

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIU DE DOCTORAT MINE, PETROL ȘI GAZE
FACULTATEA INGINERIA PETROLULUI ȘI GAZELOR

Rezumatul tezei de doctorat

CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR TERMO ȘI HIDRODINAMICE CARACTERISTICE CURGERII FLUIDELOR ÎN FIELDURILE PETROLIERE

Doctorand,
Inq. FLORESCU Severino Cosmin

Conducător științific,
Prof. dr. ing. Cornel TRIFAN

PLOIEȘTI - 2016

[illegible]

Rezumatul tezei de doctorat

Doctorand,
Inq. FLORESCU Severino Cosmin

Președinte	Prof. dr. ing. Iulian NISTOR	U.P.G. din Ploiești
Conducător științific	Prof. dr. ing. Cornel TRIFAN	U.P.G. din Ploiești
Referent oficial	Prof. dr. ing. Valeriu PANAITESCU	U.P. București
Referent oficial	Prof. dr. ing. Sorin RADU	Univ. Petroșani
Referent oficial	Prof. dr. ing. Florinel DINU	U.P.G. din Ploiești

[illegible]

CUPRINS

pag

1. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND TRANSPORTUL PRIN CONDUCTE AL PETROLULUI BRUT

1.1. CLASIFICAREA PETROLULUI BRUT	3
1.2. PROPRIETĂȚILE PETROLULUI BRUT	3

2. MODELAREA MATEMATICĂ A TRANSPORTUL FLUIDELOR BIFAZICE

2.1. METODA BEGGS ȘI BRILL	5
2.2. ALTE METODE DE CALCUL A CĂDERII DE PRESIUNE ÎN CURGEREA BIFAZICĂ	
2.2.1 MODELUL OMOGEN APLICAT PENTRU CURGEREA BIFAZICĂ ÎN CONDUCTE	7
2.2.2 MODELE DE CURGERE SEPARATĂ PENTRU CURGEREA BIFAZICĂ ÎN CONDUCTE ...	7

3. CALCULUL TERMIC ȘI HIDRAULIC AL CONDUCTELOR

3.1. VARIAȚIA TEMPERATURII ÎN LUNGUL UNEI CONDUCTE	11
3.1.1. CALCULUL COEFICIENTULUI GLOBAL DE SCHIMB DE CĂLDURĂ	11
3.1.2. DETERMINAREA NUMĂRULUI ȘI AMPLASAREA STAȚIILOR DE ÎNCĂLZIRE	12
3.1.3. CALCULUL TERMIC ÎN CAZUL OPRIRII POMPĂRII	12

4. STUDIUL PROCESULUI DE TRANSPORT A AMESTECULUI ȚITEI –APĂ DE ZĂCĂMÂNT DE LA PARCUL 15 BIS VAȚA LA DEPOZITUL POIANA LACULUI

4.1. GENERALITĂȚI	13
4.2. VARIAȚIA PRESIUNII DE POMPARE LA PARC A AMESTECULUI ȘI A TEMPERATURII LA DEPOZIT A ACESTUIA	13
4.3. STUDIUL INFLUIENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT ASUPRA PERFORMANȚELOR HIDRAULICE ALE CONDUCTELOR	20
4.4. STUDIUL INFLUIENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT ASUPRA COMPORTĂRII TERMODINAMICE A CONDUCTELOR	22
4.5. STUDIUL PERFORMANȚELOR HIDRAULICE ALR CONDUCTELOR ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE APĂ DE ZĂCĂMÂNT	24
4.6. STUDIUL COMPORTĂRI TERMODINAMICE ALR CONDUCTELOR ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE APĂ DE ZĂCĂMÂNT	25
4.7. CONCLUZII	26

5. STUDIUL PROCESULUI DE TRANSPORT A AMESTECULUI ȚIȚEI –GAZE + APĂ DE ZĂCĂMÂNT DE LA PARCUL VALEA LUI DAN LA DEPOZIT

5.1. DATE DE INTRARE	27
5.2. REZULTATELE SIMULĂRILOR	27
5.3. CONCLUZII	32

6. SIMULAREA TRANSPORTULUI PRODUCȚIEI SONDEI NR. 1017 (ȚIȚEI-GAZE+APĂ DE ZĂCĂMÂNT) LA PARCUL NR. 4 BUSTUCHINI

6.1. GENERALITĂȚI	33
6.2. REZULTATELE SIMULĂRII	34

7. VERIFICĂRI EXPERIMENTALE ALE TRANSPORTULUI AMESTECURILOR ÎN FIELDURILE PETROLIERE

7.1. Cazul I. SIMULAREA TRANSPORTULUI AMESTECULUI ȚIȚEI+APĂ DE ZĂCĂMÂNT PE O CONDUCTĂ DE 6 IN LUNGĂ DE 11.176 M	37
7.2. Cazul II. SIMULAREA TRANSPORTULUI AMESTECULUI ȚIȚEI-GAZE+APĂ DE ZĂCĂMÂNT PE O CONDUCTĂ DE 4 IN LUNGĂ DE 15.000 M	39

CONCLUZII	41
BIBLIOGRAFIE	43
ABSTRACT	47

Capitolul 1

NOȚIUNI GENERALE PRIVIND TRANSPORTUL PRIN CONDUCTE AL PETROLULUI BRUT

1.1. CLASIFICAREA PETROLULUI BRUT

Clasificarea propusă de C. Creangă, denumită „Carpatica” are la bază două criterii:

1. **Primul** privește fondul de hidrocarburi din petrolul brut, luând în considerare toate hidrocarburile prezente și este exprimat prin indicii structurali $\%Cp^t$, $\%Cn^t$, $\%Ca^t$, calculați cu: $\%Cp^t = \sim \%Cp^f \cdot Rf/100$; $\%Cn^t = \sim \%Cn^f \cdot Rf/100$; $\%Ca^t = \sim \%Ca^f \cdot Rf/100$, unde Ca^f , Cn^f , Cp^f sunt valorile structurale ale fracțiunilor separate din petrolul brut, $Cn^f \cdot Rf$ este randamentul fracțiunilor față de totalul hidrocarburilor din petrolul brut.

Indicele p înseamnă parafinic, indicele n naftenic, iar a aromatic. Pe baza acestui criteriu, petrolurile brute se împart în șapte clase (tabelul 1.1).

2. **Al doilea criteriu** împarte petrolurile în grupe, funcție de: conținutul de sulf S , conținutul de ceară C , conținutul de rășini și asfaltene r , procentul de distilare până la $200^\circ C$, d .

Astfel petrolurile se împart în 12 grupe prezentate mai jos în tabelul 1.2., funcție de limitele pentru indicii de calitate din tabelul 1.3.

1.2. PROPRIETĂȚILE PETROLULUI BRUT

Principalele proprietăți ale țițeiului care influențează pomparea prin conducte sunt prezentate în continuare.

1. **MASA SPECIFICĂ.** Densitatea produselor petroliere crește în ordinea

$$\rho_{\text{gaz lichefiat}} < \rho_{\text{benzină ușoară}} < \rho_{\text{benzină grea}} < \rho_{\text{white spirite}} < \rho_{\text{petrol}} < \rho_{\text{motorină}} < \rho_{\text{ulei}} < \rho_{\text{pacură}}.$$

În cazul hidrocarburilor cu același număr de atomi de carbon în moleculă densitatea crește în ordinea

$$\rho_{\text{hidrocarburi parafinice}} < \rho_{\text{naftenice}} < \rho_{\text{aromatice}} < \rho_{\text{izoparafinice}} < \rho_{\text{normal parafinice}}.$$

La cele ciclice, densitatea crește cu creșterea numărului de cicluri, în timp ce în cazul hidrocarburilor aromatice cu lanțuri parafinice, densitatea acestora scade odată cu creșterea lungimii lanțului parafinic.

2. **MASA MOLECULARĂ.** Aceasta arată de câte ori masa moleculei substanței respective este mai mare decât a 1/12 parte a masei unui atom al izotopului de carbon.

3. **PRESIUNEA DE VAPORI.** Aceasta reprezintă presiunea exercitată, la o anumită temperatură, de către vaporii care se află în echilibru cu lichidul din care provin.

Pentru amestecuri, cum sunt țițeiurile și produsele petroliere, presiunea de vaporii este funcție nu numai de temperatură ci și de compoziția fazei de vaporii și a fracției lichide, dar și de proporțiile acestora.

4. VÂSCOZITATEA. Vâscozitatea este proprietatea fluidelor de a opune rezistență la curgere, ca urmare a interacțiunii dintre particulele lor constituente.

Vâscozitatea dă indicații asupra frecării interne a lichidelor, fiind necesară în proiectarea și operarea sistemelor de transport.

5. CĂLDURA SPECIFICĂ. Căldura specifică masică reprezintă cantitatea de căldură necesară unității de cantitate de substanță să-și modifice temperatura cu o unitate.

Ea variază pe intervalul 0,05...0,3 J/kgK.

6. CONDUCTIVITATEA TERMICĂ. Conductivitatea termică reprezintă cantitatea de căldură care se transmite în unitatea de timp, printr-o suprafață de o unitate normală pe direcția de transfer, între două suprafețe izotermice distanțate cu o unitate de lungime și între ele fiind o diferență de temperatură de o unitate.

În SI se măsoară în W/mK.

7. COEFICIENTUL DE DILATARE DE VOLUM. Coeficientul de dilatare de volum reprezintă variația volumului sub presiune constantă, datorită creșterii temperaturii.

Variația acestui coeficient în funcție de densitatea petrolului brut este dată grafic în figura 1.1.

8. SOLUBILITATEA GAZELOR. Solubilitatea gazelor în petrolul brut este o proprietate importantă din punct de vedere practic. Volumul de gaze în petrol se exprimă prin raportarea la condiții normale de presiune și temperatură P_n și T_n .

Raportul dintre acest volum și volumul corespunzător de petrol brut degazat (adaos la condiții normale de presiune și temperatură) se numește rație de soluție.

9. PUNCTUL DE IMFLAMABILITATE. Temperatura sau punctul de inflamabilitate a petrolului sau a unui produs petrolier este temperatura cea mai joasă la care o probă de produs petrolier, încălzită în laborator, în instalații și condiții bine precizate, dă naștere unei cantități de vapori care, în amestec cu aerul și în contact cu o flacără, se aprinde prima oară și arde un timp foarte scurt.

Capitolul 2

MODELAREA MATEMATICĂ A TRANSPORTULUI FLUIDELOR BIFAZICE

În schelele de extracție petrolul brut este transportat prin conducte de la sonde la parcurile de separatoare, iar apoi la depozitul central. De la sonde până la punctele de separare, prin conducte circulă un lichid bifazic constituit din faza lichidă reprezentată de petrolul brut și apă și faza gazoasă reprezentată de gazele libere care au ieșit din soluție ca urmare a scăderii presiunii.

2.1. METODA BEGGS ȘI BRILL

Pentru deducerea ecuației se pleacă de la bilanțul energetic al unui kg de fluid care curge între doua puncte. Pentru o curgere staționară și fără niciun schimb de lucru mecanic între sistem și exterior, acest bilanț are următoarea formă:

$$\frac{dp}{\rho_m} + gdh + v_m dv_m + dF = 0 \quad (2.2)$$

unde: ρ_m - densitatea amestecului, kg/m^3 ; dh - distanța dintre cele doua puncte considerate, m; dF - pierderea de energie prin frecare, între cele două puncte considerate; v_m - viteza amestecului, m/s. Notând cu α unghiul dintre conductă și orizontală, rezultă: $dh = dz \sin \alpha$ unde dh este distanța pe verticală, m, iar dz - lungimea conductei între doua puncte, m. Unghiul α are valoarea 0° pentru curgerea pe orizontală; variază de la 0° la $+90^\circ$ pentru curgerea pe conducte înclinate de jos în sus și de la 0° la -90° pentru curgerea de sus în jos. Substituind valoarea lui dh se obține expresia gradientului de presiune:

$$\frac{dp}{dz} = - \left(\rho_m g \sin \alpha + \frac{\rho_m v_m dv_m}{dz} + \rho_m \frac{dF}{dz} \right), \quad (2.4)$$

care poate fi scrisă și sub forma:

$$-\frac{dp}{dz} = \left(\frac{dp}{dz} \right)_{static} + \left(\frac{dp}{dz} \right)_{acc} + \left(\frac{dp}{dz} \right)_{fr}. \quad (2.5)$$

unde p este presiunea în punctul în care se calculează gradientul. Rezultă:

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{acc} = -\rho_m v_m \left[\frac{G_g \rho_g}{\rho_g^2} \frac{dp}{p} \frac{dz}{dz} \right] = -\rho_m v_m \frac{v_{sg}}{p} \frac{dp}{dz} \quad (2.16)$$

Gradientul de presiune datorat frecărilor este dat de relația:

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{fr} = \frac{f_{bifazic} \rho_{fa} v_m^2}{2d} = \frac{f_{bifazic} G_m v_m}{2d} \quad (2.17)$$

în care $G_m = G_l + G_g$ iar

$$\rho_{fa} = \rho_l \frac{q_l}{q_l + q_g} + \rho_g \left(1 - \frac{q_l}{q_l + q_g} \right).$$

sau:

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{g[\rho_l \varepsilon_l + \rho_g (1 - \varepsilon_l)] \sin \alpha + \frac{f_{bifazic} G_m v_m}{2d}}{1 - [\rho_l \varepsilon_l + \rho_g (1 - \varepsilon_l)] v_m v_{sg} / p}. \quad (2.18)$$

Ecuția (2.18) conține două necunoscute: ε_l necesar pentru calculul densității amestecului într-un punct dat și $f_{bifazic}$ necesar calculării pierderilor de presiune prin frecare. Se introduc

expresiile: $N_{Fr} = \frac{v_m^2}{gd}$ și $\lambda = \frac{q_l}{q_g + q_l}$ cu care se definesc

$$L_1 = \exp(-4,62 - 3,754 \cdot \ln \lambda - 0,481 \cdot \ln^2 \lambda - 0,0207 \cdot \ln^3 \lambda)$$

$$L_2 = \exp(1,061 - 4,602 \cdot \ln \lambda - 1,609 \cdot \ln^2 \lambda - 0,179 \cdot \ln^3 \lambda + 0,635 \cdot 10^{-3} \cdot \ln^5 \lambda)$$

În funcție de valorile acestora, avem: 1) pentru $N_{Fr} < L_1$ există curgere cu segregare gravitațională; 2) pentru $N_{Fr} > L_1$ și $N_{Fr} > L_2$ există curgere uniform distribuită; 3) pentru $L_1 < N_{Fr} < L_2$ există curgere intermitentă.

Ecuțiile cu ajutorul cărora se calculează fracțiunea de lichid $\varepsilon_l(0)$ (fracțiunea de lichid pentru curgerea pe orizontală; $\alpha=0$) și ale coeficientului C pentru toate condițiile de curgere sunt date în tabelul următor:

Tabelul 2.1 Ecuțiile folosite pentru calculul fracțiunii de lichid

Regimuri de curgere prin țevi orizontale	Fracțiunea de lichid pentru curgerea prin țevi orizontale	C +	C -
Segregare gravitațională	$\varepsilon_l(0) = \frac{0,98 \lambda^{0,4868}}{N_{Fr}^{0,0868}}$	$C+ = (1 - \lambda) \ln \frac{0,011 N_{lv}^{3,359}}{\lambda^{3,768} N_{Fr}^{1,614}}$	$C- = (1 - \lambda) \ln \frac{4,7 N_{lv}^{0,1244}}{\lambda^{0,3692} N_{Fr}^{0,5056}}$
Intermitentă	$\varepsilon_l(0) = \frac{0,845 \lambda^{0,5351}}{N_{Fr}^{0,0173}}$	$C+ = (1 - \lambda) \ln \frac{2,96 \lambda^{0,365} N_{Fr}^{0,0978}}{N_{lv}^{10,4473}}$	$C- = (1 - \lambda) \ln \frac{4,7 N_{lv}^{0,1244}}{\lambda^{0,3692} N_{Fr}^{0,5056}}$
Distribuită	$\varepsilon_l(0) = \frac{1,065 \lambda^{0,5824}}{N_{Fr}^{0,0609}}$	$C+ = 0$	$C- = (1 - \lambda) \ln \frac{4,7 N_{lv}^{0,1244}}{\lambda^{0,3692} N_{Fr}^{0,5056}}$

După determinarea valorilor lui $\varepsilon_l(0)$ și C , se calculează valoarea fracțiunii de lichid pentru un unghi oarecare. Rezultă:

$$\varepsilon_l(\alpha) = \varepsilon_l(0) \left[1 + C \left(\sin 1,8 \cdot \alpha - \frac{1}{3} \sin^3 1,8 \cdot \alpha \right) \right] \quad (2.19)$$

Corelația ce determină factorul de frecare este

$$\frac{f_{bifazic}}{f_{fa}} = f \left\{ \frac{\lambda}{[\varepsilon_l(\alpha)]^2} \right\} = eS \quad (2.20)$$

unde: f_{fa} este fenomenul de alunecare și se poate obține funcție de numărul Reynolds din diagramele clasice (Moody), iar

$$S = \frac{\ln(y)}{-0,0523 + 3,182 \ln(y) - 0,872 [\ln(y)]^2 + 0,01853 [\ln(y)]^4}, \quad y = \frac{\lambda}{[\varepsilon_l(\alpha)]^2}.$$

2.2. ALTE METODE DE CALCUL A CĂDERII DE PRESIUNE ÎN CURGEREA BIFAZICĂ

2.2.1 Modelul omogen aplicat pentru curgerea bifazică în conducte

Căderea de presiune pentru un fluid bifazic omogen este:

$$\Delta p_{static} = \rho_H \cdot g \cdot H \sin \theta \quad (2.22)$$

unde H este înălțimea pe verticală, θ este unghiul în raport cu orizontala iar densitatea omogena ρ_H este $\rho_H = \rho_L(1 - \varepsilon_H) + \rho_G \varepsilon_H$ unde ρ_L și ρ_G sunt respectiv densitatea lichidului și a gazului, iar ε_H este fracția omogenă. Fracția omogena ε_H este determinată de valoarea lui x după cum urmează:

$$\varepsilon_H = 1 / \left[1 + \left(\frac{u_G}{u_L} \frac{(1-x)\rho_G}{x\rho_L} \right) \right] \quad (2.24)$$

unde u_G/u_L este valoarea vitezei de alunecare (S), și este egală cu 1 pentru curgere omogenă.

Termenul cel mai problematic este căderea de presiune prin frecare, care poate fi exprimată ca o funcție a factorului de frecare a celor două faze f_{tp} , iar pentru o curgere constantă într-un canal cu o arie constantă a secțiunii transversale este:

$$\Delta p_{frict} = \frac{2 f_{tp} L \cdot \dot{m}_{total}^2}{d_i \cdot \rho_{tp}} \quad (2.26)$$

Factorul de frecare poate fi exprimat în funcție de numărul Reynolds prin formula lui Blasius: $f_{tp} = \frac{0,079}{Re^{0,25}}$ unde numărul Reynolds este: $Re = \frac{\dot{m}_{total} d_i}{\mu_{tp}}$.

Viscozitatea pentru calcularea numărului Reynolds poate fi aleasă ca viscozitatea fazei lichide sau sub formă de calitate medie a viscozității amestecului μ_{am} :

$$\mu_{am} = x\mu_G + (1-x)\mu_L \quad (2.29)$$

2.2.2 Modele de curgere separată pentru curgerea bifazică în conducte

Căderea de presiune datorată momentului reflectă variația energiei cinetice a curgerii și este în cazul de față dată de:

$$\Delta p_{mom} = \dot{m}_{total}^2 \left\{ \left[\frac{(1-x)^2}{\rho_L(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_G \varepsilon} \right]_{out} - \left[\frac{(1-x)^2}{\rho_L(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_G \varepsilon} \right]_{in} \right\} \quad (2.30)$$

unde $\dot{m}_{total}$ este viteza masei totale a lichidului plus vapori și x este fracția de vapori (fracția gaze-țitei).

Modelul de curgere separată consideră cele două faze a fi separate în mod artificial în două fluxuri, fiecare curgând în propria sa țevă. Ariile celor două conducte sunt proporționale cu fracția omogenă ε .

Pentru estimarea fracției ε se recomandă utilizarea versiunii Steiner (1993) a modelului Rouhani și Axelsson (1970), pentru **curgerea deviată** (2.31) și pentru **cea verticală** (2.32):

$$\varepsilon = \frac{x}{\rho_G} \left[(1 + 0,12(1-x)) \left(\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right) + \frac{1,18(1-x)[g\sigma(\rho_L - \rho_G)]^{0,25}}{\dot{m}_{\text{total}}^2 \rho_L^{0,5}} \right]^{-1} \quad (2.31)$$

$$\varepsilon = \frac{x}{\rho_G} \left[\left[1 + 0,2(1-x) \left(\frac{gd_i \rho_L^2}{\dot{m}_{\text{total}}^2} \right)^{1/4} \right] \left(\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right) + \frac{1,18(1-x)[g\sigma(\rho_L - \rho_G)]^{0,25}}{\dot{m}_{\text{total}}^2 \rho_L^{0,5}} \right]^{-1} \quad (2.32)$$

Densitatea amestecului celor două faze se obține din: $\rho_{\text{am}} = \rho_L(1-\varepsilon) + \rho_G \varepsilon$.

1. RELATIA LUI FRIEDEL

Metoda de corelare a lui **Fridel** (1979) folosește un multiplicator de două faze:

$$\Delta p_{\text{frict}} = \Delta p_L \Phi_{\text{fr}}^2 \quad (2.34)$$

unde Δp_L este calculat pentru faza lichida după cum urmează:

$$\Delta p_L = 4 f_L (L/d_i) \dot{m}_{\text{total}}^2 (1/2\rho_L) \quad (2.35)$$

Factorul de frecare al lichidului f_L și numărul Reynolds pentru lichid sunt obținute din (2.27): și (2.28). Multiplicatorul de două faze este:

$$\Phi_{\text{fr}}^2 = E + \frac{3,24FH}{Fr_H^{0,045} We_L^{0,035}} \quad (2.36)$$

unde factorii adimensionali Fr_H , E , F și H și We_L sunt după cum urmează:

$$Fr_H = \frac{\dot{m}_{\text{total}}^2}{gd_i \rho_H^2}; \quad E = (1-x)^2 + x^2 \frac{\rho_L f_G}{\rho_G f_L}; \quad F = x^{0,78} (1-x)^{0,224};$$

$$H = \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0,91} \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0,19} \left(1 - \frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0,7}; \quad We_L = \frac{\dot{m}_{\text{total}}^2 d_i}{\sigma \rho_H}; \quad \rho_H = \left(\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right)^{-1}.$$

Această metodă este de obicei recomandată când raportul (μ_L/μ_G) este mai mic decât 1000 și aplicat pentru valori ale vaporilor de la $0 \leq x \leq 1$

2. RELATIA LOCKHART SI MARTINELLI

Metoda **Lockhart si Martinelli** (1949) este metoda originală ce a estimat caderea de presiune de frecare a celor două faze pe baza multiplicatorului de două faze pentru faza de lichid sau de vapori respective după cum urmează: $\Delta p_{\text{frict}} = \Phi_{\text{Ltt}}^2 \Delta p_L$; $\Delta p_{\text{frict}} = \Phi_{\text{Gtt}}^2 \Delta p_G$, unde expresia (2.35) este utilizată pentru Δp_L cu $(1-x)^2$ aplicată termenului de viteză a masei și Δp_G este obținut din: $\Delta p_G = 4 f_G (L/d_i) \dot{m}_{\text{total}}^2 x^2 (1/2\rho_G)$.

