



# CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR TERMO ȘI HIDRODINAMICE CE ÎNSOȚESC MIȘCAREA BIFAZICĂ A FLUIDELOR PRIN CONDUCTELE DE AMESTEC

Contributions to the Study of Thermal and Hydrodynamic Phenomena which Accompany the Two-Phase Flow in Mixture Pipelines

> Conducător științific, Prof. dr. ing. Marcela PĂTĂRLĂGEANU

> > Doctorand, Ing. Tiberiu Florin TRIFAN

# **PLOIEȘTI - 2018**

# UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI Facultatea Ingineria Petrolului și Gazelor Domeniu de doctorat Mine, Petrol și Gaze

# **REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

# CONTRIBUȚII LA STUDIUL FENOMENELOR TERMO ȘI HIDRODINAMICE CE ÎNSOȚESC MIȘCAREA BIFAZICĂ A FLUIDELOR PRIN CONDUCTELE DE AMESTEC

# Doctorand, Ing. Tiberiu Florin TRIFAN

# Conducător științific, Prof. dr. ing. Marcela PĂTĂRLĂGEANU

# **COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte	Prof. dr. ing. Iulian NISTOR	U.P.G. din Ploiești
Conducător științific	Prof. dr. ing. Marcela PATARLAGEANU	U.P.G. din Ploiești
Referent oficial	Prof. dr. ing. Valeriu PANAITESCU	U.P.B. București
Referent oficial	Prof. dr. ing. Sorin RADU	U.P.P. Petrosani
Referent oficial	Prof. dr. ing. Mihai ALBULESCU	U.P.G. din Ploiești

# **PLOIEȘTI - 2018**

# C U P R I N S

INTRODUCERE	3
1. TERMODINAMICA SISTEMELOR BIFAZICE	
1.1. Generalități	
1.2. Condițiile de echilibru într-un sistem termodinamic i	zolat8
1.3. Variatia temperaturii in lungul conductei	
2. CALCULUL GRADIENTILOR DE PRESIUNE ÎN TI	RANSPORTUL BIFAZIC
2.1. Generalități	
2.2. metode speciale de calcul a căderii de presiune în cu	rgerea bifazică25
2.3. Variatia presiunii cu debitul de fluid	
2 CURCEREA DIEAZICĂ DDIN CONDUCTA CU DIA	METDII DE 6"
3.1 SIMULĂDILE CURCERILAMESTECURILOR RIEAZICE	
3.1.1 Introducere	29
3.1.2 Amestecul hifazic are ratia gaz/lichid <b>R</b> .	32
3.1.3. Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid <b>R</b>	40
3.1.4 Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid <b>R</b> <sub>2</sub>	
3.1.5. Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid <b>R</b>	56
3.1.6. Studiul influentei ratiei gaz-lichid asupra curger	ii bifazice 64
3.2 CONCLUZII PARTIALE	69
J. CONCLUZINTAKTIALL	
4.CURGEREA BIFAZICA PRIN CONDUCTA CU DIA	METRUL DE 8"
4.1. SIMULĂRILE CURGERII AMESTECURILOR BIFAZICE	
4.1.1. Amestecul bifazic are rația gaz/lichid $\mathbf{R}_1$	
4.1.2. Amestecul bifazic are rația gaz/lichid $\mathbf{R}_2$	
4.1.3. Amestecul bifazic are rația gaz/lichid $\mathbf{R}_3$	
4.1.4. Amestecul bifazic are rația gaz/lichid $\mathbf{R}_4$	
4.1.5. Studiul influenței rației gaz-lichid asupra curger	ii bifazice104
4.2. CONCLUZII PARȚIALE	
5.STUDIU COMPARATIV PRIVIND CURGEREA PRIN	I CELE DOUĂ CONDUCTE
5.1. INFLUENȚA DIAMETRULUI CONDUCTEI ASUPRA CURGE	RII
5.1.1. Amestecurile bifazice au rația gaz/lichid $\mathbf{R}_1$	
5.1.2. Amestecurile bifazice au rația gaz/lichid $\mathbf{R}_2$	
5.1.3. Amestecurile bifazice au rația gaz/lichid $\mathbf{R}_3$	
5.1.4. Amestecurile bifazice au rația gaz/lichid $\mathbf{R}_4$	
5.2. CONCLUZII PARȚIALE	
6 OPTIMIZADEA PRODUCTIELUNEI SONDE SUBM	IA DINE DE TITEI TINÂND
CONT DE CONDUCTA DE AMESTEC	IANINE DE ȚIȚEI ȚINAND
6 1 LITII IZAREA ANALIZEI NODALE ÎN OPTIMIZARE	A PRODUCTIEI SONDEI OR 139
6.2 REZULTATELE SIMULĂRILOR EFECTUATE	
6.2.1 Intoducere	162
6.2.2. Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid <b>r</b> .	163
6.2.3. Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid <b>r</b>	168
$6.2.4$ Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid $\mathbf{r}_2$	173
6.2.5 Amestecul bifazic are ratia gaz/lichid r	178
6.3. CONCLUZII PRIVIND STUDIUL DE CAZ	
	100
UUNULUZII FINALE	169
BIBLIOGRAFIE	

# **INTRODUCERE**

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au fost inspirate din problemele cu care se confruntă inginerii din exploatările de țiței onshore și offshore din Romania.

Teza este structurată în trei părți, precedate de o **Introducere** și urmate de **Concluzii** și **Bibliografia** consultată.

Partea I este intitulată **Aspecte teoretice de bază** și conține capitolele 1 și 2. Partea a IIa, intitulată **Studii efectuate,** conține studiile efectuate prin simulări de curgeri ale unor amestecuri bifazice prin două conducte de amestec de evacuare a productiei unei sonde de țiței, prezentate în capitolele 3, 4 și 5, iar Partea a III-a conține un **Studiu de caz** referitor la optimizarea producției unei sonde submarine de țiței ținând cont de comportarea conductei de amestec, prezentat în capitolul 6.

Astfel, în capitolul 1, intitulat **Termodinamica sistemelor bifazice** sunt prezentate condițiile de echilibru termodinamic și condiții pentru echilibrul fazelor ce caracterizează sistemele bifazice în vederea transportului prin conducte.

În capitolul 2, intitulat **Calculul gradienților de presiune în cazul transportului bifazic** sunt prezentate principalele metode specifice de calcul a căderii de presiune în curgerea bifazică.

În capitolul 3, intitulat **Curgerea bifazică prin conducta cu diametrul de 6**" sunt prezentate aspectele termo și hidrodinamice rezultate din simulările curgerii bifazice a unor amestecuri având 4 rații gaze/lichid, două densități ale țițeiului din componență și 5 procente de impurități de apă de zăcământ, printr-o conductă cu diametrul de 6" pozată în 2 variante de montaj, aerian și îngropat (ambele neizolate). Simulările se referă la trasarea curbelor de variație a presiunea amestecului la intrarea în conductă (adică în capul de erupție) și respectiv a temperaturii fluidului la ieșirea din conductă (adică la intrarea în separatorul din parcul de separatoare) în funcție de debitul sondei.

În capitolul 4, intitulat **Curgerea bifazică prin conducta cu diametrul de 8**" sunt prezentate aspectele termo și hidrodinamice ale simulărilor curgerii bifazice a amestecurilor definite în capitolul 3, printr-o conductă cu diametrul de 8" pozată în cele 2 variante de montaj.

În capitolul 5, intitulat **Studiu comparativ privind** c**urgerea bifazică prin cele două conducte analizate** sunt prezentate comparativ aspectele termo și hidrodinamice rezultate din simulările curgerii bifazice a amestecurilor prin conducta cu diametrul de 6'' și respectiv 8''. Soluția propusă în teză a fost confirmată și de specialiștii din exploatarea OMV Petrom.

În capitolul 6, intitulat **Optimizarea producției unei sonde submarine de țiței ținând cont de comportarea conductei de amestec** s-a trecut la aplicarea metodei simulării curgerii amestecului bifazic printr-o conductă de amestec în cazul concret al unei sonde submarine de țiței: alegerea diametrului conductei de amestec. Simulările au urmărit realizarea diagramelor **inflow** și respectiv **outflow** considerând că nodul sondei este chiar capul de erupție al acesteia. Soluția propusă a condus la creșterea spectaculoasă a producției sondei.

Concluziile ce se desprind din teză sunt prezentate la finele lucrării.

**Bibliografia** consultată conține un număr de 86 referințe, autori români și străini din domeniul specific de cercetare. Autorul contribuie cu 9 lucrări, din care 5 sunt articole de specialitate publicate în revista U.P.G. Ploiești, seria Tehnică.

#### **Capitolul 1**

#### **TERMODINAMICA SISTEMELOR BIFAZICE**

#### 1.1. Generalități

Conform terminologiei folosite în termodinamică, amestecul de două faze "lichidvapori" 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.

#### 1.2. Condițiile de echilibru într-un sistem termodinamic izolat

Se va considera un sistem termodinamic izolat care este reprezentat schematic în figura 1.2. Acesta este împărțit în două părți denumite subsistemele 1 și 2 și se va stabili în ce condiții va exista un echilibru termodinamic între cele două subsisteme [46].

#### 1.3. Variația temperaturii in lungul conductei de transport bifazic

În cadrul tezei de doctorat se pune problema evacuării producției unei sonde dela capul de erupție la parcul de separatoare cu ajutorul unei conducte de transport bifazic. Temperatura cu care fluidul intră în conductă este constantă și se urmărește valoarea acesteia la ieșirea din conductă, adică la intrarea în parc, în funcție de debitul sondei.

