4), 25 AS B1$(5), 2 AS B1$(6)
          GET #14, KONX
          fu(K) = VAL(B1$(5))
          CLOSE #14
        END IF
      END IF
      NEXT K
      CLOSE #kwi
810 IF NECONV = 0 THEN 930
      OPEN "R", #1, WW10$, 50
      ' Citeste marimile pentru transferul convectiv la suprafetele laterale a elementelor
      FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 8 AS A1$(5), 8 AS A1$(6), 2 AS A1Z$
      FOR K = 1 TO NECONV
        I = 0
        GET #1, K
836   NJ(K) = VAL(A1$(1))
      IF I = 1 THEN NC(K, 1) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 2 THEN NC(K, 2) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 3 THEN NC(K, 3) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 4 THEN AL(K) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 5 THEN TE(K) = VAL(A1$(I + 1))
      I = I + 1
      IF I <= 5 THEN 836
      NEXT K
      CLOSE #1
930 IF ZWR = 2 THEN 1150
      ' Secvente pentru tiparire totala date de intrare in fisere de iesire de tip "*.out"
      IF kwi = 2 THEN
        OPEN "O", #3, WV1$, 130
        PRINT #3, " Regim hidraulic - date de control"
      END IF
      IF kwi = 1 THEN
        OPEN "O", #3, WV2$, 130
        PRINT #3, " Regim termic - date de control"
      END IF
      PRINT #3, "Nr. problemei ", NPROBL
      PRINT #3, TAB(10); "NE"; TAB(20); "NN"; TAB(30); "NNTIMP"; TAB(40);
      PRINT #3, "NECONV"; TAB(50); "NEFLUX"
      PRINT #3, TAB(10); NE; TAB(20); NN; TAB(30); NNTIMP; TAB(40);
      PRINT #3, NECONV; TAB(50); NEFLUX
      PRINT #3, TAB(10); "DATE NODALE"
      PRINT #3, "I"; TAB(5); "X(I)"; TAB(15); "Y(I)"; TAB(25);

```

```

ANEXA B

IF kwi = 2 THEN
  PRINT #3, "H(1)"; TAB(35); "IC2(1)"
END IF
IF kwi = 1 THEN
  PRINT #3, "T(1)"; TAB(35); "IC1(1)"
END IF
FOR I = 1 TO NN
  PRINT #3, USING "####"; I;
  PRINT #3, TAB(5);
  PRINT #3, USING "#####.##"; X(I);
  PRINT #3, TAB(15);
  PRINT #3, USING "#####.##"; y(I);
  PRINT #3, TAB(25);
  PRINT #3, USING "#####.##"; TA(I);
  PRINT #3, TAB(35);
  PRINT #3, USING "####"; IC(I)
NEXT I
PRINT #3, "Elm"; TAB(5); "No i"; TAB(10); "No j"; TAB(15); "No k";
IF kwi = 2 THEN
  PRINT #3, TAB(20); " Qh(i)"; TAB(30); "Kxx"; TAB(50); "Kyy"
END IF
IF kwi = 1 THEN
  PRINT #3, TAB(20); "Qt(i)"; TAB(30); "Dx"; TAB(50); "Dy"
END IF
FOR I = 1 TO NE
  PRINT #3, USING "####"; I;
  PRINT #3, TAB(5);
  PRINT #3, USING "####"; ID(I, 1);
  PRINT #3, TAB(10);
  PRINT #3, USING "####"; ID(I, 2);
  PRINT #3, TAB(15);
  PRINT #3, USING "####"; ID(I, 3);
  PRINT #3, TAB(20);
  PRINT #3, USING "# #####"; FL(I);
  PRINT #3, TAB(30);
  IF kwi = 2 THEN
    PRINT #3, USING "# #####"; DX(I);
    PRINT #3, TAB(55);
    PRINT #3, USING "# #####"; DY(I)
  END IF
  IF kwi = 1 THEN
    PRINT #3, USING "####.####"; DX(I);
    PRINT #3, TAB(50);
    PRINT #3, USING "####.####"; DY(I)
  END IF
NEXT I
IF NEFLUX = 0 THEN 1100
IF kwi = 2 THEN
  PRINT #3, " Flux masic - regim hidraulic"
END IF
IF kwi = 1 THEN
  PRINT #3, " Flux termic - regim termic"
END IF
PRINT #3, "Elm"; TAB(10); "Nod n"; TAB(20); "Nod k"; TAB(30); "Flux"
FOR I = 1 TO NEFLUX
  PRINT #3, NF(I, 1); TAB(10); NF(I, 2); TAB(20); NF(I, 3);
  PRINT #3, TAB(30); fu(I)
NEXT I
1100 IF NECONV = 0 THEN 1150
  IF kwi = 2 THEN
    GOTO 1150
  END IF
  PRINT #3, "DATE PT. CONVECTIE"
  PRINT #3, "Elm"; TAB(8); "Nod i"; TAB(16); "Nod j"; TAB(25); "Alfa(i)";

```

```

PRINT #3, TAB(45); "Te(i)"
FOR I = 1 TO NECONV
  PRINT #3, USING "#####"; NC(I, 1);
  PRINT #3, TAB(8);
  PRINT #3, USING "#####"; NC(I, 2);
  PRINT #3, TAB(16);
  PRINT #3, USING "#####"; NC(I, 3);
  PRINT #3, TAB(25);
  PRINT #3, USING "#####.#####"; AL(I);
  PRINT #3, TAB(45);
  PRINT #3, USING "#####.##": TE(I)
NEXT I
1150 GOSUB 1200
RETURN
END

1200 REM Subrutina ce calculeaza numarul de ecuatii NSIZE si latimea benzii MBAND
NSIZE = 0
MBAND = 0
FOR II = 1 TO NN
  IF IC(II) > 0 THEN 1290
  NSIZE = NSIZE + 1
  IC(II) = NSIZE
  GOTO 1300
1290 IC(II) = 0
1300 NEXT II
FOR N = 1 TO NE
  FOR I = 1 TO NOD
    IJ = ID(N, I)
    KB(I) = IC(IJ)
  NEXT I
  MAX = 0
  MIN = 10000
  FOR I = 1 TO NOD
    IF KB(I) = 0 THEN 1410
    IF KB(I) > MAX THEN MAX = KB(I)
    IF KB(I) < MIN THEN MIN = KB(I)
1410 NEXT I
  NDIF = MAX - MIN + 1
  IF NDIF > MBAND THEN MBAND = NDIF
NEXT N
LOCATE 14, 20: PRINT "Nr. de ecuatii , NSIZE=";
COLOR 2
LOCATE 14, 44: PRINT NSIZE
COLOR 3
LOCATE 16, 20: PRINT "Latimea benzii , MBAND=";
COLOR 2
LOCATE 16, 44: PRINT MBAND
COLOR 3
RETURN
END

1500 REM Subrutina FMK
REM Determina matricea de permeabilitate sau conductivitate
REM Determina vectorii incarcarii hidraulice si termice
LOCATE 18, 20: PRINT "Matrice "
IF kwi = 2 THEN
  COLOR 2
  LOCATE 18, 28: PRINT "hidraulica - "
  COLOR 3
  LOCATE 18, 41: PRINT " coef. [K] si termen liber [F] "
  COLOR 3
END IF
IF kwi = 1 THEN

```

ANEXA B

