

Teză de abilitare

TEMA:

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR
CE ÎNSOȚESC MIȘCAREA FLUIDELOR
PRIN CONDUCTE**

Rezumat

CUPRINS

pag

1. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL ȚIȚEIURILOR ȘI PRODUSELOR PETROLIERE PRIN CONDUCTE

A. Prezentarea țițeiurilor românești	2
B. Caracteristicile țițeiurilor vâscoase și comportarea reologică a acestora	4
C. Proprietățile reologice ale țițeiurilor vâscoase	6
D. Transportul țițeiurilor vâscoase prin conducte	7
E. Metode de transport	7

2. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL GAZELOR NATURALE PRIN CONDUCTE

A. Transportul gazelor naturale	9
B. Studiul pierderilor în transportul gazelor naturale	9

3. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL BIFAZIC PRIN CONDUCTELE DE AMESTEC

A. Aspecte teoretice implicate în transportul bifazic	15
B. Studii de caz	
1. Conducta de transport țiței de la parc la depozit	16
2. Conducta de amestec de la sondă la parc	21

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	22
-------------------------------------	----

REZUMAT

Teza de abilitare are titlul *Contribuții la studiul fenomenelor ce însoțesc mișcarea fluidelor prin conducte* și conține cercetările efectuate de mine în cele trei direcții de aplicabilitate și anume: transportul țițeiurilor și produselor petroliere prin conducte, transportul gazelor naturale prin conducte și respectiv transportul bifazic prin conductele de amestec.

Pentru fiecare din aceste direcții de cercetare prezint în continuare, în rezumat, rezultatele cercetărilor mele.

1. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL ȚIȚEIURILOR ȘI PRODUSELOR PETROLIERE PRIN CONDUCTE

A. Prezentarea țițeiurilor românești

România ca și țară producătoare de țiței exploatează prin OMV PETROM o serie de zăcămintele de petrol și gaze. Capacitate maximă de extracție este de 5.000.000 tone (gazolină, țiței, condensat), prelucrabile în rafinăria PETROBRAZI cu o capacitate actuală de 4.300.000 tone cu posibilități de extindere la 5.000.000 de tone.

În urma clasificării după compoziția chimică s-au determinat clasele de hidrocarburi din fracția ce distilă între 250°C și 300°C, cantitatea de parafină din uleiuri și conținutul de asfalt (Tabelul II.1).

Tabel II.1— Clasificarea țițeiurilor după compoziția chimică, %

Clase de țiței	Compoziția % a fracției 250-330 °C			Conținut % de:	
	Parafine	Naftene	Aromate	Parafină	Asfalt
parafinic	46-61	22-32	12-23	1,5-10	0-6
parafinic-naftenic	42-45	38-39	16-20	1,0-6	0-6
naftenic	15-26	61-76	8-15	urme	0-6
parafinic-naftenic-aromatic	27-35	36-47	26-33	0.5-1	0-10
aromatic	0-8	57-78	20-25	0,0-0,5	0-20

Analizând densitatea țițeiurilor (care în cazul țițeiurilor de aceeași natură și proveniență poate indica și conținutul în fracțiuni ușoare) și corelând două sau mai multe proprietăți fizice (bazate pe factorul de caracterizare, indicele de vâscozitate, raportul dintre masa moleculară și densitate, etc.) se realizează un sistem de clasificare bazat pe clase de

hidrocarburi ce ia în calcul proprietățile fizice ale țițeiurilor și fracțiilor petroliere (Tabelul II.2).

Tabel II.2 Clasificarea țițeiurilor pe baza celor două fracțiuni cheie

Clasa	Densitatea fracțiunii cheie $D_{15,6}^{15,6}$		Caracteristicile țițeiului după fracțiunea		Simbol
	I	II	I	II	
1	<0,825	<0,875	Parafinic	Parafinic	PP
2		0,876-0,943		Intermediar	PI
3		>0,944		Naftenic	PN
4	0,826-0,860	<0,875	Intermediar	Parafinic	IP
5		0,876-0,943		Intermediar	II
6		>0,944		Naftenic	IN
7	>0,861	<0,875	Naftenic	Parafinic	NP
8		0,876-0,943		Intermediar	NI
9		>0,944		Naftenic	NN

Una dintre cele mai complete metode de clasificare este metoda „Carpatică”

Tabelul II.3— Clasele de țițeiuri în clasificarea „Carpatică”

Clasa	Denumirea claselor de țițeiuri	Caractere chimice esențiale ale claselor de hidrocarburi
I	Parafinice	$C_p^t \geq 72$
II	Parafin – naftenice	$C_p^t \geq 50; C_p^t + C_N^t \geq 90$
II	Parafin – aromatice	$C_p^t \geq 50; C_p^t + C_A^t \geq 90$
IV	Parafin – naften – aromatice	$C_p^t \geq 50; C_N^t > C_A^t, C_A^t > 10$
V	Parafin – aromato – naftenice	$C_p^t \geq 50; C_A^t > C_N^t, C_N^t > 10$
VI	Naften – aromatice	$C_p^t < 50; C_N^t > C_A^t$
VII	Aromato – naftenice	$C_p^t < 50; C_A^t > C_N^t$

În tabelul 4 sunt indicate limitele pentru indicii de calitate.

Tabelul II.4— Date care definesc grupele de țițeiuri .

Caractere de calitate	Limite pentru indicii de calitate
Neceros	$c < 2\%$
Ceros	$c \geq 2\%$
Puțin rășinos	$r < 2\%$
Rășinos	$10\% \leq r < 25\%$
Asfaltos	$r \geq 25\%$

Nesulfuros	$s < 0.5\%$
Sulfuros	$s \geq 0.5\%$

Clasificarea realizată de Creangă și denumită metoda „Carpatică” s-a aplicat țițeiurilor românești la ora actuală fiind prezente trei clase de țițeiuri: asfaltoase sau neparafinoase – tip A; semiparafinoase – tip B; parafinoase – tip C.

Analizând țițeiurile din Romania se constată că există posibilitatea de a clasifica acestea pe baza randamentul de produse albe obținut în urma prelucrării fiecărei categorii:

- A1 - (24.3%) Greu, fără parafină, < 60% ”produse albe”
- A2 - (16.5%) Greu, fără parafină, > 60% ” produse albe”
- B - (8.4%) Țiței semi-parafinos
- C1 - (17.9%) Țiței parafinos, < 65% ” produse albe”
- C2 - (30.9%) Țiței parafinos, > 65 % ” produse albe”

Analizând calitatea țițeiurilor și condițiile de pompabilitate a acestora prin conductele CONPET (temperatura de congelare mai mică cu 7 grade decât temperatura solului și vâscozitatea de maximum 100 cSt) se observă: țițeiurile de tip C au punct de congelare ridicat și cantitate mare de produse albe și țițeiurile de tip A au vâscozitatea mare și cantitate mare de produse grele la rafinare. Deci pentru transportul țițeiurilor sunt necesare crearea unor amestecuri prin: diluarea cu produse ce au vâscozitate mică, care să reducă vâscozitatea țițeiurilor de tip A, sau prin diluarea cu produse ce au punct de congelare mic, care să reducă punctul de congelare a țițeiurilor de tip C.

În cazul în care acești diluanți nu sunt prezenți în câmpurile petroliere, sau pentru a nu afecta calitatea țițeiurilor și deci a produselor de rafinare (deoarece pentru diluarea țițeiurilor se utilizează de obicei motorină sau benzină care nu este conformă sau alte țițeiuri cu proprietăți diferite-amestecuri de tip blend) este necesară crearea unor aditivi petrolieri.

Acești aditivi sunt polimerii sau alți agenți chimici, care modifică precipitarea cristalelor de parafină din soluție, printr-unul din următoarele mecanisme:

- modificatorul iese din soluție la o temperatură puțin mai mare decât temperatura de echilibru a soluției de parafină;
- modificatorul iese din soluție la o temperatură de echilibru a soluției de parafină și co-cristalizează cu parafina;
- modificatorul iese din soluție la o temperatură puțin mai mică decât temperatura de echilibru a soluției de parafină și se absoarbe pe cristalele de parafină.

Modificatorul prezent în soluție, acționând printr-unul din mecanismele de mai sus, tinde să mențină moleculele de parafină ca entități separate, prin reducerea forțelor de coeziune dintre cristale și a forțelor de adeziune dintre cristalele de parafină și alte suprafețe.

B. Caracteristicile țițeiurilor vâscoase și comportarea reologică a acestora

Extracția țițeiurilor vâscoase a început în anul 1967. Încă de la darea în folosință a acestor zăcămintele s-au utilizat ca metode de extracție:

- emulsionarea țițeiurilor în sondă prin introducerea unor soluții polimerice,
- extracția țițeiurilor prin dezlocuire cu CO₂,
- extracție cu ajutorul emulsiilor de tip apă în țiței (apă în ulei).

În acest moment datorită scăderii producției extracția țițeiurilor din sondă se face prin utilizarea soluțiilor polimerice. Dar scăderea producției a dus și la apariția emulsiilor de tip țiței în apă (ulei în apă), aceste emulsii fiind tratate în depozitele din apropierea zăcămintelor, iar apa de zăcământ fiind repompată pentru a asigura dezlocuirea țițeiurilor. În anul 2018 s-a efectuat o analiză a țițeiurilor, proprietățile acestor țițeiuri fiind:

Tabelul II.8. Calitatea țițeiurilor din zonă

Loc recoltare	Calitate	Densitate 15°C	Vâscozitate, cSt					Temp. cong.°C
			10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	
Ileana	A3	0,9407		582,27	263,14	137,36	77,64	-21
Poeni	A3 Sel.	0,9252		260,64	119,63	74,65	45,30	-40
Poeni	A3Nes+BRest	0,8651		11,91	8,04	6,25	5,10	-17
Roata	A3 Sel.	0,9027		44,64	27,38	18,16	12,80	-45

Variația vâscozității cinematice cu temperatura a țițeiurilor studiate este prezentată în figura următoare.