Factorii de frecare a unei singure faze pentru lichid f_L și pentru vapori f_G sunt calculate utilizând expresia (2.36) cu proprietățile lor fizice respective. Multiplicatorii de două faze corespondenți lor sunt:

$$\Phi_{\text{Ltt}}^2 = 1 + \frac{C}{X_{\text{tt}}} + \frac{1}{X_{\text{tt}}^2}, \text{ pentru } Re_L > 4000 \quad \Phi_{\text{Gtt}}^2 = 1 + CX_{\text{tt}} + X_{\text{tt}}^2, \text{ pentru } Re_L > 4000 \quad (2.47)$$

unde X_{tt} parametrul lui Martinelli pentru ambele faze în regimurile turbulente definite ca:

$$X_{\text{tt}} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0,1} \quad (2.48)$$

3. RELATIA CHISHOLM

Chisholm (1973) a propus o metoda empirica aplicabila unei largi benzi de conditii de operare. Gradientul sau de cadere de presiune de frecare este dat ca:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{frict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{\text{Ch}}^2 \quad (2.49)$$

Gradientul de presiune de frecare pentru faza lichid si vapori este:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_L = f_L \frac{2\dot{m}_{\text{total}}^2}{d_i \rho_L}; \quad \left(\frac{dp}{dz}\right)_G = f_G \frac{2\dot{m}_{\text{total}}^2}{d_i \rho_G} \quad (2.51)$$

Factorii de frecare sunt obtinuti cu expresia (2.27) folosind formula (2.28) si vascozitatea dinamica respective a lichidului si a vaporilor pentru curgeri turbulente in timp ce pentru curgeri laminare ($Re < 2000$). $f = 16 / Re$. Curgerea este considerate aici ca fiind total turbulenta la $Re \geq 2000$ pentru a evita un interval nedefinit in metoda sa. prametrul y este obtinut din raportul gradientilor de presiune. Multiplicatorul de doua faze este atunci determinat de:

$$\Phi_{\text{Ch}}^2 = 1 + (Y^2 - 1) \left[Bx^{(2-n)/2} (1-x)^{(2-n)/2} + x^{2-n} \right] \quad (2.54)$$

unde n este exponentul din expresia factorului de frecare a lui Blasius ($n=0,25$)

4. RELATIA BANKOFF

Metoda a lui **Bankoff** (1960) este o extensie a modelului omogen. Gradientul sau de presiune de frecare pentru doua faze este:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{frict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{\text{Bf}}^{\frac{7}{4}} \quad (2.56)$$

Gradientul de presiune de frecare pentru faza lichid este calculat cu expresia (2.50) si multiplicatorul sau de doua faze este:

$$\Phi_{\text{Bf}} = \frac{1}{1-x} \left[1 - \gamma \left(1 - \frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \right]^{\frac{3}{7}} \left[1 + x \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} - 1 \right) \right] \quad (2.57)$$

$$\text{unde } \gamma = \left[0,71 + 2,35 \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \right] / \left[1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \right].$$

5. RELATIA CHAWLA

Chawla (1967) a sugerat urmatoarea metoda bazata pe gradientul presiunii de vapori:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{frict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_G \Phi_{\text{Chawla}} \quad (2.59)$$

Gradientul de presiune de frecare pentru faza de vapori este determinat din expresia (2.51) și multiplicatorul de doua faze este:

$$\Phi_{\text{Chawla}} = x^{1,75} \left[1 + S \left(\frac{1-x}{x} \frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \right]^{2,375} \quad (2.60)$$

si ratia sa de alunecare este:

$$S = \frac{u_G}{u_L} = \frac{1}{9,1 \left[\frac{1-x}{x} (\text{Re}_G \text{Fr}_H)^{-0,167} \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{-0,9} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{-0,5} \right]} \quad (2.61)$$

unde Fr_H este determinat cu expresia (2.37) și Re_G este determinat cu ecuația (2.28) folosind vâscozitatea vaporilor. Metoda sa este pentru valori ale vaporilor de la $0 < x < 1$

6. MÜLLER-STEINHAGEN AND HECK

Müller-Steinhagen și Heck (1986) au propus o relație a gradientului de presiune de frecare în două faze care este o interpolare empirică între toate curgerile pentru lichide și vapori:

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{\text{frict}} = G(1-x)^{1/3} + Bx^3 \quad (2.62)$$

unde factorul G este: $G = A + 2(B - A)x$. Factorii A și B sunt gradientii de presiune de frecare pentru toate curgerile de lichide $(dp/dz)_L$ și pentru toate curgerile de gaze $(dp/dz)_G$ obținute din expresiile (2.50, 2.51).

Tribbe și Müller-Steinhagen (2000) au aratat că această metodă furnizează cele mai bune rezultate în comparație cu alte metode dintr-o mare bază de date ce a acoperit aer-titei, aer-apa, apa-abur și diverși refrigeranți, aplicabili pentru $0 \leq x \leq 1$.

7. COMPARATIA METODELOR DE MAI SUS CU BAZE DE DATE RECENTE

Whalley (1980) a realizat o comparație extinsă între diferite relații publicate și baza de date HTFS (High Throughput file system) (ce cuprindea peste 25000 de puncte). Recomandarile făcute de el sunt după cum urmează:

- $(\mu_L / \mu_G) < 1000$ și vitezele maselor mai mici decât $2000 \text{ kg/m}^2\text{s}$, relația lui **Friedel** (1979) trebuie folosită
- $(\mu_L / \mu_G) > 1000$ și vitezele maselor mai mari decât $\text{kg/m}^2\text{s}$, relația **Chisholm** (1973) trebuie folosită;
- $(\mu_L / \mu_G) > 1000$ și vitezele maselor mai mici decât $100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, relația **Lockhart și Martinelli** (1949) trebuie folosită;
- pentru majoritatea fluidelor $(\mu_L / \mu_G) < 1000$ și relația **Friedel** va fi metoda preferată a fi folosită pentru curgerea în tub conform lui Whalley.

Capitolul 3

CALCULUL TERMIC AL CONDUCTELOR

3.1. VARIAȚIA TEMPERATURII ÎN LUNGUL UNEI CONDUCTE

Cantitatea de căldură cedată de lichid, ca urmare a scăderii temperaturii cu dT în unitatea de timp, este egală cu cantitatea de căldură transferată mediului ambiant:

$$-\rho c Q dT = \pi d k (T - T_0) dx \quad (3.1)$$

unde k este coeficientul global de transfer de căldură, iar T - temperatura lichidului din conductă. Separând variabilele și integrând se obține:

$$x = - \int_{T_1}^T \frac{\rho c Q}{\pi k d} \frac{dT}{T - T_0} \quad (3.2)$$

Întrucât parametrii c și k sunt funcții de temperatură, integrala din relația (3.2) se rezolvă numeric, fixând valoarea temperaturii initiale T_1 și dând lui T ($T < T_1$) un șir de valori descrescătoare (de exemplu, din grad în grad), obținându-se valorile corespunzătoare ale distanței x .

Dacă se consideră constante marimile c și k , atunci rezolvarea integralei duce la obținerea *legii de variație a temperaturii* exprimată sub forma:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0) e^{-ax}, \quad a = \frac{\pi k d}{\rho c Q}. \quad (3.4)$$

3.1.1 Calculul coeficientului global de schimb de căldură

Coeficientul global de transfer termic poate fi determinat din expresia:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d}{2\lambda_i} \ln \frac{D_i}{D_{i-1}} + \frac{d}{\alpha_2 D} \quad (3.4)$$

sau din formula simplificată utilizabilă în cazul conductelor cu diametre mari, de peste 0,5 m:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.5)$$

în care: α_1 este coeficientul de transfer de căldură prin convecție de la petrolul brut la peretele interior; λ_i - conductivitatea termică a stratului cilindric i (i = stratul interior de protecție, metalul conductei, izolația exterioară etc); d - diametrul interior al conductei; D - diametrul exterior al conductei; D_i - diametrul exterior al stratului i ; D_{i-1} - diametrul interior al stratului $i-1$; α_2 - coeficientul de transfer de căldură de la suprafața exterioară a conductei la mediul înconjurător; δ_i - grosimea stratului cilindric i ($2\delta_i = D_i - D_{i-1}$).

Coeficientul de transfer de căldură α_1 , se poate determina din relația care există între numerele Reynolds, Prandtl și Nusselt:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}; \quad Pr = \frac{\mu c}{\lambda}; \quad Nu = \frac{\alpha_1 d}{\lambda} \quad (3.6)$$

în care λ este conductivitatea țiteiului. Coeficientul de transfer de căldură α_2 , în cazul

conductelor îngropate, se calculează cu relația:

$$\alpha_2 = \frac{2\alpha_a \sqrt{h_0^2 - \frac{D^2}{4}}}{D \left[1 + \frac{\alpha_a}{\lambda_s} \sqrt{h_0^2 - \frac{D^2}{4}} \ln \left(2 \frac{h_0}{D} + \sqrt{4 \frac{h_0^2}{D^2} - 1} \right) \right]} \quad (3.10)$$

în care: α_a este coeficientul de transfer de căldură de la sol la atmosferă; h_0 - adâncimea de îngropare a conductei măsurată de la axul său; λ_s - conductivitatea termică a solului.

3.1.2. Determinarea numărului și amplasarea stațiilor de încălzire

Când conducta are lungime mare nu este suficientă o singură stație de încălzire, amplasată în punctul inițial. În acest caz este necesară amplasarea uneia sau mai multor stații intermediare. Numărul stațiilor la încălzire se poate determina dacă se cunoaște temperatura inițială și finală, T_1 respectiv T_2 . De regulă, T_2 trebuie să fie cu $2\div 3^\circ$ mai mare decât temperatura minimă admisibilă. Lungimea l_i pentru care o stație de încălzire este eficientă se poate calcula cu o relație de forma:

$$l_i = \int_{T_2}^{T_1} \frac{1}{a} \frac{dT}{T - T_0} \quad (3.18)$$

Astfel numărul de stații de încălzire n , va fi: $n = l / l_i$. Este recomandabil ca amplasarea stațiilor de încălzire să coincidă cu cea a stațiilor de pompare, asigurându-se astfel o exploatare și întreținere mai eficiente. În acest scop poate fi modificată temperatura T_1 , cu respectarea restricțiilor, transportul la cald poate fi combinat cu un altul, iar în extremis se poate recurge la izolarea termică a conductei, ceea ce, însă, duce la creșterea costurilor.

3.1.3. Calculul termic în cazul opririi pomparii

Oprirea pomparii are ca efect răcirea lichidului aflat în conductă. Dacă durata opririi este prea mare, pot apare dificultăți la reluarea pomparii din cauza creșterii viscozității sau producerii fenomenului congelare. Cunoașterea variației în timp a temperaturii într-o secțiune a conductei, după oprirea pomparii este necesară. Se aplică ecuația de bilanț termic unui volum elementar de lungime dx situat la distanța x față de punctul inițial, pentru timpul elementar dt .

$$-\rho c \frac{\pi d^2}{4} dx dT = k \pi d (T - T_0) dx dt \quad (3.21)$$

Integrând se determină timpul de răcire, impunând temperatura admisibilă T_a

$$t = \frac{\rho c d}{4k} \ln \frac{T_x - T_0}{T_a - T_0} \quad (3.23)$$

Capitolul 4

STUDIUL PROCESULUI DE TRANSPORT A AMESTECULUI ȚITEI-APĂ DE ZĂCĂMÂNT DE LA PARCUL 15 BIS VAȚA LA DEPOZITUL POIANA LACULUI

4.1. GENERALITĂȚI

1. DATE DE BAZA PENTRU SIMULARE

Amestecul țiței-apă de zăcământ, separat de gaze în Parcul 15 Bis Vața, trebuie pompat la Depozitul MTT Poiana Lacului printr-o conductă. **Pentru alegerea diametrului conductei precum și a debitului optim de pompare**, este necesar să se efectueze simularea hidraulică a transportului. Datele de intrare pentru simulare sunt indicate în teză.

Se vor considera 3 (trei) procente privind conținutul de apă de zăcământ: **AZ1** = 10 %; **AZ2** = 20 % și **AZ3** = 40 %, precum și 3 (trei) conducte: **CO1**, **CO2** și **CO3**, având diametrele interioare de Ø 102,26 mm, Ø 146,33 mm și respectiv Ø 202,72 mm, toate cu grosimea izolației de 3 mm și lungimea de 11.176 m.

2. DATE DE IEȘIRE

Se va simula dependența presiunii de pompare la parc și a temperaturii țițeiului la depozit, funcție de debit, pentru fiecare conductă, ținând seamă de conținutul de apă de zăcământ. Simulările se vor realiza cu ajutorul unui soft de modelare numerică inspirat după cel realizat de firma IHS Energy Group. Se va folosi metoda Beggs și Brill.

În vederea sistematizării simulărilor s-au conceput **9 scenarii** prin cuplarea celor 3 procente de apă de zăcământ cu cele 3 diametre de conductă.

4.2. VARIAȚIA PRESIUNII DE POMPARE LA PARC A AMESTECULUI ȘI A TEMPERATURII LA DEPOZIT A ACESTUIA

1. SCENARIUL 1.1. Conducta CO1 & conținutul de apă de zăcământ AZ1

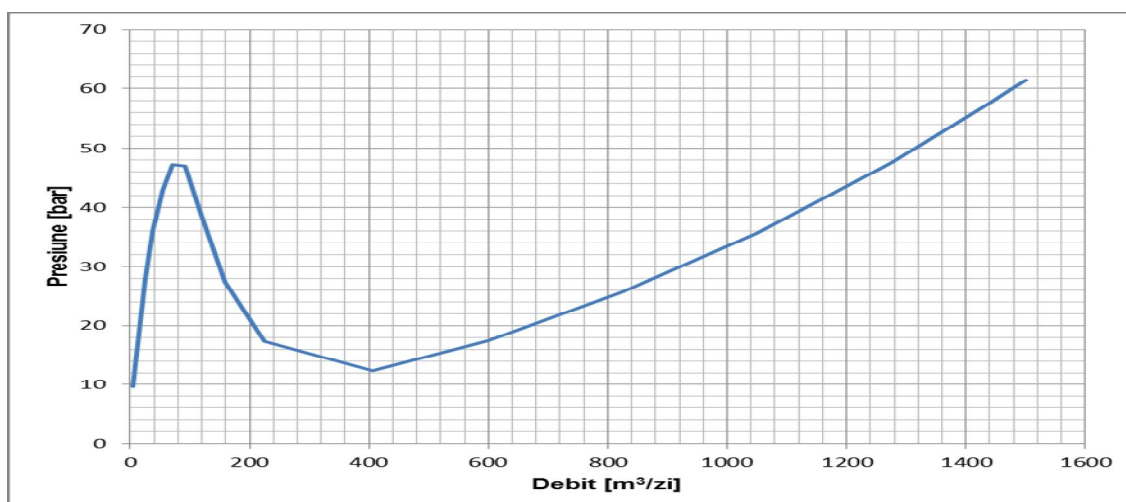


Fig. 4.2. Scenariul 1.1. Variația presiunii de pompare cu debitul pompat

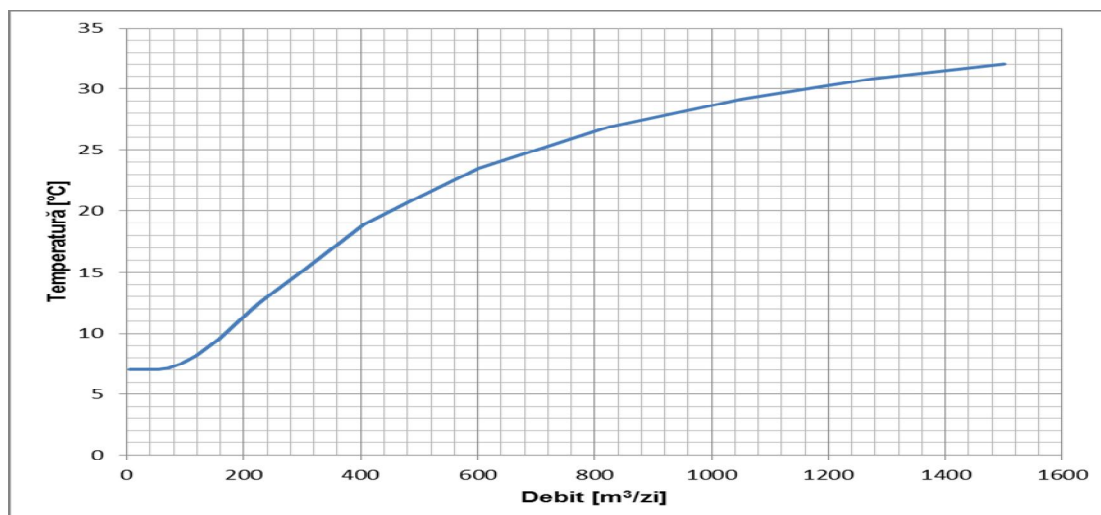


Fig. 4.3. Scenariul 1.1. Variația temperaturii amestecului la depozit, cu debitul