```

COLOR 2
LOCATE 18, 28: PRINT "termica - "
COLOR 3
LOCATE 18, 38: PRINT " coef. [K] si termen liber [F] "
LOCATE 8, 40: PRINT "Err de aprox... "; controlc
COLOR 3
END IF
IF YZY = 1 THEN 1520
IF kwi = 2 THEN
  GOTO 1520
END IF
FOR I = 1 TO NSIZE
  F(I) = 0
  FOR J = 1 TO NSIZE
    SW(I, J) = 0
  NEXT J
NEXT I
1520 FOR ME = 1 TO NE
  LOCATE 20, 20: PRINT "Element....";
  LOCATE 20, 31: PRINT " ";
  COLOR 2
  LOCATE 20, 31: PRINT ME
  COLOR 12
  LOCATE 23, 60: PRINT " Wait !"
  COLOR 3
  FOR I = 1 TO NOD
    FE(I) = 0
    FOR J = 1 TO NOD
      SE(I, J) = 0
    NEXT J
  NEXT I
  GOSUB 2330
  LOCATE 23, 60: PRINT " "

1600 REM Constituie matricele SE pt. cond. la limita de tip 1
1610 FOR I = 1 TO NOD
  IF kwi = 1 THEN
    CLOSE #15
    OPEN "R", #15, WV5$, 57
    FIELD #15, 5 AS AA$, 25 AS AB$, 25 AS AC$, 2 AS AD$
    RSET AD$ = CHR$(13) + CHR$(10)
    FOR IJ = 1 TO NE
      GET #15, IJ
      IF IJ = ME THEN
        VN = VAL(AB$)
        DXX = ROA * CSPE * VN * AL0
        DYY = ROA * CSPE * VN * AT0
        GOTO 9191
      END IF
    NEXT IJ
9191  ROX = 1
    CLOSE #15
  END IF
  IF kwi = 2 THEN
    ROX = ROA * 9.81 / .000368
    DXX = 0
    DYY = 0
  END IF
  FOR J = 1 TO NOD
    SE(I, J) = .25 * (B(I) * B(J) * ROX * (DX(ME) + DXX) + C(I) * C(J) * ROX * (DY(ME) + DYY))
      / DELTA
  NEXT J
NEXT I
IF kwi = 1 THEN

```



```

      FOR IP = 1 TO 3
        FOR JP = 1 TO 3
          SET1 = 1
          SE(IP, JP) = SE(IP, JP) + H / 6 * (VX * B(JP) + VY * C(JP)) * ROA * CSPE
1642      NEXT JP
        NEXT IP
      END IF
      REM Modificarea se face daca problema este axial simetrica
1650 IF NFLAG <> 1 THEN 1730
      RAZA = (X(II) + X(JJ) + X(MM)) / 3
      RAZA = 2 * PI * RAZA ^ 2
      FOR I = 1 TO NOD
        FOR J = 1 TO NOD
          SE(I, J) = SE(I, J) * RAZA
        NEXT J
      NEXT I

1730 REM Vectorul termenului liber de tip FE
      IF FL(ME) = 0 THEN 1830
      QQ1 = FL(ME)
      QQ2 = FL(ME)
      QQ3 = FL(ME)
      CONSTQ = DELTA / 12
      FE(1) = (2 * QQ1 + QQ2 + QQ3) * CONSTQ
      FE(2) = (QQ1 + 2 * QQ2 + QQ3) * CONSTQ
      FE(3) = (QQ1 + QQ2 + 2 * QQ3) * CONSTQ
1820 REM Modifica vectorul de tip FE
1830 IF NFLAG <> 1 THEN 1980
      RBAR = (X(II) + X(JJ) + X(MM)) / 3
      ZBAR = (y(II) + y(JJ) + y(MM)) / 3
      RP(1) = RBAR - X(II)
      RP(2) = RBAR - X(JJ)
      RP(3) = RBAR - X(MM)
      ZP(1) = ZBAR - y(II)
      ZP(2) = ZBAR - y(JJ)
      ZP(3) = ZBAR - y(MM)
      FACT1 = (RP(1) ^ 2 + RP(2) ^ 2 + RP(3) ^ 2) / 12
      FACT2 = (RP(1) * ZP(1) + RP(2) * ZP(2) + RP(3) * ZP(3)) / 12
      FACT3 = RBAR * FL(ME) * PI
      FEE1 = C(1) * RBAR * ZBAR + C(1) * FACT2
      FE(1) = FACT3 * (A(1) * RBAR + B(1) * RBAR ^ 2 + B(1) * FACT1 + FEE1)
      FEE2 = C(2) * RBAR * ZBAR + C(2) * FACT2
      FE(2) = FACT3 * (A(2) * RBAR + B(2) * RBAR ^ 2 + B(2) * FACT1 + FEE2)
      FEE3 = C(3) * RBAR * ZBAR + C(3) * FACT2
      FE(3) = FACT3 * (A(3) * RBAR + B(3) * RBAR ^ 2 + B(3) * FACT1 + FEE3)

1980 REM Completare prin schimbul de caldura pe contur-prin conv.
      IF NECONV = 0 THEN 2060
      FOR I = 1 TO NECONV
        IF ME <> NC(I, 1) THEN 2050
        NME = I
        GOSUB 2500
        GOTO 2060
2050 NEXT I

2060 REM Completare pentru schimbul de flux masic ori termic pe contur
      IF NEFLUX = 0 THEN 2140
      FOR I = 1 TO NEFLUX
        IF ME <> NF(I, 1) THEN 2130
        NME = I
        GOSUB 2970
        GOTO 2140
2130 NEXT I
2140 IF YZY = 1 THEN 2150

```

ANEXA B

GOSUB 8000

```

2150 REM Modifica sistemul de ecuatii daca sunt sarcini ori temperaturi impuse
      IF NNTIMP = 0 THEN 2280
      IF IC(II) <> 0 THEN 2200
      IF TA(II) = 0 THEN 2200
      FE(2) = FE(2) - SE(2, 1) * TA(II)
      FE(3) = FE(3) - SE(3, 1) * TA(II)
2200 IF IC(JJ) <> 0 THEN 2240
      IF TA(JJ) = 0 THEN 2240
      FE(1) = FE(1) - SE(1, 2) * TA(JJ)
      FE(3) = FE(3) - SE(3, 2) * TA(JJ)
2240 IF IC(MM) <> 0 THEN 2280
      IF TA(MM) = 0 THEN 2280
      FE(1) = FE(1) - SE(1, 3) * TA(MM)
      FE(2) = FE(2) - SE(2, 3) * TA(MM)

2280 REM Asamblarea sistemului pentru elementul curent in sistemul general
      IF YZY = 1 THEN 2290
      IF kwi = 2 THEN
        GOTO 2290
      END IF
      GOSUB 8600
      GOTO 2295
2290 GOSUB 3360
2295 NEXT ME
      RETURN
      END

2320 REM Calculeaza coeficientii functiilor de forma si aria elementului curent
2330 REM Salveaza marimile necesare determinarii vitezelor hidraulice
2340 II = ID(ME, 1)
      JJ = ID(ME, 2)
      MM = ID(ME, 3)
      XEE = X(II) * y(JJ) - X(JJ) * y(II)
      DET = (X(JJ) * y(MM) - X(MM) * y(JJ)) - (X(II) * y(MM) - X(MM) * y(II)) + XEE
      DELTA = .5 * DET
      A(1) = X(JJ) * y(MM) - X(MM) * y(JJ)
      B(1) = y(JJ) - y(MM)
      C(1) = X(MM) - X(JJ)
      A(2) = X(MM) * y(II) - X(II) * y(MM)
      B(2) = y(MM) - y(II)
      C(2) = X(II) - X(MM)
      A(3) = X(II) * y(JJ) - X(JJ) * y(II)
      B(3) = y(II) - y(JJ)
      C(3) = X(JJ) - X(II)
      OPEN "R", #4, WFS$(2), 24
      OPEN "R", #5, WFS$(2), 24
      FIELD #4, 8 AS E1$, 8 AS E2$, 8 AS E3$
      FIELD #5, 8 AS F1$, 8 AS F2$, 8 AS F3$
      KK(1) = II
      KK(2) = JJ
      KK(3) = MM
      H = 1
      DE = 2 * ABS(X(II) * B(1) + X(JJ) * B(2) + X(MM) * B(3))
      CLOSE #15
      IF kwi = 2 THEN
        OPEN "R", #15, WV5$, 57
      END IF
      IF kwi = 1 THEN
        OPEN "R", #15, WV5$, 57
      END IF
      IF kwi = 1 THEN
        FIELD #15, 5 AS AA$, 25 AS AB$, 25 AS AC$, 2 AS AD$

```