Variația temperaturii unui fluid in lungul conductei de transport este dată de relația:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)e^{-ax}, a = \frac{\pi k d}{\rho c Q}$$
(1.25)

unde  $T_0$  este temperatura ambiantă,  $T_1$  este temperatura de intrare in conductă, k este coeficientul total de transfer termic între fluid și mediu, d - diametrul interior al conductei,  $\rho$  - densitatea fluidului, c - căldura specifică masică a acestuia iar Q - debitul volumic de fluid.

În cazul clasic al unei valori constante a debitului de fluid, temperatura acestuia scade în lungul conductei, scăderea fiind mai accentuată cu cât panta *a* este mai mare.

Studiul efectuat în teză presupune creșterea continuă a debitului Q, fapt ce produce o scădere continuă a pantei, ceeace face ca temperatura fluidului să crească în mod continuu până la intrarea sa în parc.



Schema variatiei temperaturii cu debitul

#### **Capitolul 2**

# **CALCULUL GRADIENȚILOR DE PRESIUNE** ÎN TRANSPORTUL BIFAZIC

#### 2.1. Generalități

În literatura de specialitate sunt mai multe metode de calcul pentru gradienții de presiune  $\Delta p/l$  precum și a celorlalte elemente caracteristice mișcării bifazice [5..9]. 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 [12, 13, 20] și metoda asimilării fluidului bifazic cu unul monofazic.

Cele două faze, lichid si gaz, pot forma diverse tipuri de curgeri (bule alungite, bule dispersate etc.). În figura 2.1 se dau tipurile de curgeri pentru sistemul format din **aer și apă**.



Fig. 2.1. Tipurile de curgeri pentru sistemul aer - apă

#### 1. Metoda Lockhart-Martinelli. În cadrul acestei metode un parametru important este:

$$X = \frac{\mathbf{v}_{sa}}{\mathbf{v}_{sg}} \sqrt{\frac{\rho_a \lambda_{sa}}{\rho_g \lambda_{sg}}}.$$
 (2.1)

Coeficienții de rezistență pentru cele două faze, (ca și cum acestea se misca singure prin conductă),  $\lambda_{sa}$  și  $\lambda_{sg}$ , se determină în funcție de numerele lui Reynolds  $Re_a$  și  $Re_g$  potrivit relațiilor cunoscute pentru fluide monofazice. Numerele  $Re_a$  și  $Re_g$  au valorile :

$$Re_a = \frac{\rho_a v_{sa} d}{\mu_a}, \ Re_g = \frac{\rho_g v_{sg} d}{\mu_g}.$$
(2.2)

Cunoscând aceste valori se determină  $\lambda_{sa}$ ,  $\lambda_{sg}$  și apoi parametrul X. Coeficienții de presiunese determină cu relațiile:

$$\left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{b} = \Phi_{a}^{2} \left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{sa}; \quad \left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{b} = \Phi_{g}^{2} \left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{sg}$$
(2.3)

Parametrii adimensionali  $\Phi_a$  și  $\Phi_g$  sunt funcții de X și de regimul de mișcare, atât pentru faza lichidă cât și pentru faza gazoasă, dependența fiind determinată experimental. Datele experimentale se grupează în patru domenii de mișcare.

**2. Metoda Brill-Beggs. [5, 6].** În cadrul metodei Brill-Beggs sunt admise trei regimuri de curgere, segregată (tip stratificată, tip undă și tip inelară), intermitentă (tip bule alungite și tip bule stratificate) și distributivă (tipbule și tip ceață).

În afara vitezelor  $\mathbf{v}_{sa}$ ,  $\mathbf{v}_{sg}$  și  $\mathbf{v}_m$ , calculate cu relațiile:

$$\mathbf{v}_{sa} = \frac{4M_a}{\rho_a \pi d^2}; \ \mathbf{v}_{sg} = \frac{4M_g}{\rho_g \pi d^2}, \ \mathbf{v}_m = \mathbf{v}_{sa} + \mathbf{v}_{sg}.$$
 (2.7)

Brill și Beggs au trasat o hartă a curgerilor în coordonate  $\lambda_L$  și numărul lui Froude definit de relația:

$$Fr = \frac{\mathbf{v}_m^2}{gd}.$$

Tipurile de curgeri sunt delimitate de liniile L1, L2, L3 și L4 (figura 2.4).



3. Metoda colectivului de hidraulica (U.P.G.). [37] În această metodă gradientul de presiune la mișcarea bifazică  $\left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{CH}$  se determină indirect ca fiind dat de formula clasică:

$$\left(\frac{\Delta p}{l}\right)_{CH} = \frac{p_1 - p_2}{l}.$$
(2.14)

Pentru determinarea gradientului de presiune este necesar coeficientul de rezistență hidraulică  $\lambda_b$ . Acesta se determină în funcție de numărul lui Reynolds  $Re_b$  cu relația:

$$Re_b = \frac{\rho_b \, \mathbf{v}_{mb} \, d}{\mu_b} \,. \tag{2.15}$$

Relațiile de calcul pentru coeficientul  $\lambda_b$  sunt identice de la mișcarea monofazică.

(2.13)

se consideră că amestecul bifazic se comportă ca un fluid monofazic cu anumite caracteristici. Nu se mai calculează gradienții de presiune pe cele două faze separat, ci variația presiunii fluidului monofazic (gradiențul de presiune) asimilat în lungul conductei.

#### 2.2. 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:

$$\Delta p_{\rm frict} = \Delta p_{\rm L} \Phi_{\rm fr}^2 \tag{2.58}$$

Rezumatul tezei de doctorat

unde  $\Delta p_L$  este calculat pentru faza lichida dupa cum urmeaza:

$$\Delta p_{\rm L} = 4 f_{\rm L} \left( {\rm L/d_i} \right) \dot{m}_{\rm total}^2 \left( 1/2 \rho_{\rm L} \right)$$
(2.59)

Multiplicatorul de doua faze este:

$$\Phi_{\rm fr}^2 = E + \frac{3,24FH}{Fr_{\rm H}^{0,045}We_{\rm L}^{0,035}}.$$
(2.60)

**2. Metoda lui Chisholm.** *Chisholm* (1973) a propus o metoda empirica aplicabila unei largi benzi de conditii de operare. Gradientul de cadere de presiune de frecare este:

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{frict}} = \left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{L}} \Phi_{\mathrm{Ch}}^2 \tag{2.67}$$

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

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{L}} = f_{\mathrm{L}} \frac{2\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{total}}^2}{\mathrm{d}_{\mathrm{i}}\rho_{\mathrm{L}}}; \qquad (2.68)$$

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{G}} = f_{\mathrm{G}} \frac{2\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{total}}^{2}}{\mathrm{d}_{\mathrm{i}}\rho_{\mathrm{G}}}$$
(2.69)

Factorii de frecare sunt obtinuti cu vascozitatea dinamica respectiv a lichidului si a vaporilor pentru curgeri turbulente in timp ce pentru curgeri laminare ( $R_e < 2000$ ) f = 16 /Re.

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

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{frict}} = \left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z}\right)_{\mathrm{L}} \Phi_{\mathrm{Bf}}^{7/4} \tag{2.73}$$

Gradientul de presiune de frecare pentru faza lichid este calculat cu expresia (2.68) si multiplicatorul de doua faze este:

$$\Phi_{\rm Bf} = \frac{1}{1 - x} \left[ 1 - \gamma \left( 1 - \frac{\rho_{\rm G}}{\rho_{\rm L}} \right) \right]^{3/7} \left[ 1 + x \left( \frac{\rho_{\rm L}}{\rho_{\rm G}} - 1 \right) \right]$$
(2.74)

$$\gamma = \left[0,71+2,35\left(\frac{\rho_{\rm G}}{\rho_{\rm L}}\right)\right] / \left[1 + \left(\frac{1-x}{x}\right)\left(\frac{\rho_{\rm G}}{\rho_{\rm L}}\right)\right].$$
(2.75)

**4. Metoda lui Chawla.** *Chawla* (1967) a sugerat urmatoarea metoda bazata pe gradientul presiunii de vapori:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{frict}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{G}} \Phi_{\text{Chawla}}$$
(2.76)

Gradientul de presiune de frecare pentru faza de vapori este determinat din expresia (2.69) și multiplicatorul de doua faze este:

$$\Phi_{\text{Chawla}} = x^{1,75} \left[ 1 + S \left( \frac{1 - x}{x} \frac{\rho_{\text{G}}}{\rho_{\text{L}}} \right) \right]^{2,375} , \qquad (2.77)$$

iar ratia de alunecare este:

$$S = \frac{u_{G}}{u_{L}} = \frac{1}{9, 1 \left[ \frac{1 - x}{x} \left( Re_{G} Fr_{H} \right)^{-0.167} \left( \frac{\rho_{L}}{\rho_{G}} \right)^{-0.9} \left( \frac{\mu_{L}}{\mu_{G}} \right)^{-0.5} \right]},$$
 (2.78)

Metoda sa este indicată pentru valori ale vaporilor de la 0 < x < 1

#### 2.3. Variatia presiunii cu debitul de fluid

În cadrul tezei de doctorat se pune problema evacuării producției unei sonde dela capul de erupție la parcul de separatoare cu ajutorul unei conducte de transport bifazic. Presiunea cu care fluidul iese din conductă și intră în separator este constantă și se urmărește valoarea acesteia la intrarea în conductă, în funcție de debitul sondei.