2. SCENARIUL 1.2. Conducta CO1 & conținutul de apă de zăcământ AZ2

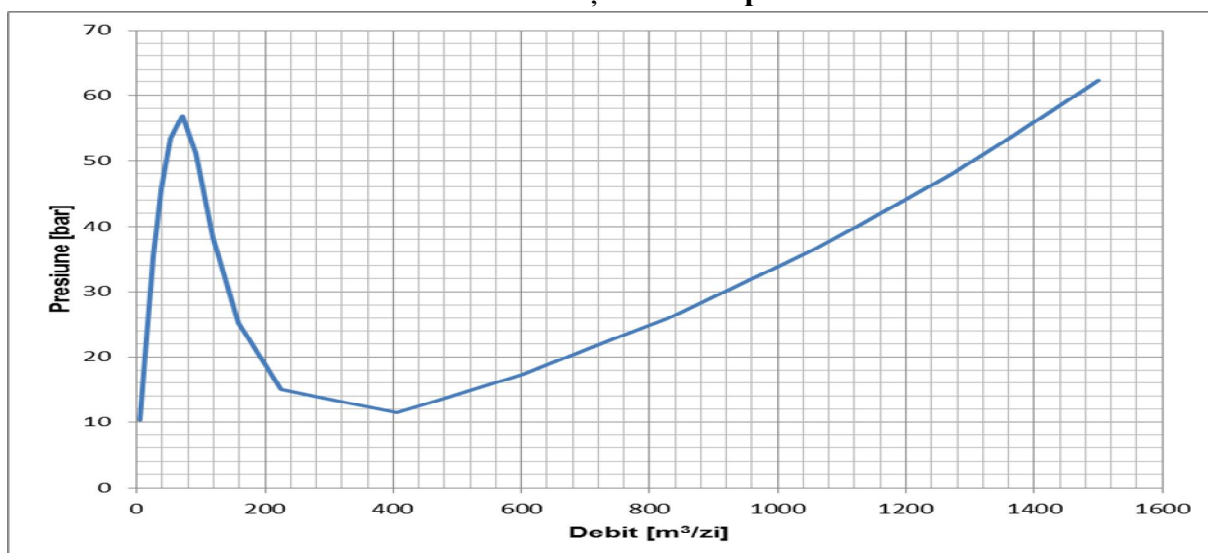


Fig. 4.4. Scenariul 1.2. Variația presiunii de pompare cu debitul

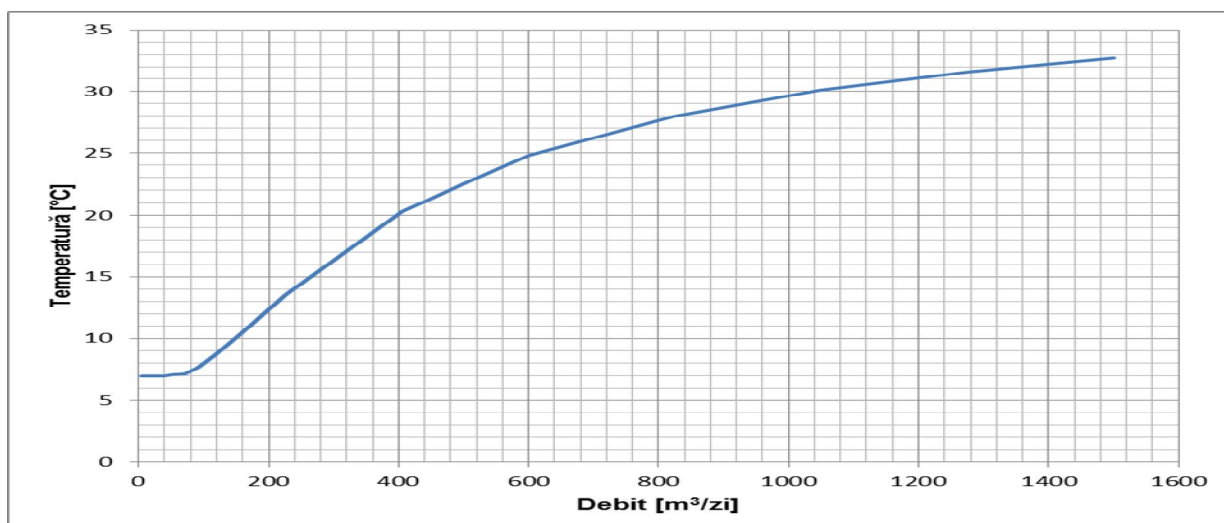


Fig. 4.5. Scenariul 1.2. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

3. SCENARIUL 1.3. Conducta CO₁ & conținutul de apă de zăcământ AZ3

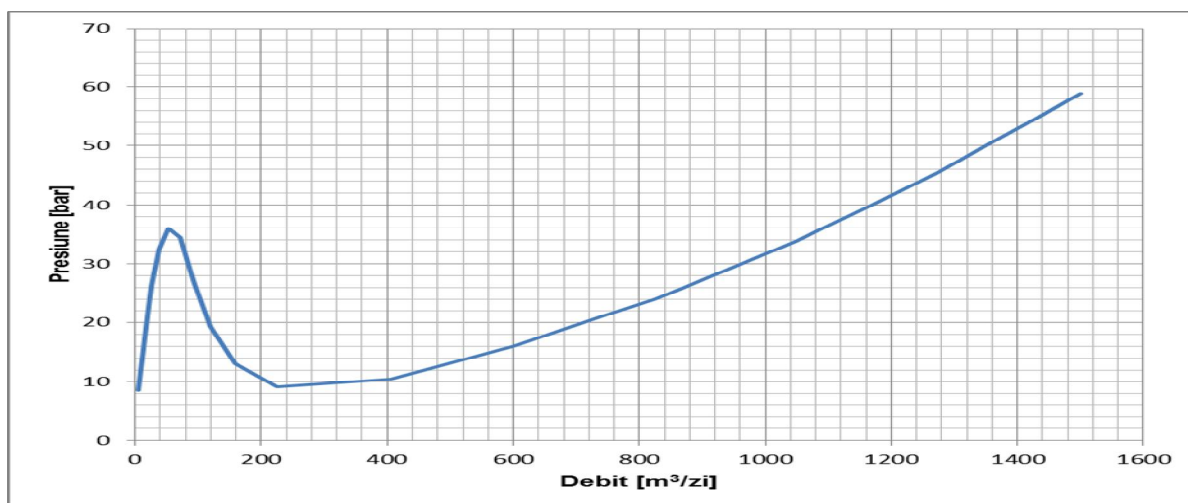


Fig. 4.6. Scenariul 1.3. Variația presiunii de pompare cu debitul

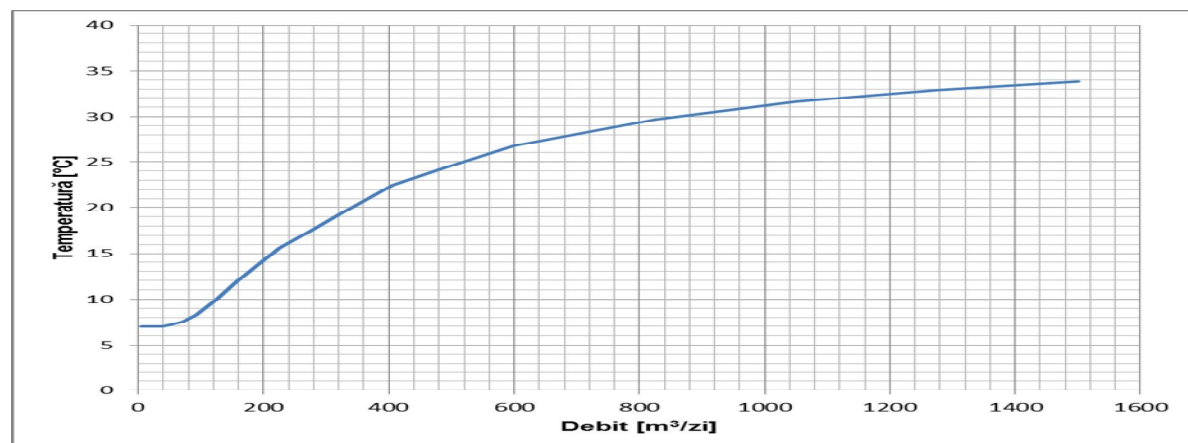


Fig. 4.7. Scenariul 1.3. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

4. SCENARIUL 2.1. Conducta CO₂ & conținutul de apă de zăcământ AZ1

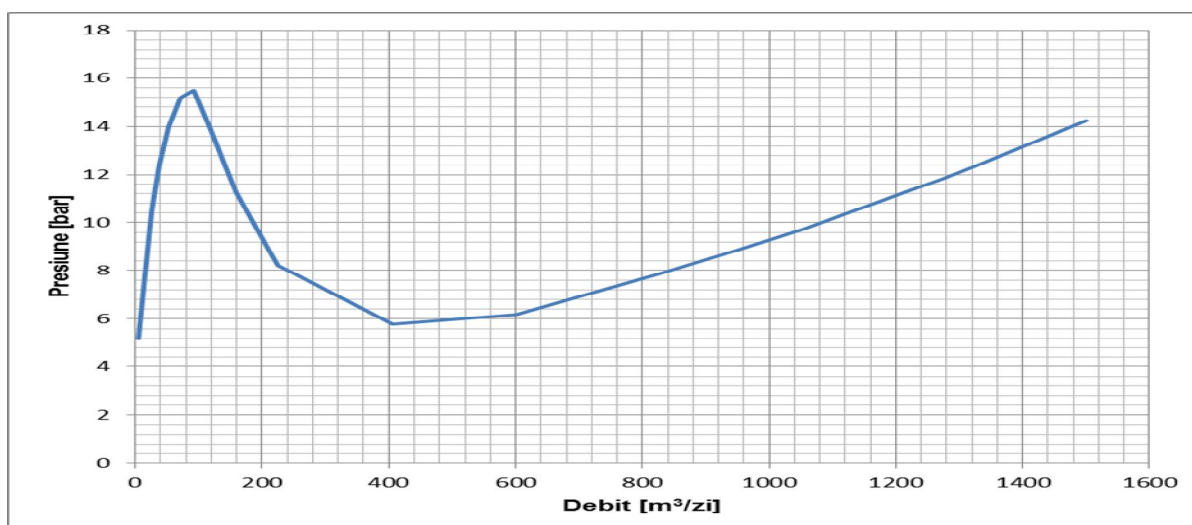


Fig. 4.8. Scenariul 2.1. Variația presiunii de pompare cu debitul

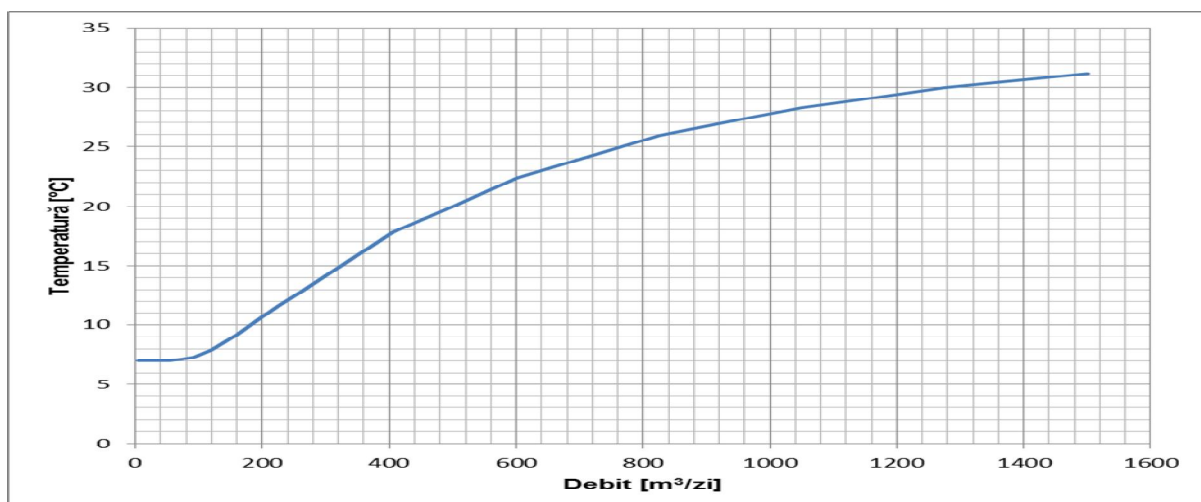


Fig. 4.9. Scenariul 2.1. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

5. SCENARIUL 2.2. Conducta CO₂ & conținutul de apă de zăcământ AZ2

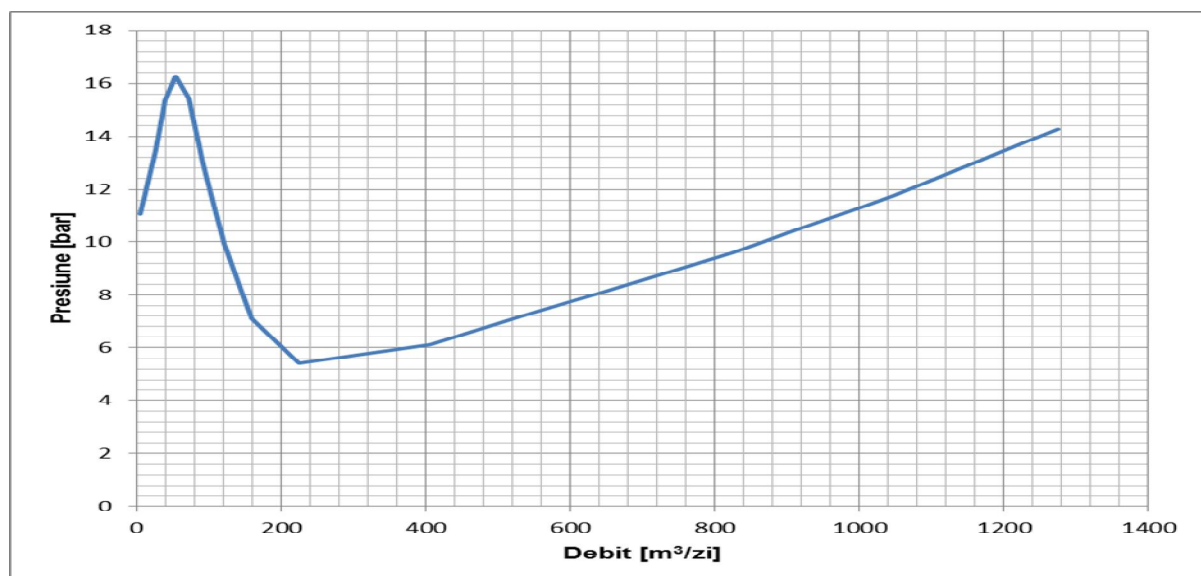


Fig. 4.10. Scenariul 2.2. Variația presiunii de pompare cu debitul

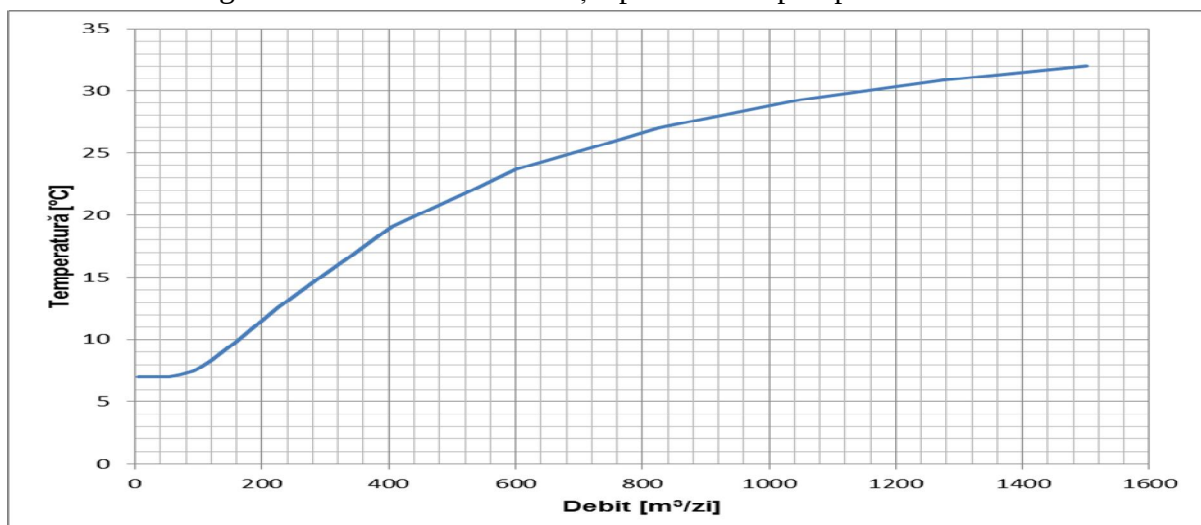


Fig. 4.11. Scenariul 2.2. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

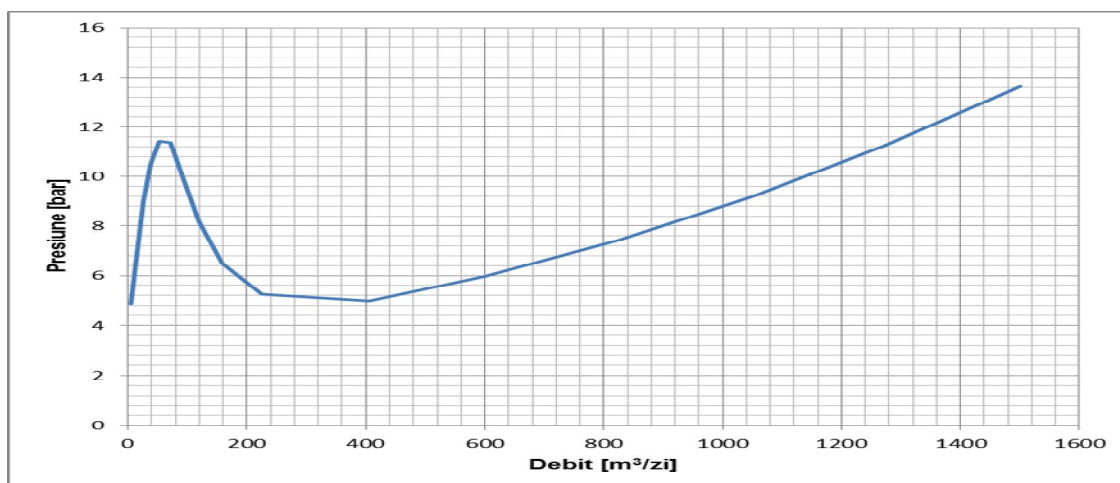
6. SCENARIUL 2.3. Conducta CO₂ & conținutul de apă de zăcământ AZ3

Fig. 4.12. SCENARIUL 2.3. Variația presiunii de pompare cu debitul

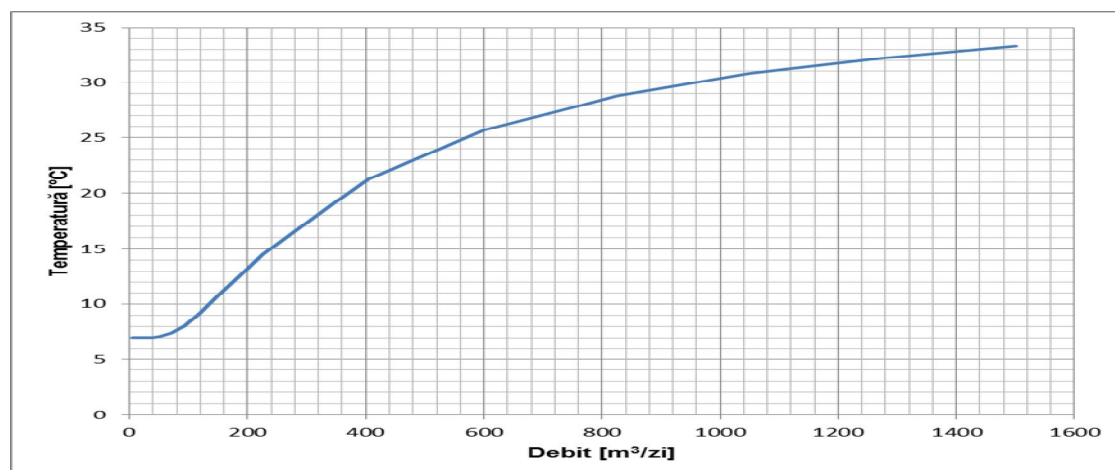


Fig. 4.13. SCENARIUL 2.3. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

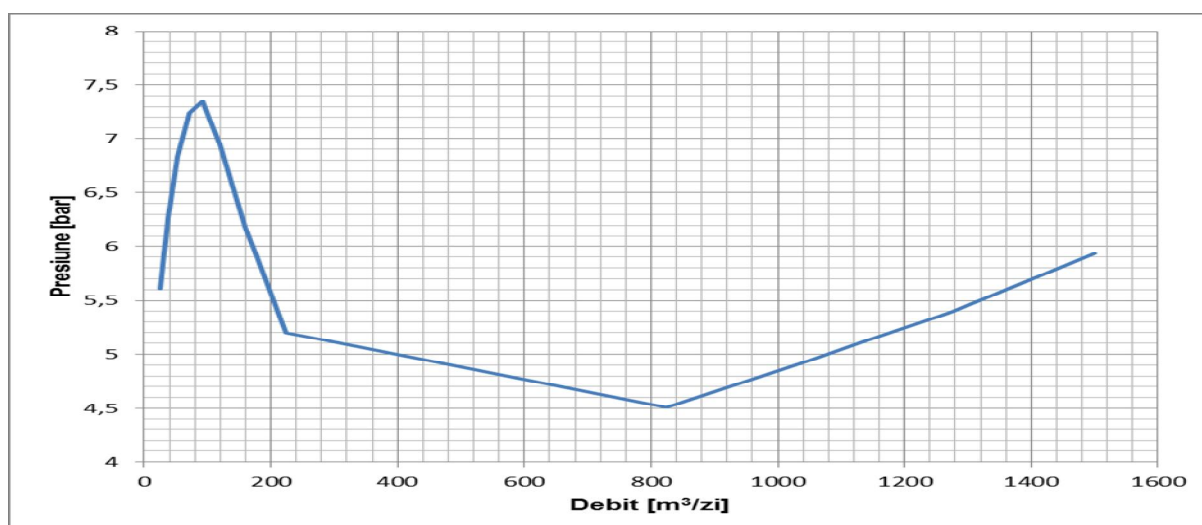
7. SCENARIUL 3.1. Conducta CO₃ & conținutul de apă de zăcământ AZ1

Fig. 4.14. SCENARIUL 3.1. Variația presiunii de pompare cu debitul

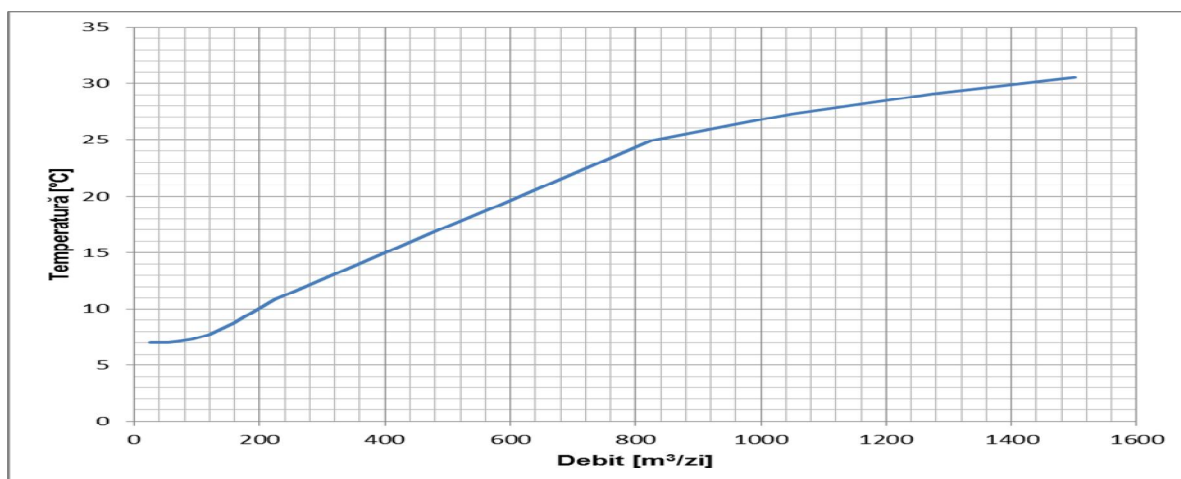


Fig. 4.15. Scenariul 3.1. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

8. SCENARIUL 3.2. Conducta CO₃ & conținutul de apă de zăcământ AZ2

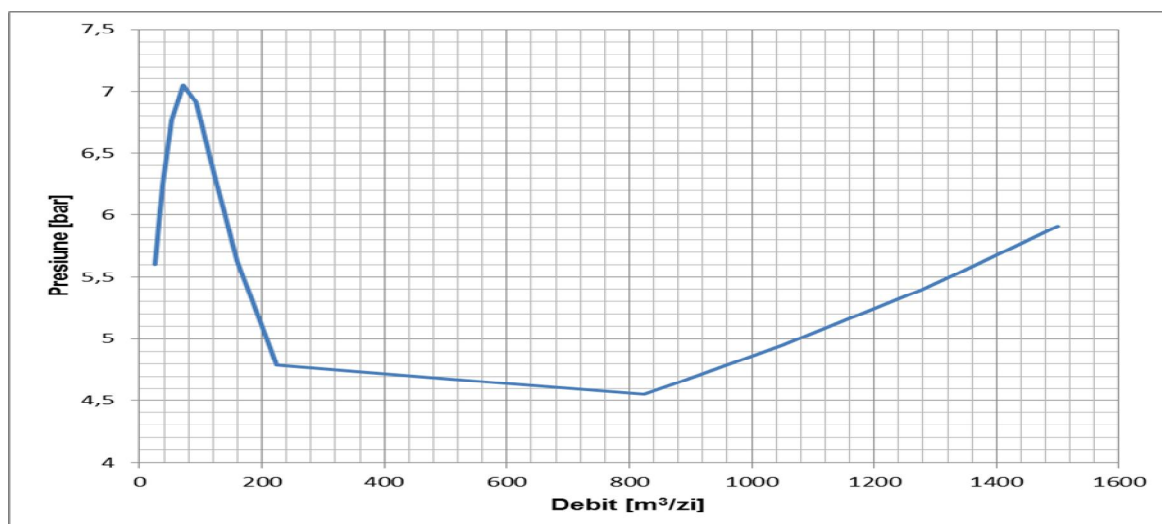


Fig. 4.16. Scenariul 3.2. Variația presiunii de pompare cu debitul

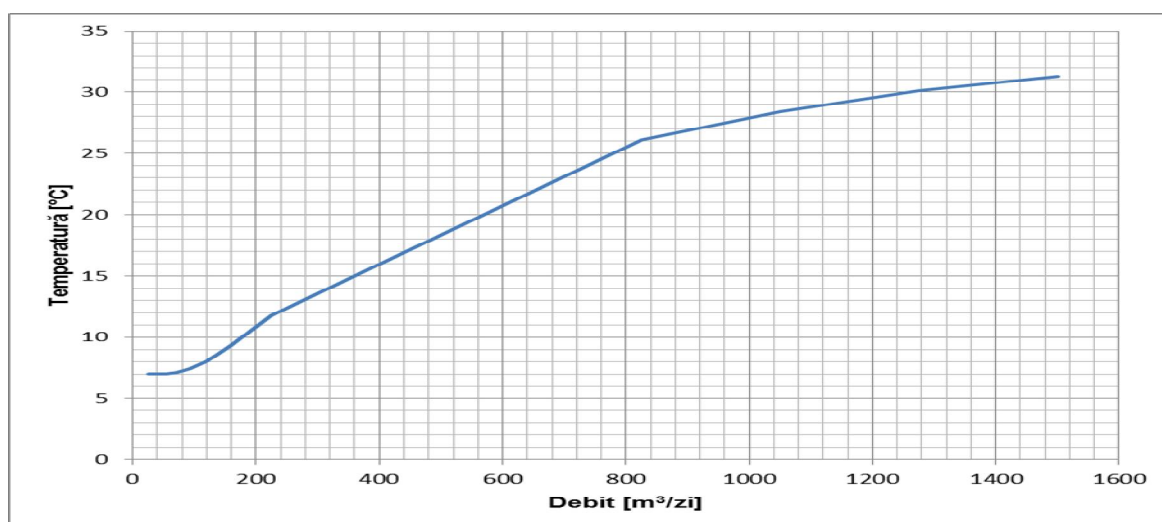


Fig. 4.17. Scenariul 3.2. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

9. SCENARIUL 3.3. Conducta CO₃ & conținutul de apă de zăcământ AZ3

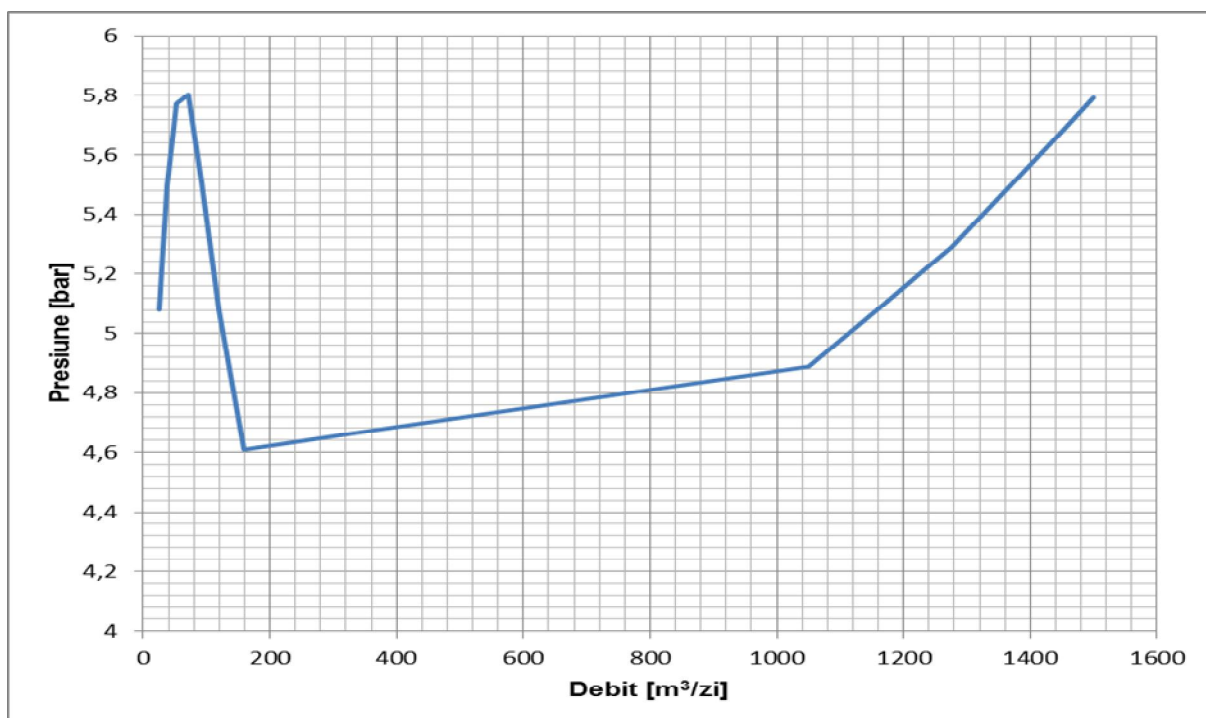


Fig. 4.18. Scenariul 3.3. Variația presiunii de pompare cu debitul

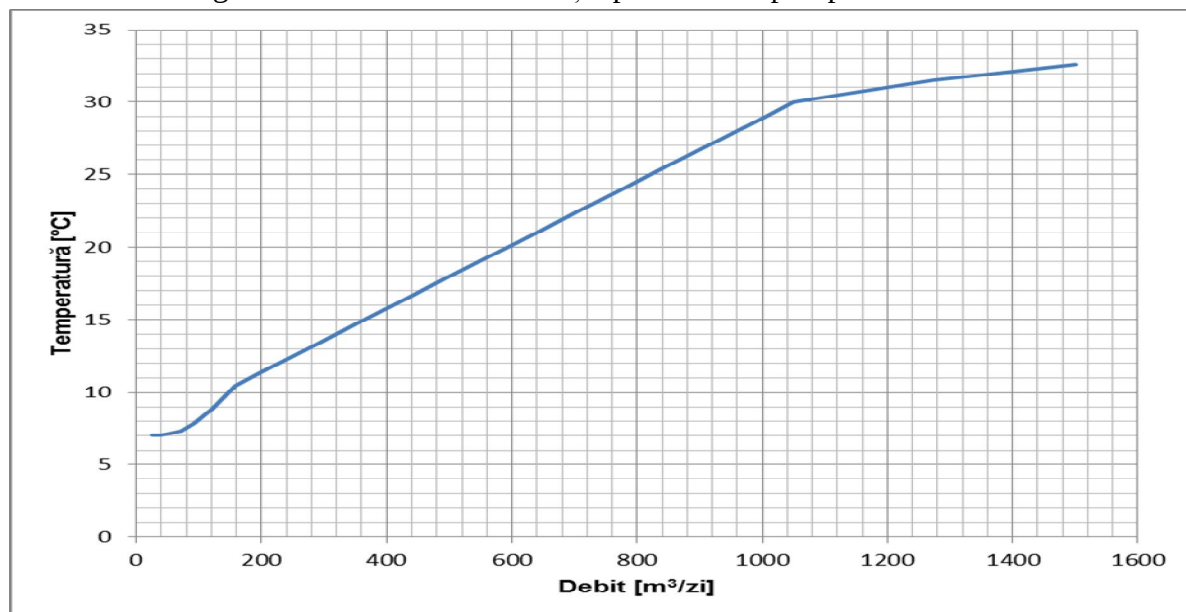


Fig. 4.19. Scenariul 3.3. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

10. CONCLUZII PARȚIALE

La toate scenariile se poate observa comportarea hidraulică specifică a celor 3 conducte în domeniul debitelor mici, după care alura curbelor devine aproximativ liniar crescătoare, așa cum este normal. Comportarea termodinamică se înscrie în firescul generat de interacțiunea termică cu solul adiacent conductei, diminuată cu creșterea vitezei.