```

FOR IJ = 1 TO NE
  GET #15, IJ
  IF IJ = ME THEN
    VN = VAL(AB$)
    DXX = ROA * CSPE * VN * AL0
    DYY = ROA * CSPE * VN * AT0
    DXME = DX(ME) + DXX
    DYME = DY(ME) + DYY
    CLOSE #15
    GOTO 9193
  END IF
NEXT IJ
END IF
9193 IF kwi = 2 THEN
  DXME = DX(ME) * ROA * 9.81 / .000368
  DYME = DY(ME) * ROA * 9.81 / .000368
END IF
XTEA = -DXME / DE / H ' DX( ME) in loc de 1
LSET E1$ = MKD$(XTEA * B(1))
LSET E2$ = MKD$(XTEA * B(2))
LSET E3$ = MKD$(XTEA * B(3))
YTEA = -DYME / DE / H ' DY(ME)
LSET F1$ = MKD$(YTEA * C(1))
LSET F2$ = MKD$(YTEA * C(2))
LSET F3$ = MKD$(YTEA * C(3))
PUT #4, ME
PUT #5, ME
CLOSE #4
CLOSE #5
IF kwi = 1 OR kwi = 2 THEN
  OPEN "R", #4, WE$(kwi), 24
  OPEN "R", #5, WF$(kwi), 24
  FIELD #4, 8 AS E1$, 8 AS E2$, 8 AS E3$
  FIELD #5, 8 AS F1$, 8 AS F2$, 8 AS F3$
  OPEN "R", #2, XAX$(kwi), 8
  FIELD #2, 8 AS B$
  FOR IK = 1 TO 3
    KX = KK(IK)
    GET #2, KX
    HH(IK) = CVD(B$)
  NEXT IK
  GET #4, ME
  GET #5, ME
  VX1 = CVD(E1$)
  VX2 = CVD(E2$)
  VX3 = CVD(E3$)
  VY1 = CVD(F1$)
  VY2 = CVD(F2$)
  VY3 = CVD(F3$)
  IF kwi = 2 THEN
    k0xx = 1
  END IF
  IF kwi = 1 THEN
    k0xx = 1
  END IF
  VX = k0xx * (HH(1) * VX1 + HH(2) * VX2 + HH(3) * VX3)
  VY = k0xx * (HH(1) * VY1 + HH(2) * VY2 + HH(3) * VY3)
  CLOSE #15
  OPEN "R", #15, WV5$, 57
  FIELD #15, 5 AS AA$, 25 AS AB$, 25 AS AC$, 2 AS AD$
  RSET AD$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  RSET AA$ = STR$(ME)
  RSET AB$ = STR$(SQR(VX ^ 2 + VY ^ 2))
  IF VX >= 0 AND VY >= 0 THEN

```

ANEXA B

```

        IF VX = 0 THEN
            TETA = PI / 2
            GOTO 2401
        END IF
        TETA = ATN(ABS(VY / VX))
2401  END IF
        IF VX < 0 AND VY >= 0 THEN
            TETA = PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
        END IF
        IF VX <= 0 AND VY <= 0 THEN
            IF VX = 0 THEN
                TETA = 3 * PI / 2
                GOTO 2402
            END IF
            TETA = PI + ATN(ABS(VY / VX))
2402  END IF
        IF VX > 0 AND VY <= 0 THEN
            TETA = 3 * PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
        END IF
        RSET AC$ = STR$(TETA)
        PUT #15, ME
        CLOSE #15
        CLOSE #2
        CLOSE #4
        CLOSE #5
    END IF
    RETURN
END

2500 REM Subrutina care determina efectul de schimb convectiv - adauga la SE si PE
    REM Numarul elementului finit si al nodului cu schimb convectiv
    NREL = NC(NME, 1)
    NODK = NC(NME, 2)
    NODL = NC(NME, 3)
    XK = X(NODK)
    YK = y(NODK)
    XL = X(NODL)
    YL = y(NODL)
    D0X = XK - XL
    D0Y = YK - YL
    REM Lungimea laturii elementului cu schimb convectiv
    DLKL = SQR(D0X * D0X + D0Y * D0Y)
    FOR I = 1 TO 3
        FEC(I) = 0
        FOR J = 1 TO 3
            SEC(I, J) = 0
        NEXT J
    NEXT I
    H = 1
    IF NFLAG <> 1 THEN 2730
    H = PI * (XL + XK)
2720 REM Pozitia nodului opus laturii cu schimb convectiv
2730 FOR I = 1 TO 3
        IF ID(NREL, I) = NODK THEN 2780
        IF ID(NREL, I) = NODL THEN 2780
        NLC = I
        GOTO 2790
2780 NEXT I
    REM Matricele pentru schimb convectiv
2790 FOR I = 1 TO 3
        IF I = NLC THEN 2882
        FEC(I) = .5 * H * AL(NME) * DLKL * TE(NME)
        FOR J = 1 TO 3
            IF J = NLC THEN 2880

```

```

      IF I <> J THEN 2870
      SEC(I, J) = H * DLKL * AL(NME) / 3
      GOTO 2880
2870   SEC(I, J) = H * DLKL * AL(NME) / 6
2880   NEXT J
2882  NEXT I
2890  REM Insumeaza efectul convectiv la matricele SE si FE
2900  FOR I = 1 TO 3
      FE(I) = FE(I) + FEC(I)
      FOR J = 1 TO 3
        SE(I, J) = SE(I, J) + SEC(I, J)
      NEXT J
    NEXT I
    RETURN
    END

2970  REM Aadauga la element vectorul termenului liber contributia prin flux pe contur
2990  REM Numarul elementului finit si al nodului cu schimb de flux
3000  NREL = NF(NME, 1)
      NODK = NF(NME, 2)
      NODL = NF(NME, 3)
      XK = X(NODK)
      YK = y(NODK)
      XL = X(NODL)
      YL = y(NODL)
      D0X = XK - XL
      D0Y = YK - YL
3090  REM Lungimea laturii cu schimb de caldura prin flux masic ori termic
3100  DLKL = SQR(D0X * D0X + D0Y * D0Y)
      FOR I = 1 TO 3
        FEF(I) = 0
      NEXT I
      H = 1
      IF NFLAG <> 1 THEN 3180
      H = PI * (XK + XL)
3180  REM Pozitia nodului opus laturii
      FOR I = 1 TO 3
        IF ID(NREL, I) = NODK THEN 3240
        IF ID(NREL, I) = NODL THEN 3240
        NLC = I
        GOTO 3260
3240  NEXT I
3250  REM Vector pentru schimb prin flux masic ori termic
3260  FOR I = 1 TO 3
      IF I = NLC THEN 3290
      FEF(I) = .5 * H * fu(NME) * DLKL
3290  NEXT I
      REM Aadauga contributia fluxului masic ori termic la FE
      FOR I = 1 TO 3
        FE(I) = FE(I) + FEF(I)
      NEXT I
      RETURN
      END