Variația presiunii unui fluid la intrarea în conducta de transport este dată de relația:

$$p_i = p_e + \frac{8\rho Q^2 \lambda L}{\pi^2 d^5} \tag{2.79}$$

unde  $p_i$  si  $p_e$  sunt valorile presiunii fluidului la intrarea si respectiv la iesirea din conducta,  $\rho$  este densitatea fluidului,  $\lambda$  este coeficientul de pierdere de sarcina, L este lungimea conductei iar d diametrul sau interior.

Se observa ca dependenta presiunii de intrare a fluidului în conductă de valoarea debitului ce trece prin ea este esentiala. Valoarea acestei presiuni este importantă pentru alegerea dimensională a țevilor din care se confecționează conducta.



Schema variației presiunii cu debitul

# Capitolul 3 CURGEREA BIFAZICĂ PRIN CONDUCTA CU DIAMETRUL DE 6"

# 3.1. SIMULĂRILE CURGERII AMESTECURILOR BIFAZICE

#### **3.1.1. INTRODUCERE**

S-au considerat 80 de amestecuri bifazice cu 4 rații gaz/lichid  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ ,  $R_2=50 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ ,  $R_3=100 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  și respectiv  $R_4=150 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ , având 5 procente de impurități (apă de zăcământ)  $I_1 = 10\%$ ,  $I_2 = 20\%$ ,  $I_3 = 30\%$ ,  $I_4 = 40\%$  și respectiv  $I_5 = 50\%$ , cu densitățile țițeiului  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$  și respectiv  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$ .

S-au efectuat simulările curgerii acestor amestecuri prin conducta  $C_1$  cu diametrul de 6" în două variante de pozare  $V_1$  (neizolată în montaj aerian) și respectiv  $V_2$ . (neizolată în montaj îngropat). Studiul fenomenelor termo și hidrodinamice ce insotesc curgerea s-a făcut conform Nodal Analysis<sup>TM</sup>, folosind simulatorul **Well PERFORMance Analysis** pe baza curbelor de dependență a presiunii la intrarea în conductă (capul de eruptie al sondei este **nodul**, conform Analizei Nodale) și respectiv a temperaturii la ieșire din conducta (adica la intrarea in separator), în funcție de debit.

#### A. DATE DE BAZĂ NECESARE ELABORĂRII STUDIULUI

# Date despre fluide Corelații PVT Date privind transferul termic B. GEOMETRIA SISTEMULUI Lungimea conductei de amestec:

- Diametrul conductei de amestec: 6 in
- Traseul și elevația conductei de amestec: conform schemelor



20 km

Schema traseului conductei de amestec în varianta  $V_1$ - neizolată aeriană



Schema traseului conductei de amestec în varianta  $V_2$ - neizolată îngropată

Conform conceptului de Analiză Nodală (Nodal Analysis<sup>TM</sup>), in cazul unei sonde de producție se alege **capul de eruptie drept nod** și se studiază procesul de curgere prin conducta de evacuare a amestecului bifazic extras. Interesează presiunea fluidului la intrarea in conductă deoarece la ieșire este impusă de separator (8 bar) precum și temperatura la ieșire deoarece la intrare este impusă de capul de erupție ( $+55^{\circ}$ C).

## 3.1.2. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID $\ensuremath{\mathsf{R}}_1$

#### 1. Rezultatele simulărilor pentru varianta de pozare $V_{\rm 1}$

#### A. Ţiţeiul are densitatea $D_1$ =830 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  și densitatea țițeiului  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_1$  în varianta de pozare  $V_1$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 3.1.

Debitul		Pre	siunea, b	ar		Temperatura, °C				
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>
12	39.36	40.45	41.3	42.14	42.99	9	9	9	9	9
69	39.8	41.03	41.8	42.56	43.33	9	9	9	9	9
103.1	40.05	41.36	42.07	42.79	43.52	9	9	9	9	9
142.4	40.32	41.71	42.37	43.04	43.72	9	9	9	9	9
189	40.63	42.09	42.69	43.31	43.93	9	9	9	9	9
246	40.99	42.52	43.05	43.6	44.16	9	9	9	9	9
319.5	41.41	43.01	43.45	43.93	44.45	9	9	9	9	9
423	41.96	43.61	43.96	44.37	44.86	9	9	9	9.1	9.1
600	42.93	44.54	44.83	45.27	45.89	9.1	9.2	9.3	9.5	9.7
1080	48.28	49.39	49.92	50.32	50.74	10.2	10.9	11.7	12.6	13.5
1600	55.42	56.63	56.79	57.03	57.32	12.9	14.3	15.7	17.1	18.5
2200	65.62	66.95	66.97	67.1	67.27	16.6	18.5	20.3	22	23.6
2800	78.17	79.69	79.64	79.67	79.74	20.2	23.3	24.3	26	27.6
3400	93.11	94.91	94.79	94.75	94.7	23.3	25.5	27.5	29.3	30.8
4000	110.5	112.63	112.46	112.33	112.17	26	28.3	30.2	31.9	33.4

Tab. nr. 3.1. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  prin conducta  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_1$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_1$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_1$ 



#### B. Ţiţeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  si densitatea țițeiului  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_1$  in varianta de pozare  $V_2$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 3.3.

Debitul		Pre	esiunea, l	bar			Ter	nperat	ura, °C	
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>
12	45.83	48.11	47.97	47.84	47.71	9	9	9	9	9
69	64.43	73.11	69.41	65.89	62.45	9	9	9	9	9
103.1	74.68	86.71	80.79	75.21	69.9	9	9	9	9	9
142.4	85.7	101.15	92.58	84.64	77.27	9	9	9	9	9
189	97.6	116.35	104.53	93.88	84.21	9	9	9	9	9
246	110.36	131.94	116.11	102.32	90.16	9	9	9	9	9
319.5	123.65	146.79	126.05	108.74	94.07	9	9	9	9	9.1
423	136.07	157.77	131.47	110.69	94.01	9	9.1	9.1	9.2	9.3
600	141.86	155.74	125.27	102.98	86.34	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1
1080	114.7	113.09	91.12	77.13	68	10.9	11.7	12.5	13.4	14.2
1600	91.52	88.61	77.75	71.58	68.38	14.1	15.5	16.8	18.1	19.4
2200	89.69	89.06	86.06	85.74	83.32	18	19.9	21.5	23	24.4
2800	108.94	110.11	106.34	103.11	100.13	21.7	23.7	25.4	26.9	28.4
3400	131.57	132.09	127.79	123.95	120.29	24.8	26.8	28.6	30.1	31.5
4000	156.98	157.87	152.89	148.32	143.83	27.5	29.5	31.2	32.7	34

Tab. nr. 3.2. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_2$  prin conducta  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_1$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_2$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_1$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_1$ 





Se observa ca influența densității  $D_2$  care se manifestă **doar** asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este **spectaculoasă** și se face simțită la toate procentele de impuritati, mai ales în domeniul **debitelor mici.** 

In ceeace priveste comportamentului termodinamic al curgerii, influenta densitatii  $D_2$  este practic **insignificantă** și se face simțită la toate procentele de impuritati, incepand de la debitul de 400 m<sup>3</sup>/zi.

#### 2. Rezultatele simulărilor pentru varianta de pozare $V_{\rm 2}$

#### A. Ţițeiul are densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  si densitatea țițeiului  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_1$  in varianta de pozare  $V_2$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 3.3.

Debit		Pre	siunea, b	ar			Ten	nperati	ura, °C	
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>
12	39.34	40.43	41.27	42.12	42.96	9	9	9	9	9
69	39.65	40.83	41.59	42.36	43.14	9	9	9	9	9
103.1	39.77	40.97	41.69	42.43	43.19	9	9	9	9.1	9.1
142.4	39.85	41.05	41.73	42.44	43.18	9	9.1	9.2	9.4	9.6
189	39.9	41.06	41.71	42.41	43.15	9.3	9.5	9.8	10.2	10.7
246	39.92	41.03	41.69	42.41	43.19	9.8	10.4	11	11.8	12.5
319.5	39.98	41.05	41.77	42.56	43.43	11.1	12.1	13.1	14.2	15.3
423	40.29	41.36	42.23	43.05	43.86	13.4	14.9	16.4	17.9	19.3
600	41.37	42.45	43.22	44.00	44.8	17.8	19.8	21.6	23.4	25
1080	45.29	46.46	47.2	47.96	48.71	27.3	29.5	31.4	33.1	34.5
1600	51.52	52.83	53.55	54.27	54.98	33.6	35.6	37.3	38.7	39.9
2200	61.09	62.61	63.32	64.01	64.66	38.2	39.9	41.3	42.4	43.4
2800	73.13	74.91	75.61	76.27	76.86	41.2	42.6	43.8	44.8	45.6
3400	87.59	89.68	90.4	91.03	91.57	43.3	44.5	45.6	46.4	47.1
4000	104.5	106.96	107.67	108.31	108.8	44.8	45.9	46.9	47.6	48.2

Tab. nr. 3.3. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  prin conducta  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_2$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_1$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_2$ 



Fig. 3.3. Variațiile presiunii si temperaturii amestecului  $R_1/D_1$  prin conducta  $C_1/V_2$ 

În figura 3.3. sunt prezentate curbele de variație a presiunii si temperaturii cu care amestecul bifazic cu densitatea  $D_1$  intra in conducta  $C_1$  pozata in varianta  $V_2$  si respectiv ajunge la capătul final al acesteia. Se observă ca procentul impurități de apă iși pune amprenta pe comportarea termodinamică a vehiculării doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi, prin faptul că amestecul cel mai impur (cu procentul  $I_5$ ) este cel mai cald.