4.3. STUDIUL INFLUENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT ASUPRA PERFORMANTELOR HIDRAULICE ALE CONDUCTELOR

1. **VARIANTA AZ 1-H.** Amestecul cu 10% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

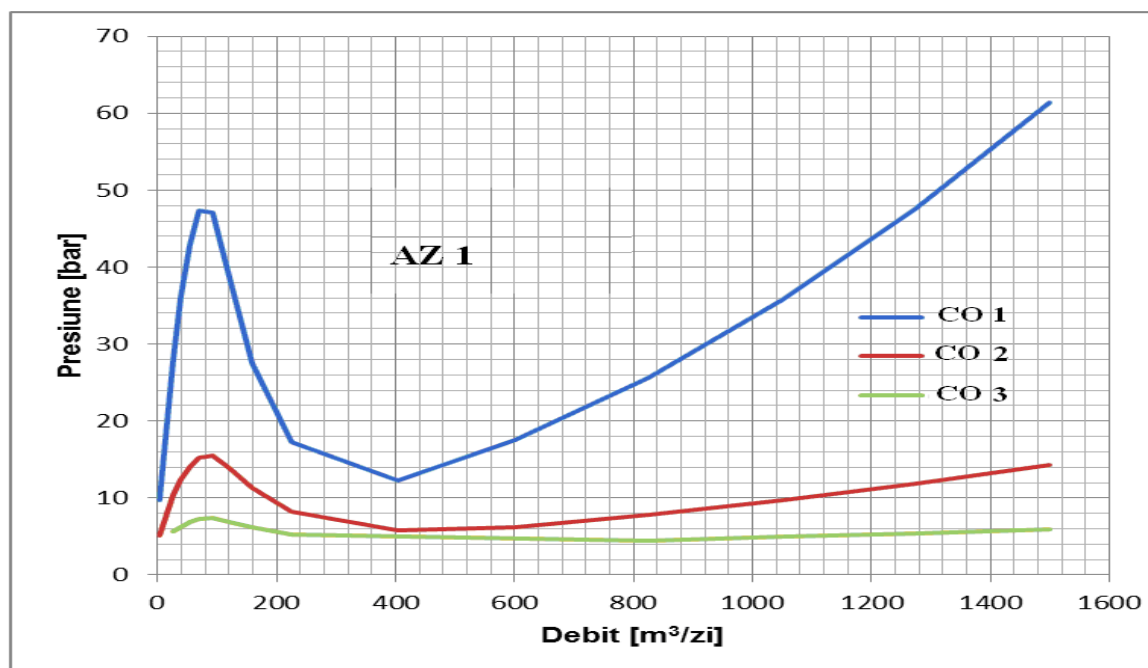


Fig. 4.20. Varianta AZ1-H. Variația presiunii de pompare cu debitul

2. **VARIANTA AZ2-H.** Amestecul cu 20% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

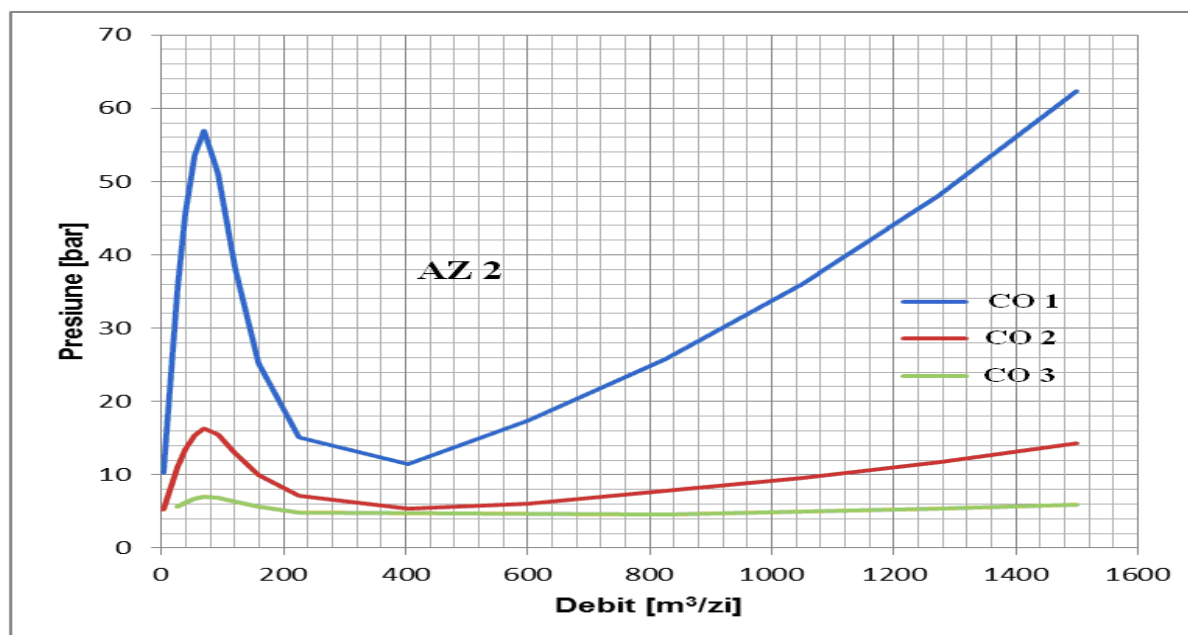


Fig. 4.21. Varianta AZ2-H. Variația presiunii de pompare cu debitul

3. VARIANTA AZ3-H. Amestecul cu 40% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

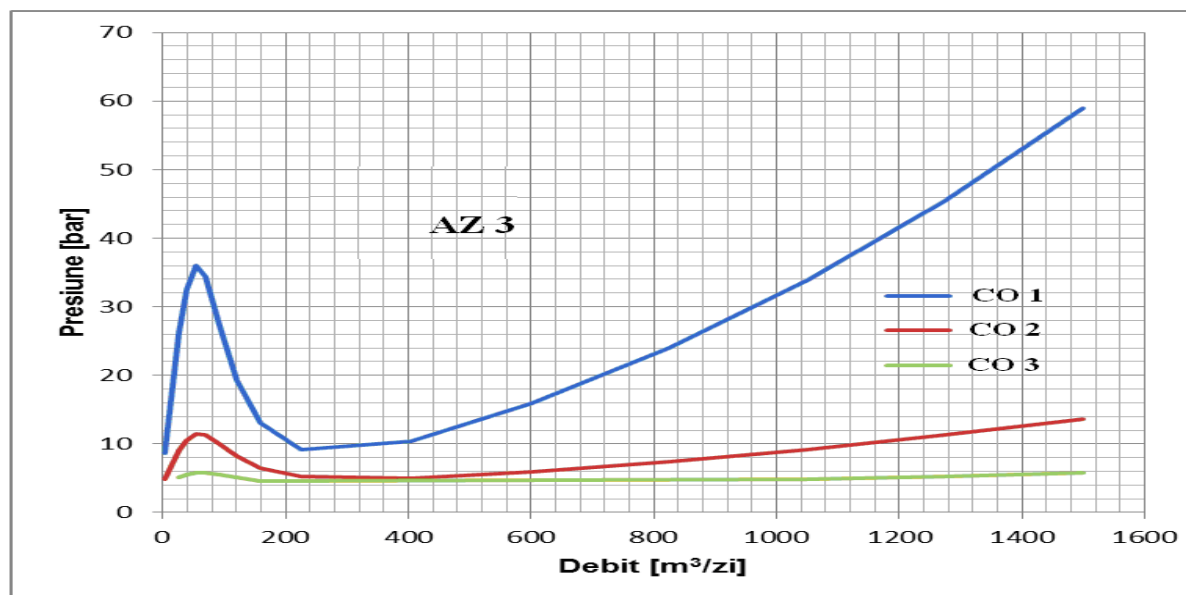


Fig. 4.22. Varianta AZ3-H. Variația presiunii de pompare cu debitul

4. CONCLUZII PARȚIALE

a. Varianta AZ1 (conținutul de apă de zăcământ 10%). Debit optim 405 m³/zi.

- Presiunile de pompare ale conductelor au valori minime: pentru CO1 $p_1 = 12,3$ bar, pentru CO2 $p_2 = 5,79$ bar iar pentru CO3 este $p_3 = 4,51$ bara.
- Se pot transporta debite superioare apelând la conducta CO2, la care apare o creștere sensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 9,69 bar) sau, mai ales, la conducta CO3, la care apare o creștere insensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 5,93 bar).

b. Varianta AZ2 (conținutul de apă de zăcământ 20%). Debit optim 405 m³/zi.

- Presiunile de pompare ale conductelor au valori minime: pentru CO1 $p_1 = 11,47$ bar, pentru CO2 $p_2 = 5,42$ bar iar pentru CO3 este $p_3 = 4,55$ bara.
- Se pot transporta debite superioare apelând la conducta CO2, la care apare o creștere sensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 9,62 bar) sau, mai ales, la conducta CO3, la care apare o creștere insensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 5,91 bar).

c. Varianta AZ3 (conținutul de apă de zăcământ 40%). Debit optim 405 m³/zi.

- Presiunile de pompare ale conductelor au valori minime: pentru CO1 $p_1 = 9,17$ bar, pentru CO2 $p_2 = 4,97$ bar iar pentru CO3 este $p_3 = 4,61$ bara.
- Se pot transporta debite superioare apelând la conducta CO2, la care apare o creștere sensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 9,19 bar) sau, mai ales, la conducta CO3, la care apare o creștere insensibilă a presiunii cu debitul (pentru debitul de 1050 m³/zi este necesară 4,89 bar).

4.4. STUDIUL INFLUIENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT ASUPRA COMPORTĂRII TERMODINAMICE A CONDUCTELOR

1. **VARIANTA AZ1-T:** Amestecul cu 10% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

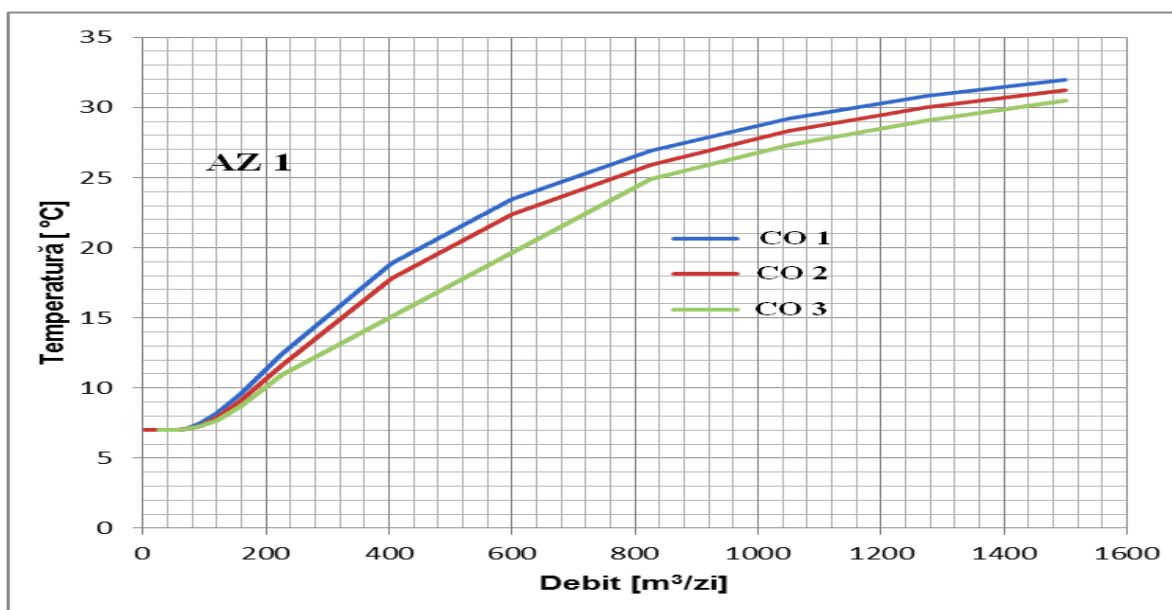


Fig. 4.23. Varianta AZ1-T. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

2. **VARIANTA AZ2-T:** Amestecul cu 20% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

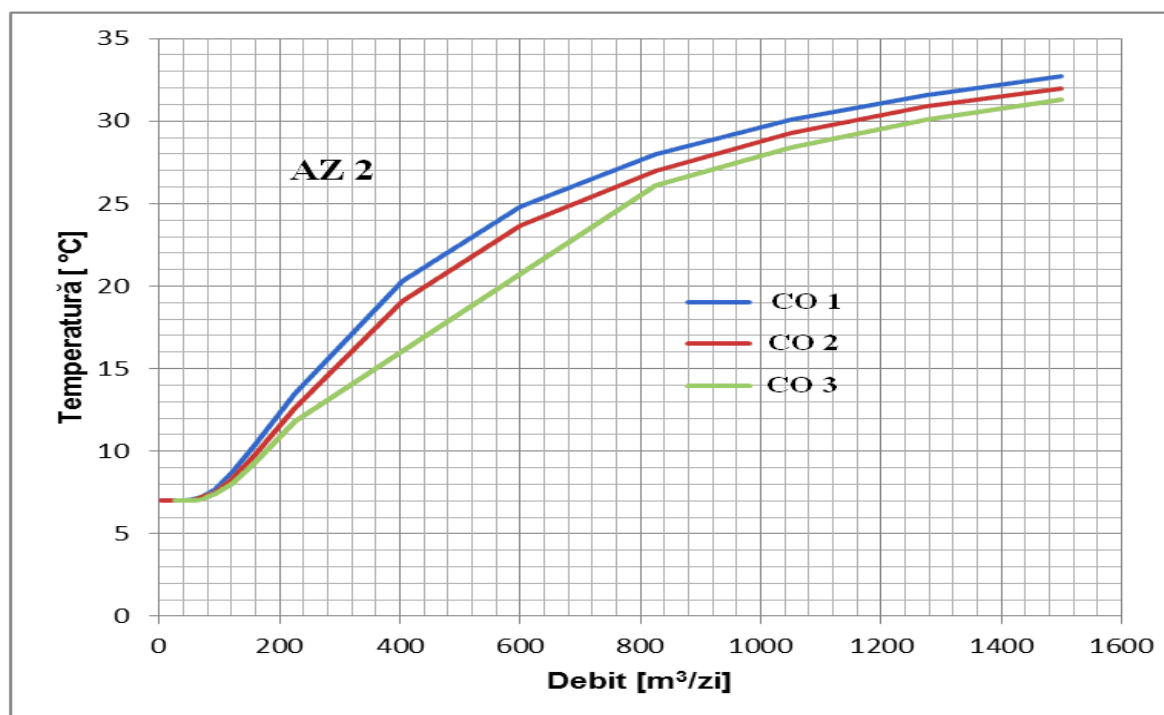


Fig. 4.24. Varianta AZ2-T. Variația temperaturii amestecului cu debitul

3. VARIANTA AZ3-T: Amestecul cu 40% apă de zăcământ pompat pe cele 3 conducte.

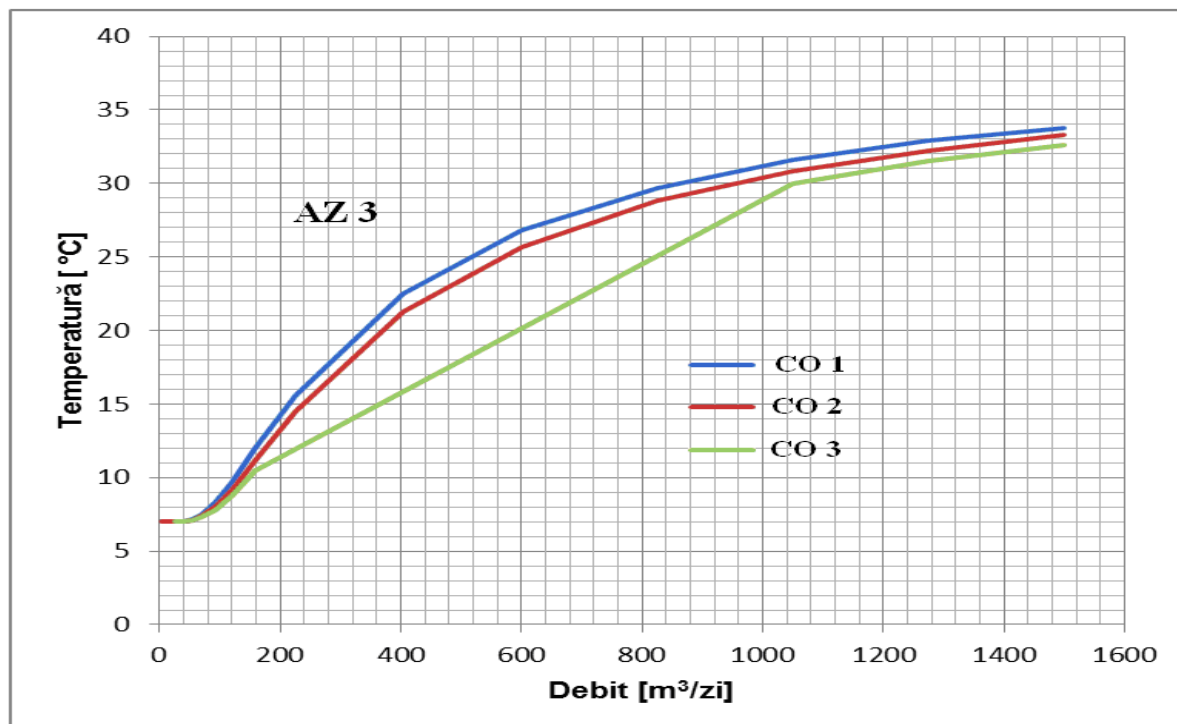


Fig. 4.25. Varianta AZ3-T. Variația temperaturii amestecului cu debitul

4. CONCLUZII PARȚIALE

a. Varianta AZ1 (conținutul de apă de zăcământ 10%). Debit optim 405 m³/zi.

- pentru conducta CO1 temperatura $T_1 = 18,9$ °C,
- pentru conducta CO2 temperatura $T_2 = 17,8$ °C,
- pentru conducta CO3 temperatura $T_3 = 15,9$ °C.

b. Varianta AZ2 (conținutul de apă de zăcământ 20%). Debit optim 405 m³/zi.

- pentru conducta CO1 temperatura $T_1 = 20,3$ °C,
- pentru conducta CO2 temperatura $T_2 = 19,1$ °C,
- pentru conducta CO3 temperatura $T_3 = 16,8$ °C.

c. Varianta AZ3 (conținutul de apă de zăcământ 40%). Debit optim 405 m³/zi.

- pentru conducta CO1 temperatura $T_1 = 20,3$ °C,
- pentru conducta CO2 temperatura $T_2 = 19,2$ °C,
- pentru conducta CO3 temperatura $T_3 = 17,0$ °C.