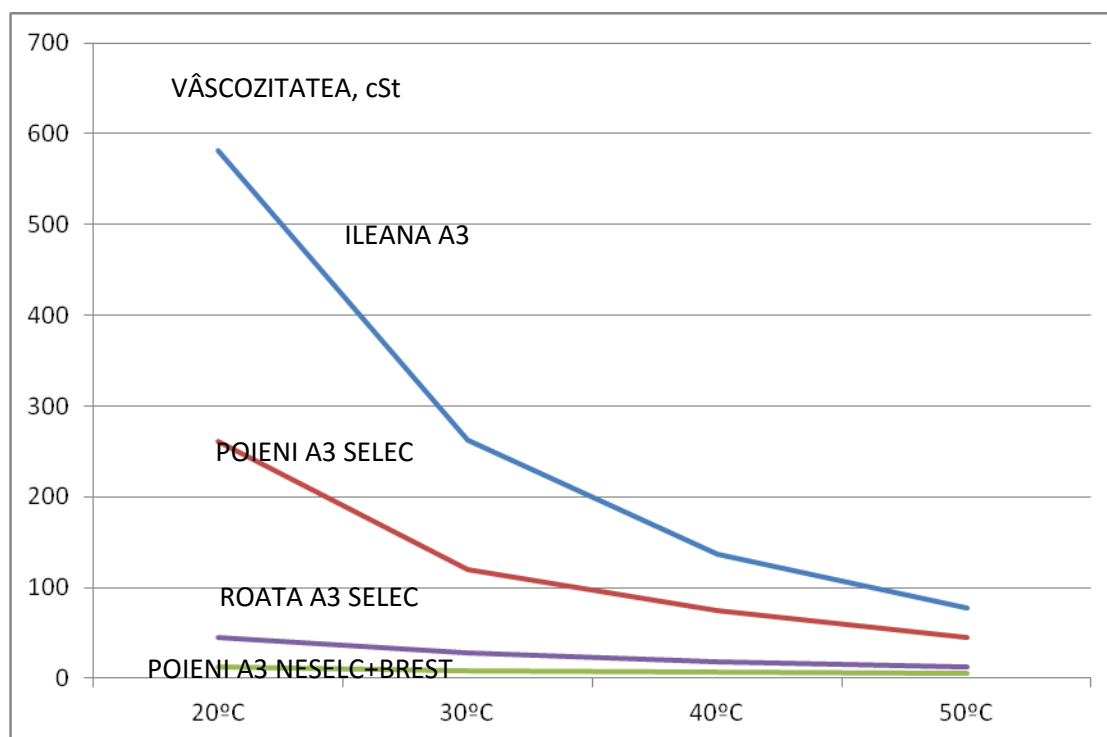


Figura II.2. Variația vâscozității cinematice cu temperatura a țițeiurilor

Pentru a se observa cum influențează temperatura țițeiului (considerându-se constantă pe lungimea conductei) asupra consumurilor energetice s-a efectuat o simulare pentru un debit constant de 200 mc/zi și temperaturi de pompare a țițeiului de 20°C, 30°C, 40°C, 50°C. După

cum se observă țițeiurile din bazinul studiat sunt țițeiuri asfaltoase cu un conținut mic de produse albe. De asemenea au punct de congelare scăzut și densitate mare. La ora actuală aceste țițeiuri sunt transportate în loturi (funcție de cantitatea extrasă și de cerințele rafinării Brazi). În aceste condiții consumurile energetice sunt foarte mari.

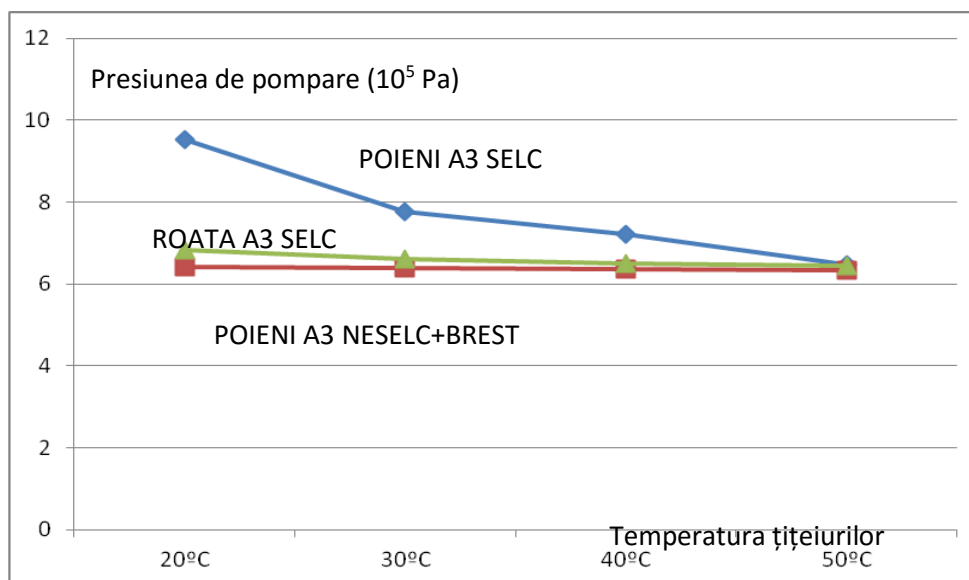


Figura II.3. Presiunea de pompare a țițeiurilor extrase din zona studiată

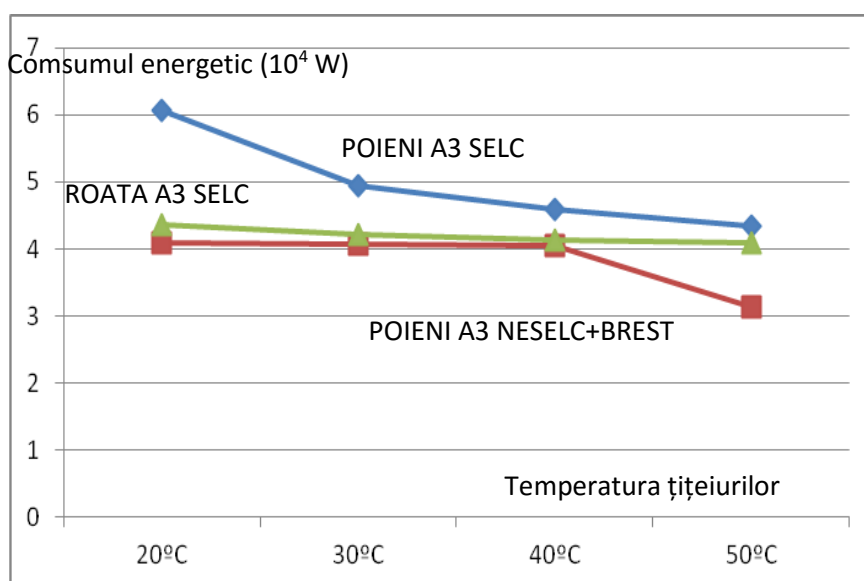


Figura II.4. Consumurile energetice la pomparea țițeiurilor extrase

C. Proprietățile reologice ale țițeiurilor vâscoase

Declinul rezervelor de petrol mediu și ușor precum și scăderea prețului țițeiului face ca exploatarea zăcămintelor grele (asfaltoase) să nu fie rentabile prin metodele clasice (extracția cu solvenți, extracția cu polimeri, combustia subterană). De asemenea transportul țițeiurilor grele și a bitumurilor prin conducte se realizează greu din cauza vâscozității mare a acestora.

Rezervele convenționale de țiței greu sunt estimate la 6 miliarde de barili, Canada, România și Venezuela fiind principalele state care exploatează și transportă prin conducte asemenea țițeiuri. Modul de transport prin conducte al țițeiurilor grele (bituminoase și asfaltoase) se poate realiza astfel:

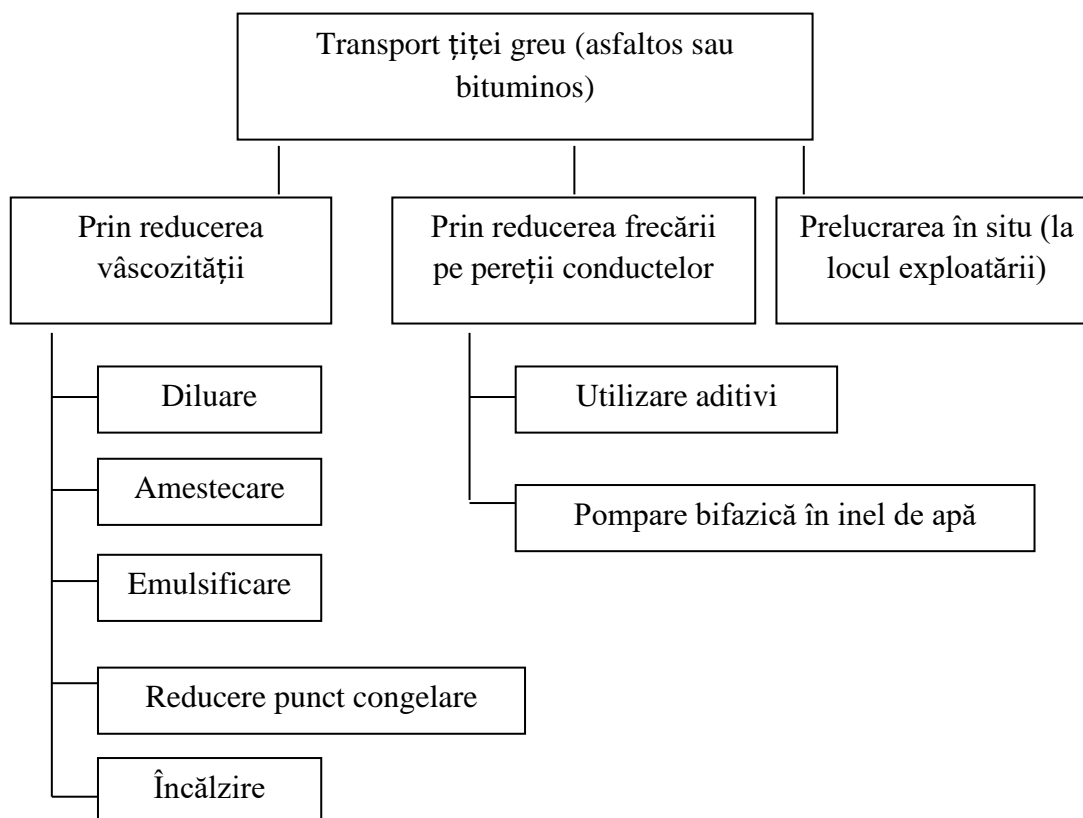


Figura II.6. Modul de prelucrare a țițeiurilor grele în vederea transportului prin conducte

D. Transportul țițeiurilor vâscoase prin conducte

Variația temperaturii în conductă are o influență sensibilă asupra pompării țițeiului sau produselor petroliere. Astfel, vâscozitatea lichidelor variază în sens contrar cu temperatura și o scădere accentuată a acesteia din urmă produce o creștere importantă a vâscozității.