#### B. Ţiţeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  si densitatea țițeiului  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_1$  in varianta de pozare  $V_2$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 3.4.

Debit		P	resiunea	l			Te	mpera	tura	
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	$I_5$	$I_1$	$I_2$	I <sub>3</sub>	$I_4$	$I_5$
12	45.68	47.87	47.74	47.62	47.51	9	9	9	9	9
69	59.54	65.28	61.91	58.91	56.23	9	9	9	9	9
103.1	63.76	69.33	64.41	60.26	56.79	9	9	9.1	9.1	9.2
142.4	65.32	69.46	63.5	58.81	55.16	9.1	9.2	9.4	9.6	9.8
189	64.04	66.24	60.14	55.71	52.54	9.5	9.8	10.2	10.6	11.1
246	60.5	61.09	55.84	52.33	50.03	10.3	11	11.6	12.4	13.1
319.5	55.91	55.7	51.9	49.57	48.19	11.8	12.9	13.9	15	16
423	54.54	51.33	49.08	47.83	47.21	14.5	16	17.4	18.7	20
600	48.55	48.76	47.85	47.52	47.57	19.1	21	22.7	24.2	25.7
1080	52.15	53.12	53.27	53.31	53.36	28.6	30.6	32.3	33.7	35
1600	61.69	62.65	62.42	62.2	61.95	34.8	36.5	38	39.2	40.3
2200	75.59	76.8	76.23	75.64	74.96	39.1	40.6	41.8	42.8	43.7
2800	92.86	94.38	93.41	92.37	91.2	42	43.2	44.3	45.1	45.9
3400	113.52	115.39	113.97	112.43	110.65	44	45	45.9	46.7	47.3
4000	137.65	139.95	138	135.84	133.38	45.4	46.4	47.2	47.8	48.4

Tab. nr. 3.4. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_2$  în conducta  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_2$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_2$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_1$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_2$ 



Fig. 3.4. Variațiile presiunii si temperaturii amestecului  $R_1/D_2$  lprin conducta  $C_1/V_2$ 

În figura 3.4. sunt prezentate curbele de variație ale presiunii si temperaturii cu care amestecul bifazic cu densitatea  $D_2$  intra in conducta  $C_1$  pozata in varianta  $V_2$  si respectiv ajunge la capătul final al acesteia. Se observa influența densității  $D_2$  care se manifestă **doar** asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii; ea este **spectaculoasă** și se face simțită la toate procentele de impuritati, mai ales în domeniul **debitelor mici.** Se observă ca densitatea nu afecteaza comportarea termodinamică a vehiculării care se face simtita doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi, prin faptul că amestecul cel mai impur (cu procentul **I**<sub>5</sub>) este cel mai cald.

Următoarele Aceste subcapitole au fost elaborate similar cu 3.1.2.

# 3.1.3. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>2</sub> 3.1.4. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>3</sub> 3.1.5. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>4</sub>

#### 3.1.6. INFLUENȚA RAȚIEI GAZ/LICHID ASUPRA CURGERII BIFAZICE

Pentru acest studiu s-au folosit toate simulările curgerilor amestecurilor cu rațiiile gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ ,  $\mathbf{R}_2$ ,  $\mathbf{R}_3$  și  $\mathbf{R}_4$  cu densitățile țițeiului  $\mathbf{D}_1$  și  $\mathbf{D}_2$ , având procentele de impurități de apă  $\mathbf{I}_1,...,\mathbf{I}_5$ . efectuate pe conducta  $\mathbf{C}_1$  în variantele de pozare  $\mathbf{V}_1$  și  $\mathbf{V}_2$ .

#### **3.2. CONCLUZII PARTIALE**

Analizând toate simulările cu cele patru amestecuri bifazice având rațiiile gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ ,  $\mathbf{R}_2$ ,  $\mathbf{R}_3$  și respectiv  $\mathbf{R}_4$ , procentele de impurități de apă  $\mathbf{I}_1$ ,  $\mathbf{I}_2$ ,  $\mathbf{I}_3$ ,  $\mathbf{I}_4$ .și respectiv  $\mathbf{I}_5$  si densitatile titeiului  $\mathbf{D}_1$  si respectiv  $\mathbf{D}_2$  efectuate pe conducta  $\mathbf{C}_1$  în cele două variante de pozare,  $\mathbf{V}_1$  și respectiv  $\mathbf{V}_2$ , se pot trage următoarele concluzii.

**1.**CURGEREA AMESTECURILOR PRIN  $C_1/V_1$ A. Amestecul are țiței cu densitatea  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$ B. Amestecul are țiței cu densitatea  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$ 

**2.**CURGEREA AMESTECURILOR PRIN  $C_1/V_2$ 

A. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

B. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

#### C. Concluzii

Studiul pune în evidență influențele exercitate asupra comportamentelor hidrodinamic și termodinamic al curgerii amestecurilor bifazice prin conducta  $C_1$  a următorilor parametri:

- densitatea țițeiului: influența densității  $D_2$  se manifestă doar asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este spectaculoasă și se face simțită la toate rațiile și la ambele variante de pozare a conductei, mai ales în domeniul debitelor mici;
- rația gaz/lichid: influența rației se manifestă doar asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este deasemenea spectaculoasă și se face simțită la ambele densități ale țițeiului precum și la ambele variante de pozare a conductei;
- varianta de pozare: influența îngropării conductei se manifestă asupra curgerii prin realizarea unor spectre hidrodinamice diferite dar cu presiuni mai mici, cât și prin realizarea unor spectre diferite ale temperaturilor dar cu temperature mai mari.
- procentul de impurități: influența acestuia se manifestă atât asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, unde se face simțită la ambele densități ale țițeiului precum şi la ambele variante de pozare a conductei (mai ales în domeniul debitelor mici) cât şi asupra comportamentului termodinamic prin aluri diferite ale spectrelor termodinamice al curgerii, (mai ales în domeniul debitelor mari).



Influenta densitatii  $D_1$  asupra curgerii prin conducta  $C_1/V_1$ 



pagina 15

## **Capitolul 4**

## CURGEREA BIFAZICĂ PRIN CONDUCTA DE DIAMETRUL DE 8"

#### 4.1. SIMULĂRILE CURGERII AMESTECURILOR BIFAZICE

4.1.1. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>1</sub>

1. REZULTATELE SIMULĂRILOR PENTRU VARIANTA DE POZARE  $V_1$ A. Țițeiul are densitatea  $D_1$ =830 kg/m<sup>3</sup>

Tab. nr. 4.1. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  prin conducta  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_1$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_2$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_1$ 

Debit		I	Presiunea	1			Te	mperati	ıra	
m <sup>3</sup> /zi	<b>I</b> <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	<b>I</b> 5	$I_1$	$I_2$	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>
12	39.29	40.36	41.22	42.07	42.93	9	9	9	9	9
69	39.42	40.53	41.36	42.19	43.03	9	9	9	9	9
103.1	39.49	40.63	41.45	42.26	43.08	9	9	9	9	9
142.4	39.57	40.74	41.54	42.33	43.14	9	9	9	9	9
189	39.67	40.86	41.63	42.41	43.19	9	9	9	9	9
246	39.77	40.99	41.74	42.49	43.26	9	9	9	9	9
319.5	39.9	41.14	41.86	42.59	43.33	9	9	9	9	9
423	40.05	41.31	41.99	42.7	43.43	9	9	9	9.1	9.1
600	40.29	41.55	42.19	42.87	43.61	9	9.1	9.2	9.4	9.5
1080	41.32	42.42	43.27	44.1	44.83	10	10.5	11.2	12	12.8
1600	43.4	44.5	45.15	45.83	46.53	12.3	13.6	14.9	16.2	17.5
2200	46.06	47.18	47.79	48.44	49.1	15.7	17.5	19.2	20.8	22.4
2800	49.31	50.49	51.07	51.69	52.32	19.1	21.2	23.1	24.8	26.4
3400	53.16	54.41	54.97	55.57	56.17	22.1	24.3	26.3	28	29.6
4000	57.6	58.93	59.48	60.06	60.63	24.8	27.1	29	30.7	32.2





În figura 4.1 sunt prezentate curbele de variație ale presiunii si temperaturii cu care amestecul bifazic cu densitatea  $D_1$  intra in conducta  $C_2$  pozata in varianta  $V_1$  si respectiv ajunge la capătul final al acesteia. Se observa ca densitatea  $D_1$  nu influențeaza comportamentul hidrodinamic al curgerii ci **doar** comportamentul termodinamic unde se face simtita doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi,

# B. Țițeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  si densitatea țițeiului  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_2$  in varianta de pozare  $V_1$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 4.2.