Conținutul de apă de zăcământ,	Temperatura la Depozit, [°C]		
	Conducta CO1	Conducta CO2	Conducta CO3
AZ 1= 10%	18,9	17,8	15,9
AZ 2 = 20%	20,3	19,1	16,8
AZ 3 = 40%	20,4	19,2	17,0

4.5. STUDIUL PERFORMANTELOR HIDRAULICE ALE CONDUCTELOR ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE APĂ DE ZĂCĂMÂNT

1.VARIANTA CO1-H: Se pompează pe conducta cu Ø 102,26 mm cele 3 amestecuri

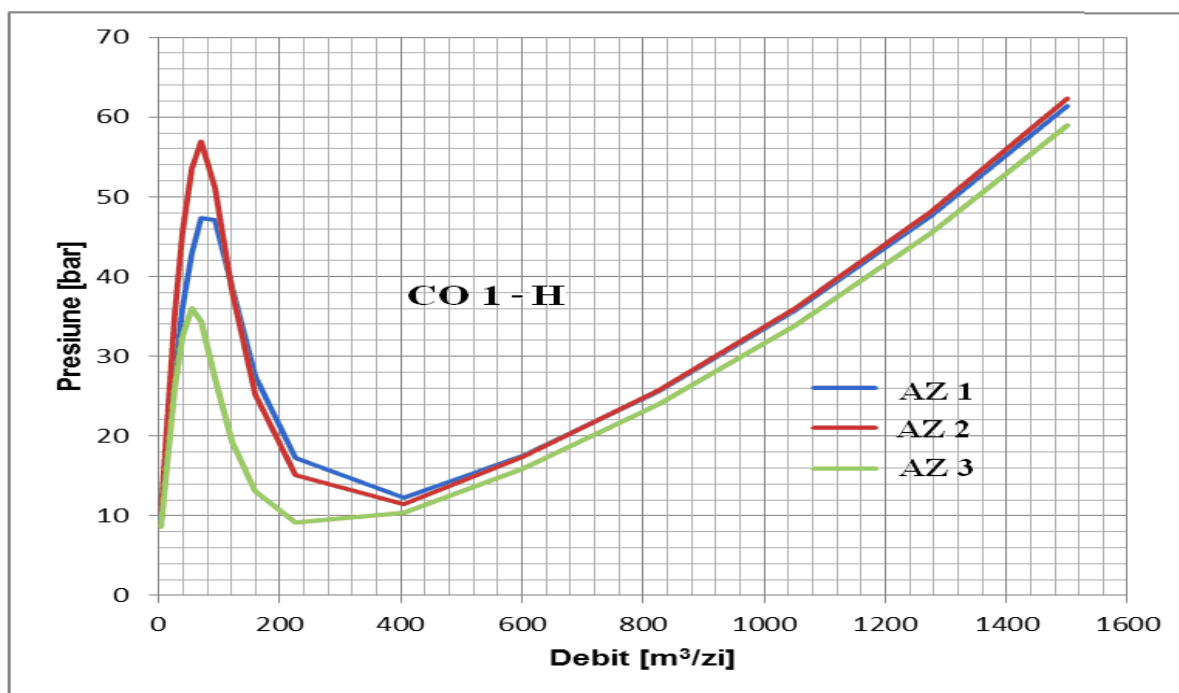


Fig. 4.26. Varianta CO1-H. Variația presiunii de pompare cu debitul

2. VARIANTA CO2-H: Se pompează pe conducta Ø 146,33 mm cele 3 amestecuri

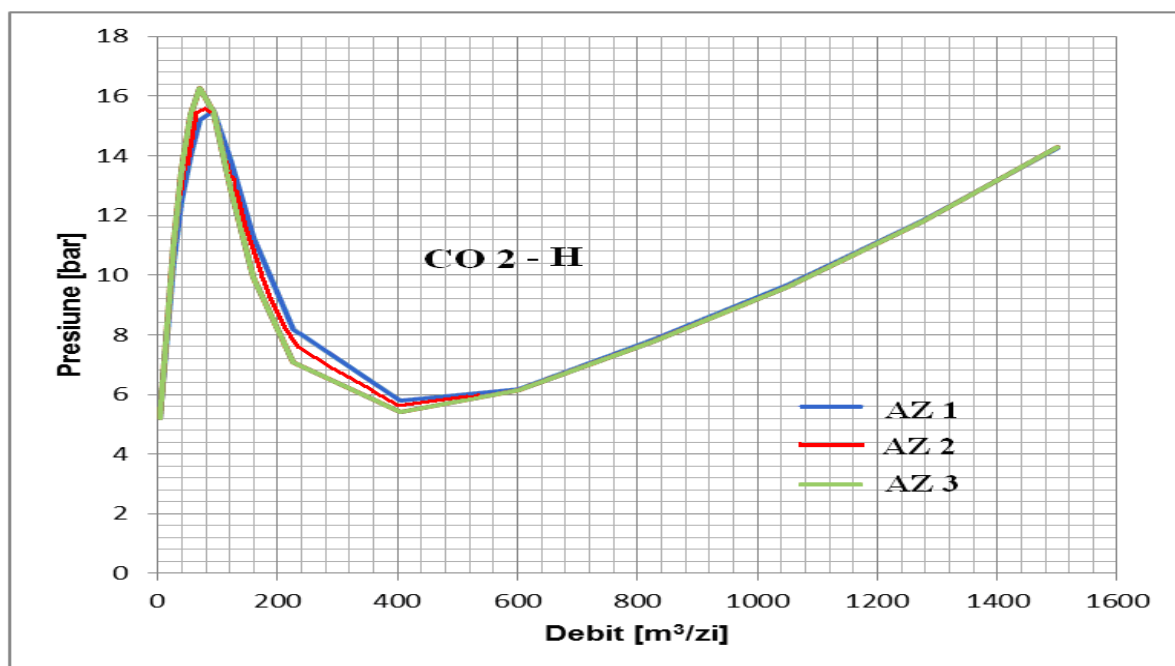


Fig. 4.27. Varianta CO2-H Variația presiunii de pompare cu debitul

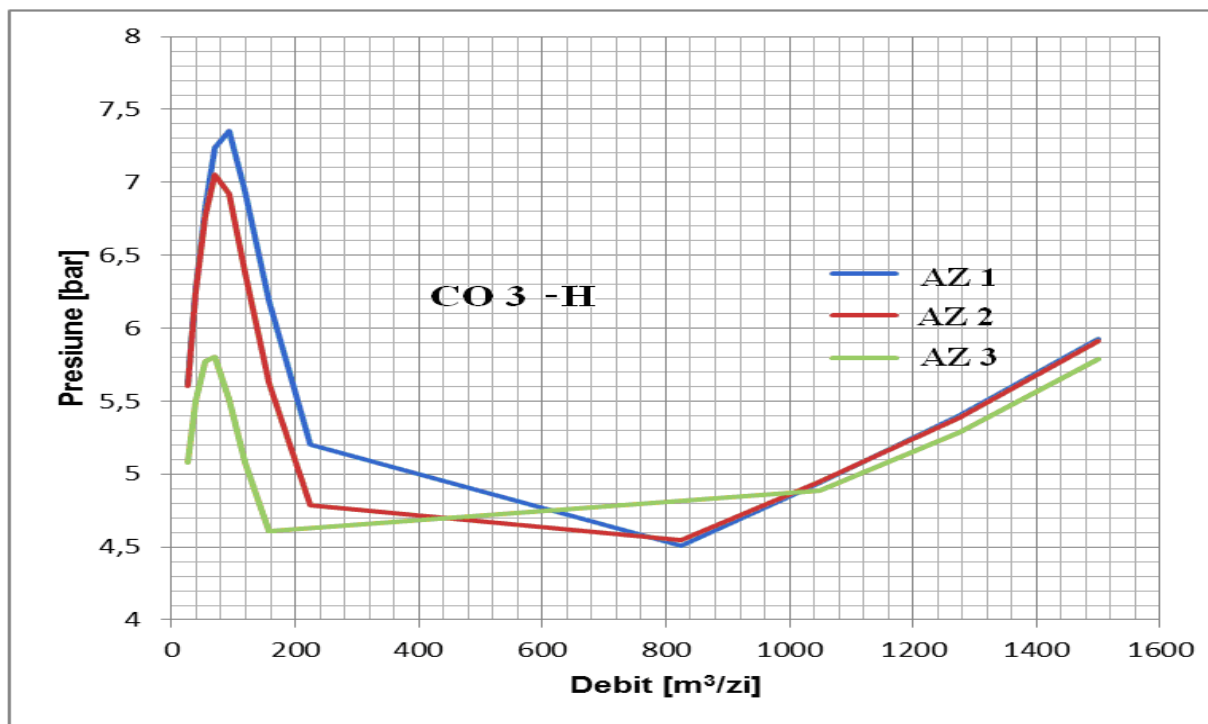
3. VARIANTA CO3-H: Se pompează pe conductă Ø 202,72 mm cele 3 amestecuri.

Fig. 4.28. Varianta CO3-H. Variația presiunii de pompare cu debitul

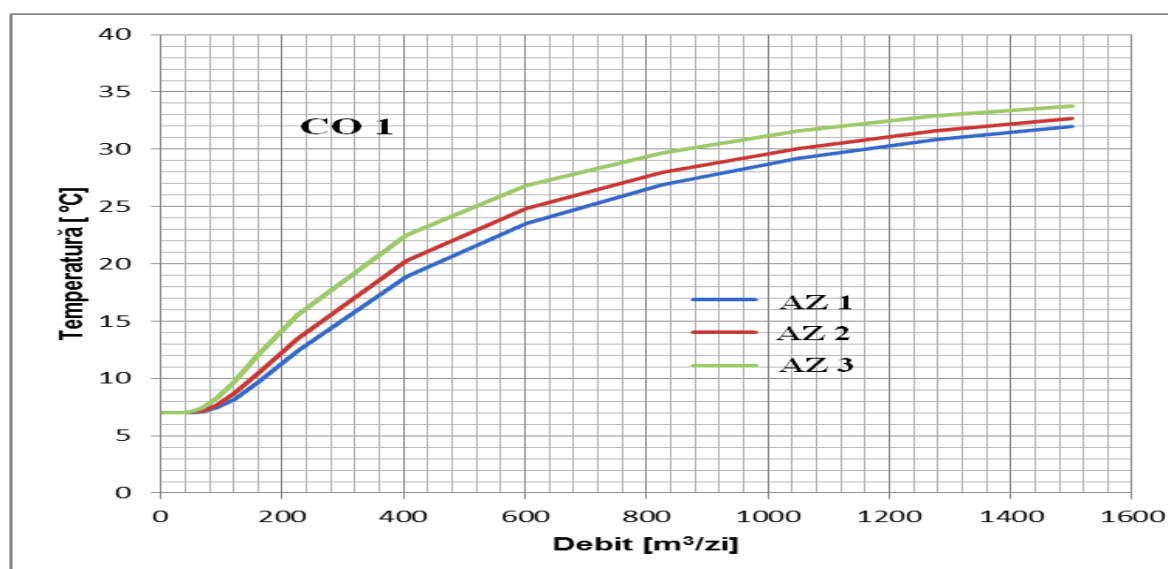
4.6. STUDIUL COMPORTĂRI TERMODINAMICE ALE CONDUCTELOR ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE APĂ DE ZĂCĂMÂNT**1.VARIANTA CO1-T:** Pe conductă CO1 se transportă cele 3 amestecuri

Fig. 4.29. Varianta CO1-T. Variația temperaturii amestecului cu debitul

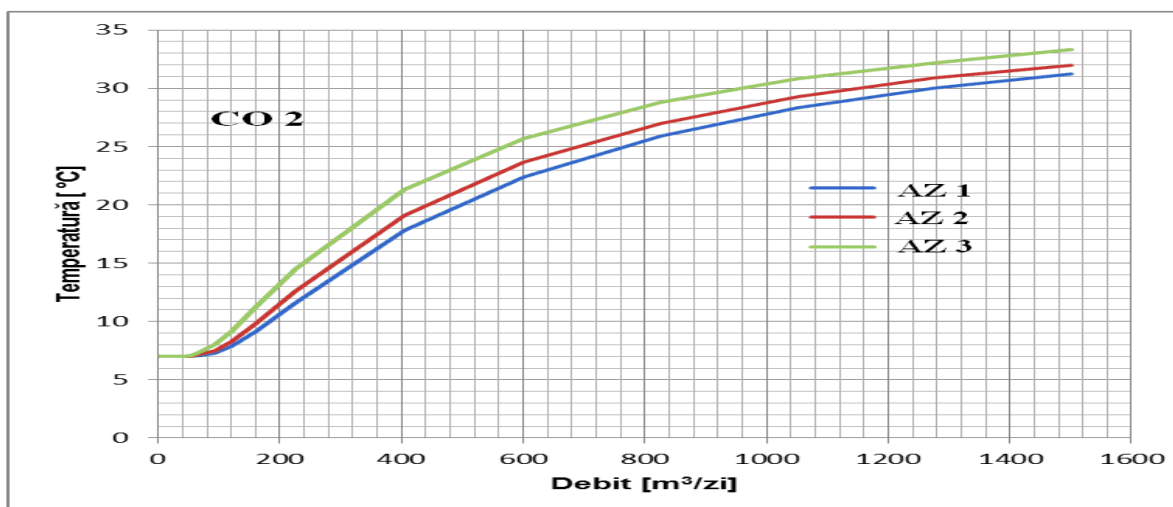
2. VARIANTA CO2-T: Diametrul interior al conductei: $\varnothing$ 146,33 mm;

Fig. 4.30. Varianta CO2-T. Variația temperaturii amestecului cu debitul

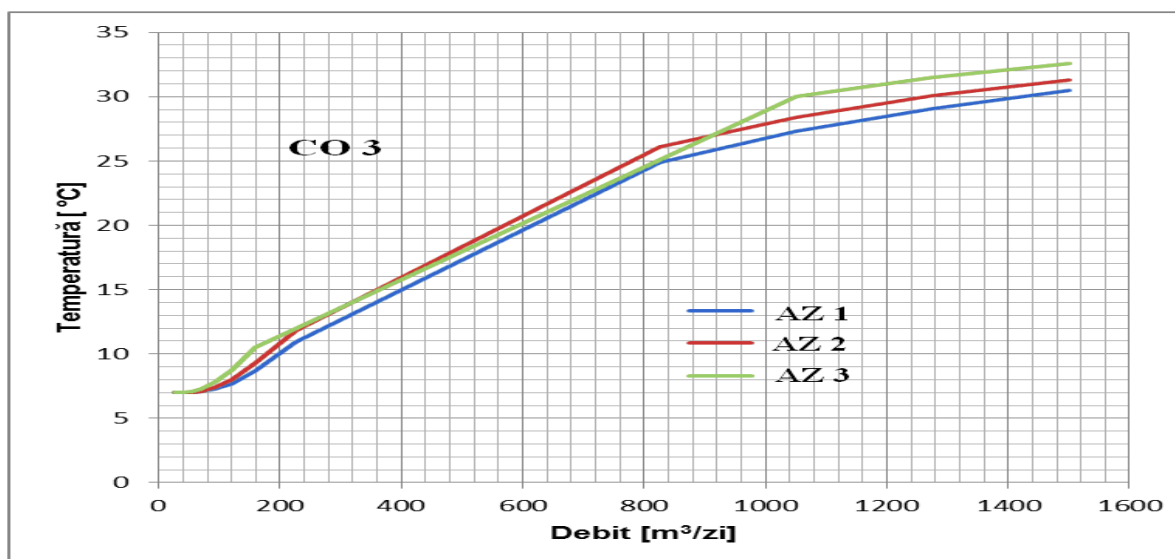
3. VARIANTA CO3-T: Diametrul interior al conductei: $\varnothing$ 202,72 mm;

Fig. 4.31. Varianta CO3-T. Variația temperaturii amestecului cu debitul

4.7. CONCLUZII

1. Debitul optim de pompare a amestecului este de 405 m³/zi pentru toate conductele studiate.
2. Presiunile optime de pompare diferă în funcție de conținutul de apă de zăcământ, scăzând cu creșterea acestuia. În toate scenariile studiate apare comportarea specifică, critică, în cazul debitelor mici de pompare; aceasta trebuie evitată.
3. În ceea ce privește comportarea termodinamică, toate cele trei conducte au o comportare firească, temperatura cu care amestecul țței-apă de zăcământ sosește în depozit crește cu debitul, precum și cu conținutul de apă de zăcământ.

Capitolul 5

STUDIUL PROCESULUI DE TRANSPORT A AMESTECULUI ȚITEI-GAZE+APĂ DE ZĂCĂMÂNT DE LA PARCUL VALEA LUI DAN LA DEPOZITUL CENTRAL

5.1. DATE DE INTRARE

1. DATE GEOMETRICE. Amestecul țiței-apă de zăcământ trebuie pompat de la Parcul Valea lui Dan la depozit printr-o conductă cu diametrul interior de 102,26 mm, având rugozitatea de 0,01651 mm. Conducta de amestec are lungimea de 15.000 m, este din oțel, are o izolație de 3 mm și este îngropată pe traseul indicat mai jos, conform figurii. Adâncimea de îngropare a conductei este de 1,4 m, iar temperatura medie a mediului ambiant este de 7 °C.

2. DATE DE INTRARE. Datele de intrare pentru simulare sunt indicate în teză.

3. CERINȚELE STUDIULUI. Se vor concepe 6 (șase) scenarii de simulare pentru transportul pe o conductă cu diametrul interior de Ø102,26 mm lungă de 15 km a amestecurilor bifazice rezultate de cele 3 rații gaz-lichid și respectiv 2 procente de conținuturi de apă de zăcământ.