La un țiței vâscos pot apărea, în acest caz, dificultăți mari de transport. De asemenea, unele țițeiuri sau produse petroliere pot ajunge la punctul de congelare atunci când temperatura din conductă scade. În sfârșit, la țițeiurile parafinoase, în unele cazuri apar depuneri de parafină pe pereții conductei, fapt care reduce diametrul interior sau conduce la înfundarea conductei. Din punct de vedere al transportului, faptul că un țiței este congelabil sau nu se apreciază numai în funcție de variația temperaturii solului în care este îngropată conducta. Pentru transportul prin conducte al țițeiului cu vâscozitate mare sau congelabil au fost propuse mai multe procedee, unele utilizate frecvent, altele aflate într-un stadiu incipient.

Metode de transport

1. Transportul cu diluanți

Dificultățile care apar la transportul prin conducte al țiteiului vâscos sau congelabil pot fi înlăturate dacă acesta se pompează după amestecarea cu diluanți. Ca diluant se poate utiliza benzina, petrolul lampant, motorina, condensatul, țiteiul cu vâscozitate mică etc. Prezența diluanților în țitei ameliorează proprietățile de curgere ale acestuia; de asemenea, diluanții reduc considerabil concentrația de parafină din amestec, o parte din aceasta fiind dizolvată în fracțiunile ușoare ale diluanților. S-a mai constatat că, dacă diluantul este un țitei puțin vâscos, unele componente ale acestuia împiedică dezvoltarea cristalelor de parafină.

2. Transportul cu adaosuri

Tot relativ recent a început să fie utilizat și procedeul transportului țiteiului vâscos sau congelabil cu adaosuri. Astfel de adaosuri pot fi utilizate și în alte cazuri. De exemplu, la transportul în regim turbulent al țiteiului puțin vâscos, un adaos de polimeri, cu molecule lungi și rezistente, reduce pierderile prin frecare și prin urmare micșorează căderea de presiune. Trebuie menționat că în regim laminar aceste adaosuri de polimeri nu au efect.

3. Hidrotransportul

Pentru reducerea pierderilor de presiune la transportul prin conducte al țiteiului cu vâscozitate mare, se poate recurge și la transportul împreună cu apă, care se numește hidrotransport. În principiu, acest procedeu se poate realiza în mai multe variante. Prima dintre acestea constă în realizarea unei curgeri concentrice, țiteiul fiind izolat de pereții conductei printr-un inel de apă.

4. Transportul țiteiurilor vâscoase sau congelabile tratate termic

Experimental s-a constatat că prin încălzire până la o anumită temperatură, urmată de răcire, proprietățile de curgere ale țiteiului brut vâscos sau congelabil se ameliorează temporar. Acest procedeu se numește termotrată și comportă încălzirea prealabilă a țiteiului până la o anumită temperatură și răcirea lui cu o anumită viteză. Atât temperatura cât și viteza de răcire depind de proprietățile țiteiului transportat, trebuind să fie stabilite experimental.

5. Transportul la cald

În prezent procedeul cel mai răspândit în practică pentru transportul țiteiului vâscos sau congelabil este pomparea lui după o încălzire prealabilă. Acest procedeu se numește de obicei transportul la cald. Pentru a reduce vâscozitatea sau pentru a evita atingerea temperaturii de congelare în conductă, țiteiul este încălzit înainte de a intra în stația principală de pompare, la o temperatură ce nu depășește 343.16 K pentru a se evita creșterea pierderilor prin evaporare. încălzirea se realizează fie în rezervoare prevăzute cu serpentine prin care circulă un agent cald, de obicei abur, fie cu ajutorul unor schimbătoare de căldură.

6. Decongelarea conductelor și combaterea depunerilor de parafină

Dacă într-o conductă se produce totuși o congelare a lichidului transportat, decongelarea se poate face prin pomparea aceluiași lichid sau a altuia mai puțin congelabil, încălzit în prealabil la temperatura maximă posibilă. Dacă prin congelare s-a astupat conducta complet

se poate încerca desfundarea acesteia prin presiune, cu ajutorul unei pompe cu abur, ridicându-se gradat presiunea până la limita admisibilă care este presiunea de probă a conductei. În felul acesta se poate desfunda numai o conductă scurtă, iar dacă operația trebuie aplicată la o conductă mai lungă trebuie să se procedeze pe tronsoane.

2. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL GAZELOR NATURALE PRIN CONDUCTE

A. Transportul gazelor naturale

România are o industrie gazieră dezvoltată pe baza resurselor proprii, situându-se ca nivel propriu de producție în primele 12 industrii gaziere ale lumii. Dar datorită unei perioade lungi de exploatare (peste 90 ani) se face simțit, ca la orice industrie extractivă, declinul natural de debit și de presiune, fapt pentru care importă în prezent peste 25% din necesarul de consum al gazelor naturale.

Industria gazelor naturale, atât extracția cât și transportul, prezintă o varietate importantă de riscuri pentru lucrătorii din aceste activități (accidente de muncă), pentru populația din localitățile învecinate (accidente majore) și pentru mediul înconjurător.

Procesul de transport al gazelor prin conducte și distribuirea lor către consumatori este supus unor reglementări specifice în toate țările membre ale Uniunii Europene. Legislația în vigoare are drept scop realizarea unor rețele de distribuție dimensionate conform balanței sursă-consum, care să asigure perspectivele de dezvoltare în timp a consumului, furnizarea cu

În România se aplică prevederile normativului NTPEE-2008, „Normativ pentru proiectarea, executarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale”. Din punct de vedere al elementelor tehnologice din cadrul producției, transportului, distribuției și utilizării gazelor naturale, conductele se încadrează în următoarele domenii de presiune:

- presiune înaltă > 6 bar (conducte colectoare, de transport și instalații tehnologice aferente șantierelor de petrol);
- presiune medie, între 2 și 6 bar (sisteme de alimentare cu gaze);
- presiune redusă, între 0,05 și 2 bar (sisteme de alimentare cu gaze);
- presiune joasă $< 0,05$ bar (sisteme de alimentare cu gaze).

B. Studiul pierderilor în transportul gazelor naturale

Transportul gazelor implică anumite particularități față de cel al lichidelor, legate în special de proprietatea gazelor de a fi compresibile, ca reacție secundară rezultând degajarea de căldură. Distribuția gazelor prin conducte se realizează cu ajutorul pompelor pentru gaze. Prelucrarea acestora în diferite procese tehnologice din industria chimică, se face în general la presiuni ridicate față de presiunea atmosferică.

Categoria importantă de pierderi / plusuri se datorează variației parametrilor de stare din

momentul măsurării: p_c - presiunea în situ; t_c - temperatura în situ; p_s - presiunea standard; t_s - temperatura standard. Volumul gazelor livrate către consumator este măsurat cu turbina (contorul) sau diafragma instalată la primitor. Consumul de gaze se face la presiunea p_c și temperatura T_c . Acești parametri pot fi diferiți față de valorile lor de referință p_s respectiv T_s . Pentru țara noastră, starea de referință se caracterizează prin presiunea de 760 mm coloană de mercur ($p_s = 1,01325 \text{ N/m}^2$) și temperatura $T_s = 288,15 \text{ K}$ (15°C). Dacă frecările în lagărele turbinei, respectiv caracteristicile orificiului nu se modifică în timp și se ține seama de variația presiunii p_c și temperaturii T_c din momentul livrării (care pot fi distincte de valorile standard p_s și respectiv T_s) există o variație ΔV_c a volumului de gaze față de volumul standard V_s . Diferența relativă $\Delta V_c / V_s$ are valoarea:

$$\frac{\Delta V_c}{V_s} = \frac{p_s T_c p_c T_s}{p_s T_s} \quad (\text{III.1})$$

Variația de la un punct la altul a presiunii de livrare p_c este mult mai însemnată și se urmărește mult mai greu decât variația temperaturii T_c . De altfel, p_c diferă și în funcție de altitudinea la care este situat consumatorul.

1. Analiza pierderilor cauzate de umiditatea gazelor

Cel mai adesea, gazele dețin în compoziție apă sub formă de vapori, caracterizată prin umiditatea u și exprimată în $\text{kg/m}^3\text{N}$. Umiditatea depinde de presiunea de vapori p_v a apei, de temperatură, de compoziția gazelor, precum și de presiunea p a acestora.

Saturația reprezintă starea mediului gazos în care nu se mai poate evapora o nouă cantitate dintr-un anumit lichid (mărima caracteristică a atins valoare ei maximă). La saturație, conținutul de apă se calculează cu formula:

$$u = \frac{R_g}{R_a} \frac{p_v}{\rho_{gV} (p - p_v)} \quad (\text{III.3})$$

$R_a = 461,3929 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$; - constanta vaporilor de apă, $R_g = 188,6431 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$; constanta gazelor, ρ_{gV} - densitatea gazelor în condiții normale, $\rho_{gV} = 0,7194 \text{ kg/m}^3\text{N}$, iar p_v - presiunea de vapori a apei la presiunea p și temperatura t .