Debit		P	resiunea	ı		Temperatura				
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	<b>I</b> <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	$I_4$	<b>I</b> 5	$\mathbf{I}_1$	$I_2$	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>
12	42.98	44.21	44.58	44.95	45.32	9	9	9	9	9
69	48.91	52.06	51.34	50.67	50.02	9	9	9	9	9
103.1	52.09	56.16	54.82	53.56	52.35	9	9	9	9	9
142.4	55.45	60.38	58.33	56.42	54.64	9	9	9	9	9
189	58.99	64.69	61.82	59.2	56.78	9	9	9	9	9
246	62.7	68.96	65.15	61.73	58.64	9	9	9	9	9
319.5	66.49	72.98	68.03	63.72	59.96	9	9	9	9	9
423	70.05	76.07	69.82	64.6	60.23	9	9.1	9.1	9.1	9.2
600	72.16	76.34	68.84	62.97	58.36	9.2	9.3	9.5	9.7	9.9
1080	65.96	66.17	59.68	53.33	52.42	10.6	11.4	12.1	12.9	13.7
1600	58.68	58.17	54.43	52.27	51.12	13.5	14.8	16.1	17.3	18.5
2200	56.24	56.21	54.74	54.35	54.7	17.2	19	20.5	22	23.3
2800	59.03	59.67	60	59.49	59.07	20.7	22.6	24.3	25.9	27.3
3400	65.64	66.28	65.49	64.84	64.26	23.7	25.8	27.5	29	30.4
4000	71.99	72.73	71.81	71	70.23	26.4	28.4	30.1	31.6	32.9

Tab. nr. 4.2. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_2$  prin conducta  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_1$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_2$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_2$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_1$ 





Și în acest caz se observă comportarea hidrodinamica complicată a celor cinci amestecuri bifazice definite prin procentele de impurități, aceștea afectând esențial procesul de vehiculare doar până când debitul ajunge la valoarea de 2500 m<sup>3</sup>/zi, deci un domeniu mult mai larg. Este evident că și în acest caz valoarea mare a densității țițeiului greu luat în studiu stă la originea fenomenului. Acest țiței are și o vâscozitate mare care își pune amprenta pe aspectul hidrodinamic al curgerii, afectat în acest caz și de interacțiunea termică dintre țiței și mediul înconjurător, mult diminuată ținând cont de varianta de pozare aeriana a conductei.

#### 2. Rezultatele simulărilor pentru varianta de pozare $V_{\rm 2}$

#### A. Ţiţeiul are densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

Tab. nr. 4.3. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  prin conducta  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_2$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_2$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_2$ 

Debit		Р	resiunea	1			Te	mperati	ıra	
m <sup>3</sup> /zi	I <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	<b>I</b> 5	I <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>
12	39.27	40.34	41.2	42.05	42.91	9	9	9	9	9
69	39.32	40.42	41.25	42.08	42.91	9	9	9	9	9
103.1	39.34	40.44	41.25	42.08	42.91	9	9	9	9	9.1
142.4	39.33	40.44	41.24	42.05	42.87	9	9.1	9.2	9.3	9.4
189	39.31	40.4	41.19	42	42.82	9.2	9.4	9.6	9.9	10.3
246	39.28	40.35	41.14	41.95	42.78	9.6	10.1	10.6	11.3	11.9
319.5	39.24	40.29	41.09	41.92	42.77	10.7	11.5	12.5	13.5	14.5
423	39.22	40.28	41.11	41.98	42.85	12.7	14.1	15.5	16.9	18.2
600	39.43	40.5	41.33	42.18	43.04	16.8	18.7	20.5	22.2	23.7
1080	40.37	41.46	42.3	43.15	44	26	28.3	30.2	31.9	33.4
1600	41.96	43.1	43.94	44.77	45.61	32.5	34.5	36.3	37.7	39
2200	44.45	45.65	46.48	47.31	48.13	37.2	39	40.4	41.6	42.7
2800	47.58	48.85	49.68	50.5	51.3	40.3	41.8	43.1	44.1	45
3400	51.33	52.68	53.51	54.31	55.1	42.5	43.9	44.9	45.8	46.6
4000	55.67	57.11	57.93	58.74	59.51	44.1	45.3	46.3	47.1	47.7





În figura 4.3. sunt prezentate curbele de variație a presiunii si temperaturii cu care amestecul bifazic cu densitatea  $D_1$  intra in conducta  $C_2$  pozata in varianta  $V_2$  si respectiv ajunge la capătul final al acesteia (adică la parc). Se observa ca densitatea  $D_1$  nu influențeaza comportamentul hidrodinamic al curgerii ci **doar** comportamentul termodinamic unde se face simtita doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi,

Procentul impurități de apă iși pune amprenta pe comportarea termodinamică a vehiculării doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi, prin faptul că amestecul cel mai impur (cu procentul  $I_5$ ) este cel mai cald.

#### B. Țițeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Rezultatele simulării vehiculării amestecurilor bifazice cu  $R_1=10 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  si densitatea țițeiului  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$  prin conducta  $C_2$  in varianta de pozare  $V_2$ , adică presiunea la intrarea în conducta și respectiv temperatura la ieșire, în funcție de debit, sunt prezentate tabelul 4.4.

Debit			Presiunea	l		Temperatura					
m <sup>3</sup> /zi	<b>I</b> <sub>1</sub>	$I_2$	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	$I_5$	$I_1$	$I_2$	I <sub>3</sub>	$I_4$	I <sub>5</sub>	
12	42.93	44.13	44.5	44.87	45.25	9	9	9	9	9	
69	47.41	49.71	49.07	48.54	48.1	9	9	9	9	9	
103.1	48.82	51.08	49.96	49.07	48.37	9	9	9.1	9.1	9.2	
142.4	49.44	51.3	49.83	48.73	47.94	9.1	9.2	9.3	9.5	9.7	
189	49.2	50.47	48.89	47.81	47.11	9.2	9.7	10	10.3	10.7	
246	48.19	48.94	47.53	46.67	46.22	10.1	10.7	11.3	11.9	12.6	
319.5	46.7	47.14	46.13	45.64	45.49	11.4	12.4	13.3	14.3	15.3	
423	45.11	45.5	44.99	44.88	45	13.8	15.2	16.5	17.8	19	
600	43.79	44.3	44.99	44.5	44.86	18.2	20	21.6	23.2	24.6	
1080	43.96	44.71	45.28	45.83	46.28	27.5	29.5	31.2	32.7	34	
1600	46.61	47.42	47.79	48.17	48.55	33.7	35.5	37	38.3	39.4	
2200	50.29	51.17	51.45	51.73	51.99	38.2	39.8	41	42.1	43	
2800	54.83	55.79	55.97	56.13	56.25	41.2	42.5	43.6	44.5	45.3	
3400	60.18	61.24	61.3	61.33	61.3	43.2	44.4	45.3	46.1	46.8	
4000	66.33	67.49	67.43	67.31	67.12	44.8	45.8	46.6	47.3	47.9	

Tab. nr. 4.4. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_2$  prin conducta  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_2$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , densitatea țițeiului  $\mathbf{D}_2$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_2$ , varianta de pozare  $\mathbf{V}_2$ 





În figura 4.4. sunt prezentate curbele de variație ale presiunii si temperaturii cu care amestecul bifazic cu densitatea  $D_2$  intra in conducta  $C_2$  pozata in varianta  $V_2$  si respectiv ajunge la capătul final al acesteia. Se observa influența densității  $D_2$  care se manifestă **doar** asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este **spectaculoasă** și se face simțită la toate procentele de impuritati, mai ales în domeniul **debitelor mici.** Se observă ca densitatea nu afecteaza comportarea termodinamică a vehiculării care se face simtita doar după debitul de 100 m<sup>3</sup>/zi, prin faptul că amestecul cel mai impur (cu procentul **I**<sub>5</sub>) este cel mai cald.

Următoarele subcapitole au fost elaborate similar cu 4.1.1

# 4.1.2. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>2</sub> 4.1.3. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>3</sub> 4.1.4. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>4</sub>

#### 4.1.5. INFLUENȚA RAȚIEI GAZ/LICHID ASUPRA CURGERII BIFAZICE

Pentru acest studiu s-au folosit toate simulările curgerilor amestecurilor cu rațiiile gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ ,  $\mathbf{R}_2$ ,  $\mathbf{R}_3$  și  $\mathbf{R}_4$  cu densitățile țițeiului  $\mathbf{D}_1$  și  $\mathbf{D}_2$ , având procentele de impurități de apă  $\mathbf{I}_1$ ,.... $\mathbf{I}_5$  efectuate pe conducta  $\mathbf{C}_2$  în variantele de pozare  $\mathbf{V}_1$  și  $\mathbf{V}_2$ .

#### **4.2. CONCLUZII PARTIALE**

Analizând toate simulările cu cele patru amestecuri bifazice având rațiiile gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ ,  $\mathbf{R}_2$ ,  $\mathbf{R}_3$  și respectiv  $\mathbf{R}_4$ , procentele de impurități de apă  $\mathbf{I}_1$ ,.... $\mathbf{I}_5$  și densitățile țițeiului  $\mathbf{D}_1$  și respectiv  $\mathbf{D}_2$  efectuate pe conducta  $\mathbf{C}_2$  în cele două variante de pozare,  $\mathbf{V}_1$  și respectiv  $\mathbf{V}_2$ , se pot trage următoarele concluzii.