3360  REM Asamblarea matricii de permeabilitate sau de conductivitate si vectorul
      REM termenului liber pe fisier structural extern de tip WORKSHEET
3370  MB1 = MBAND + 1
      MB2 = MB1 + NEFLUX
      FOR I = 1 TO 3
        FOR J = 1 TO 62
          SS(I, J) = 0
        NEXT J
      NEXT I
      KK(1) = IC(II)

```

ANEXA B

```

KK(2) = IC(JJ)
KK(3) = IC(MM)
I = 0
KF = 2
GOSUB 6000
RETURN
END

3710 REM Rezolvarea sistemelor de ecuatii
3715 IF YZY = 2 THEN 9200 ` Cazul miscarii nepermanente
REM Rezolva prin retrospectivitate GAUSS
IF kwi = 2 THEN
LOCATE 18, 20: PRINT "Rezolvare sistem "
COLOR 2
LOCATE 18, 37: PRINT "hidraulic"
COLOR 3
LOCATE 18, 46: PRINT " - Gauss - matrice banda "
END IF
IF kwi = 1 THEN
LOCATE 18, 20: PRINT "Rezolvare sistem "
COLOR 2
LOCATE 18, 37: PRINT "termic"
COLOR 3
LOCATE 18, 45: PRINT " - Gauss - matrice banda "
END IF
REDIM si(122, 61), RI(122), SA(400)
IF pasdo = 0 THEN
DIM GI$(5)
END IF
OPEN "R", #kwi, WB$(kwi), 24
` Citeste numarul de ecuatii si latimea benzii
FIELD #kwi, 8 AS A1$, 8 AS a2$, 8 AS A3$
GET #kwi, 1
NSIZE = CVD(A1$)
MBAND = CVD(a2$)
NN = CVD(A3$)
MB1 = MBAND + 1
CLOSE #kwi
FOR I = 1 TO 122
RI(I) = 0
FOR J = 1 TO 61
si(I, J) = 0
NEXT J
NEXT I
NEQ = NSIZE
REM Calculeaza numarul de blocuri necesare substitutiei Gauss - NC
NC = NSIZE \ MBAND
ND = NSIZE MOD MBAND
IF ND = 0 THEN 3920
NC = NC + 1
3920 GOSUB 4400
GOSUB 4800
CLOSE #kwi
OPEN "R", #12, WW7$, 62
FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS A1$(5), 10 AS
A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
FOR K = 1 TO NN
GET #12, K
I = 0
4012 IF I = 1 THEN X(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF I = 2 THEN y(K) = VAL(A1$(I + 1))
IF kwi = 1 THEN 4017
GOTO 4020
4017 IF I = 3 THEN TA(K) = VAL(A1$(I + 1))

```

```

      IF I = 4 THEN IC(K) = VAL(A1$(I + 1))
      GOTO 4022
4020  IF I = 5 THEN TA(K) = VAL(A1$(I + 1))
      IF I = 6 THEN IC(K) = VAL(A1$(I + 1))
4022  I = I + 1
      IF I <= 6 THEN 4012
      NEXT K
      NSI = 0
      FOR II = 1 TO NN
        IF IC(II) > 0 THEN 4120
        NSI = NSI + 1
        IC(II) = NSI
        GOTO 4125
4120  IC(II) = 0
4125  NEXT II
      FOR I = 1 TO NN
        II = IC(I)
        IF II = 0 THEN 4170
        TA(I) = SA(II)
4170  NEXT I
        IF NN = NN \ 62 * 62 THEN 4250
        NS = NN \ 62 + 1
        GOTO 4260
4250  NS = NN \ 62
4260  CLOSE #12
4270  OPEN "R", #kwi, XAX$(kwi), 8
      FIELD #kwi, 8 AS B$
      IF kwi = 2 THEN
        COLOR 3
        LOCATE 20, 20: PRINT "Salvare in fisier - "
        COLOR 11
        LOCATE 20, 39: PRINT " SARCINA.DAT "
        COLOR 3
      END IF
      IF kwi = 1 THEN
        COLOR 3
        LOCATE 20, 20: PRINT "Salvare in fisier - "
        COLOR 11
        LOCATE 20, 39: PRINT " TEMPERA.DAT "
        COLOR 3
      END IF
      CLOSE #3
      OPEN "R", #3, WV7$, 102
      FIELD #3, 25 AS G1$(1), 25 AS G1$(2), 25 AS G1$(3), 25 AS G1$(4), 2 AS G1$(5)
      FOR K = 1 TO NN
        RSET B$ = MKD$(TA(K))
        PUT #kwi, K
      NEXT K
      CLOSE #kwi
      REM Scrierea solutiilor sistemelor de ecuatii intr-un fisier de tip "*.out"
      IF kwi = 1 THEN
        IF ZWR = 1 THEN
          OPEN "O", #8, "C:\BC7\HT\0\SOLFIN.OUT"
          PRINT #8, "Solutiile sistemului de ecuatii"
          PRINT #8,
          PRINT #8, "Elm"; TAB(6); "X(i)"; TAB(16); "Y(i)";
          PRINT #8, TAB(26); "Ha(i)"; TAB(46); "Ta(i)"
        END IF
      END IF
      OPEN "R", #1, XAX$(1), 8
      FIELD #1, 8 AS B$
      OPEN "R", #2, XAX$(2), 8
      FIELD #2, 8 AS C$
      FOR I = 1 TO NN

```

ANEXA B

```

GET #1, I
GET #2, I
TA = CVD(B$)
HA = CVD(C$)
IF kwi = 1 THEN
  IF ZWR = 1 THEN
    PRINT #8, I; TAB(6);
    PRINT #8, USING "#####.##": X(I);
    PRINT #8, TAB(16);
    PRINT #8, USING "#####.##": y(I);
    PRINT #8, TAB(26);
    PRINT #8, USING "#####.##": HA;
    PRINT #8, TAB(46);
    PRINT #8, USING "#####.##": TA;
  END IF
END IF
RSET G1$(1) = STR$(X(I))
RSET G1$(2) = STR$(y(I))
RSET G1$(3) = STR$(HA)
RSET G1$(4) = STR$(TA)
RSET G1$(5) = CHR$(13) + CHR$(10)
PUT #3, I
NEXT I
CLOSE #1
CLOSE #2
CLOSE #3
IF KF = 1 THEN
  KF = 2
  GOTO 40
RETURN
END IF
OPEN "R", #3, WV7$, 102
FIELD #3, 25 AS G1$(1), 25 AS G1$(2), 25 AS G1$(3), 25 AS G1$(4), 2 AS G1$(5)
OPEN "R", #1, WV3$, 77
FIELD #1, 25 AS A1$(1), 25 AS A1$(2), 25 AS A1$(3), 2 AS A1$(4)
OPEN "R", #2, WV4$, 77
FIELD #2, 25 AS B1$(1), 25 AS B1$(2), 25 AS B1$(3), 2 AS B1$(4)
FOR IK1 = 1 TO NN
  GET #3, IK1
  RSET A1$(1) = G1$(1)
  RSET B1$(1) = G1$(1)
  RSET A1$(2) = G1$(2)
  RSET B1$(2) = G1$(2)
  RSET A1$(3) = G1$(3)
  RSET B1$(3) = G1$(4)
  RSET A1$(4) = CHR$(13) + CHR$(10)
  RSET B1$(4) = CHR$(13) + CHR$(10)
  PUT #1, IK1
  PUT #2, IK1
NEXT IK1
CLOSE #3
CLOSE #1
CLOSE #2
4272 RETURN
END