Dacă în volumul de gaze V_{ag} se află volumul de apă lichidă notat apa , fracția de apă a se determină cu formula: $a = apa \cdot V_{gN}$ Dacă măsurarea volumelor de gaze se face prin metoda orificiului, coeficientul de corecție c_a care trebuie aplicat pentru obținerea volumului de gaze curate, se calculează cu relația de mai jos:

$$c_a = \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{\rho_a R_a}{\rho_{gN} R_g}}} \quad (\text{III.5})$$

Calculul pierderilor de gaze datorate refulării apei dintr-o conductă (separator) se efectuează în mod diferit pentru conductele care au presiuni $p_c \leq 1,85 \times 10^5$ Pa (1,85 bar), respectiv pentru cele în care $p_c \geq 1,85 \times 10^5$. În prima situație, dacă $p_c \leq 1,85 \times 10^5$ și se admite că presiunea p_c nu se modifică semnificativ în timpul refulării, volumul de gaze pierdut, exprimat în condiții normale are formula 3.7 de mai jos:

$$V_1 = \frac{c_d f}{\rho_{gN}} \sqrt{\frac{2k p_c^2}{k R_g T} \left[\left(\frac{p_a}{p_c} \right)^{2+k} - \left(\frac{p_a}{p_c} \right)^{(k+1)k} \right]} \quad (\text{III.7})$$

c_d - coeficient de debit; p_a - presiunea atmosferică; p_c - presiunea din conductă (admisa constantă). Secțiunea de curgere f se determină cu formula de mai jos:

$$f = \frac{\pi d^2}{4} - 0,0272L \frac{D^2 \sqrt{Di}}{\sqrt{p_c}} \quad (\text{III.8})$$

d - diametrul interior al refulatorului; L - lungimea separatorului; D - diametrul; i - panta.

Timpu t din ecuație este dat de formula următoare:

$$t = 0,9125 / \sqrt{Di} + 60 \quad (\text{III.9})$$

Coeficientul de debit c_d se determină cu relația de mai jos:

$$c_d = \left(\sqrt{1 + \frac{1}{d} \lambda + \sum_{i=1}^n \zeta_i} \right)^{-1} \quad (\text{III.10})$$

unde l - lungimea ajutorului prin care se scurge gazul, d - diametrul interior al ajutorului, $\sum_{i=1}^n \zeta_i$ - suma tuturor coeficienților de rezistență hidraulică (dacă se produc pierderi locale de presiune pe lungimea l a ajutorului), iar λ - coeficientul de rezistență hidraulică longitudinală.

În cazul separatorului cu $p_c \geq 1,85$ bar, volumul de gaze pierdut se determină cu relația :

$$V_g = \frac{c_d f}{\rho_{gN}} \sqrt{\frac{2k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{2|k-1|} \frac{p^2}{R_g T}} \quad (\text{III.12})$$

unde k - exponentul adiabatic al gazelor (exemplu: $k=1,32$ pentru CH_4)

Conducta are diametrul interior D și lungimea L , presiunea interioară este p_c , iar orificiul are diametrul interior d și coeficientul de debit c_d . Presiunea interioară din conductă

poate fi fata de presiunea de 1.85 bar, in una din relatiile $p_c \geq 1,85$ bar, respectiv $p_c \leq 1,85$ bar. Volumul de gaze pierdut din conducta prin orificii poate fi divizat in volumele V_1 si V_2 . Primul dintre acestea se scurge in perioada de timp $T_N = T_a + T_b$ si este datorat faptului ca presiunea din conducta este mai mare decat presiunea atmosferica p_a . Volumul V_1 exprimat in conditii normale are formula:

$$V_{1gN} = \frac{\pi D^3}{4} L \frac{T_N}{T p_N} \left(\frac{p_c}{Z_t} - \frac{p_a}{Z_0} \right) \quad (\text{III.13})$$

T – temperatura gazelor din conducta; p_N – presiunea de referinta; T_N - temperatura de referinta; Z_t - valoarea factorului de abatere corespunzatoare presiunii p_c ; Z_0 - valoarea factorului de abatere corespunzatoare presiunii p_a . In situatia in care orificiul ramane deschis, volumul V_2 se scurge in mediul ambiant prin tiraj, in timpul T_N . Formula de calcul a acestui volum exprimat in conditii normale :

$$V_{2gN} = \frac{\pi D^2}{4} L \frac{T_N}{T} \frac{p_a}{Z_N} \quad (\text{III.14})$$

unde p_a - presiunea atmosferica la care gazele naturale ajung la momentul inceperii tirajului;

In cazul umplerii unei conducte noi sau repuse in functie se pierde un volum de gaze care depinde de conditiile gazului si aerului suflat din conducta. Conducta care se umple are lungimea L si diametrul interior D . Pentru calcularea volumului de amestec gaze naturale - aer trebuie determinat coeficientul de difuziune $K = 0,2814 v_m D$ unde diametrul interior D se introduce in metri, precum si numarul de difuziune Peclet

$$Pe = v_m L / K \quad (\text{III.19})$$

unde v_m - viteza medie a gazelor care dezlocuiesc aerul din conducta,.

Volumul de amestec V_a dintre gazele naturale si aer poate varia de la 0 la 100%. Volumul de amestec V_a raportat la volumul conductei se calculeaza cu relatia de mai jos:

$$\frac{V_a}{V_b} = \frac{4z}{\sqrt{Pe}} \quad (\text{III.20})$$

unde z – se alege in functie de valorile concentratiilor.

Se considera un orificiu cu sectiunea f si coeficientul de debit c_d . Debitul masic de gaze M scurs prin orificiu se determina cu formula:

$$M = c_d f \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_c \rho_c \left[\left(\frac{p_e}{p_c} \right)^{2k} \left(\frac{p_e}{p_c} \right)^{(k+1)k} \right]} \quad (\text{III.21})$$

pentru $\frac{p_e}{p_c} \geq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)}$. Debitul masic de gaz este maxim si are expresia de mai jos:

$$M_{\max} = c_d f \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_c \rho_c \left[\left(\frac{2}{k-1}\right)^{(k-1)/k}\right]} \quad (\text{III.22})$$

pentru: $0 \leq \frac{p_e}{p_c} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)}$ in care: p_c - presiunea din interiorul recipientului (conductei);
 p_e - presiunea din exteriorul acesteia; ρ_c - densitatea gazului corespunzatoare presiunii p_c .

In situatia in care un defect se afla in apropierea unui canal cu lungimea l_c si sectiunea transversala S_c , se poate efectua un calcul pentru determinarea debitului de gaze pierdut prin canal. Astfel, se calculeaza diametrul echivalent al canalului apoi coeficientul de rezistenta hidraulica longitudinala λ_c . Caderea de presiune dintre capetele canalului cu lungimea l_c este Δp_c , iar viteza medie de scurgere a gazelor are formula:

$$v_c = \sqrt{\frac{2d_c \Delta p_c}{\rho_c l_c \lambda_c}} \quad (\text{III.24})$$

Debitul scurs prin canal in conditii experimentale, va fi:

$$Q_c = v_c S_c \quad (\text{III.25})$$

si se poate exprima in conditii normale utilizand relatia $Q_c p_c = Q_v p_v$

Selectia metodelor si a echipamentelor de masurare, pentru niste cerinte date la cel mai convenabil cost, este o problema complexa care tine cont de mai de mai multe criterii.

Masurarea debitelor de gaze se mai poate realiza cu ajutorul contoarelor care se pot fi de mai multe feluri: a) cu turbina; b) cu pistoane; c) cu ultrasunete. d) de masa; e) cu membrana;

a) Contorul cu turbina este constituit dintr-un segment de conducta cilindrica in a carei sectiune se roteste teoretic fara frecarea elicei (turbinei). Viteza de rotire a elicei este proportionala cu viteza (debitul) fluidului care circula prin segmentul de conducta.

Contoarele cu turbina, numite si de viteza, sunt comode in exploatare, permitand montaje variate, inclusiv cu afisarea indexului la distan'a. Montajul se poate face in orice pozitie, chiar si pe verticala, fiind inasa necesara respectarea sensului de curgere indicat de producator. Fluxul de gaze trebuie sa fie uniform, fiind contraindicata montarea in amonte de contor a unor aprate care ar putea duce la intreruperea curentului de gaze (filtre, regulatoare). Foarte important este faptul ca nu se impune prevederea unor portiuni de conducta rectilinii inainte si dupa contor. In cazul montarii contorului prin intermediul unor reductii, conicitatea nu trebuie sa fie mai mare de 30°.

b) Principiul de functionare al contorului cu pistoane se bazeaza pe umplerea si golirea alternativa a doua spatii semicirculare, prin invartirea in sensuri inverse a doua pistoane in forma de opt. Circulatia gazului antreneaza in rotatie cele doua pistoane. La fiecare rotatie, se

masoara un volum de gaz precis. Aceasta miscare este retransmisa mecanic la un totalizator care masoara numarul turelor si afiseaza direct (in m^3) volumul trecut prin camera de presiune.

c) Contoarele cu ultrasunete (ultrasonice) sunt bazate pe unui sau mai multe semnale ultrasonice care, prin reflexii simple sau succesive, dau masura vitezei medii a fluidului care trece prin sectiunea contorului. Principiul de functionare consta in emiterea/receptionarea unor semnale de la traductori, semnale care sunt perturbate de viteza de curgere a gazelor. Traductorii emit semnale in sensul curgerii gazului cand viteza semnalului este accelerata si in sens invers, curgerii gazelor, cand viteza semnalului este micorata de viteza debitului de gaze. Contoarele cu ultrasunete de ultima generatie pot masura debite bidirectionale si pot sesiza profile distorsionate. Acestea nu introduc caderi de presiune suplimentare altele decat caderile de presiune echivalente proportionate cu lungimea. Acestea nu au parti in miscare si necesita lungiri minime de conducta in amonte. Au un domeniu larg de masurare iar calibrarea lor este simpla si usoara. Aceste debitmetre se folosesc in special pentru masuratori tranzactionale si pentru depozite subterane de gaze.

d) Tot ca metoda de masurare directa o reprezinta si contoarele de masa. Pentru acestea nu sunt necesare corectiile de temperatura si presiune. Principiul de functionare se bazeaza pe convertirea in debit a momentului de rotatie al fluidului care trece prin contor.