1. CURGEREA AMESTECURILOR PRIN C<sub>2</sub>/V<sub>1</sub> A. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup> B. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

2.CURGEREA AMESTECURILOR PRIN  $C_2/V_2$ A. Amestecul are țiței cu densitatea  $D_1=830 \text{ kg/m}^3$ B. Amestecul are țiței cu densitatea  $D_2=900 \text{ kg/m}^3$ 

#### C. CONCLUZII

Studiul pune în evidență influențele exercitate asupra comportamentelor hidrodinamic și termodinamic al curgerii amestecurilor bifazice prin conducta  $C_2$  a următorilor parametri:

- densitatea țițeiului: influența densității  $D_2$  se manifestă **doar** asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este **spectaculoasă** și se face simțită la toate rațiile și la ambele variante de pozare a conductei, mai ales în domeniul **debitelor mici;**
- rația gaz/lichid: influența rației se manifestă **doar** asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, este deasemenea **spectaculoasă** și se face simțită la ambele densități ale țițeiului precum și la ambele variante de pozare a conductei;
- varianta de pozare: influența îngropării conductei se manifestă asupra curgerii prin realizarea unor spectre hidrodinamice diferite dar cu presiuni mai mici, cât și prin realizarea unor spectre diferite ale temperaturilor dar cu temperature mai mari.
- procentul de impurități: influența acestuia se manifestă atât asupra comportamentului hidrodinamic al curgerii, unde se face simțită la ambele densități ale țițeiului precum și la ambele variante de pozare a conductei (mai ales în domeniul debitelor mici) cât și asupra comportamentului termodinamic prin aluri diferite ale spectrelor termodinamice al curgerii, (mai ales în domeniul debitelor mari).





# Capitolul 5 STUDIU COMPARATIV PRIVIND CURGEREA BIFAZICA PRIN CELE DOUĂ CONDUCTE ANALIZATE

#### 5.1. INFLUENȚA DIAMETRULUI CONDUCTEI ASUPRA CURGERII

#### 5.1.1. AMESTECURILE BIFAZICE AU RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>1</sub>

#### 1. VARIANTA $V_1$ de pozare a celor două conducte

#### A. Ţiţeiul are densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

Pe baza simularilor s-au elaborat prezentările din figurile urmatoare si concluziile.

- Fig. 5.1. Variațiile presiunii amestecului  $R_1/D_1$  la intrările in  $C_1/V_1$  și respectiv  $C_2/V_1$
- Fig. 5.2. Variațiile temperaturii amestecului  $R_1/D_1$  la ieșirile din  $C_1/V_1$  și respectiv  $C_2/V_1$

 $\blacktriangleright$  1. Aspectul hidrodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a presiunii, dar presiuni mai mici prin conducta C<sub>2</sub>.

▶ 2. Aspectul termodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a temperaturii, dar temperaturi mai mici prin conducta  $C_2$ .

#### B. Țițeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Pe baza simularilor s-au elaborat prezentările din figurile urmatoare si concluziile.

- Fig. 5.5. Variațiile presiunii amestecului  $R_1/D_2$  la intrările în  $C_1/V_1$  și respectiv  $C_2/V_1$
- Fig. 5.6. Variațiile temperaturii amestecului  $R_1/D_2$  la ieșirile din  $C_1/V_1$  si respectiv  $C_2/V_1$

► 1. Aspectul hidrodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a presiunii, (mult diferite față de cele generate de densitatea  $D_1$ ) și presiuni mai mici prin conducta  $C_2$ .

▶ 2. Aspectul termodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a temperaturii, dar temperaturi mai mici prin conducta C2.

#### 2. VARIANTA $V_2$ de pozare a celor două conducte

#### A. Ţiţeiul are densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

Pe baza simularilor s-au elaborat prezentările din figurile urmatoare si concluziile.

- Fig. 5.3. Variațiile presiunii amestecului  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  la intrările în  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_2$  și respectiv  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_2$
- Fig. 5.4. Variațiile temperaturii amestecului  $R_1/D_1$  la ieșirile din  $C_1/V_2$  și respectiv  $C_2/V_2$

► 1.Aspectul hidrodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a presiunii, dar presiuni mai mici prin conducta C2.

► 2. Aspectul termodinamic: Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a temperaturii, dar temperaturi mai mici prin conducta C2.

#### B. Țițeiul are densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

Pe baza simularilr s-au elaborat prezentările din urmatoare si concluziile.

- Fig. 5.7. Variațiile presiunii amestecului  $R_1/D_2$  la intrările în  $C_1/V_2$  și respectiv  $C_2/V_2$
- Fig. 5.8. Variațiile temperaturii amestecului  $R_1/D_2$  la ieșirile din  $C_1/V_2$  si respectiv  $C_2/V_2$

► 1.Aspectul hidrodinamic (din analiza figurii 5.7.): Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a presiunii, dar presiuni mai mici prin conducta C2.

▶ 2. Aspectul termodinamic (din analiza figurii 5.8.): Aluri asemănătoare ale curbelor de variație a temperaturii, dar temperaturi mai mici prin conducta C2.

# **5.2. CONCLUZII PARȚIALE**

#### $\underline{1.CURGEREA \ AMESTECURILOR \ CU \ RATIA \ R_1 \ PRIN \ C_1 \ \$i \ C_2}$

#### A. VARIANTA $V_1$ DE POZARE

#### A.1. Amestecurile au țiței cu densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

- Aspect hidrodinamic: similar, dar cu presiuni mai mici pe  $C_2$ .
- Aspect termodinamic: similar, dar cu temperaturi mai mici pe conducta C2.

#### A.2. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

- Aspect hidrodinamic: similar, dar cu presiuni mai mici pe  $C_2$ .
- Aspect termodinamic: similar, dar cu temperaturi mai mici pe conducta C2.

#### **B.** VARIANTA V<sub>2</sub> DE POZARE

#### B.1. Amestecurile au țiței cu densitatea D<sub>1</sub>=830 kg/m<sup>3</sup>

- Aspect hidrodinamic: similar, dar cu presiuni mai mici (56-58 față de 40-44 bar) pe C2.
- Aspect termodinamic: similar, dar cu temperaturi mai mici pe conducta C<sub>2</sub>.

#### B.2. Amestecul are țiței cu densitatea D<sub>2</sub>=900 kg/m<sup>3</sup>

- Aspect hidrodinamic: similar, dar cu presiuni mai mici (68-70 față de 48-52 bar) pe C2.
- Aspect termodinamic: similar, dar cu temperaturi mai mici pe conducta C<sub>2</sub>.

#### 

Sintetic, situația se prezintă astfel:

	Plajă de pr	resiuni la valoarea c	lebitului de 1000 m	<sup>3</sup> /zi, în bar
	Intrare în $C_1/V_1$	Intrare în $C_1/V_2$	Intrare în $C_2/V_1$	Intrare în $C_2/V_2$
Amestec $\mathbf{R}_1 / \mathbf{D}_1$	4750	4548	4245	3740
Amestec $R_1/D_2$	70120	5456	5368	4346
Amestec $R_2/D_1$	5051	4648	3435	3638
Amestec $\mathbf{R}_2/\mathbf{D}_2$	6886	5157	4456	3739
Amestec <b>R</b> <sub>3</sub> / <b>D</b> <sub>1</sub>	5152	4953	3536	2125
Amestec <b>R</b> <sub>3</sub> / <b>D</b> <sub>2</sub>	7888	5253	4550	3536
Amestec $R_4/D_1$	7475	6970	4041	3738
Amestec R <sub>4</sub> /D <sub>2</sub>	92100	8082	4856	4546

Se observă că:

- - amestecurile bifazice care conțin țițeiul greu cu densitatea  $D_2$  impun presiuni mai mari;
- - conducta C<sub>2</sub> presupune presiuni mai mici;
- - în cazul conductei  $C_1$  în ambele variante de pozare, creșterea rației amestecurilor ce conțin țițeiul ușor conduce la creșterea presiunii.



#### Curgerea amestecului $R_1/D_1$ prin conductele $C_1$ și $C_2$ în varianta $V_1$ de pozare







Fig. 5.3. Variațiile presiunii amestecului bifazic  $\mathbf{R}_1/\mathbf{D}_1$  la intrarile in conductele  $\mathbf{C}_1/\mathbf{V}_2$  si respectiv  $\mathbf{C}_2/\mathbf{V}_2$ 



#### Capitolul 6. Studiu de caz

# OPTIMIZAREA PRODUCȚIEI UNEI SONDE SUBMARINE DE ȚIȚEI ȚINÂND CONT DE CONDUCTA DE AMESTEC

# 6.1. UTILIZAREA ANALIZEI NODALE ÎN OPTIMIZAREA PRODUCȚIEI SONDELOR

#### **1. PREZENTAREA METODEI DE STUDIU**

Analiza sistemelor se aplică de peste 60 de ani pentru a analiza performanța sistemelor compuse din componente care interacționează între ele. Circuitele electrice, rețelele complexe de conducte, sistemele de pompe centrifugale, toate sunt analizate utilizând această metodă.

În cazul unei sonde de producție, analiza nodală constă în alegerea unui punct sau nod în sondă și împărțirea sistemului față de acest punct.

Toate componentele din amonte de nod (upstream) formează secțiunea de intrare în nod (**inflow**), în timp ce secțiunea de ieșire din nod (**outflow**) este alcătuită din toate componentele aflate în aval de nod (downstream) [36, 42].

Căderea de presiune în oricare dintre componente,  $\Delta p$ , variază în funcție de debit. Reprezentând grafic presiunea în nod în funcție de debit vor rezulta două curbe. Intersecția acestora furnizează condițiile ce satisfac cerințele 1 și 2 de mai sus.