4370 CLS
GOSUB 5455
OPEN "R", #12, WW7$, 62
FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS A1$(5), 10 AS
  A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
FOR II = 1 TO NN
  GET #12, II
  X(II) = VAL(A1$(2))

```



```

      y(II) = VAL(A1$(3))
NEXT II
CLOSE #12
OPEN "R", #11, WW8$, 111
FIELD #11, 13 AS A3A$, 4 AS A1$(1), 4 AS A1$(2), 4 AS A1$(3), 4 AS A1$(4), 10 AS A1$(5), 10 AS
      A1$(6), 10 AS A1$(7), 10 AS A1$(8), 10 AS A1$(9), 10 AS A1$(10), 10 AS A1$(11), 10 AS
      A1$(12), 2 AS A4A$
gtesb = gtes MOD 2
IF gtesb = 1 THEN
      rty = 2
END IF
IF gtesb = 0 THEN
      rty = 1
END IF
OPEN "R", #1, XAX$(rty), 8
FIELD #1, 8 AS B$
OPEN "R", #4, WE$(2), 24
OPEN "R", #5, WF$(2), 24
FIELD #4, 8 AS E1$, 8 AS E2$, 8 AS E3$
FIELD #5, 8 AS F1$, 8 AS F2$, 8 AS F3$
IF (kwi = 1 AND KON = 2) OR (kwi = 1 AND KON = 1) THEN
      CLOSE #15
      IF gtesb = 1 THEN
              OPEN "R", #15, WV5$, 57 ' Regim hidraulic
      END IF
      IF gtesb = 0 THEN
              OPEN "R", #15, WV6$, 57 ' Regim termic
      END IF
END IF
IF kwi = 2 AND KON = 1 THEN
      CLOSE #15
      OPEN "R", #15, WV5$, 57
END IF
FIELD #15, 5 AS AA$, 25 AS AB$, 25 AS AC$, 2 AS AD$
RSET AD$ = CHR$(13) + CHR$(10)
FOR IJ = 1 TO NE
      GET #11, IJ
      KK(1) = VAL(A1$(2))
      KK(2) = VAL(A1$(3))
      KK(3) = VAL(A1$(4))
      FOR IK = 1 TO 3
              KX = KK(IK)
              GET #1, KX
              HH(IK) = CVD(B$)
      NEXT IK
      GET #4, IJ
      GET #5, IJ
      VX1 = CVD(E1$)
      VX2 = CVD(E2$)
      VX3 = CVD(E3$)
      VY1 = CVD(F1$)
      VY2 = CVD(F2$)
      VY3 = CVD(F3$)
      IF kwi = 1 AND KON = 1 THEN
              k0xx = 1
      END IF
      IF kwi = 1 AND KON = 2 THEN
              k0xx = 1
      END IF
      VX = k0xx * (HH(1) * VX1 + HH(2) * VX2 + HH(3) * VX3)
      VY = k0xx * (HH(1) * VY1 + HH(2) * VY2 + HH(3) * VY3)
      IF VX = 0 AND VY = 0 THEN
              PRINT " EROARE LA ELEM ": IJ
      END IF

```

ANEXA B

```

RSET AAS = STR$(IJ)
RSET ABS = STR$(SQR(VX ^ 2 + VY ^ 2))
IF VX >= 0 AND VY >= 0 THEN
  IF VX = 0 THEN
    TETA = PI / 2
    GOTO 4301
  END IF
  TETA = ATN(ABS(VY / VX))
4301 END IF
  IF VX < 0 AND VY >= 0 THEN
    TETA = PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
  END IF
  IF VX <= 0 AND VY <= 0 THEN
    IF VX = 0 THEN
      TETA = 3 * PI / 2
      GOTO 4302
    END IF
    TETA = PI + ATN(ABS(VY / VX))
4302 END IF
  IF VX > 0 AND VY <= 0 THEN
    TETA = 3 * PI / 2 + ATN(ABS(VY / VX))
  END IF
  RSET AC$ = STR$(TETA)
  PUT #15, IJ
NEXT IJ
IF TEX = 0 THEN
IF kwi = 1 THEN
END IF
REM Secvente de program pentru scrierea conditiilor de margina pe domeniile de detalii
REM Conditii rezultate din rezolvarea sistemului general de ansamblu
IF (DKN - 1 = 0 AND YCONT = 1) OR (pasdo >= 1 AND YCONT = 1) THEN
  OPEN "R", #3, WV7$, 102
  FIELD #3, 25 AS G1$(1), 25 AS G1$(2), 25 AS G1$(3), 25 AS G1$(4), 2 AS G1$(5)
  FOR IJ = 1 TO 3
    CLOSE #1
    IF IJ = 1 THEN
      ES$ = "C:\BC7\HT\1\" + AU2$ + "_70.DAT"
      LOCATE 10, 20: PRINT "Genereaza date intrare in...";
      COLOR 2
      LOCATE 10, 50: PRINT ES$ 'SIN1_70.DAT
      COLOR 3
      OPEN "R", #12, ES$, 62
      FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS
        A1$(5), 10 AS A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
      OPEN "R", #1, W6$(kwi), 12
      FIELD #1, 10 AS C1$, 2 AS C2$
      GET #1, 3
      NTU = VAL(C1$)
      CLOSE #1
      GOTO 4305
    END IF
    IF IJ = 2 THEN
      CLOSE #12
      ES$ = "C:\BC7\HT\2\" + AU3$ + "_70.DAT"
      LOCATE 12, 20: PRINT "Genereaza date intrare in...";
      COLOR 2
      LOCATE 12, 50: PRINT ES$ 'TOM1_70.DAT
      COLOR 3
      OPEN "R", #12, ES$, 62
      FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS
        A1$(5), 10 AS A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
      OPEN "R", #1, W6$(kwi), 12
      FIELD #1, 10 AS C1$, 2 AS C2$
      GET #1, 3

```

```

        NTU = VAL(C1$)
        CLOSE #1
        GOTO 4305
    END IF
    IF IJ = 3 THEN
        CLOSE #12
        ESS = "C:\BC7\HT\3\" + AU4$ + "_70.DAT"
        LOCATE 14, 20: PRINT "Genereaza date intrare in...";
        COLOR 2
        LOCATE 14, 50: PRINT ESS    'LOV1_70.DAT"
        COLOR 3
        OPEN "R", #12, ESS, 62
        FIELD #12, 6 AS A1A$, 4 AS A1$(1), 10 AS A1$(2), 10 AS A1$(3), 10 AS A1$(4), 5 AS
            A1$(5), 10 AS A1$(6), 5 AS A1$(7), 2 AS A2A$
        OPEN "R", #1, W6$(kwi), 12
        FIELD #1, 10 AS C1$, 2 AS C2$
        GET #1, 3
        NTU = VAL(C1$)
        CLOSE #1
    END IF
4305  FOR L = 1 TO NTU
        GET #12, L
        X71 = VAL(A1$(2))
        Y71 = VAL(A1$(3))
        IC1 = VAL(A1$(5))
        IC2 = VAL(A1$(7))
        IF IC1 <> 1 AND IC2 <> 1 THEN
            GOTO 4306
        END IF
        FOR K = 1 TO NN
            GET #3, K
            XS0 = VAL(G1$(1))
            YS0 = VAL(G1$(2))
            HA0 = VAL(G1$(3))
            TA0 = VAL(G1$(4))
            IF XS0 = X71 AND YS0 = Y71 THEN
                RSET A1$(4) = STR$(0)
                RSET A1$(6) = STR$(0)
                IF IC1 = 1 THEN
                    RSET A1$(4) = STR$(TA0)
                END IF
                IF IC2 = 1 THEN
                    RSET A1$(6) = STR$(HA0)
                END IF
                RSET A2A$ = CHR$(13) + CHR$(10)
                PUT #12, L
            END IF
        NEXT K
4306  NEXT L
4308  NEXT IJ
    END IF
    IF DKN = 4 THEN
        DKN = 0
    END IF
    IF controlc <= .005 AND kwi = 1 THEN
        OPEN "R", #9, "C:\BC7\HT\DECONTA.DAT", 7
        FIELD #9, 5 AS XQ1$, 2 AS XQ2$
        IF DKN = 4 THEN
            DKN = 0
        END IF
        RSET XQ1$ = STR$(DKN)
        PUT #9, 1
        CLOSE
    END IF

```

ANEXA B