Cu ajutorul unui motor electric sincron se antreneaza o turbina prin care trece fluidul care induce acesteia un moment de rotatie. O turbina de masurare absoarbe momentul de rotatie indus cu un cuplu proportional cu debitul de masa. Acest cuplu este transmis unui integrator giroscopic. Printr-un angrenaj de roti dintate se transmite la un indicator debitul in kg al fluidului trecut prin contor.

e) Contoarele cu membrane sunt contoare de tip volumetric, destinate masurarii consumului casnic de gaze naturale. Cele mai folosite sunt de tipul uscat cu membrana, in trei marimi, pentru debitele de 3,6 si 20 m^3/h si sunt prevazute cu mecanism de inregistrare a consumului.

2. Analiza erorilor la măsurarea debitelor de gaze

Pentru a observa diferențele înregistrate pe două tipuri de debitmetre s-au luat în considerare măsurătorile pe o perioadă de o lună la un furnizor de gaze. S-a utilizat două moduri de înregistrare unul acceptat de compania de transport gaze și celălalt de furnizor. Măsurarea cu contor diferențial tip SYSCOM 18, având clasa de precizie de 1 % și cu următoarele caracteristici $H_{\max} = 1500 \text{ mm H}_2\text{O}$ și $p_{\max} = 4 \text{ bar}$. Măsurarea cu contorul rotativ are clasa de precizie 0,2 % la temperaturi de 20°C . Cele două sisteme sunt legate în paralel fiind utilizate pentru determinarea debitului de gaze preluat de către TRANSGAZ de la OMV PETROM. După cum se observă contoarele cu turbină sunt mai bune diferența dintre cele două fiind de 12062 mii m^3 pe lună. Eroarea între cele două sisteme este de 2,03 %, deci OMV ar suporta pierderile dacă ar utiliza sistemul diferențial. De menționat că sistemul diferențial este util pentru măsurarea grosieră și nu pentru măsurarea de livrare a gazelor.

Sistemele de transport gaze naturale sunt dotate cu dispozitivele, aparatură și

personalul necesar preântâmpinării și lichidării unor eventuale incendii provocate de cauze naturale (cutremure, alunecări de teren) sau acțiuni omenești. Față de măsurile adoptate prin proiectare pentru micșorarea riscului tehnic, în faza de exploatare, trebuie să se respecte și măsurile de prevenire, combatere și diminuare a impactului în caz de avarii.

3. CERCETĂRI PRIVIND TRANSPORTUL BIFAZIC PRIN CONDUCTELE DE AMESTEC

A. Aspecte teoretice implicate în transportul bifazic

1. Termodinamica sistemelor bifazice

Conform terminologiei folosite în termodinamică, amestecul de două faze “lichid-vapori” poartă denumirea de vapori umezi, iar vaporii saturați fără lichid sunt denumiți vapori saturați uscați. Așa că vaporii umezi constituie un amestec de lichid saturat și de vapori saturați uscați. Vaporii a căror temperatură este mai mare decât cea de saturație, la o presiune dată, se numesc vapori supraîncălziți.

Pentru a defini univoc starea unui sistem cu două faze este indispensabil să se cunoască raportul care există între masa lichidului și cea a vaporilor lui. Se numește titlul δ al unui amestec de două faze raportul dintre masa vaporilor saturați uscați G_{vap} , conținuți în amestec, și masa totală G a amestecului.

$$\delta = \frac{G_{vap}}{G} = \frac{G_{vap}}{G_{lich} + G_{vap}}, \quad (IV.1)$$

2. Calculul gradientilor de presiune în transportul bifazic

În literatura de specialitate sunt mai multe metode de calcul pentru gradientii de presiune $\Delta p/l$ precum și a celorlalte elemente caracteristice mișcării bifazice. În continuare se prezintă: metoda Lockhart-Martinelli, metoda Brill-Beggs, metoda U.P.G. propusă de către colectivul de Hidraulică, din Departamentul FET al Universității Petrol-Gaze din Ploiești și metoda asimilării fluidului bifazic cu unul monofazic.

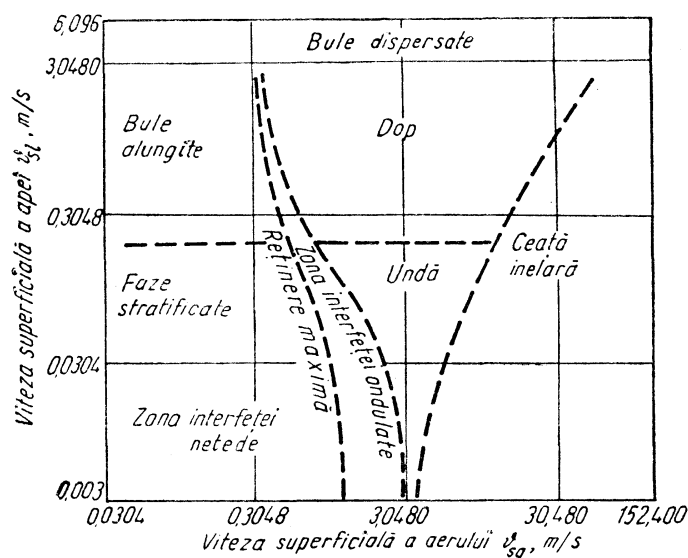


Fig. IV.3. Tipurile de curgeri pentru sistemul aer - apă

3. Metode speciale de calcul a căderii de presiune în curgerea bifazică

1. Metoda lui Friedel. Metoda de corelare a lui **Fridel** (1979) folosește un multiplicator de două faze: $\Delta p_{\text{fict}} = \Delta p_L \Phi_{\text{fr}}^2$ unde Δp_L este calculat pentru faza lichida după cum urmează:

$$\Delta p_L = 4f_L (L/d_i) \dot{m}_{\text{total}}^2 (1/2\rho_L) \quad (\text{IV.82})$$

Această metodă este de obicei recomandată când raportul (μ_L/μ_G) este sub 1000.

2. Metoda lui Chisholm. **Chisholm** (1973) a propus o metodă empirică aplicabilă unei largi benzi de condiții de operare. Gradientul de cadere de presiune de frecare este:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{fict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{\text{Ch}}^2 \quad (\text{IV.90})$$

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

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_L = f_L \frac{2\dot{m}_{\text{total}}^2}{d_i \rho_L} \left(\frac{dp}{dz}\right)_G = f_G \frac{2\dot{m}_{\text{total}}^2}{d_i \rho_G} \quad (\text{IV.92})$$

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

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{fict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{\text{Bf}}^{7/4} \quad (\text{IV.96})$$

4. Metoda lui Chawla. **Chawla** (1967) a sugerat următoarea metodă bazată pe gradientul presiunii de vapori:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{fict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_G \Phi_{\text{Chawla}} \quad (\text{IV.99})$$

B.Sudii de caz

1. CONDUCTA DE TRANSPORT ȚIȚEI DE LA PARC LA DEPOZIT

1. Date de intrare. Țițeiul separat în Parc trebuie pompat la Depozit prin intermediul unei conducte noi. Pentru definirea cerințelor noilor echipamente (separatoare, pompe etc) ce vor fi instalate în parc, este necesar să se efectueze simularea hidraulică pentru această conductă.

Datele de intrare pentru simulare sunt următoarele: Debit pompat: $20 \div 600 \text{ m}^3/\text{zi}$, Temperatura de pompare: $40 \text{ }^\circ\text{C}$, Vîscozitatea / Densitatea Țiței curat, Densitatea apei de zăcământ: 1055 kg/m^3 .

Se vor simula 3 (trei) scenarii: 1: 10 % apă de zăcământ; 2 20 % 3: 40 %. Aceste opțiuni se vor simula pentru 3 (trei) diametre de conducta, lungă de 11176 m: $\text{Ø}1 = 102,26 \text{ mm}$; $\text{Ø}2 = 146,33 \text{ mm}$; $\text{Ø}3 = 202,72 \text{ mm}$, Presiunea la depozitul Poiana Lacului: 2 bar, Temperatura medie a mediului ambiant: 7°C . Grosimea izolației conductei: 3 mm

2. Date de ieșire. Simulările au fost realizate cu ajutorul unui soft de modelare numerică realizat de firma IHS Energy Group. În calcul s-a folosit metoda Beggs și Brill.