Fig. 6.3. Presiunea în nod în funcție de debit

#### 2. Scopul studiului de caz

Studiul de caz se referă la o sondă de producție ce exploatează un zăcământ submarin de țiței. Scopul studiului este alegerea parametrilor conductei de amestec bifazic în vederea obțineii debitului maxim de producție [70, 77].

A. DATE DE BAZĂ NECESARE ELABORĂRII STUDIULUI

**1. Date despre fluide** 

2.Date complementare despre zăcământ

3.Corelații PVT

**4.Date privind transferul termic** 

B. GEOMETRIA SISTEMULUI Locația submarină

#### C. MODUL DE EFECTUARE A SIMULĂRILOR

Simulările s-au efectuat conform schemei de mai jos, amestecul bifazic având patru rații gaz/lichid  $R_1 = 90 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ ,  $R_2 = 100 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ ,  $R_3 = 120 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  și respectiv  $R_4 = 140 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  precum și procente de impurități corespunzătoare  $I_1 = 40 \%$ ,  $I_2 = 30 \%$ ,  $I_3 = 20 \%$  și  $I_4 = 10 \%$ .

Simulările au fost realizate succesiv pentru vehicularea amestecului bifazic cu rația gaz/lichid și procentul de impurități respectiv, prin conductele de diametre  $C_1$  de  $\Phi$  3",  $C_2$  de  $\Phi$  4" și respectiv  $C_3$  de  $\Phi$  6", fiecare fiind protejate termic prin izolații din mase plastice cu grosimile de Iz<sub>0</sub>=0 mm, Iz<sub>1</sub>=5 mm, și respectiv Iz<sub>2</sub>=15 mm.

Simulările au urmărit realizarea diagramelor **inflow** și respectiv **outflow** considerând că nodul sondei este capul de erupție al acesteia [82, 84, 85].

# **6.2. REZULTATELE SIMULĂRILOR EFECTUATE**

#### 6.2.2. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R1

#### 1. Rezultatele simulărilor pentru conducta $C_1$

Tab. nr. 6.1. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{I}_1$  prin  $\mathbf{C}_1$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , procentul de impurități atașat  $\mathbf{I}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_1$ 

		-						
Int	flow			01	ıtflow			
Debit	Presiune	Debit	Presiune	Debit	Presiune	Debit	Presiune	
m <sup>3</sup> /zi	bar	<b>Iz₀</b> =0 mm		Iz <sub>1</sub> =	5 mm	<b>Iz</b> <sub>2</sub> =15 mm		
0	49.9	2.4	44.87	2.4	44.86	2.4	44.77	
39.7	48.96	13.5	88.21	13.5	87.15	13.5	86.19	
79.9	49.19	20.2	101.72	20.2	100.31	20.2	98.83	
120.3	48.39	27.9	114.18	27.9	112.31	27.9	110.13	
161.2	46.07	37.1	126.44	37.1	123.94	37.1	120.62	
202.3	40.92	48.3	139.63	48.3	136.19	48.3	131.09	
243.7	34.87	62.7	155.1	62.7	149.83	62.7	141.77	
285.1	27.78	83	176.88	83	167.7	83	153.76	
326.8	20.32	117.7	212.56	117.7	194.04	117.7	169.23	
368.8	12.33			211.9	263.13	211.9	167.96	
428.4	1.01					313.9	144.02	



Fig. 6.8. Diagramele inflow și outflow pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{I}_1$  prin  $\mathbf{C}_1$  izolată cu  $\mathbf{Iz}_0$ ,  $\mathbf{Iz}_1$  și  $\mathbf{Iz}_2$ 

Parametrii punctului de funcționare al sondei (acesta obținându-se prin intersecția celor două diagrame), sunt: p=50 bar și Q=4  $m^3/zi$ .

#### 2. Rezultatele simulărilor pentru conducta $C_{\rm 2}$

Tab. nr. 6.2. Rezultatele simulărilor pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{I}_1$  prin  $\mathbf{C}_2$ Rația gaz/lichid  $\mathbf{R}_1$ , procentul de impurități atașat  $\mathbf{I}_1$ , conducta de amestec  $\mathbf{C}_2$ 

Inflow		Outflow						
Debit	Presiune	Debit	Presiune	Debit	Presiune	Debit	Presiune	
m <sup>3</sup> /zi	bar	Iz <sub>0</sub> =	0 mm	Iz <sub>1</sub> =	5 mm	<b>Iz</b> <sub>2</sub> =15 mm		
0	49.9	2.4	29.85	2.4	29.84	2.4	29.79	
39.7	48.96	13.5	57.59	13.5	56.82	13.5	56.25	
79.9	49.19	20.2	67.6	20.2	66.54	20.2	65.6	
120.3	48.39	27.9	76.83	27.9	75.41	27.9	73.97	
161.2	46.07	37.1	85.53	37.1	83.74	37.1	81.7	
202.3	40.92	48.3	93.99	48.3	91.83	48.3	89.04	
243.7	34.87	62.7	103.19	62.7	100.54	62.7	96.42	
285.1	27.78	83	114.1	83	110.54	83	104.44	
326.8	20.32	117.7	129.43	117.7	123.9	117.7	113.86	
368.8	12.33	211.9	162.26	211.9	148.07	211.9	122.15	
428.4	1.01	313.9	197.46	313.9	167.79	313.9	106.33	
		431.5	240.19	431.5	184.96	431.5	91.29	
				549.2	194.5	549.2	86.35	



Fig. 6.9. Diagramele inflow și outflow pentru amestecul  $R_1/I_1$  prin  $C_2$  izolată cu  $Iz_0, Iz_1$  și  $Iz_2$ 

Parametrii punctului de funcționare al sondei (acesta obținându-se prin intersecția celor două diagrame), sunt: p=50 bar și Q=10,5 m $^3$ /zi.

#### 3. Rezultatele simulărilor pentru conducta $C_{\rm 3}$



Fig. 6.10. Diagramele inflow și outflow pentru amestecul  $\mathbf{R}_1/\mathbf{I}_1$  prin  $\mathbf{C}_3$  izolată cu  $\mathbf{Iz}_0, \mathbf{Iz}_1$  și  $\mathbf{Iz}_2$ 

Parametrii punctelor de funcționare al sondei (acesta obținându-se prin intersecția diagramei inflow cu cele trei diagrame outflow corespunzătoare celor trei moduri de izolare), sunt; p=49 bar și Q=49 m<sup>3</sup>/zi (pentru **Iz**<sub>0</sub>), 52 m<sup>3</sup>/zi (pentru **Iz**<sub>1</sub>) și 56 m<sup>3</sup>/zi (pentru **Iz**<sub>2</sub>).

#### **5.** CONCLUZII PARȚIALE

Sintetic, rezultatele simulărilor pentru transportul amestecului bifazic cu  $R_1=90$   $Nm^3/m^3$  și  $I_1=40\%$  prin cele trei conducte, sunt prezentate în tabelele următoare.

Rația gaz/lichid <b>R<sub>1</sub>=90 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b> , procentul de impurități <b>I<sub>1</sub>=40%</b>										
Izolatio	Condu	cta C <sub>1</sub>	Condu	icta C <sub>2</sub>	Conducta C <sub>3</sub>					
Izolație	Presiune	Debit	Presiune	Debit	Presiune	Debit				
Iz0	50	4	50	4	50	4				
Iz2	50	10	50	10	50	10				
Iz3	48	50	48	52	48	58				

Гab.	6.4. Si	nteza 1	rezulta	telor	simu	lărilor	pentru	amestecul	$\mathbf{R}_1$	<b>/I</b>
------	---------	---------	---------	-------	------	---------	--------	-----------	----------------	-----------

Гаb. (	6.5.	Punctul	de	funcționare	a sondei	pentru	amestecul	$\mathbf{R}_1$	/I <sub>1</sub>
--------	------	---------	----	-------------	----------	--------	-----------	----------------	-----------------

Conducta/izolația	Presiune în nod	Debitul sondei
$C_1/Iz_2$	50	4
$C_2/Iz_2$	50	10
C <sub>3</sub> / Iz <sub>2</sub>	48	58

Se observă că în cazul primelor două conducte, prima variantă de izolarea nu are nici un efect asupra parametrilor sondei. Conducta cea mai mare  $C_3$  produce surpriza în sensul că scade presiunea de la 50 la 48 bar și produce un debit de 58 m<sup>3</sup>/zi. Rezultă că pentru condițiile de mai sus, soluția este echiparea sondei cu conducta de amestec de 6 in, izolată cu

# 6.2.3. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>2</sub> 6.2.4. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>3</sub> 6.2.5. AMESTECUL BIFAZIC ARE RAȚIA GAZ/LICHID R<sub>4</sub>

# 6.3. CONCLUZII PRIVIND STUDIUL DE CAZ

#### **1.** CONCLUZIILE CE SE DESPRIND DIN STUDIU

#### A. Sinteza rezultatelor simulărilor și interpretarea acesteia

Sinteza rezultatelor simulărilor pentru cele trei conducte de amestec de diametre  $C_1 de \phi$ 3",  $C_2 de \phi 4$ " și respectiv  $C_3 de \phi 6$ ", fiecare fiind protejate termic prin izolații din mase plastice cu grosimile de  $Iz_0=0$  mm,  $Iz_1=5$  mm și respectiv  $Iz_2=15$  mm, este prezentată in continuare.