```

END IF
OPEN "R", #2, W9$(2), 50
FIELD #2, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A5A$
OPEN "R", #14, "reper.dat", 10
FIELD #14, 8 AS ac1$, 2 AS ac2$
GET #14, I
NEFLUXH = VAL(ac1$)
CLOSE #14
IF kwi = 1 AND KON = 2 THEN
    NEFLUX = NEFLUXH
END IF
FOR K = 1 TO NEFLUX 'este citit din salvarea anterioara NEFLUXH
    GET #2, K
    fu(K) = VAL(A1$(5))
NEXT K
CLOSE #2
IF kwi = 1 AND KON = 2 THEN
    dqfum = 0
FOR iq = 1 TO NEFLUX
    CLOSE #1
    OPEN "R", #1, W9$(1), 50
    FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A1Z$
    GET #1, iq
    ME = VAL(A1$(2))
    NI0 = VAL(A1$(3))
    NJ0 = VAL(A1$(4))
    fuk = VAL(A1$(5))
    IF fuk >= 0 THEN
        SEMNF = 1
    END IF
    IF fuk < 0 THEN
        SEMNF = -1
    END IF
    CLOSE #1
    OPEN "R", #1, W9$(2), 50
    FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A1Z$
    GET #1, iq
    ME = VAL(A1$(2))
    NI0 = VAL(A1$(3))
    NJ0 = VAL(A1$(4))
    fukh = VAL(A1$(5))
    IF fukh >= 0 THEN
        SEMNF = 1
    END IF
    IF fukh < 0 THEN
        SEMNF = -1
    END IF
    CLOSE #1
    OPEN "R", #1, XAX$(1), 8
    FIELD #1, 8 AS B$
    TAI = 0
    TA2 = 0
    IKL = 1
    FOR I = 1 TO NN
        IF I = NI0 THEN
            GET #1, IKL
            TAI = CVD(B$)
        END IF
        IF I = NJ0 THEN
            GET #1, IKL
            TA2 = CVD(B$)
        END IF
        IKL = IKL + 1
    NEXT I

```

```

CLOSE #1
OPEN "R", #1, W9$(1), 50
REM Secvente de program pentru rezolvarea iterativa in fisierele de contributie convectiva
REM Modificarea secventiala a temperaturilor rezultate in urma rezolvarii sistemelor de
REM de ecuatii termice
FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 16 AS A1$(5), 2 AS A1Z$
IF kwi = 1 AND KON = 2 THEN
    fukn = SEMNF * ROA * CSPE * ABS(fukh) * (TA1 + TA2) / 2
    IF fuk <> 0 THEN
        dqfu = ABS(ABS(fuk) - ABS(fukn))
        IF dqfum < dqfu THEN
            dqfum = dqfu
        END IF
    END IF
    RSET A1$(2) = STR$(ME)
    RSET A1$(3) = STR$(NI0)
    RSET A1$(4) = STR$(NJ0)
    RSET A1$(5) = STR$(fukn)
    RSET A1Z$ = CHR$(13) + CHR$(10)
    PUT #1, iq
END IF
NEXT iq
CLOSE #1
IF controlc > dqfum THEN
    controlc = dqfum
END IF
END IF
CLOSE #1
OPEN "R", #1, XAX$(1), 8
FIELD #1, 8 AS B$
FOR I = 1 TO NN
    GET #1, I
    TA(I) = CVD(B$)
NEXT I
CLOSE #1
OPEN "R", #1, WW10$, 50
FIELD #1, 8 AS A1$(1), 8 AS A1$(2), 8 AS A1$(3), 8 AS A1$(4), 8 AS A1$(5), 8 AS A1$(6), 2 AS
A1Z$
FOR K = 1 TO NECONV
    I = 0
    GET #1, K
8836 NJ(K) = VAL(A1$(1))
    IF I = 1 THEN NC(K, 1) = VAL(A1$(I + 1))
    IF I = 2 THEN NC(K, 2) = VAL(A1$(I + 1))
    IF I = 3 THEN NC(K, 3) = VAL(A1$(I + 1))
    IF I = 4 THEN AL(K) = VAL(A1$(I + 1))
    IF I = 5 THEN TE(K) = VAL(A1$(I + 1))
    I = I + 1
    IF I <= 5 THEN 8836
    TE(K) = (((TA(NC(K, 2)) + TA(NC(K, 3))) / 2 * 1000) \ 10) / 100
    RSET A1$(6) = STR$(TE(K) - 6!)
    RSET A1Z$ = CHR$(13) + CHR$(10)
    PUT #1, K
NEXT K
CLOSE #1
SCREEN 12
COLOR 3
LOOP UNTIL (controlc < .005 OR KON = 1)
CLOSE #12
OPEN "R", #12, WW14$, 22
FIELD #12, 10 AS YA$, 10 AS YB$, 2 AS YC$
RSET YC$ = CHR$(13) + CHR$(10)
IF kwi = 1 AND pasdo > 1 THEN
    RSET YA$ = STR$(1)

```

ANEXA B

```

RSET YB$ = STR$(2)
END IF
IF kwi = 1 AND pasdo <= 1 THEN
  IF controlc < .005 THEN
    RSET YA$ = STR$(1)
    RSET YB$ = STR$(2)
  END IF
  IF controlc > .005 THEN
    RSET YA$ = STR$(2)
    RSET YB$ = STR$(1)
  END IF
END IF
PUT #12, 1
IF kwi = 1 THEN
  OPEN "R", #9, "C:\bc7\HT\DECONTA.DAT", 7
  ` Secvente de program pentru stabilirea domeniului de simulare
  FIELD #9, 5 AS XQ1$, 2 AS XQ2$
  RSET XQ2$ = CHR$(13) + CHR$(10)
  IF controlc < .005 THEN
    IF DKN + 1 < 4 THEN
      RSET XQ1$ = STR$(DKN + 1)
    END IF
    IF DKN + 1 = 4 THEN
      DKN = 0
      RSET XQ1$ = STR$(DKN)
    END IF
  END IF
  IF KON = 1 THEN
    RSET XQ1$ = STR$(DKN)
  END IF
  PUT #9, 1
END IF
CLOSE #13
OPEN "R", #13, WW15$, 27
FIELD #13, 5 AS ZA$, 5 AS ZB$, 5 AS ZC$, 5 AS ZD$, 5 AS ZE$, 2 AS ZF$
RSET ZF$ = CHR$(13) + CHR$(10)
CLOSE #2
OPEN "R", #2, "c:\bc7\ht\hidcontr.dat ", 7
` Secvente de program pentru stabilirea regimului - hidraulic sau termic
FIELD #2, 5 AS hr$, 2 AS ht$
IF gtes + 1 = 9 THEN
  gtes = 0
END IF
RSET hr$ = STR$(gtes + 1)
RSET ht$ = CHR$(13) + CHR$(10)
PUT #2, 1
CLOSE #2
IF kwi = 2 OR kwi = 1 THEN
  RSET ZA$ = STR$(ZWS)
  RSET ZB$ = STR$(ZWP)
  RSET ZC$ = STR$(ZWR)
  RSET ZD$ = STR$(YZY)
  IF gtesb = 1 THEN
    RSET ZE$ = STR$(1)
  END IF
  IF gtesb = 0 THEN
    RSET ZE$ = STR$(2)
  END IF