Scenariul 1: a. Diametrul conductei: $\text{Ø}1 = 102,26 \text{ mm}$; Conținutul în apă de zăcământ: 10%

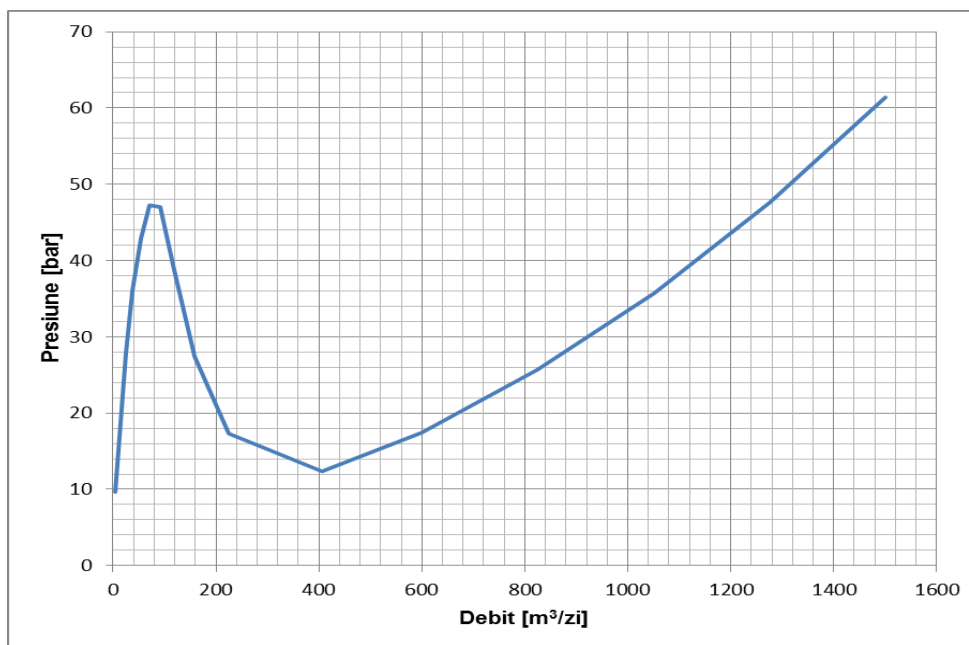


Fig. IV.9. Variația presiunii cu debitul la Depozit

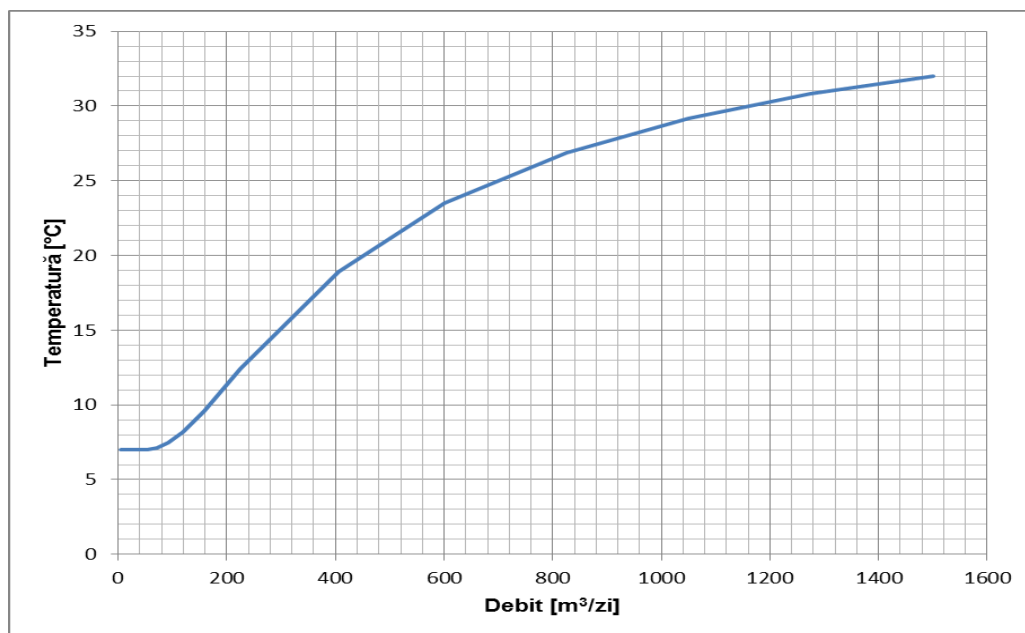


Fig. IV.10. Variația temperaturii cu debitul la Depozit

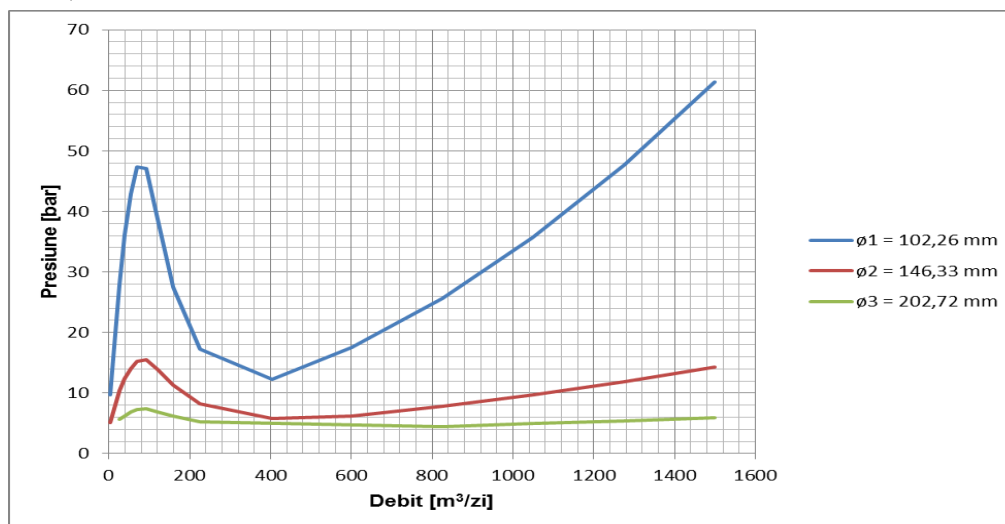
b. Simularea variației presiunii la depozit, pe cele trei diametre alesea) Diametrul conductei: $\varnothing 1 = 102,26$ mm; $\varnothing 2 = 146,33$ mm; $\varnothing 3 = 202,72$ mm.

Fig. IV.27. Variația presiunii la Depozit- I=10%

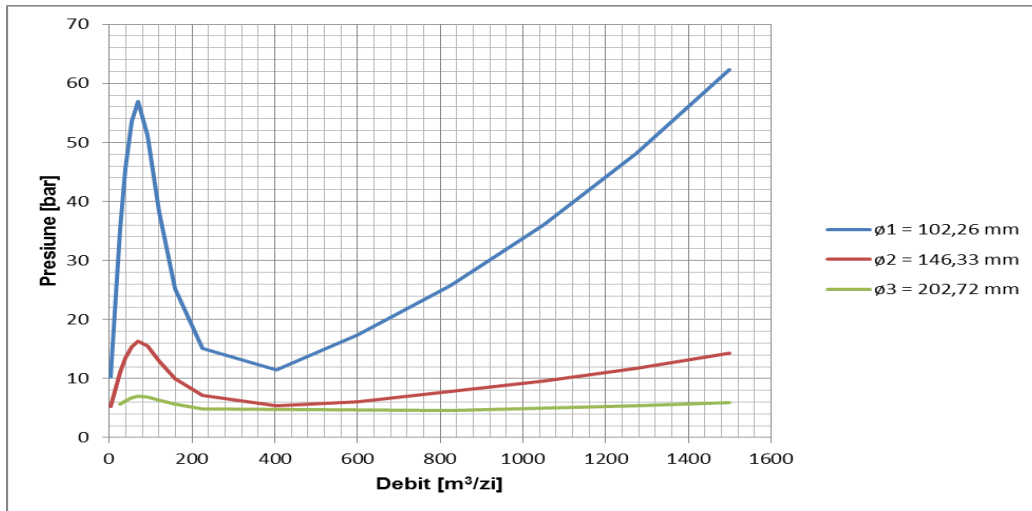


Fig. IV.28. Variația presiunii la Depozit cu debitul I=20%

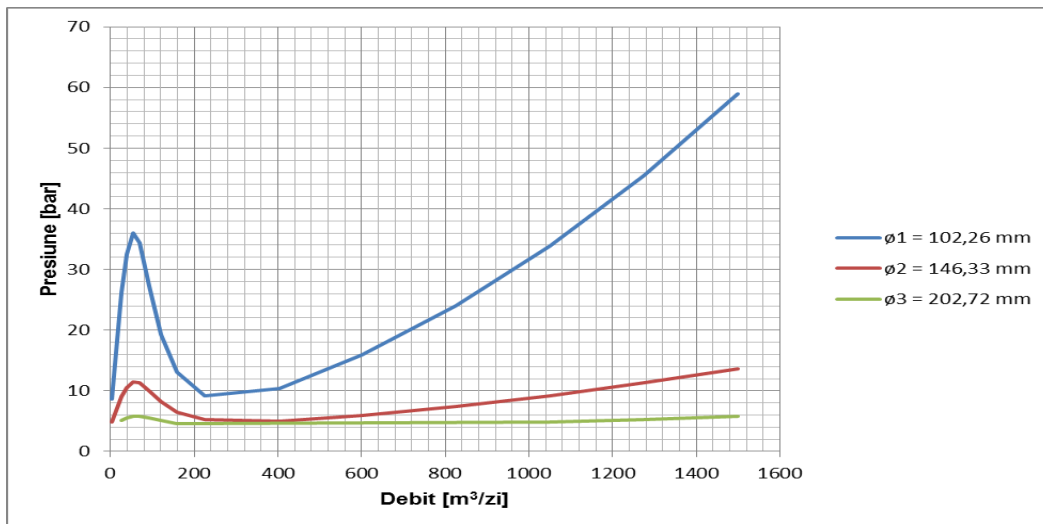


Fig. IV.29. Variația presiunii la Depozit cu debitul I=40%

c. Simularea variației temperaturii la depozit, pe cele trei diametre alese

a) Diametrul conductei: $\varnothing_1 = 102,26$ mm; $\varnothing_2 = 146,33$ mm; $\varnothing_3 = 202,72$ mm,