5.2. REZULTATELE SIMULĂRILOR

5.2.1. Studiul comportării hidrodinamice a conductei de transport

A. STUDIUL INFLUENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT

1. Varianta AZ1-H. Conținutul de apă **AZ1** = 15% pentru fiecare rație gaz-lichid.

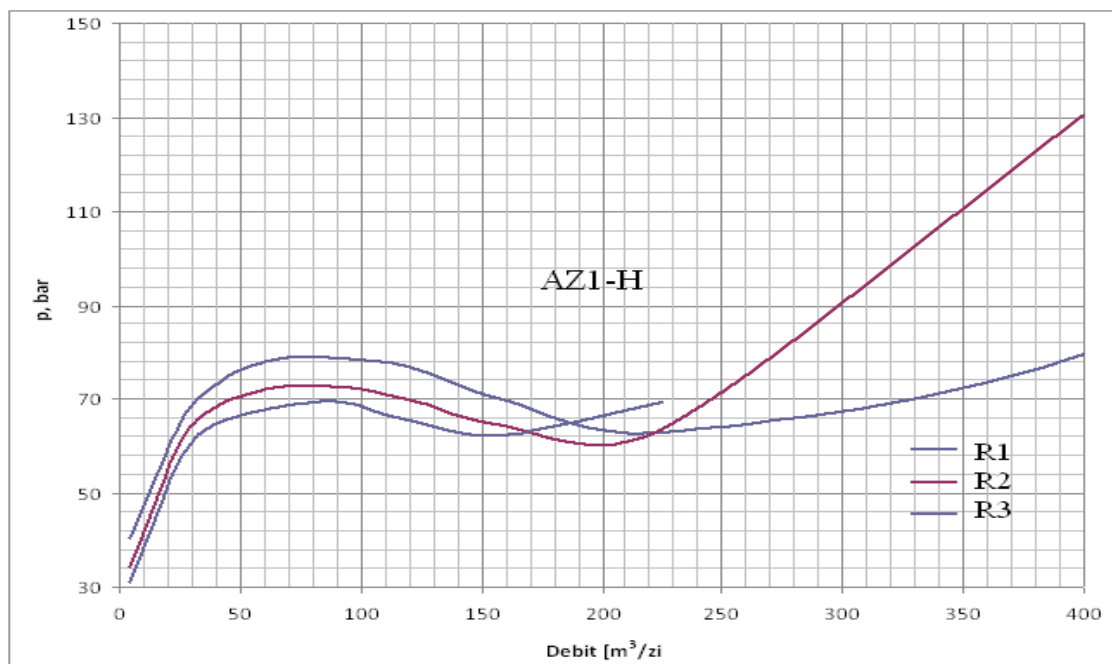


Fig. 5.2. Varianta **AZ1-H**. Variația presiunii de pompare cu debitul

2. Varianta AZ2-H. Conținutul în apă AZ2= 40% pentru fiecare din rațiile gaz-lichid.

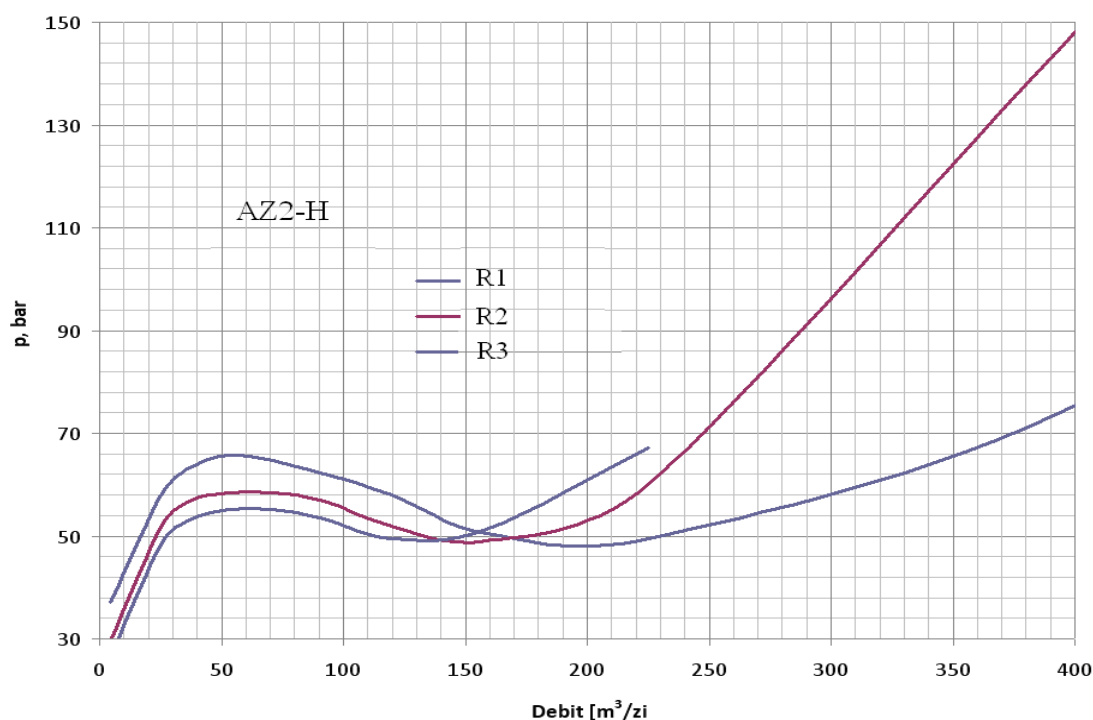


Fig. 5.3. Varianta **AZ2-H**. Variația presiunii de pompare cu debitul

B. STUDIUL INFLUIENȚEI RAȚIEI GAZ-LICHID

3. Varianta R1-H. Rația gaze-țiței $R1=136 \text{ m}^3\text{G}/\text{m}^3\text{l}$ pentru **AZ1**, respectiv **AZ2**.

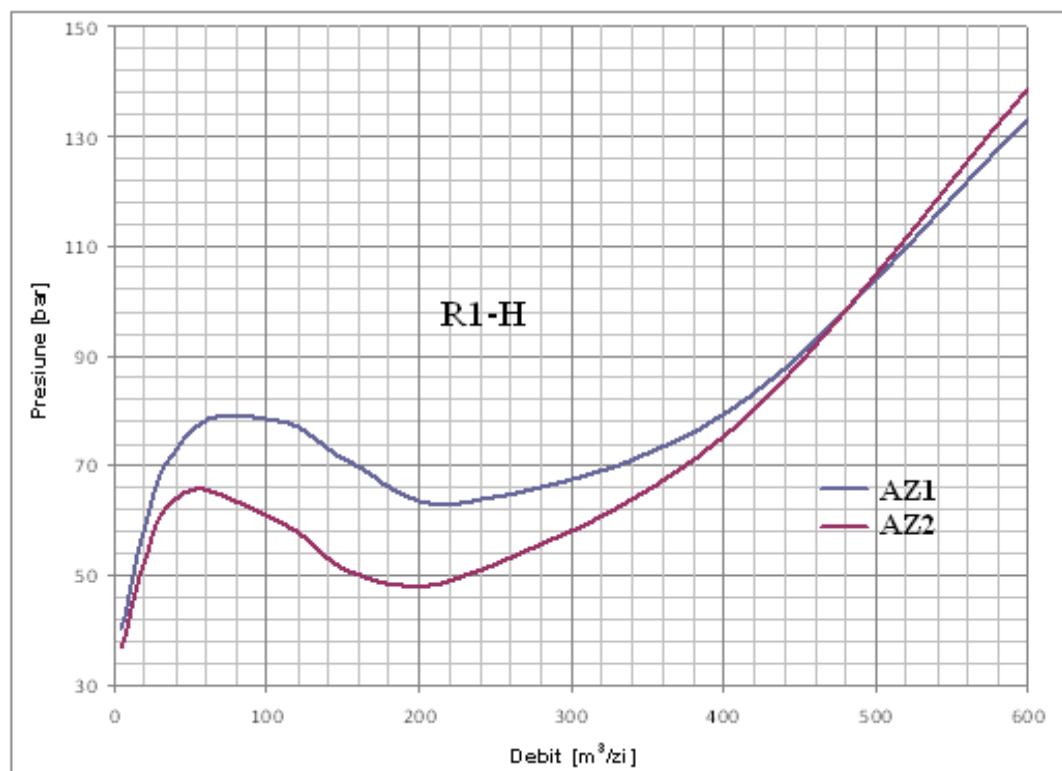


Fig. 5.4. Varianta **R1-H**. Variația presiunii de pompare cu debitul

4. Varianta R2-H. Rația gaze-țiței $R2=250 \text{ m}^3\text{G}/\text{m}^3\text{l}$ pentru **AZ1**, respectiv **AZ2**.

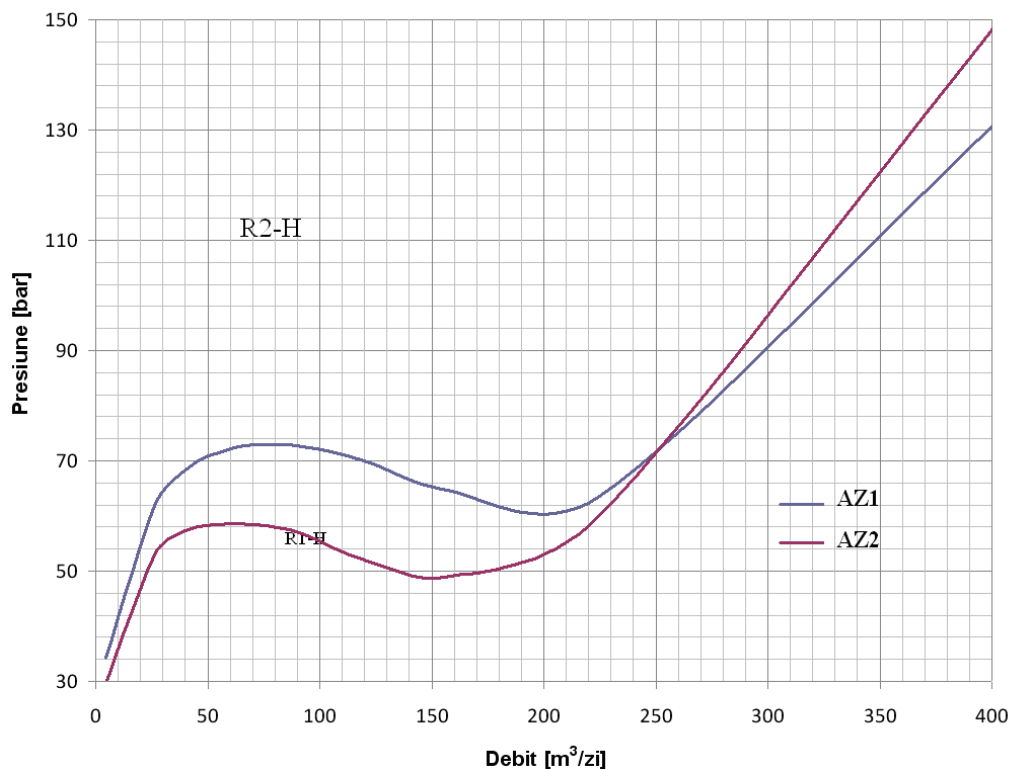


Fig. 5.5. Varianta **R 2-H**. Variația presiunii de pompare cu debitul

5. Varianta R 3-H. Rația gaze-țiței $R3=350 \text{ m}^3\text{G}/\text{m}^3\text{l}$ pentru **AZ 1**, respectiv **AZ 2**

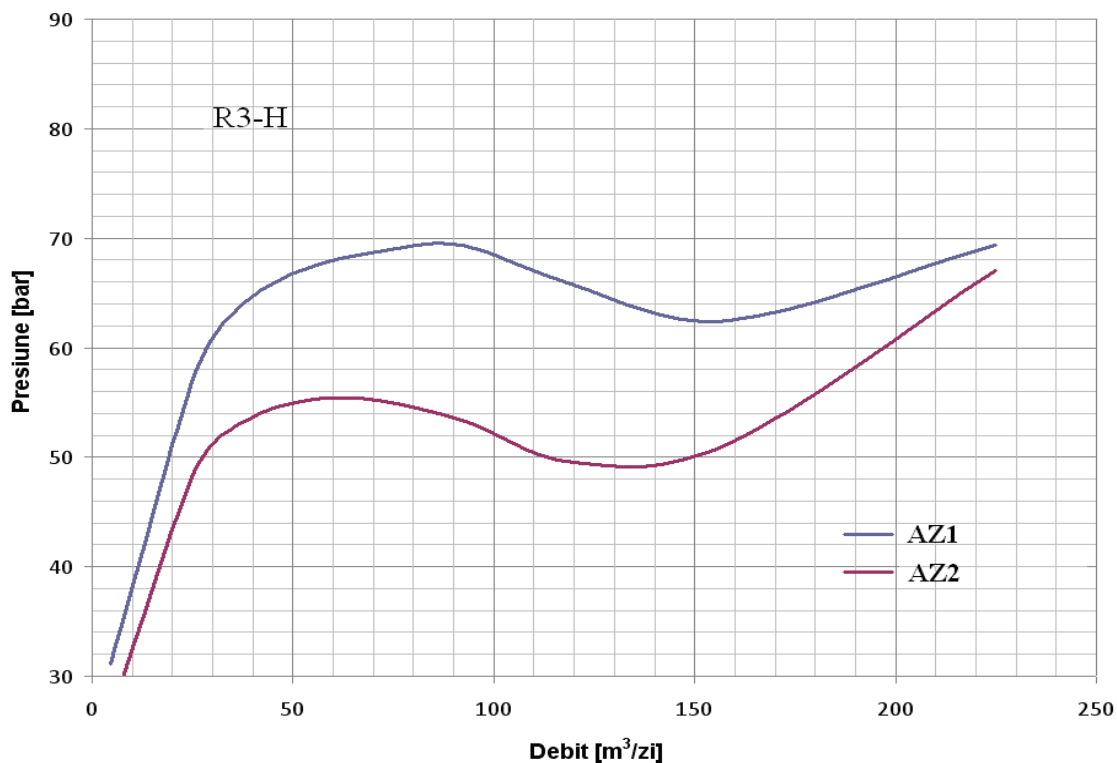


Fig. 5.6. Varianta **R3-H**. Variația presiunii de pompare cu debitul

5.2.2. Studiul comportării termodinamice a conductei de transport

A. STUDIUL INFLUIENȚEI APEI DE ZĂCĂMÂNT

6. Varianta AZ1-T. Conținutul de apă AZ1= 15% pentru fiecare din rațiile gaz-lichid

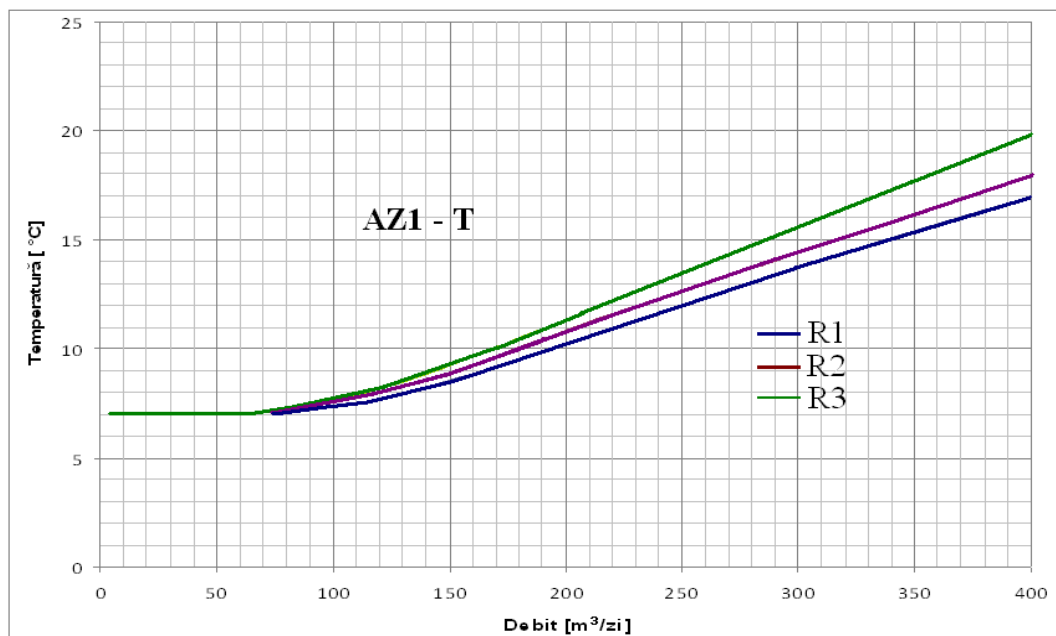


Fig. 5.7. Varianta **AZ1-T**. Variația temperaturii amestecului la depozit cu debitul

7. Varianta AZ 2-T. Conținutul de apă AZ2= 40% pentru fiecare din rațiile gaz-lichid

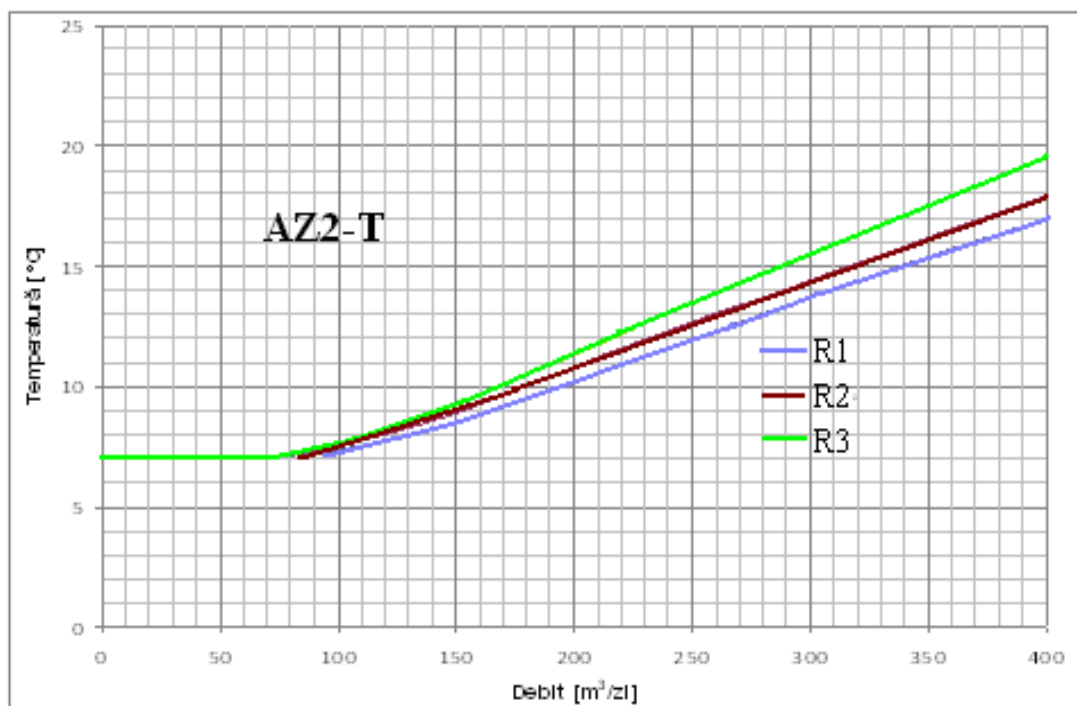


Fig. 5.8. Varianta **AZ2-T**. Variația temperaturii amestecului cu debitul

B. STUDIUL INFLUIENȚEI RAȚIEI GAZ-LICHID

8. Varianta R1-T. Rația gaze-țiței $R1=156 \text{ m}^3\text{G}/\text{m}^3\text{l}$ pentru AZ 1, respectiv AZ 2

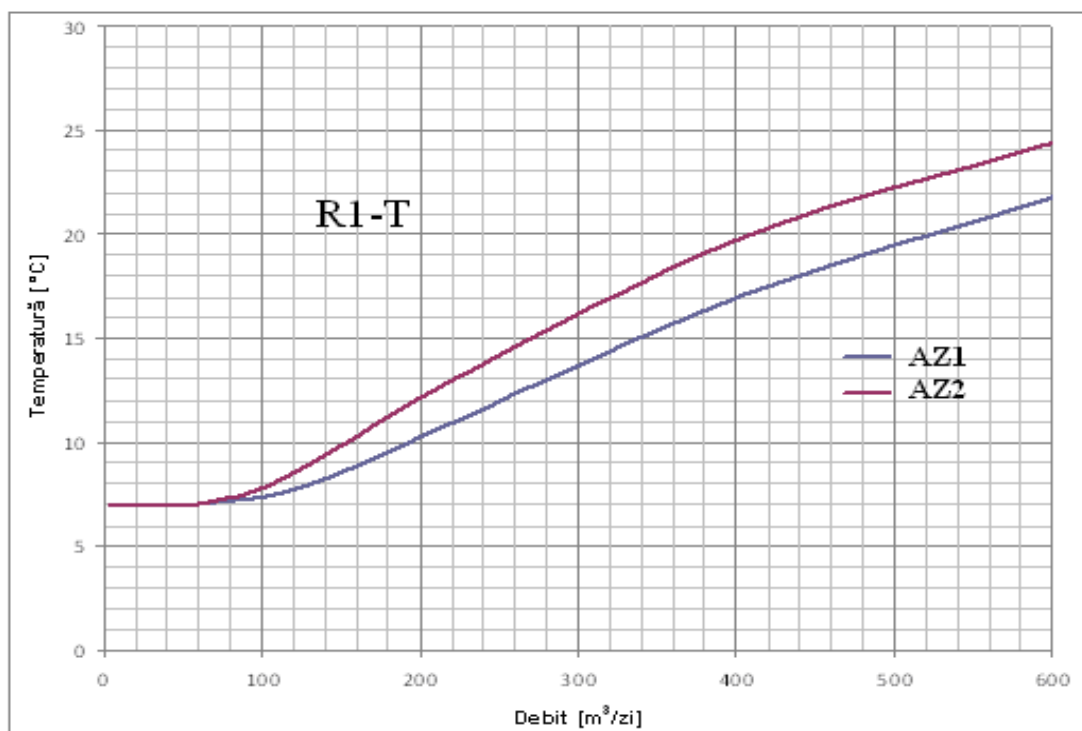


Fig. 5.9. Varianta **R1-T**. Variația temperaturii amestecului cu debitul

9. Varianta R2-T. Rația gaze-țiței $R2=250 \text{ m}^3\text{G}/\text{m}^3\text{l}$ pentru AZ 1, respectiv AZ 2

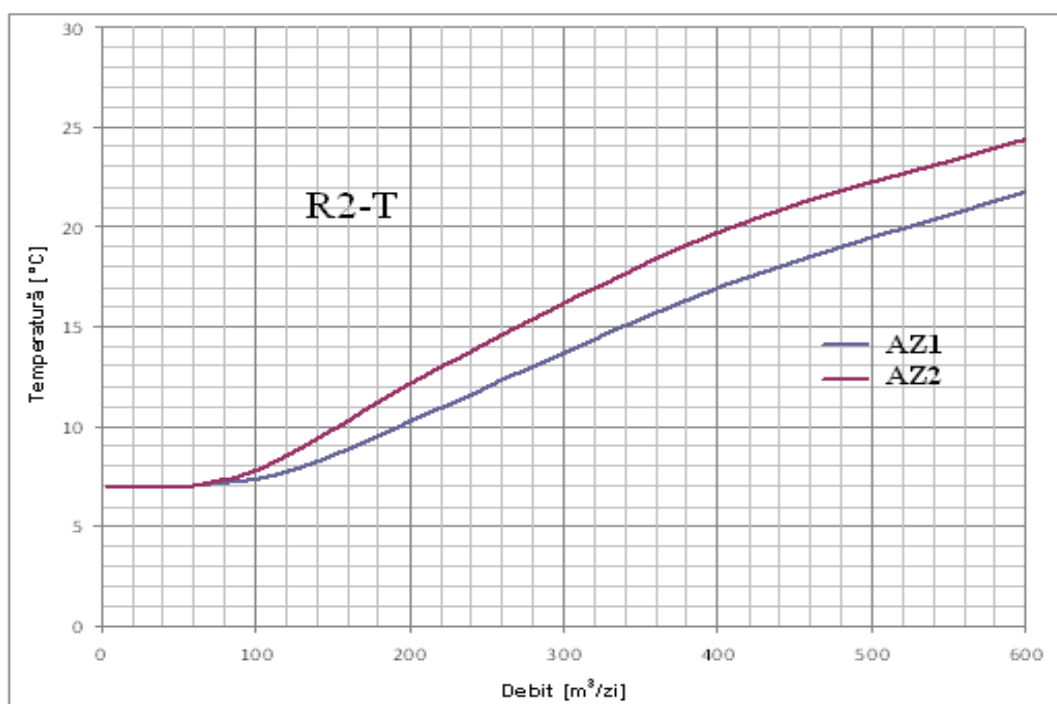


Fig. 5.10. Varianta **R2-T**. Variația temperaturii amestecului cu debitul

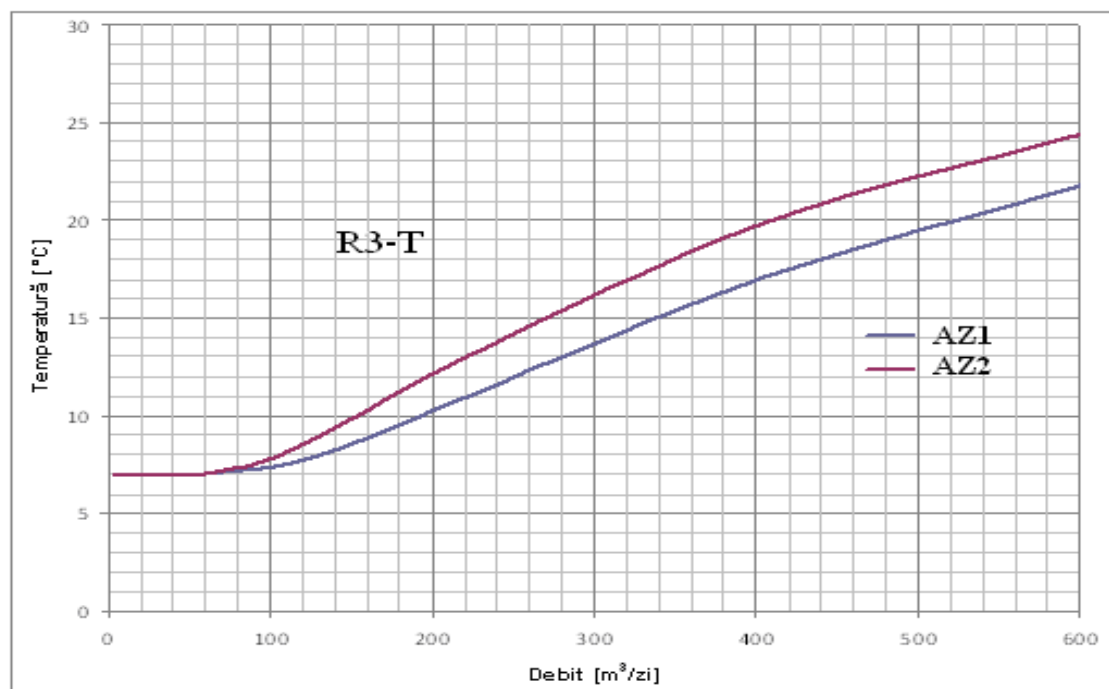
10. Varianta R3-T. Rația gaze-țiței $R3=350 \text{ m}^3\text{G/m}^3\text{l}$ pentru AZ1, respectiv AZ2

Fig. 5.11. Varianta R3-T Variația temperaturii amestecului cu debitul

5.3. CONCLUZII

Amestecul bifazic - țiței cu cele 3 rații gaz/lichid și cele 2 conținuturi de apă de zăcământ - poate fi transportat pe conducta de $\varnothing 102,26 \text{ mm}$, în condiții optime (debitul $Q \text{ m}^3/\text{zi}$, presiunea $p \text{ bar}$ și temperatura $T \text{ }^\circ\text{C}$), doar conform parametrilor indicați în tabelul de mai jos.

Tab. 5.11. Parametri optimi de pompare

	$R1 = 136 \text{ m}^3\text{G/m}^3\text{l}$			$R2 = 250 \text{ m}^3\text{G/m}^3\text{l}$			$R3 = 350 \text{ m}^3\text{G/m}^3\text{l}$		
	Q	p	T	Q	p	T	Q	p	T
AZ 15%	225,0	63,09	11,1	225,0	63,6	11,8	158,6	62,48	11,1
AZ 40%	225,0	49,46	13,2	158,6	49,1	10,6	119,8	49,56	9,1

a. Influența conținutului de apă de zăcământ în amestec: Creșterea conținutului de apă conduce la scăderea debitului optim, a presiunii de pompare precum și a temperaturii amestecului la depozit, indiferent de rația gaz/lichid..

b. Influența rației gaz/lichid: Creșterea rației gaz-lichid nu afectează presiunea de pompare, dar produce diminuarea debitelor optime de transport, precum și a temperaturii amestecului la depozit, indiferent de conținutul de apă de zăcământ.

Capitolul nr. 6

SIMULAREA TRANSPORTULUI PRODUCȚIEI SONDEI NR. 1017 (ȚITEI-GAZE+APĂ DE ZĂCĂMÂNT) LA PARCUL NR. 4 BUSTUCHINI

6.1. GENERALITĂȚI

6.1.1. Filozofia simulării

a. Producția sondei. Este prezentată în teză.

b. Modelul termodinamic de simulare. Modelul termodinamic de simulare ales: modelul termodinamic „Peng-Robinson”

c. Scopul simulării: 1. Variația presiunii și respectiv a temperaturii în lungul conductei; 2. Variația vitezei lichidului și respectiv a vaporilor în lungul conductei; 3. Variația fracției lichid și respectiv a fracției gaze în lungul conductei; 4. Numerele Reynolds pentru cele două fracții.

6.1.2. Date de bază pentru simulare

a. Pentru fracția gazoasă (gazele de sondă) Sunt prezentați parametri de bază, Buletinul de analiză cu compoziția gazelor.

b. Pentru țiței. Sunt prezentați parametri de bază, Buletinul de analiză, Curba de distilare,

c. Pentru apa de zăcământ. Sunt prezentați parametri de bază și Buletinul de analiză

d. Pentru conducta de amestec. Sunt prezentați parametri de bază, Profilul elevației.

e. Schemă conductă de amestec

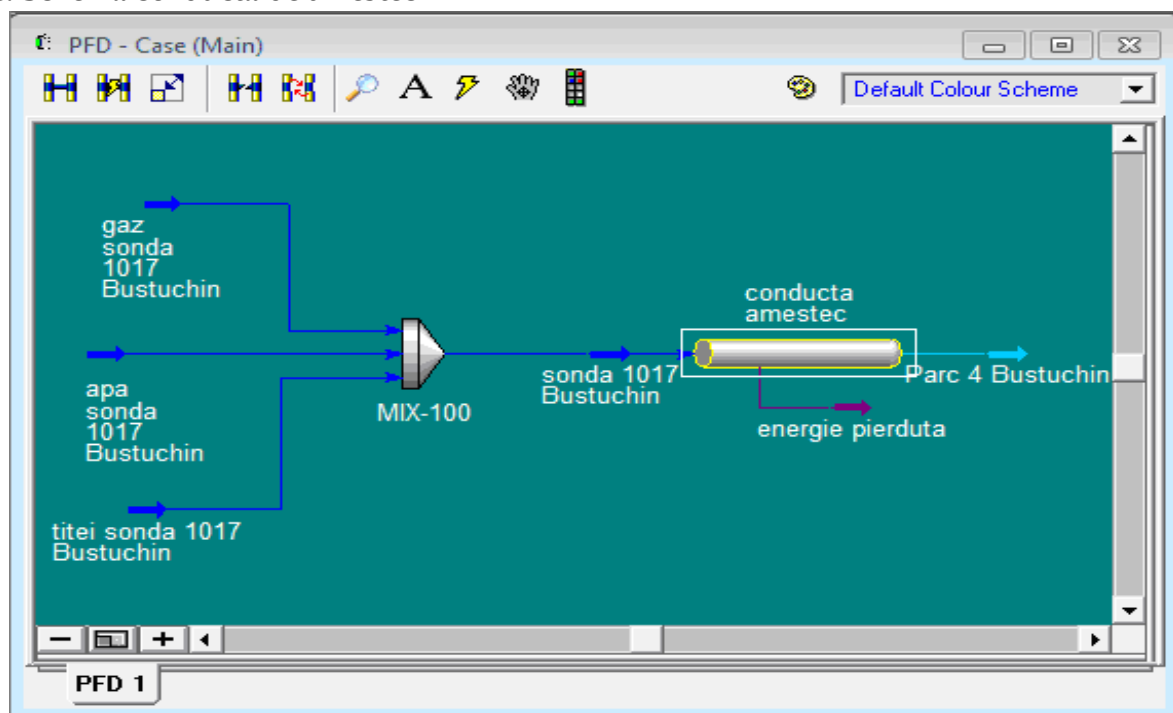


Fig. 6.7. Introducere schemă conductă de amestec

6.2. REZULTATELE SIMULĂRII

Rularea programului pentru datele precizate pentru **simularea transportului producției sondei nr. 1017 (țiței-gaze+apă de zăcământ) la parcul nr. 4 Bustuchini** pe o conductă de 4 in cu lungimea de 2.478 m, a condus, mai întâi la următoarea interfață pe care sunt afișate, sintetic, rezultatele simulării.