  PUT #13, 1
END IF
CLOSE #13
END

```

' sfirsitul programului principal

```

4400 REM Reduceri pe blocuri, citeste primele blocuri din fisierul extern tip WORKSHEET
      MBD = 2 * MBAND
      LID = 1
      LSD = MBD
      LIM = 1
      TES = 1
      GOSUB 5580
      REM Reducerea pe blocuri
      MAC = 1
      NSIZE = MBAND
      REM Apeleaza subrutina Solve1 ce reduce bloc curent
      FOR KK = 1 TO NC
        COLOR 3
        LOCATE 20, 20: PRINT "Bloc nr... "
        COLOR 2
        LOCATE 20, 31: PRINT KK; "    "
        COLOR 3
        GOSUB 5230
        REM Transfer 1 bloc curent KK din fisier extern in bloc A, in memoria interna
        LID = (KK - 1) * MBAND + 1
        LSD = LID + MBAND - 1
        LIM = 1
        GOSUB 5740
        IF KK <> 1 THEN 4630
          FOR I = 1 TO MBAND
            SA(I) = si(1, I)
          NEXT I
          SA(MBAND + 1) = RI(1)
          REM Transfer 2 blocul B trece in bloc A, in memoria interna
4630 IF KK = NC THEN 4700
          FOR I = 1 TO MBAND
            LI = I + MBAND
            RI(I) = RI(LI)
            FOR J = 1 TO MBAND
              IF J = MB1 THEN 4634
                si(I, J) = si(LI, J)
4634 NEXT J
          NEXT I
4700 REM Transfer 3 bl. K+2 din fisierul extern se citeste in bloc B
4710 IF KK >= (NC - 1) THEN 4750
        LID = (KK + 1) * MBAND + 1
        LSD = LID + MBAND - 1
        LIM = MBAND + 1
        GOSUB 5580
4750 NEXT KK
      RETURN
      END

4800 REM Substitutia Gauss - salvare inapoi , bloc cu bloc
      LOCATE 18, 20: PRINT "Substitutia Gauss "
      COLOR 2
      LOCATE 18, 38: PRINT "inversa "
      COLOR 3
      LOCATE 18, 46: PRINT "- salv. bloc cu bloc    "
4810 MAC = 2
      TES = 1
      KONQ = 1
      NSIZE = MBAND
      NREST = NC * MBAND - NEQ
      REM Ultimul bloc (bloc NC) al lui SI si RI este citit in bloc A
      LID = (NC - 1) * MBAND + 1
      LSD = LID + MBAND - 1
      LIM = 1
      GOSUB 5580

```

ANEXA B

```

NC1 = NC + 1
4900 REM Substitutia inapoi
4910 FOR KK = 1 TO NC1
    COLOR 3
    LOCATE 20, 20: PRINT "Bloc nr... "
    COLOR 2
    LOCATE 20, 31: PRINT KK: "    "
    NRE = 1
    IF KK <> 1 THEN 4950
    NRE = NREST + 1
4950 IF KK > NC THEN 4990
    REM Apel la subrutina SOLVE1 pentru substitutia inapoi
    GOSUB 5230
4980 REM Transfer 1 RI si bloc B se transfera in vectorul R
4990 m = NC - KK + 1
    IF (KK - 1) = 0 THEN 5080
    LI = m * MBAND + 1
    LIRI = MBAND + 1
    FOR I = 1 TO MBAND
        SA(LI) = RI(LIRI)
        LI = LI + 1
        LIRI = LIRI + 1
    NEXT I
5080 REM Transfer 2 bloc A trece in B, in memoria interna se transfera RI
    IF KK >= NC THEN 5140
    FOR I = 1 TO MBAND
        II = I + MBAND
        RI(II) = RI(I)
    NEXT I
5140 REM Trasfer 3 bloc kk din fisierul extern se citeste in blloc A
    IF KK = NC THEN 5200
    LID = (m - 2) * MBAND + 1
    LSD = LID + MBAND - 1
    LIM = 1
    TES = 1
    GOSUB 5580
5200 NEXT KK
    RETURN
    END

5230 REM Subrutina SOLVE1 - reducerea SI si PI
    TES = 2
    IF MAC = 2 THEN 5470
    FOR N = 1 TO NSIZE
        FOR L = 2 TO MBAND
5270 IF si(N, L) = 0 THEN 5360
            I = N + L - 1
            Z = si(N, L) / si(N, 1)
            J = 0
            FOR K = L TO MBAND
                J = J + 1
                si(I, J) = si(I, J) - Z * si(N, K)
            NEXT K
            si(N, L) = Z
5360 NEXT L
        NEXT N
    FOR N = 1 TO NSIZE
        FOR L = 2 TO MBAND
            IF si(N, L) = 0 THEN 5430
            I = N + L - 1
            RI(I) = RI(I) - si(N, L) * RI(N)
5430 NEXT L
            IF si(N, 1) = 0 THEN 5450
            RI(N) = RI(N) / si(N, 1)

```



```

5450 NEXT N
      RETURN

5470 REM Substitutia Gauss inapoi
5480 FOR m = NRE TO NSIZE
      N = NSIZE + 1 - m
      FOR L = 2 TO MBAND
          IF si(N, L) = 0 THEN 5531
          K = N + L - 1
          RI(N) = RI(N) - si(N, L) * RI(K)
5531  NEXT L
          IF RI(N) = 0 THEN 5550
          MXW = NC * MBAND - NREST - KONQ + 1
          TE(MXW) = RI(N)
          KONQ = KONQ + 1
5550 NEXT m
      RETURN
      END

5580 REM Subrutina de stabilire bloc de citire din fisier extern - RDI
5590 I = LID
      J = LIM
      KF = 3
      GOSUB 6000
      RETURN
      END

5740 REM Subrutina de stabilire bloc scriere in fisier extern - WRI
      KF = 4
      I = LID
      J = LIM
      GOSUB 6000
      RETURN
      END

5999 REM Subrutina scriere sau citire din fisier extern
6000 OPEN "R", #kwi, WA$(kwi), 8
      FIELD #kwi, 8 AS A$
      IF KF = 2 THEN 6060
      IF KF = 3 THEN 6120
      IF KF = 4 THEN 6150
6020 I = 0
6022 I = I + 1
      FOR J = 1 TO 62
          LSET A$ MKD$(S(J))
          PUT #kwi, (I - 1) * 62 + J
      NEXT J
      GOTO 6042
6031 I = I + 1
6032 FOR J = 1 TO 62
          LSET A$ MKD$(S1(J))
          PUT #kwi, (I - 1) * 62 + J
      NEXT J
6042 IF I = NN THEN 6022
      IF I = NN + 61 THEN 6031
6046 FOR J = 1 TO 62
          LSET A$ MKD$(S1(J))
          PUT #kwi, (I - 1) * 62 + J
      NEXT J
      GOTO 6297
6060 I = I + 1
      IF KK(I) = 0 THEN 6074
      m = KK(I)
      FOR K = 1 TO MBI

```

ANEXA B