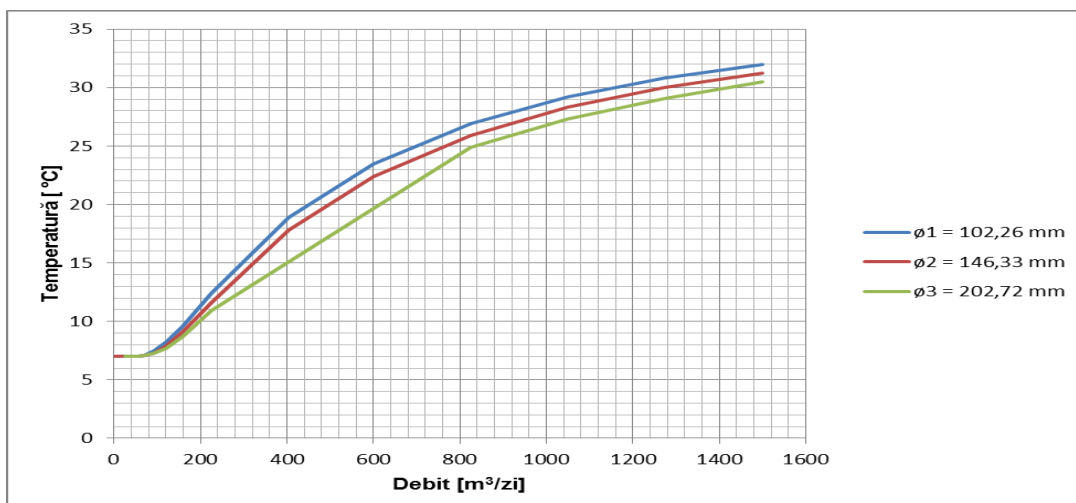


Fig. IV.30. Variația temperaturii la Depozit cu debitul I=10%

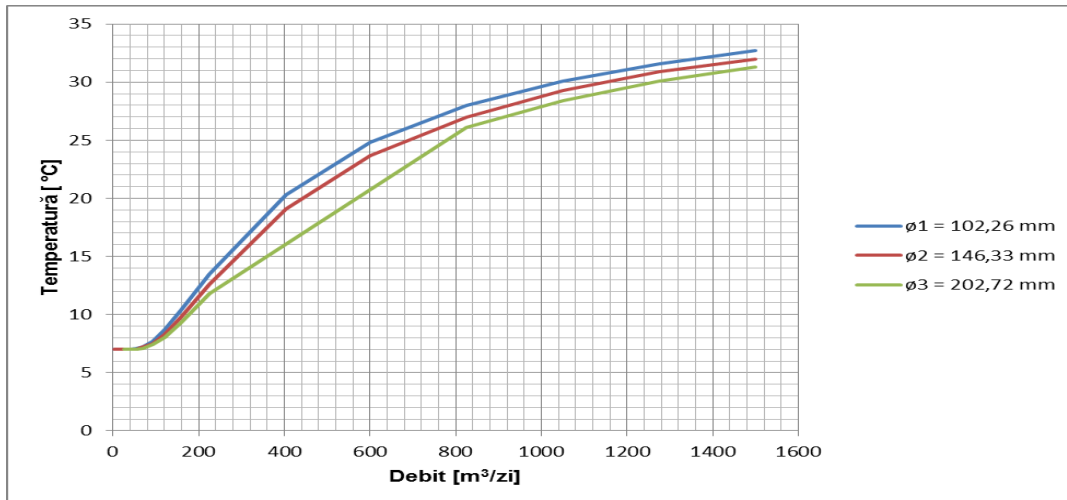


Fig. IV.31. Variația temperaturii la Depozit cu debitul- I=20%

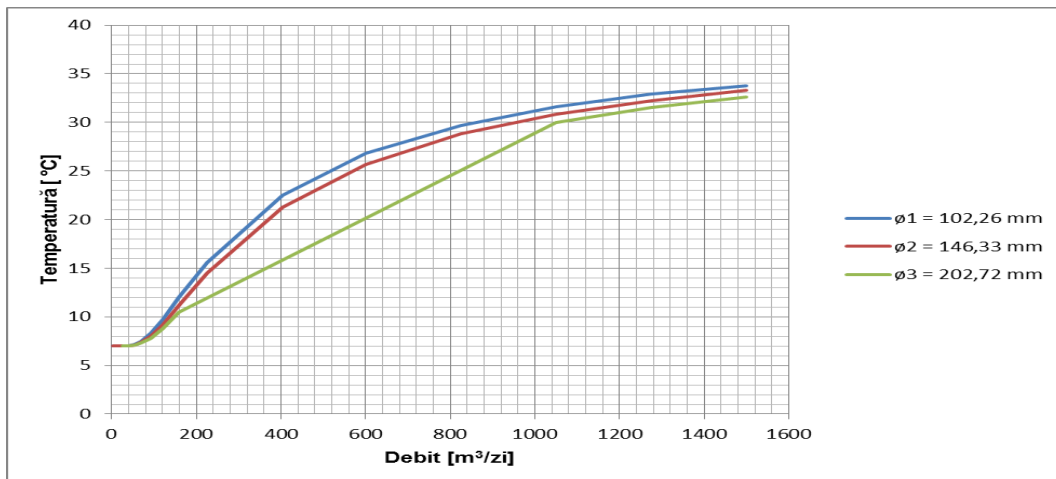


Fig. IV.32. Variația temperaturii la Depozit cu debitul - I=40%

d. Simularea variației presiunii la depozit, în funcție de impurități

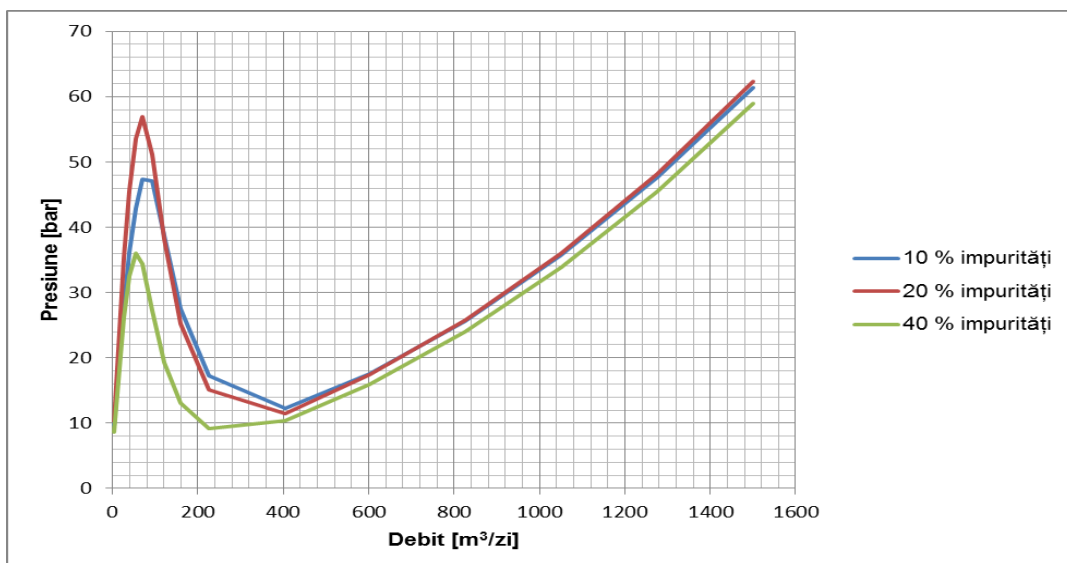
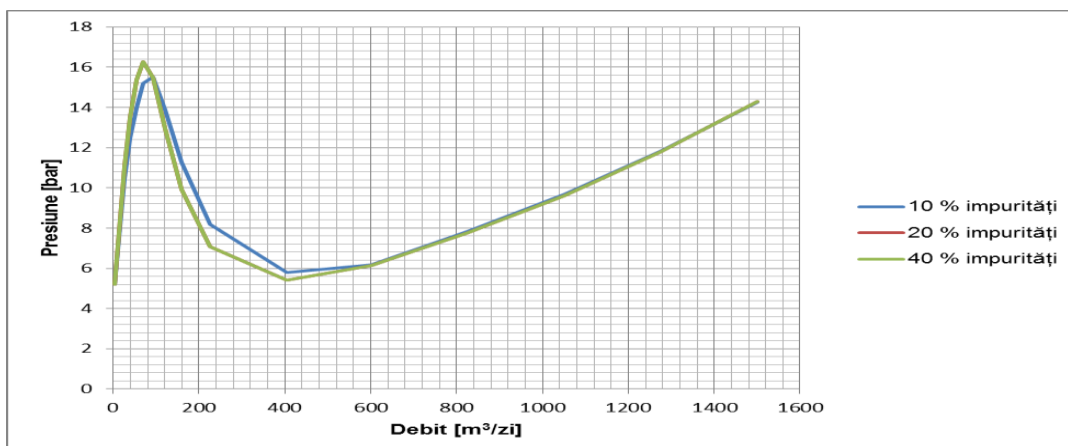
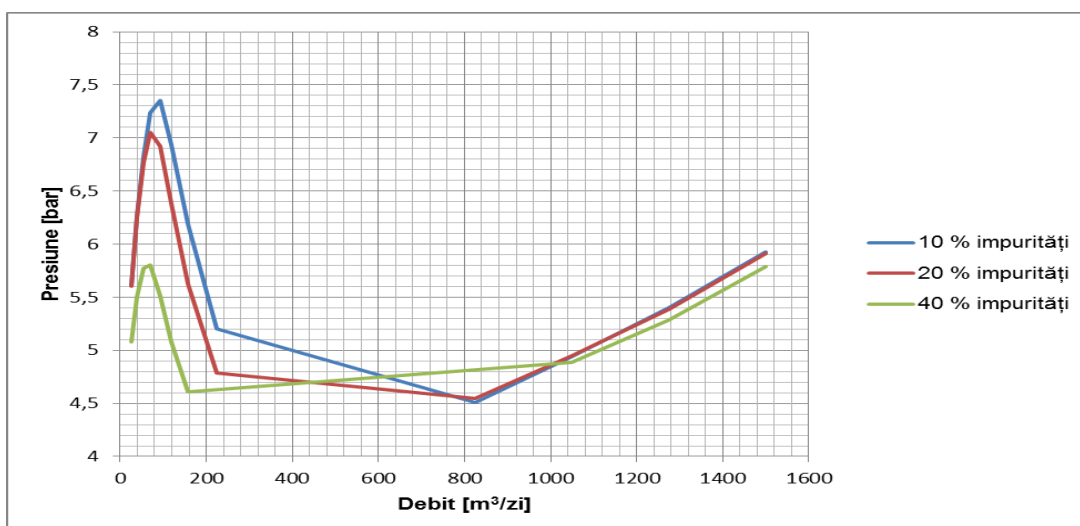


Fig. IV.33. Variația presiunii la Depozit cu debitul- $\varnothing = 102,26$ mm;Fig. IV.34. Variația presiunii la Depozit cu debitul- $\varnothing = 146,33$ mmFig. IV.35. Variația presiunii la Depozit cu debitul- $\varnothing = 202,72$ mm

2. CONDUCTA DE AMESTEC DE LA SONDĂ LA PARC

1. Date de intrare. Amestecul extras din sondă trebuie pompat la Parc printr-o conductă cu diametrul interior de 102,26 mm, având rugozitatea de 0,01651 mm. Conducta are lungimea de 15.000 m, este îngropată. Se vor simula 3 (trei) scenarii: pentru 3 rații gaz-lichid, și 2 procente de impurități Scenariul 1: RGL=136 mcG/mcl; 2: RGL=250 mcG/mcl; 3: RGL=350 mcG/mcl; Impurități a: I1=15 % apă de zăcământ, I2= 40 % apă de zăcământ. Presiunea la parcul: 2 bar. Temperatura medie a mediului ambiant: 7°C. Grosimea izolației 3 mm. Se vor realiza simulările dependenței presiunii de pompare și a temperaturii țiteiului, funcție de debit, pentru cele 3 rații și cele 3 conținuturi de impurități. Simulările au fost realizate cu ajutorul unui soft de modelare numerică realizat de firma IHS Energy Group. În calcul s-a folosit metoda Beggs și Brill.