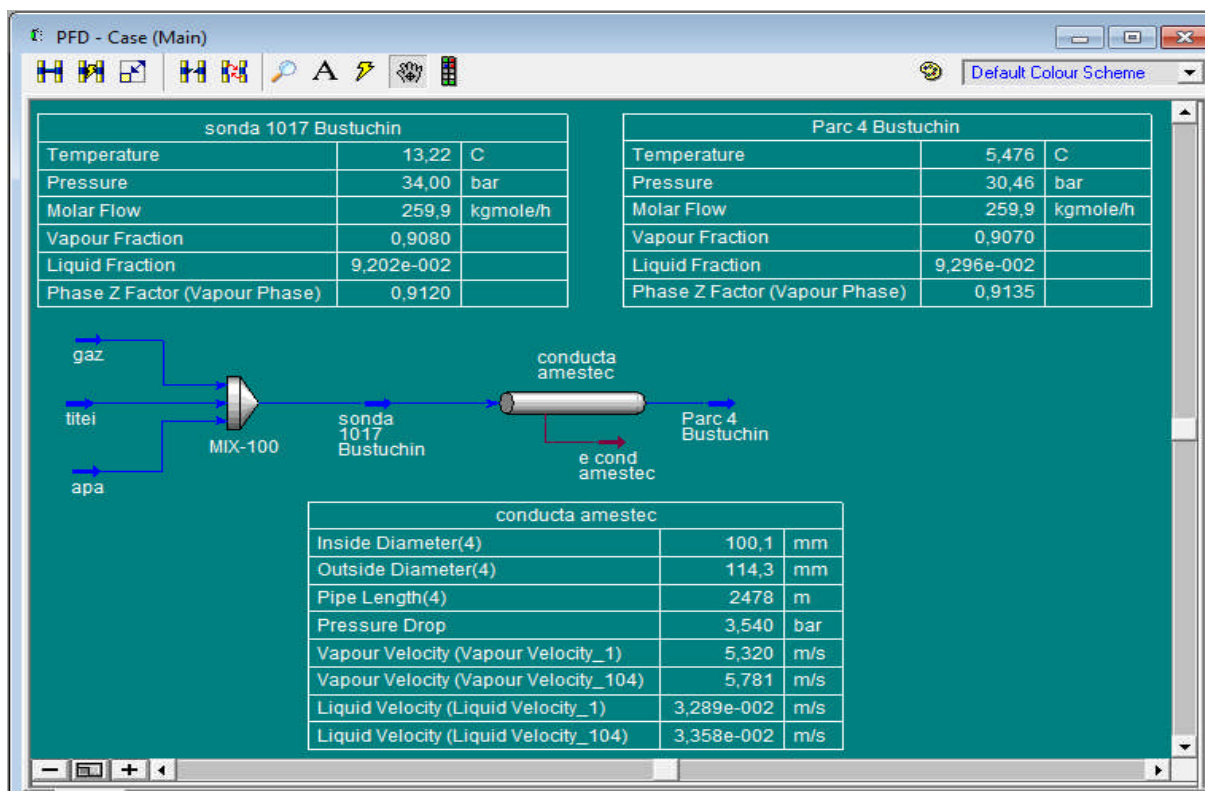


Fig. 6.8. Interfața cu rezultatele simulării transportului

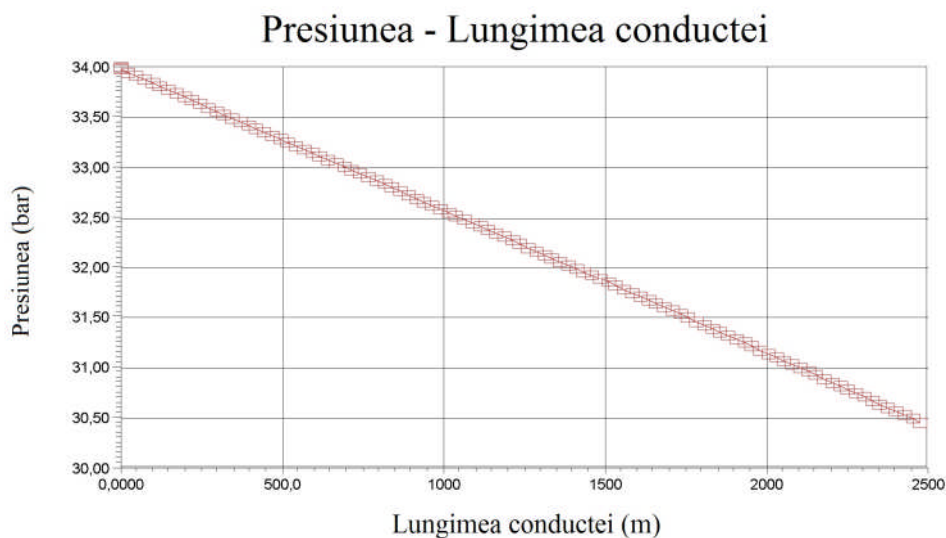


Fig. 6.9. Variația presiunii în lungul conductei

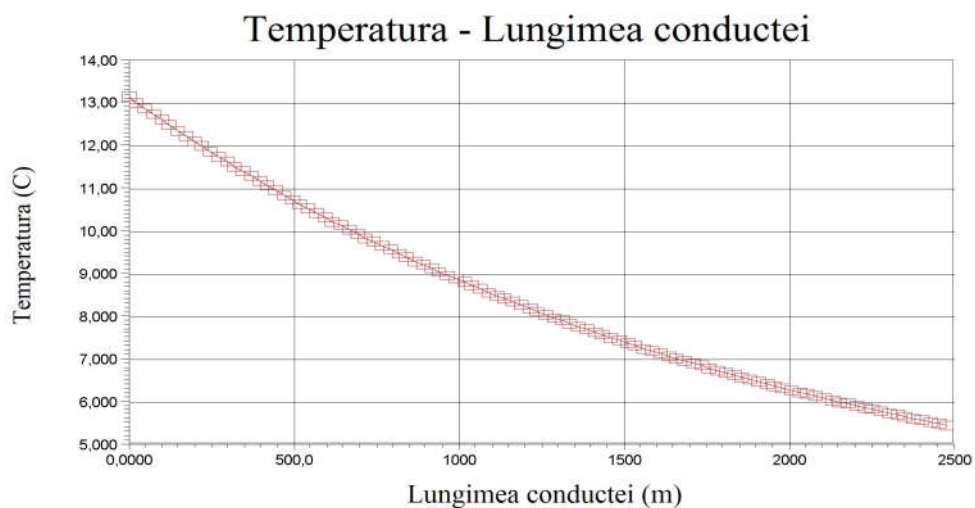


Fig. 6.10. Variația temperaturii în lungul conductei

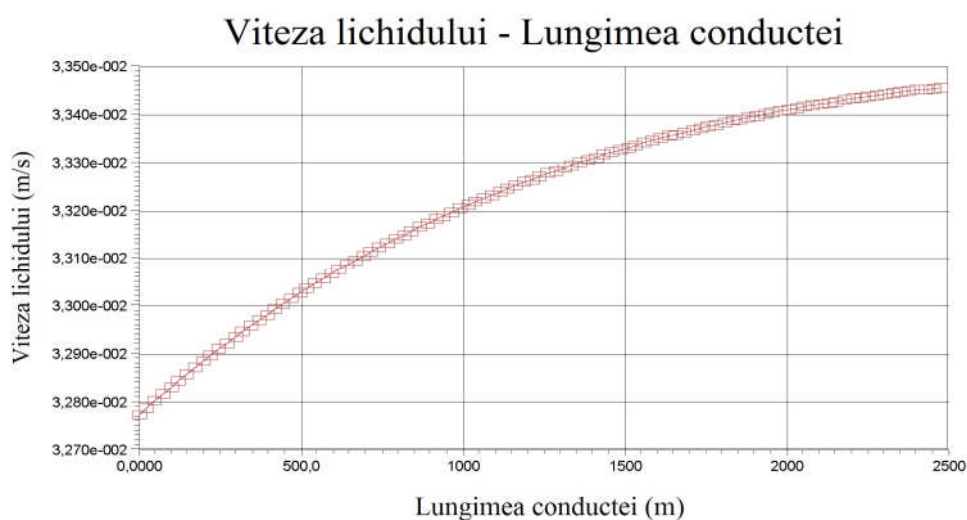


Fig. 6.11. Variația vitezei lichidului în lungul conductei

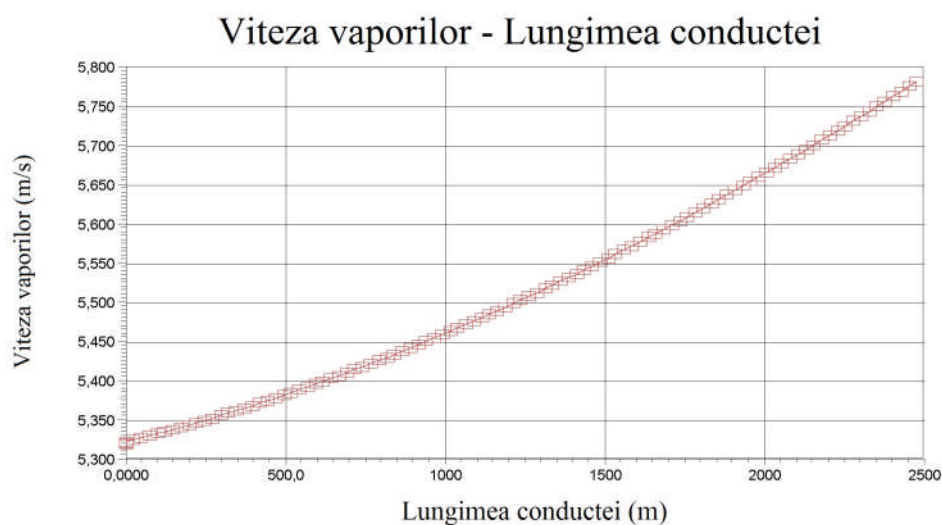


Fig. 6.12. Variația vitezei vaporilor în lungul conductei

Se poate observa că presiunea și temperatura au alurile clasice caracteristice fluidelor monofazice, presiunea scăzând datorită pierderii energiei prin frecare, iar temperatura datorită diminuării interacțiunii termice cu solul mai rece.

S-au măsurat valorile de la parc ale presiunii și temperaturii amestecului. Presiunea măsurată a fost de 30 bar (față de 30,46 bar), iar temperatura de 5 °C (față de 5,46 °C).

Variația vitezei lichidului este crescătoare, dar această creștere este nesemnificativă, de la 32 mm/s până la 33,45 mm/s, însemnând 4,5%. De asemenea și viteza gazelor prezintă o creștere (superioară, așa cum este normal, celei lichide), dar nici această creștere nu este semnificativă, de la 5,3 m/s la 5,78 m/s, adică 9%. Diferențele mici pot fi explicate pe seama lungimii reduse a conductei de amestec.

Capitolul nr. 7

VERIFICĂRI EXPERIMENTALE ALE TRANSPORTULUI AMESTECURILOR ÎN FIELDURI

7.1. Cazul I. SIMULAREA TRANSPORTULUI AMESTECULUI ȚIȚEI +APĂ DE ZĂCĂMÂNT PE O CONDUCTĂ DE 6 IN LUNGĂ DE 11.176 M

7.1.1. Date de bază

1. Debite de fluide

Amestecul de țiței cu apă de zăcământ ce face obiectul simulării este caracterizat prin:

- Frația lichidă: $405 \text{ m}^3/\text{zi}$ din care Apă de zăcământ: 40 % și Țiței:60 %

2. Conducta de amestec. $\varnothing 168,3 \times 11 \text{ mm} \times 11.176 \text{ m}$;

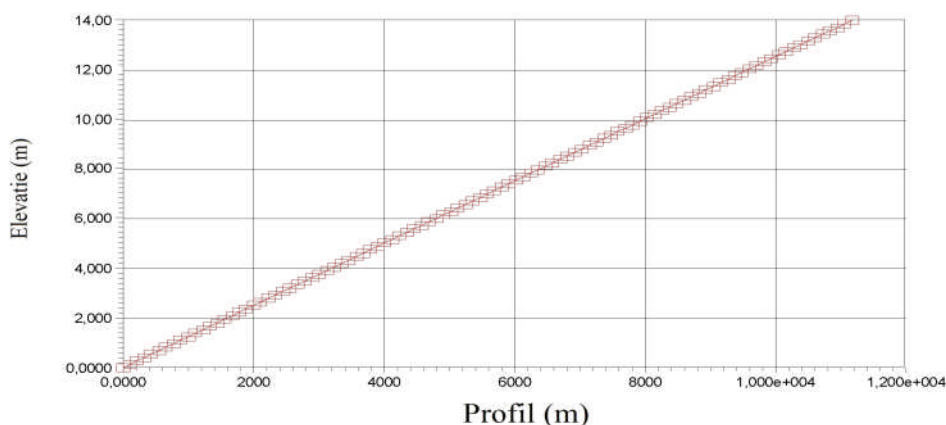


Fig. 7.2. Profil elevație conductă (I)

4. Schemă conductă de amestec

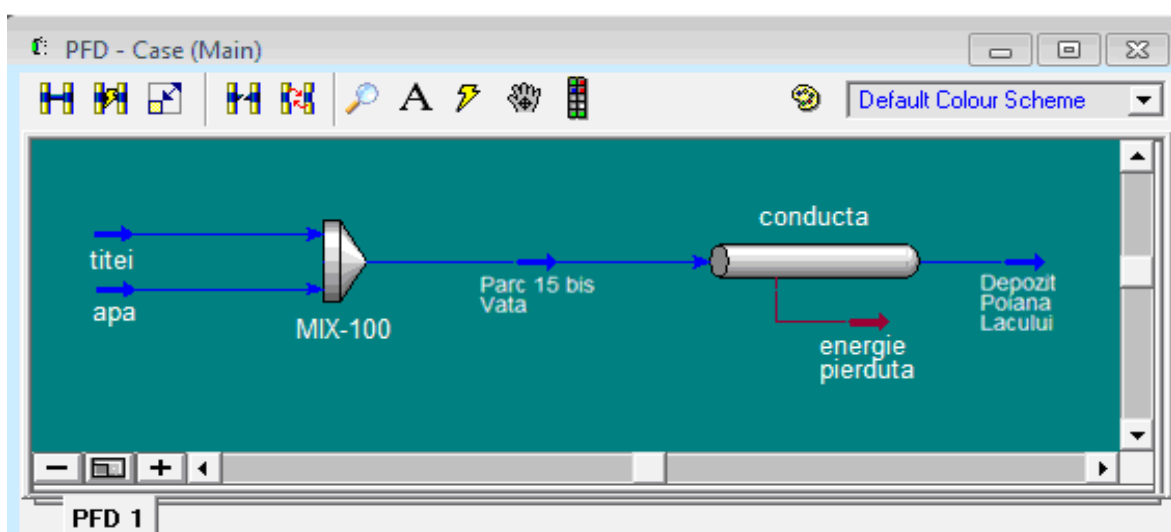


Fig. 7.3. Introducere schemă conductă de amestec (I)

7.1.2. Rezultatele simulării

Rularea programului pentru datele precizate pentru **simularea transportului amestecului țiței +apă de zăcământ pe o conductă de 6 in lungă de 11,117 km** a condus, mai întâi la următoarea interfață pe care sunt afișate, sintetic, rezultatele simulării.

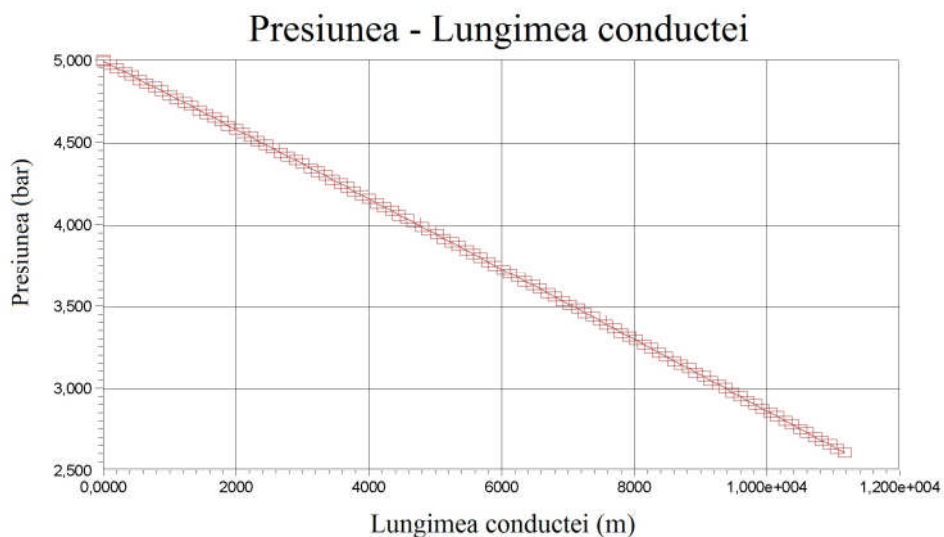


Fig. 7.5. Variația presiunii în lungul conductei (I)

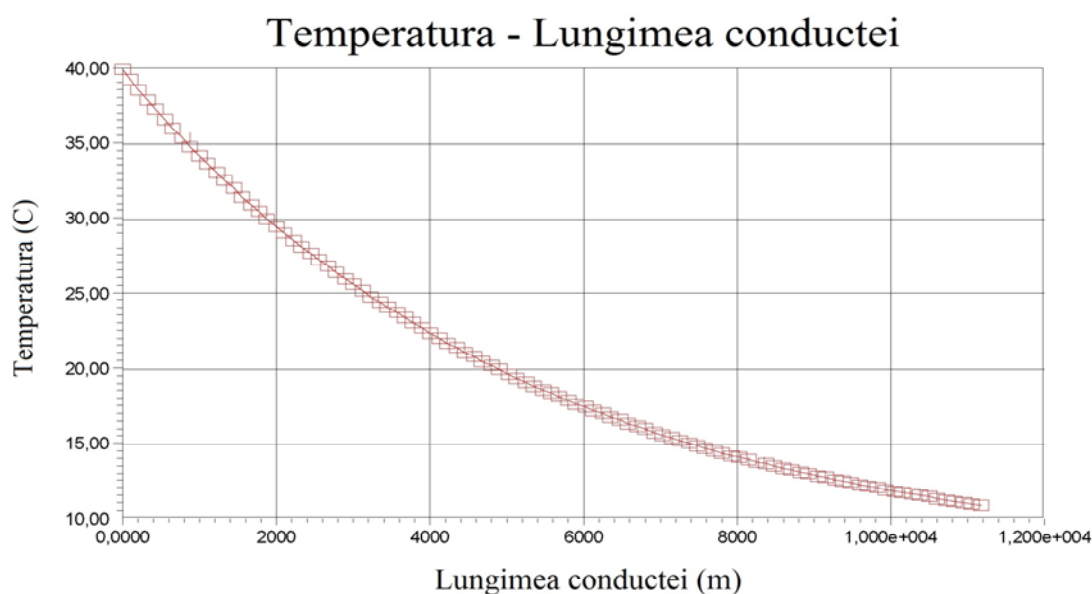


Fig. 7.6. Variația temperaturii amestecului în lungul conductei (I)

S-au măsurat cei 2 parametri principali ai procesului de transport a amestecului la intrarea acestuia în Depozit. Rezultatele măsurătorilor au fost:

- Presiunea amestecului 2,5 bar față de 2,609 bar, rezultatul simulării
- Temperatura amestecului 10 °C față de 10,92 °C, rezultatul simulării

Se poate trage concluzia că simularea este corectă.

7.2. Cazul II. SIMULAREA TRANSPORTULUI AMESTECULUI ȚITEI-GAZE+APĂ DE ZĂCĂMÂNT PE O CONDUCTĂ DE 4 IN DE 15.000 M

7.2.1. Date de bază

1. Debite de fluide

Amestecul de țiței, apă și gaze ce face obiectul simulării este caracterizat prin: Frația lichidă: 225 m³/zi, din care Apă de zăcământ: 40 %, Țiței:65 % și Gaze 250 Nm³/ m³l.

2. Conducta de amestec. Ø 114,3x7,1 mm; l= 15.000 m, Δh=270 m.

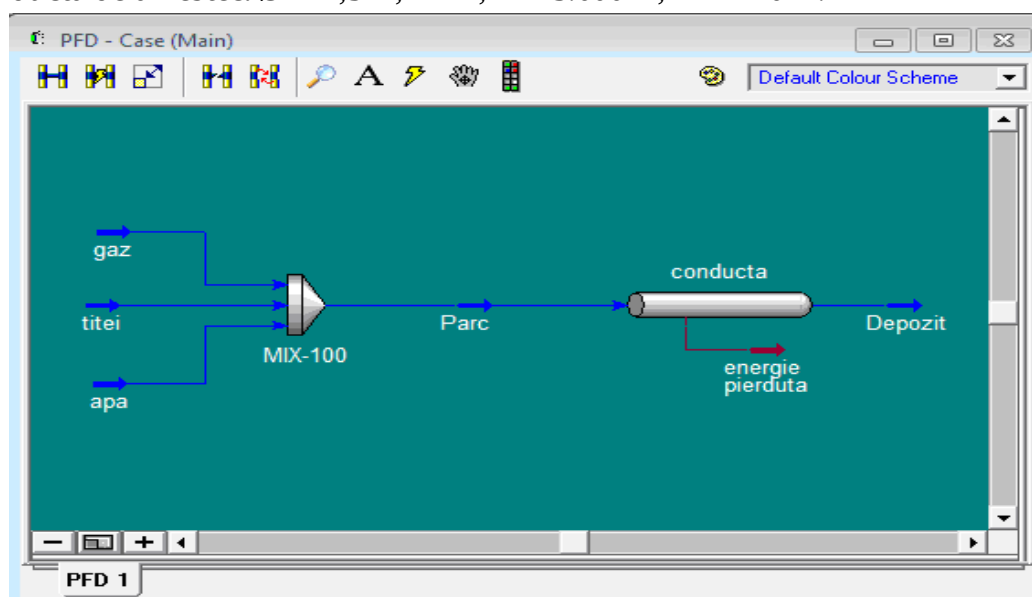


Fig. 7.9. Introducere schemă conductă de amestec (II)

7.2.2. Rezultatele simulării

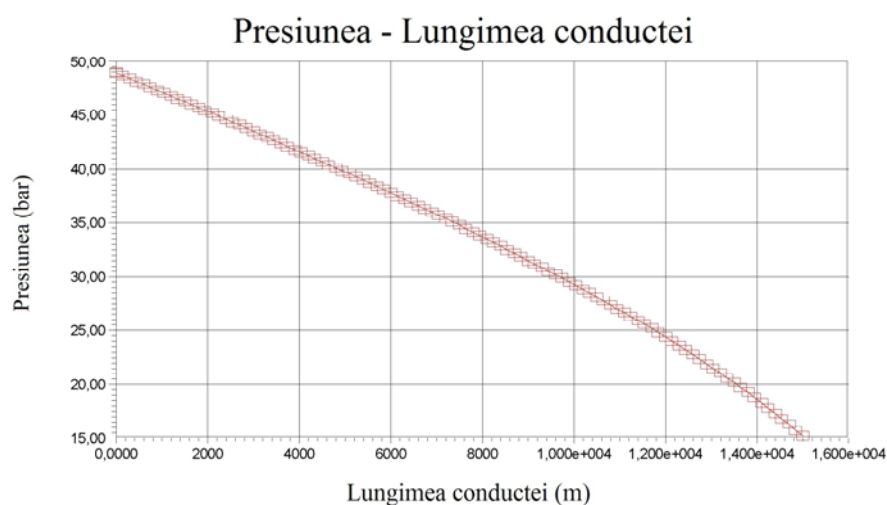


Fig. 7.11. Variația presiunii în lungul conductei (II)

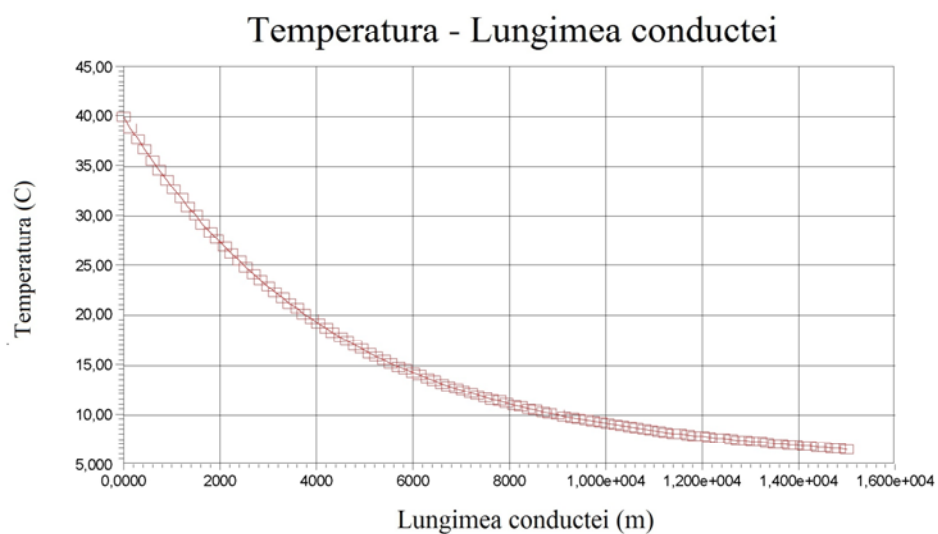


Fig. 7.12. Variația temperaturii în lungul conductei (II)

S-au măsurat cei 2 parametri principali ai procesului de transport a amestecului la intrarea acestuia în Depozit. Rezultatele măsurărilor au fost:

- Presiunea amestecului 15 bar față de 15,44 bar, rezultatul simulării
- Temperatura amestecului 6 °C față de 6,53 °C, rezultatul simulării

Se poate trage concluzia că simularea este corectă.