```

      GET #kwi, (m - 1) * 62 + K
      SS(I, K) = CVD(A$)
    NEXT K
6074 IF I <= NOD THEN 6060
      FOR K = 1 TO NOD
        IF KK(K) = 0 THEN 6094
        m = KK(K)
        SS(K, MBI) = SS(K, MBI) + FE(K)
        FOR J = 1 TO NOD
          IF KK(J) < m THEN 6092
          NK = KK(J) - m + 1
          SS(K, NK) = SS(K, NK) + SE(K, J)
6092      NEXT J
6094    NEXT K
      I = 0
6098 I = I + 1
      IF KK(I) = 0 THEN 6112
      m = KK(I)
      FOR K = 1 TO MBI
        LSET A$ = MKD$(SS(I, K))
        PUT #kwi, (m - 1) * 62 + K
      NEXT K
6112 IF I <= NOD THEN 6098
      GOTO 6297
6120 FOR K = 1 TO MBI
      GET #kwi, (I - 1) * 62 + K
      IF K <= MBI THEN
        si(J, K) = CVD(A$)
      END IF
      IF K = MBI THEN
        RI(J) = CVD(A$)
      END IF
6132 NEXT K
      I = I + 1
      J = J + 1
      IF I = LSD THEN 6120
      GOTO 6297
6150 FOR K = 1 TO MBI
      IF K = MBI THEN 6158
      LSET A$ = MKD$(si(J, K))
      GOTO 6160
6158 LSET A$ = MKD$(RI(J))
6160 PUT #kwi, (I - 1) * 62 + K
      NEXT K
      I = I + 1
      J = J + 1
      IF I = LSD THEN 6150
      GOTO 6297
6297 CLOSE #kwi
      RETURN
      END

```

8000 REM Subrutina de rezolvare sistem de ecuatii regim nepermanent - TIM

REM Nu este actualizata pentru rezolvarile de analiza cuplata

IF NFLAG <> 1 THEN 8180

D = 2 * PI * DELTA * GMA(ME) * CSP(ME) / 180

RI = X(II)

RJ = X(JJ)

RK = X(MM)

CS(1, 1) = D * (12 * RI ^ 2 + 2 * RJ ^ 2 + 2 * RK ^ 2 + 6 * RI * RJ + 6 * RI * RK + 2 * RJ * RK)

CS(1, 2) = D * (3 * RI ^ 2 + 3 * RJ ^ 2 + RK ^ 2 + 4 * RI * RJ + 2 * RI * RK + 2 * RJ * RK)

CS(1, 3) = D * (3 * RI ^ 2 + RJ ^ 2 + 3 * RK ^ 2 + 2 * RI * RJ + 4 * RI * RK + 2 * RJ * RK)

CS(2, 2) = D * (2 * RI ^ 2 + 12 * RJ ^ 2 + 2 * RK ^ 2 + 6 * RI * RJ + 2 * RI * RK + 6 * RJ * RK)

CS(2, 3) = D * (RI ^ 2 + 3 * RJ ^ 2 + 3 * RK ^ 2 + 2 * RI * RJ + 2 * RI * RK + 4 * RJ * RK)

```

CS(3, 3) = D * (2 * RI ^ 2 + 2 * RJ ^ 2 + 12 * RK ^ 2 + 2 * RI * RJ + 6 * RI * RK + 6 * RJ * RK)
CS(2, 1) = CS(1, 2)
CS(3, 1) = CS(1, 3)
CS(3, 2) = CS(2, 3)
GOTO 8270
8180 D = GMA(ME) * CSP(ME) * DELTA / 12
      FOR I = 1 TO 3
        FOR J = 1 TO 3
          IF I = J THEN 8240
          CS(I, J) = D
          GOTO 8250
8240   CS(I, J) = 2 * D
8250   NEXT J
      NEXT I
8270 FOR I = 1 TO 3
      FOR J = 1 TO 3
        SES(I, J) = SE(I, J)
      NEXT J
    NEXT I
    FOR I = 1 TO 3
      FOR J = 1 TO 3
        SE(I, J) = CS(I, J) + 3 / 4 * DTI * SE(I, J)
      NEXT J
    NEXT I
    TV(1) = TA(II)
    TV(2) = TA(JJ)
    TV(3) = TA(MM)
    FOR I = 1 TO 3
      FOR J = 1 TO 3
        SES(I, J) = CS(I, J) - DTI / 4 * SES(I, J)
      NEXT J
    NEXT I
    FOR I = 1 TO 3
      SUM = 0
      FOR J = 1 TO 3
        SUM = SUM + SES(I, J) * TV(J)
      NEXT J
      FE(I) = SUM + FE(I) * DTI
    NEXT I
    RETURN
  END

8600 REM Subrutina de asamblare generala a sistemului - ASM
      KK(1) = IC(II)
      KK(2) = IC(JJ)
      KK(3) = IC(MM)
      FOR I = 1 TO NOD
        IF KK(I) = 0 THEN 8730
        LL = KK(I)
        F(LL) = F(LL) + FE(I)
        FOR J = 1 TO NOD
          IF KK(J) < LL THEN 8720
          NK = KK(J) - LL + 1
          SW(LL, NK) = SW(LL, NK) + SE(I, J)
8720   NEXT J
8730 NEXT I
      RETURN
    END

8800 REM Subrutina SOL
      FOR N = 1 TO NSIZE
        FOR L = 2 TO NSIZE
          IF SW(N, L) = 0 THEN 8912
          I = N + L - 1

```

ANEXA B

```

      Z = SW(N, L) / SW(N, 1)
      J = 0
      FOR K = L TO NSIZE
        J = J + 1
        SW(I, J) = SW(I, J) - Z * SW(N, K)
      NEXT K
      SW(N, L) = Z
      F(I) = F(I) - Z * F(N)
8912  NEXT L
      F(N) = F(N) / SW(N, 1)
      NEXT N
      FOR m = 1 TO NSIZE
        N = NSIZE + 1 - m
        FOR L = 2 TO NSIZE
          IF SW(N, L) = 0 THEN 9010
            K = N + L - 1
            F(N) = F(N) - SW(N, L) * F(K)
9010  NEXT L
        NEXT m
        FOR I = 1 TO NN
          II = IC(I)
          IF II = 0 THEN 9070
            TA(I) = F(II)
9070  NEXT I
          PRINT #3, " NN   Temperatura,grd.C"
          FOR I = 1 TO NN
            PRINT #3, I, TAB(10); TA(I)
          NEXT I
          RETURN
        END

```

5455 REM Subrutina de generare Antet

```

LOCATE 1, 17: PRINT "
LOCATE 2, 17: PRINT "| M. E. F. Program: T E R M A L ver. 6.0 - 1996 |"
LOCATE 3, 17: PRINT "|      Autor: s.l. ing. Lazar Gheorghe      |"
LOCATE 4, 17: PRINT "|      Fac. de Hidrotehnica Timisoara      |"
LOCATE 6, 17: PRINT "|
LOCATE 5, 17: PRINT "|
COLOR 12
LOCATE 2, 22: PRINT "M."
LOCATE 2, 25: PRINT "E."
LOCATE 2, 28: PRINT "F."
COLOR 2
LOCATE 2, 41: PRINT "T E R M A L"
LOCATE 2, 59: PRINT "6"
LOCATE 2, 68: PRINT "6"
COLOR 5
LOCATE 5, 28: PRINT "Date: ";
COLOR 10
PRINT DATES$
COLOR 5
LOCATE 5, 48: PRINT "Start time: ";
COLOR 10
LOCATE 5, 60: PRINT TIMES$
COLOR 3
IF kwi = 1 THEN
  LOCATE 8, 20: PRINT "Iter. nr... ";
  COLOR 2
  LOCATE 8, 32: PRINT pasdo
  COLOR 3
END IF
LOCATE 5, 72: PRINT "|
RETURN
END

```