2. Rezultatele simulărilor

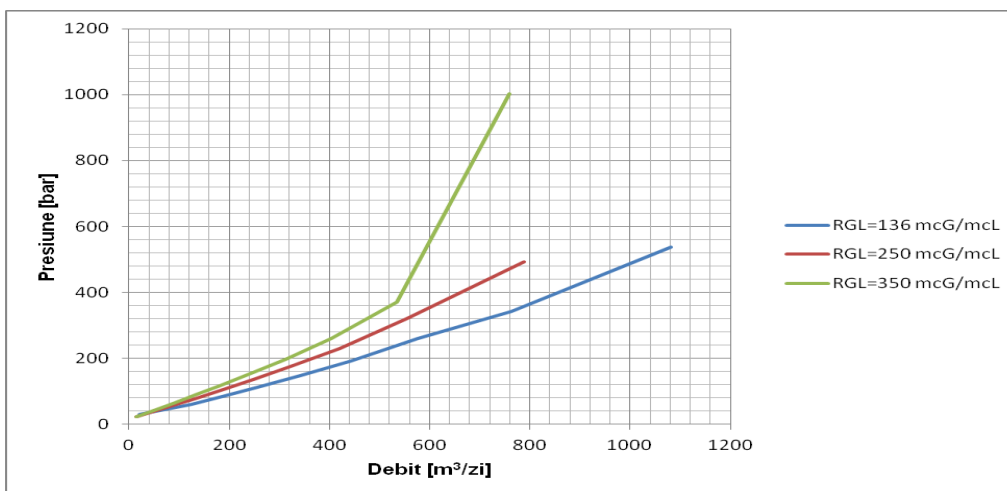


Fig. IV.39. Variația presiunii pentru cele 3 rații gaz-lichid cu impurități I1=15%

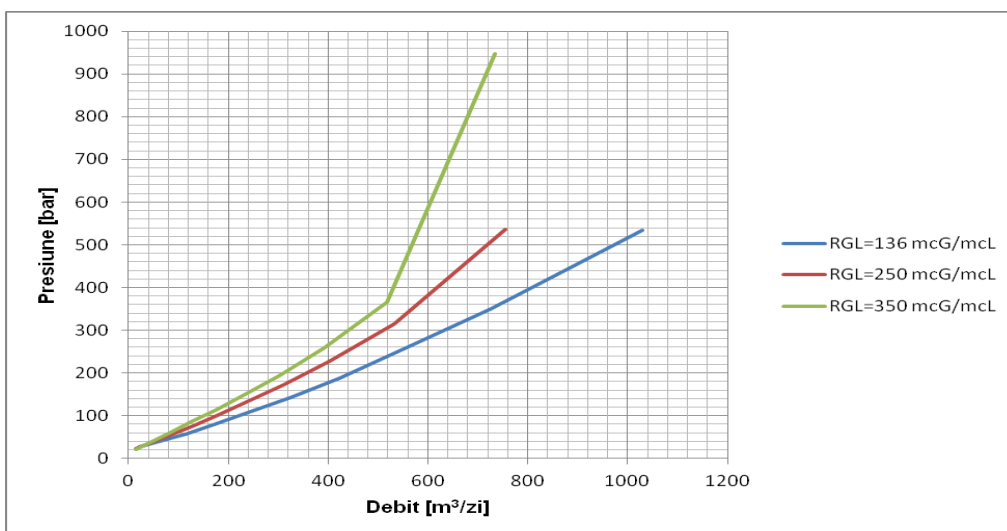


Fig. IV.41. Variația presiunii pentru 3 rații gaz-lichid cu impurități I2=40%

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. **Albulescu, M.**, *Mecanica fluidelor*, Editura Universitatii Petrol-Gaze Ploiești, 2004
2. Abarasi Hart, *A review of technologies for transporting heavy crude oil and bitumen via pipelines*, J Petrol Explor Prod Technol, DOI 10.1007/s13202-013-0086-6,
3. Koncsag Cl.I., *Fizico-chimia petrolului*, Editura Ovidius University Press, Constanța, 2003,
4. OMV-PETROM S.A. *Raport privind extracția țițeiurilor românești*, Raport intern, 2014,
5. COPET S.A. *Raport privind calitatea țițeiurilor românești*, Raport intern, 2014.
6. Hasan SW, Ghannam MT, Esmail N *Heavy crude oil viscosity reduction and rheology*

- for pipeline transportation., 2010, Fuel 89:1095–1100,
7. Lin CY, Chen LW , *Emulsification characteristics of three and two phase emulsions prepared by ultrasonic emulsification method.* 2006, J Fuel Process Tech 87:309–317,
 8. A.N.R.M. Concesiunile de petrol și gaze din Romania, Raport 2014, www.narm.ro,
 9. ASTM D86 - 11b Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure,
 10. ASTM D97 - 11 Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products,
 11. ASTM D1298 - 99(2005) Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method,
 12. ASTM D1665 - 98(2009) Standard Test Method for Engler Specific Viscosity of Tar Products,
 13. CONPET S.A.PLOIEȘTI-Analiza țițeiurilor transportate prin sistemul național de transport, studiu intern, Ploiești, 2014,
 14. <http://www.tribology-abc.com> , accesat 8.6.2014,
 15. **Albulescu M., Trifan C., D. Chisăliță.** *Asupra analizei uzurii sistemelor de distribuție gaze naturale.* Buletin U.P.G.Ploiești, vol.LVI, Seria Tehnică nr. 3/2004.
 16. **Albulescu Mihai, Doru Stoianovici, Robertino Cătălin Diaconu, Tiberiu Florin Trifan;** *The Numerical Simulation of Main Gas Pipelines Exploitation when the Pressure Varies,* Petroleum-Gas University of Ploiești Bulletin, Vol.LXIX, No.1/2017,
 17. **Diaconu Robertino Cătălin, Mihai Albulescu, Doru Stoianovici, Tiberiu Florin Trifan;** *About the Exploitation of Gas Pipelines;* Petroleum-Gas University of Ploiești Bulletin, Vol.LXIX, No.1/2017,
 18. **Oroveanu, T. David, V., Stan, Al., Trifan, C.** *Colectarea, transportul, depozitarea și distribuția produselor petroliere și gazelor,* E. D. P., București, 1985
 19. **Simescu, N., Trifan, C., Albulescu, M., Chisăliță, D.** *Activitatea gazieră din România în tranziție la o piață liberă, funcțională și integrabilă în Uniunea Europeană* Editura UPG Ploiești, 2008
 20. **Trifan, C. Albulescu, M.,** *Hidraulica, transportul și depozitarea produselor petroliere și gazelor,* Editura Tehnică, București, 1999
 21. **Trifan, C., Albulescu, M., Neacșu, S.** *Elemente de mecanica fluidelor și termodinamică tehnică.* Editura U.P.G., 2005, Ploiești
 22. **Trifan, C.** *Distribuția gazelor naturale prin rețele de conducte.* Editura U.P.G. Ploiești. 2005.
 23. **Albulescu, M. Doru Stoianovici, Severino Cosmin Florescu, Tiberiu Florin Trifan,** *The Study of the influence of Formation Content over the Hydraulic Performances*

of Transport Pipelines in the Oil Fields, Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, Vol. LXIX No.4/2016

24. **Dinu, F.**, *Extracția gazelor naturale*. Editura U. P. Gaze din Ploiești, 2000
25. **Florescu, S. C., Albulescu, M., Stoianovici, D., Trifan, T. F.** *Over the Transport of the crude oil-Formation Water Mixture in the Oil Fields*. Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, Vol. LXIX No.4/2016
26. **Manolescu, G. Soare El.**, *Fizico-chimia zăcămintelor de hidrocarburi*, Editura didactică și pedagogică București 1981
27. **Neacșu, S.**, *Termodinamica sistemelor tehnice*, Editura Universității din Ploiești, 2003
28. **Oroveanu T.**, *Mecanica fluidelor vâscoase*, Editura Academiei Române 1968
29. **Pavloski, N. Stan Al. D., Ionescu Gh.**, *O noua teorie privind transportul bifazic prin conducte*, Rev. Romana de Gaze, nr. 4/2000
30. **Soare, Al., ș.a.**, *Ingineria zăcămintelor de hidrocarburi*, vol I și II, Editura Tehnică, București, 1982.
31. **Popescu, C. , Coloja, M.P.** „*Extracția țițeiului și gazelor asociate*”, Ed. Tehnică, 1993
32. **Peng, D. -Y. and Robinson, D. B. (1976)**. *A New Two-Constant Equation of State*, Ind.Eng. Chem. Fundam., 15, 59-64.108
33. **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.
34. **Stoianovici, D., Albulescu, M., Florescu, S. C., Trifan, T.,F.** *The Study of the influence of Biphazic Composition over the Hydraulic Performances of Transport Pipelines*, Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, Vol. LXIX No.4/2016