CONCLUZII

Prin problematica abordată în teza de doctorat, aceasta se înscrie în preocupările majore vizând studiul fenomenelor termo și hidrodinamice care însoțesc mișcarea fluidelor prin conductele de transport din fieldurile petroliere.

Astfel, în capitolul 1, intitulat **Noțiuni generale privind transportul prin conducte al petrolului** sunt prezentate principalele proprietăți al petrolului brut prin conductele de amestec, insistându-se asupra corelațiilor studiate de predecesori.

În capitolul 2, intitulat **Modelarea matematică a transportului fluidelor bifazice** sunt prezentate principalele metode consacrate de calcul proprietăți al petrolului brut prin conductele de amestec, începând cu metoda Beggs și Brill, cea mai veche. Sunt prezentate și alte metode de calcul a căderii de presiune în curgerea bifazică, în primul rand *Modelul omogen aplicat pentru curgerea bifazică în conducte* și apoi *Modele de curgere separată pentru curgerea bifazică în conducte*. În final se prezintă comparația metodelor de mai sus cu baze de date recente.

În capitolul 3, intitulat **Calculul termic și hidraulic al conductelor** sunt prezentate metodele clasice de calcul termic și hidraulic al mișcării petrolului brut prin conductele de amestec. În elaborarea acestor metode se acceptă pentru proprietățile fazelor valori medii, neținându-se seamă de interacțiunea fazelor pe parcursul mișcării.

În capitolul 4, intitulat **Studiul procesului de transport a amestecului țiței –apă de zăcământ de la parcul 15 bis Vața la depozitul Poiana Lacului** este abordată problema optimizării transportului unui amestec de țiței cu 3 conținuturi de apă de zăcământ pe un traseu definit cu o conductă –din 3 disponibile- prin stabilirea debitului și presiunii optime de pompare la parc, impunându-se presiunea la depozit. S-au conceput 9 scenarii de lucru și s-au studiat mai întâi variația presiunii de pompare la parc a amestecului și a temperaturii la depozit a acestuia, apoi influența apei de zăcământ asupra performanțelor hidraulice ale conductelor și în final influența apei de zăcământ asupra comportării termodinamice a conductelor.

În capitolul 5, intitulat **Studiul procesului de transport a amestecului țiței –gaze + apă de zăcământ de la parcul Valea lui Dan la depozit** este abordată problema transportului unui amestec de țiței cu gaze 3 rații gaz/lichid și 2 conținuturi de apă de zăcământ pe un traseu definit cu o conductă de 4 in. urmărindu-se stabilirea debitului și presiunii optime de pompare la parc. S-au conceput 6 scenarii de lucru și s-a studiat mai întâi comportarea hidrodinamică a conductei prin influența conținutului de apă de zăcământ și respectiv a rației gaz-lichid și apoi comportarea termodinamică a conductei prin aceleași influențe.

În capitolul 6, intitulat **Simularea transportului producției sondei nr. 1017 (țiței-gaze+apă de zăcământ) la parcul nr. 4 Bustuchini** este abordată problema transportului unui amestec de țiței cu gaze și apă de zăcământ (cunoscut în detaliu prin analize) pe un traseu definit cu o conductă Dn 100 cu lungimea de 15 km cu o presiune de pompare impusă. Simularea are scopul cunoașterii variației presiunii și temperaturii în lungul conductei, a vitezei lichidului și respectiv a vaporilor, precum și a fracției lichid și respectiv a fracției gaze în lungul conductei.

În capitolul 7, intitulat **Verificări experimentale ale transportului amestecurilor în fieldurile petroliere** au fost luate în considerație două cazuri: cazul I. Simularea transportului amestecului țiței+apă de zăcământ pe o conductă Dn 150 lungă de 11.176 m și respectiv cazul II. Simularea transportului amestecului țiței-gaze+apă de zăcământ pe o conductă Dn 100 lungă de

15.000 m. Simulările s-au făcut în același mod cu cel descris în capitolul anterior. Verificările experimentale au condus la valori apropiate ale presiunii și respectiv temperaturii, validându-se din punct de vedere științific studiile.

Principala concluzie la care a ajuns autorul tezei este că studiul mișcării bifazice prin conductele de transport din fieldurile de petrol are o importanță esențială în conducerea operațiilor de exploatare a fieldurilor, dar este deosebit de complicată și nu poate fi abordată fără instrumente moderne de calcul și programare de ultimă generație.

CONTRIBUȚII ȘTIINȚIFICE ALE AUTORULUI

1-O abordare sintetică a **metodelor de calcul** a conductelor de transport bifazic țitei-gaze +apă de zăcământ urmărindu-se aspectele hidraulic și respectiv ternodinamic.

2-O prezentare sintetică a **corelațiilor** dintre parametri specifici procesului de transport bifazic, corelații care stau la baza modelării mișcării fluidelor prin conductele de amestec.

3.-Adaptarea **unor programe** complexe de calcul, specifice simulărilor proceselor din fieldurile petroliere (elaborate de firme specializate de prestigiu) pentru studiul fenomenelor termo și hidrodinamice caracteristice curgerii fluidelor bifazice prin conducte.

4-Conceperea unor **scenarii de lucru** în vederea simulării diverselor procese de transport bifazic prin diverse conducte și în condiții impuse, punând în evidență influențele fracțiilor de gaze precum și a conținuturile de apă de zăcământ, specifice.

5-**Analiza rezultatelor** simulărilor în scopul obținerii condițiilor optime de transport bifazic prin conductele din fielduri.

6-**Generalizarea rezultatelor** obținute prin simulări în vederea elaborării unei strategii privind exploatarea sistemelor de transport bifazic din fieldurile de petrol.

DIRECȚII NOI DE CERCETARE

Consider că în acest domeniu, cercetarea ar trebui să fie canalizată în continuare pe următoarele două direcții:

- În primul rând pe direcția studierii și asimilării programelor moderne, deosebit de complexe, ultra performante, pentru simulări ale exploatării sistemelor de conducte de transport bifazic. Dinamica actuală a producțiilor sondelor de petrol și gaze, limitările impuse de legislație, precum și alte condiții specifice, fac absolut necesară cunoașterea profundă a facilităților unor astfel de programe, pentru ca acestea să devină instrumente obișnuite la dispoziția operatorilor.
- În al doilea rând pe direcția dezvoltării unor softuri noi, valoroase dar mai simple, care să permită realizarea unor simulări rapide, in situ, a proceselor de transport prin conducte în fieldurile de petrol.

BIBLIOGRAFIE

1. **Albulescu, M.**, *Mecanica fluidelor*, Editura Universitatii Petrol-Gaze Ploiești, 2004
2. **Ames, W.F.**, *Nonlinear Partial Differential Equations in Engineering*, Academic Press, New York, London, 1965
3. **Applied Flow Tehnology**-AFT Fathom 9, *Applied Flow Tehnology Corporation*, U.S.A.
4. **Baehr, H., D.**, - *Thermodynamik*, Springer – Verlag, Berlin, 1992
5. **Beggs, H. D., and Brill, J. P.**, (1973). *A study of two-phase flow in inclined pipes*.
6. **Beggs, H.D. and Robinson, J.R.** *Estimating the Viscosity of Crude Oil Sistems*, J. Petr. Tehn, Sept 1975, 1140
7. **Bulau, L.** – *Colectarea, trasnsportul si depozitarea titeiului si gazelor*, - Institutul de Petrol si Gaze, Ploiesti, 1978
8. **Byron Bird R., W. Stewart, E. Light-Foot**, - *Transport phenomena*, John Wiley and Sons, New York, London, 1960, p91,102-192
9. **Cernea, A.R., Dobrinescu, D., Fagarasanu, I., Covaci, A.**, - *Termotehnica*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1969
10. **Collatz, L.**, *The Numerical Tratment of Differential Equations*. Springer Verlag, Berlin, Gottingen, Heidelberg, 1959
11. **Coloja M., Popescu Corneliu.** *Extracția țițeiului și gazelor asociate* Editura Tehnică, 1993
12. **Cretu, I.**- *Hidraulica generala si subterana*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1983
13. **Cretu, I., Soare, Al., si altii** – *Probleme de hidraulica* – Editura Tehnica, Bucuresti, 1972
14. **Crețu I, Stan. Al.D.**, *Transportul fluidelor prin conducte*, Editura Tehnică, București, 1985
15. **Cristescu Tudora** – *Termotehnica* – Editura Universitatii Petrol-Gaze din Ploiesti 2009
16. **Cristescu, Tudora.**, - *Termotehnica*, - Editura Universitatii din Ploiesti, 2004
17. **Cristescu, Tudora, Patarlageanu, Marcela.**, - *Termodinamica- Teorie si aplicatii*, vol.I, Editura Universitatii din Ploiesti, 2000
18. **Dobrinescu, D. Bulau, L.** – *Contributii la calculul termic al conductelor ingropate*, - Institutul de Petrol si Gaze, 20, 2, 1969
19. **Draghici, N. M.**- *Conducte pentru transportul fluidelor*, Editura Tehnica, Bucuresti 1977
20. **Dinu Florinel**, *Extracția gazelor naturale*. Editura Universității Petrol-Gaze sin Ploiești, 2000
21. **Dobrovicescu, Al., Baran, N., Chisacof, Al., Petrescu, S., Vasilescu, E., Isvoranu, D., Costea, M., Petre, C., Motorga, A.**, - *Bazele termodinamicii tehnice*, vol.I., Editura Politehnica Press

22. **Florescu Severino Cosmin** *Stadiul actual privind colectarea, transportul și depozitarea fluidelor în fielduri* Referatul nr. 1 la teza de doctorat, UPG Ploiești
23. **Florescu Severino Cosmin**. *Cercetări teoretice și experimentale privind fenomenele termo și hidrodinamice caracteristice colectării, transportului și depozitării fluidelor în fielduri* Referatul nr. 2 la teza de doctorat, UPG Ploiești
24. **Florescu Severino Cosmin** *Modelarea, simularea și analiza numerică a fenomenelor termo și hidrodinamice caracteristice colectării, transportului și depozitării fluidelor în fielduri* Referatul nr. 3 la teza de doctorat, UPG Ploiești
25. **Florescu Severino Cosmin**. *Colectarea, transportul și depozitarea fluidelor în fieldurile petroliere* Proiect de cercetare științifică. UPG Ploiești
26. **Florescu Severino Cosmin**. **Albulescu M., Stoianovici Doru, Trifan Tiberiu Florin**, *Over the transport of the crude oil – formation water mixture in the oil fields* , Buletinul U.P.G. Ploiesti, sub tipar
27. **Florescu Severino Cosmin**, **Albulescu M., Stoianovici Doru, Trifan Tiberiu Florin**, *The study of the influence of the formation water content over the hydraulic performances of transport pipelines in the oil fields* Buletinul U.P.G. Ploiesti, sub tipar
28. **Florescu Severino Cosmin**. **Albulescu M., Stoianovici Doru, Trifan Tiberiu Florin**, *The study of the influence of the biphasic composition over the hydraulic performances of the transport pipeline* , Buletinul U.P.G. Ploiesti, sub tipar
29. **Glasso, O** *Generalized pressure-Volume-Temperature Corelations*, J.P.T. May 1980
30. **Govier, G. W. Aziz K.**, *The flow of complex mixtures in pipes*, Van Nostrand Reinolds Comp. 1972
31. **Halliday D, Resnick R.**, *Fizica, vol. I*, Editura didactică și pedagogică, București, 1975
32. **Holman. J.P.**, *Thermodynamics*, McGraw Hill Book Comp. New York 1974
33. **Isalski, H., W.**, *Separation of Gaseses* – Oxford Science Publication, Oxford, 1989
34. **Krillin V.A., V.V. Sacev, Șeindlin A.E.**, *Termodinamica*, Editura științifică și enciclopedică București 1985
35. **Landau L.**, *Mecanique de fluides*, Editions Mir Moscow 1971
36. **Leonachescu, N.**, *-Termotehnica*, -Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1981
37. **Lee B.I., Kesler M.G.**, (1973) "A Generalized Thermodynamic Correlation Based on Three-Parameter Corresponding States"
38. **Manolescu, G. Soare El.**, *Fizico-chimia zăcămintelor de hidrocarburi*, Editura didactică și pedagogică București 1981
39. **Madarasan, T., Balan, M.**, - *Termodinamica Tehnica*, Ed. Sincron, Cluj-Napoca, 1999
40. **Manescu, M., Florescu, M., Soare, Al., si altii** – *Modelarea si simularea asistata de calculator in industria petroliera* – Editura Tehnica, Bucuresti, 1986
41. **Marinescu, M., Chisacof, Al., Raducanu, P., Motorga, A.**, - *Bazele termodinamicii tehnice*,

vol.2, Editura Politehnica Press, Bucuresti, 2009

42. **Mirescu, Tanase**, - *Contributii la transportul titeiurilor vascoase si/sau congelabile* – Teza de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze, Ploiesti, 1994
43. **Mohd Kamaruddin Abn Hamid HYSYS**, *An introduction to Chemical Engineering Simulation*
44. **Moody F.J.**, *Introduction to unsteady thermofluid mechanics*, John-Wiley sons 1990
45. **Neacșu, S.**, *Termodinamica sistemelor tehnice*, Editura Universității din Ploiești, 2003
46. **Oroveanu, T., Stan, Al.**, - *Transportul, distributia si depozitarea produselor petroliere* – Institutul de Petrol si Gaze , Ploiesti , 1981
47. **Oroveanu, T., Soare, Al., Trifan, C.**, - *Asupra unor probleme nestationare in conductele pentru lichide* – Conferinta Masini hidraulice si hidrodinamica, Timisoara, sept. 1995
48. **Oroveanu Teodor** – *Hidraulica si transportul produselor petroliere* – Editura didactica si pedagogica –Bucuresti 1966
49. **Oroveanu, T., Stan, AL., Talle, V.** – *Transportul petrolului*, Editura Tehnica, Bucuresti 1985
50. **Oroveanu, T. David, V., Stan, AL., Trifan, C.** – *Colectarea, transportul, depozitarea si distributia produselor petroliere si gazelor*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1985
51. **Pavloski, N. Stan Al. D., Ionescu Gh.**, *O noua teorie privind transportul bifazic prin conducte*, Rev. Romana de Gaze, nr. 4/2000
52. **Peng, D. -Y. and Robinson, D. B. (1976).** *A New Two-Constant Equation of State*, Ind.Eng. Chem. Fundam., 15, 59-64.108
53. **Peng, D. -Y. and Robinson, D. B. (1977).** *A Rigorous Method for Predicting the Critical Properties of Multicomponent Systems from an Equation of State*, AIChE J., 23, 137-144.
54. **Petrescu, S., Petrescu, V.**, - *Principiile termodinamicii* -Editura Tehnica Bucuresti, 1983
55. **Pipe Flow expert 2009**, PipeFkow.co.uk
56. **Radulescu, A.G.**, - *Proprietatile titeiurilor Romanesti* – Editura Academiei, Bucuresti, 1974
57. **Soare, Al.** – *Transportul si depozitarea fluidelor*- Editura Universitatii din Ploiesti 2002
58. **Soare Al, Stratula Costica** – *Transportul si depozitarea fluidelor* – Editura Universitatii din Ploiesti 2002
59. **Soare, Al.** – *Hidraulica generala si subterana*, Editura Didactica si Pedagogica , Bucuresti 1981
60. **Soare, Al., Papadopoulou, M., Bratu, C-tin** – *Un algoritm de calcul complet pentru transportul neizoterm al lichidelor prin conducte*, -Buletin U.P.G. Ploiesti, Vol.XLVII-L, nr.3, 1995-1998

61. **Soo. S.L.**, *Multiphase Fluid Dynamics*, Science Press Beijing Gower Technical 1990
62. **Stan Al. D., Oancea. F.**, *Considerații teoretice privind transportul unui sistem gaz-lichid în faze separate*, Mine, Petrol și Gaze Nr.9/1984
63. **Stan,AL., Cretu, I.** – *Transportul fluidelor prin conducte*, - Editura Tehnica, Bucuresti 1984
64. **Stefănescu D., Marinescu M., Ganea I.**, *Termogazodinamica tehnică*. Editura Tehnică București 1986
65. **Patarlageanu Marcela, Cristescu Teodora** – *Termotehnica*, Editura Universitatii din Ploiesti, 2000
66. **Trifan C., Albulescu M., Neacșu S.**, *Elemente de mecanica fluidelor și termodinamică tehnică*, Editura U.P.G.Ploiești 2005
67. **Trifan, C., Albulescu, M.**, - *Hidraulica, transportul și depozitarea produselor petroliere și gazelor*, Editura Tehnică, București 1999
68. **Trifan, C., Cristescu, T.** – *Calculul temperaturii si presiunii in conductele de transport*. Lucrarile Conferintei nationale de energetica, Bucuresti 1983
69. **Tuma J.**, *Engineering Mathematics Handbook*. 3th Edition McGraw Hill Book Comp. New York 1987
70. **Upp E.L.**, *Fluid Flow*-Gulf Publishing Comp. New York 1993
71. **Well Performance Analysys**, PSG/IHS Energy Group, Richardson
72. *, *C-MOLD Referance Manual*
73. **, *Managementul calității și asigurarea calității*, Colecție de standarde, Ed.Tehnică, București, 1996
74. ***, *Manualul inginerului termotehnician*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1986
75. ****, *IHS Energy Group*
76. ******HYSYS Chemical Engineering Simulation*
77. ******INTERNET*

DOCTORAL THESIS SUMMARY

Contributions to the study of thermal and hydrodynamic phenomena, characteristic to fluid flow in oilfields

By the topic approached in the PhD thesis, it comes within the scope of the major concerns regarding the study of thermal and hydrodynamic phenomena accompanying the fluid flow through transportation pipelines in oilfields.

Thus, in chapter 1, entitled **General considerations on oil pipeline transport** the author presents the main properties of the crude oil through the admixture pipelines, with an emphasis on the correlations studied by predecessors.

In chapter 2, entitled **Mathematic modeling of two-phase fluids transport** the author presents the main consecrated calculation methods of the crude oil properties through the admixture pipelines, starting with the Beggs and Brill method, which is the oldest one. Other methods of calculation of the pressure loss in two-phase flow are presented, starting with the *Homogenous model applied for two-phase flow in pipelines*. The end of the chapter is a comparison of the above mentioned methods to recent data bases.

In chapter 3, entitled **Thermal and hydraulic calculation of pipelines** the author presents the classical methods of thermal and hydraulic calculation of the crude oil flow through the admixture pipelines. Average values are accepted for the phase properties, in the elaboration of these methods, notwithstanding the interaction of phases during the flow.

In chapter 4, entitled **The study of the oil – formation water admixture process in Park 15 bis Vața, Poiana Lacului deposit**, the author approaches the optimization of the transport of an oil admixture with 3 contents of formation water on a defined route with a pipeline – of 3 available –by the establishment of the output and the optimal pumping pressure to the park, the pressure to the deposit being imposed. 9 working scenarios were set up and the variations of the admixture pumping pressure to the park and its temperature at the deposit were studied, followed by the influence of the formation water upon the hydraulic performances of the pipelines and, finally, the influence of the formation water upon the thermodynamic behavior of pipelines.

In chapter 5, entitled **The study of the transport process of the oil – gas + formation water admixture from the Park Valea lui Dan to the deposit**, the transportation of an oil-gas admixture with 3 gas-liquid ratios and 2 contents of formation water on a defined route is approached on a 4 in. pipeline, the purpose being the establishment of the output and the optimal pumping pressure to the park. 6 working scenarios were set up and the first study was on the hydrodynamic behavior of the pipeline by the influence of the formation water and of the gas-liquid ratio respectively, followed by the thermodynamic behavior of the pipeline.

In chapter 6, entitled **Transport simulation for the delivery of the well no. 1017 (oil-gas+formation water) to Park no. 4 Bustuchini**, the transport of an oil-gas and formation

water admixture (known in detail by analyses) is approached on a defined route, with a 4 in. 15 km long pipeline, with a required pumping pressure. The simulation has the purpose of knowing the variations in pressure and temperature along the pipeline, the liquid and vapors speed, as well as the liquid fraction and the gas fraction respectively along the pipeline.

In chapter 7, entitled **Experimental verifications of the admixtures' transport in oilfields** two cases were taken into consideration: case I. Simulation of the transport of an oil+formation water admixture on a 6 in. 11,176 m long pipeline and case II respectively. Simulation of the transport of an oil-gas+formation water admixture on a 4 in. 15,000 m long pipeline. The simulations were performed the same way as in the previous chapter. The experimental verifications led to close values of the pressure and temperature, the studies being validated scientifically.

The main conclusion of the author of this thesis is that the study of the two-phase flow through transport pipelines in oilfields has an essential significance in conducting the oilfields' exploitation operations but, at the same time, it is extremely complicated and cannot be approached without state-of-art calculation and programming tools.

The author considers that the main scientific contributions of this thesis to the topic approached are:

- 1-A synthetic approach of the **calculation methods** of the two-phase transport pipelines for oil-gas+formation water, with a follow-up on the hydraulic and thermodynamic aspects.
- 2-A synthetic presentation of the **correlations** between parameters specific to the two-phase transport process, correlations which are at the basis of the modeling of the fluid flow through the admixture pipelines.
- 3.-The adaptation of certain complex calculation **programs**, specific to the simulations of oilfield processes (elaborated by prestigious specialized companies) for the study of thermal and hydrodynamic phenomena, characteristic for two-phase fluids flow through pipelines.
- 4-The conceiving of **working scenarios** for the simulation of various two-phase transport processes through different pipelines under required conditions, highlighting the influences of gas fractions as well as of the specific formation water contents.
- 5-**The analysis of the results** of the simulations with the purpose of obtaining optimal conditions for the two-phase transport through oilfields pipelines.
- 6-**Generalization of the results** obtained by simulations with a purpose of elaborating a strategy regarding the exploitation of the two-phase transport systems in oilfields.

The author considers that the research in this field should be focused firstly on the direction of studying and assimilating modern programs, very complex, of high performance, for simulations of the exploitation of two-phase transport pipeline systems. The current dynamic of the oil and gas wells delivery, the limitations imposed by the legislation, as well as other specific conditions, make it absolutely necessary to know in detail the facilities of such programs, for they could become ordinary tools, available for operators.