Punct de	Conducta C <sub>1</sub>		Cone	ducta C <sub>2</sub>	Conducta C <sub>3</sub>		
funcționare	P, bar	Q, m <sup>3</sup> /zi	p, bar	Q, m <sup>3</sup> /zi	p, bar	Q, m <sup>3</sup> /zi	
<b>R</b> <sub>1</sub> & <b>I</b> <sub>1</sub>	64	$5^{(1)+2)+3}$	68	$12^{(1)+(2)+(3)}$	76	$90^{1}/100^{2}/110^{3}$	
$\mathbf{R}_2 \& \mathbf{I}_2$	56	$4^{(1)+2)+3}$	60	$11^{1)+2)+3)}$	68	78 <sup>1)</sup> /84 <sup>2)</sup> /96 <sup>3)</sup>	
<b>R</b> <sub>3</sub> & <b>I</b> <sub>3</sub>	52	$3,5^{(1)+(2)+3)}$	54	$10^{(1)+(2)+(3)}$	56	$58^{1}/64^{2}/70^{3}$	
R4 & I4	50	$3^{1)+2)+3)}$	50	$9,5^{(1)+(2)+(3)}$	49	$49^{1}/52^{2}/56^{3}$	

Tab. nr. 6.21. Sinteza rezultatelor simulărilor efectuate

<sup>1)</sup>conducta neizolată; <sup>2)</sup>conducta izolată cu 5 mm; <sup>3)</sup>conducta izolată cu 15 mm;



Fig. 6.33. Variația debitului sondei echipată cu  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  pentru  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_4$ 



Fig. 6.34. Variația debitului sondei echipată cu conducta  $C_3$  pentru  $R_1R_2$ .  $R_4$ .  $R_4$ 

În concluzie, aplicând Analiza Nodală folosind simulatorul Well PERFORMance Analysis, în cazul sondei ce face obiectul sudiului de caz, se poate optimiza producția acesteia prin alegerea conductei de amestec de 6 in, protejata cu o izolatie de grosime 15 mm.

# **CONCLUZII FINALE**

Teza este structurată în trei părți. În prima parte sunt prezentate **Aspectele teoretice implicate** în elaborarea tezei (conținând capitolele 1 și 2), în a doua parte sunt prezentate **Studiile efectuate** prin simulări de curgeri ale unor amestecuri bifazice prin două conducte de amestec (conținând capitolele 3, 4 și 5), iar în a treia parte este prezentat un **Studiu de caz** referitor la optimizarea productiei unei sonde submarine de țiței ținând cont de conducta de amestec (capitolul 6).

Astfel, în capitolul 1, intitulat **Termodinamica sistemelor bifazice** sunt prezentate principalele aspecte teoretice ce caracterizează sistemele bifazice ce urmează a fi transportate prin conducte și anume condițiile de echilibru termodinamic și condiții pentru echilibrul fazelor.

În capitolul 2, intitulat **Calculul gradienților de presiune în cazul transportului bifazic** sunt prezentate principalele metode speciale de calcul a căderii de presiune în curgerea bifazică. Se insistă pe metoda Beggs și Brill, cea mai veche dar și cea mai curtată de cercetători pentru elaborarea unor programe complexe de simulare a curgerilor bifazice prin conducte. De altfel, programul de calcul de simulare folosit în teză are la bază această metodă, îmbunătățită din punct de vedere științific prin utilizarea unor corelații ce modelează proprietățile fluidelor participante la curgere.

În capitolul 3, intitulat **Curgerea bifazică prin conducta cu diametrul de 6** " sunt prezentate aspectele termo și hidrodinamice rezultate din simulările curgerii bifazice a unor amestecuri având 4 rații gaze/lichid, două densități ale țițeiului din componență și 5 procente de impurități de apă de zăcământ, printr-o conductă lungă de 20 km cu diametrul de 6" pozată în 2 variante. S-a folosit simulatorul Well PERFORMance Analysis.

Concluziile ce se desprind din acest capitol sunt prezentate la finele acestuia și pun în evidență influența densității țițeiului, a rației gaz/lichid, a procentului de impurități și a variantei de pozare asupra comportamentului hidrodinamic și respectiv termodinamic al curgerii prin conducta de 6".

În capitolul 4, intitulat **Curgerea bifazică prin conducta cu diametrul de 8**" sunt prezentate aspectele termo și hidrodinamice ale simulărilor curgerii bifazice a amestecurilor definite în capitolul 3, printr-o conductă cu diametrul de 8" pozată, de asemenea, în cele 2 variante. Concluziile ce se desprind din acest capitol evidențiază, ca și în cazul curgerii prin conducta cu diametrul de 6", influența densității țițeiului, a rației gaz/lichid, a procentului de impurități și a variantei de pozare asupra comportamentului hidrodinamic și respectiv termodinamic al curgerii amestecurilor bifazice prin conducta de 8".

În capitolul 5, intitulat **Studiu comparativ privind** c**urgerea bifazică prin cele două conducte analizate** sunt prezentate comparativ aspectele termo și hidrodinamice rezultate din simulările curgerii bifazice a amestecurilor definite în capitolul 3, prin conductele cu diametrul de 6'' și respectiv de 8''.

Analiza comportamentelor hidrodinamic și respectiv termodinamic ale curgerii amestecurilor bifazice prin cele două conducte (stipulând influențele densității țițeiului, a rației gaz/lichid și a variantei de pozare), conduce la concluzia superioritatii conductei de 8" față de cea de 6" din punct de vedere hidrodinamic (presiuni mai mici la intrarea în conducta de 8") și superioritatea conductei de 6" față de cea de 8" din punct de vedere termodinamic

(temperaturi mai mari la ieșirea din conducta de 6").

În capitolul 6, intitulat **Optimizarea producției unei sonde submarine de țiței ținând cont de conducta de amestec** s-a trecut la aplicarea metodei simulării curgerii amestecului bifazic printr-o conductă de amestec în cazul concret al unei sonde submarine de țiței: alegerea diametrului conductei de amestec a fost făcută pe baza simulărilor cu simulatorul Well PERFORMance Analysis. Conducta cu lungimea de 18,5 km a fost aleasă dintre 3 diametre de 3'', 4'' și 6'', protejate cu 3 variante de izolație. A fost ales diametrul de 6'' pentru conducta de amestec deoarece realizează debitul cel mai mare de fluid la o presiune moderată.

Principala concluzie ce se desprinde din teză este că simulatorul Well PERFORMance Analysis permite studiul mișcării bifazice prin conductele de amestec și în consecință este un ajutor de nădejde (științific) în luarea deciziilor pentru conducerea operațiilor de exploatare.

#### 2. CONTRIBUȚIILE ȘTIINȚIFICE ALE AUTORULUI

Consider că principalele contribuții științifice pe care teza le aduce domeniului studiat sunt următoarele:

1. O prezentare sintetică a **metodelor de calcul a gradienților de presiune în cazul transportului bifazic:** sunt prezentate principalele metode speciale de calcul a căderii de presiune în curgerea bifazică.

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 termo și hidrodinamice caracteristice curgerii fluidelor bifazice prin conducte.

4. Alegerea **parametrilor importanți** care influențează procesele termo și hidrodinamic ce însoțesc mișcarea amestecurilor bifazice prin conducte.

5.Conceperea unor **simulări ale diverselor procese de transport bifazic** prin diverse conducte și în condiții impuse, punând în evidență influiențele parametrilor specifici.

6. Analiza rezultatelor **simulărilor în scopul obținerii condițiilor optime** de transport bifazic prin conductele de amestec.

7. **Generalizarea rezultatelor obținute prin simulări** în vederea elaborării unei strategii privind luarea deciziilor corecte în cadrul conducerii operațiilor de exploatare.

#### **3.DIRECȚII NOI DE CERCETARE**

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

1. În primul rând pe direcția studierii și asimilării programelor moderne, ultra performante, pentru simulări în acest domeniu, pentru ca acestea să devină instrumente obișnuite la dispoziția operatorilor.

2. În al doilea rând pe direcția dezvoltării unor softuri noi, valoroase dar mai simple, care să permită realizarea unor simulări rapide.

# BIBLIOGRAFIE

- 1. Albulescu, M., Mecanica fluidelor, Editura Universitatii Petrol-Gaze Ploiești, 2004
- Albulescu, M. M. Stoicescu M., Coman C, Stan Al. D., Posibilități de separare a apei din gaze folosind efecte centrifugal, Buletinul Universității Petrol-Gaze Ploiești, 1998, nr. 3
- Albulescu, M. Doru Stoianovici, Severino Cosmin Florescu, <u>Tiberiu Florin Trifan</u>, The Study of the influience of Formation Content over the Hydaulic Performances of Transport Pipelines in the Oil Fields, Buletinul U.P.G. Ploieşti, Seria tehnica, Vol. LXIX No.4/2016
- 4. **Beal, C.:** "The Viscosity of Air, Water, Natural Gas, Crude Oil and its Associated Gases at Oil Field Temperatures and Pressures", Trans. AIME, 165, 94.
- Beggs, H.D., Brill, J.P., "A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes," Journal of Petroleum Technology, Vol. 25, No. 5, May 1973, 607-617
- 6. **Beggs, H. D.:** "*Production Optimization using Nodal Analysis*", OGCI and Petroskills Publications, Tulsa, Oklahoma, 2003
- 7. Beggs, H.D. and Robinson, J.R.: "Estimating the Viscosity of Crude Oil Systems", J. Petr. Techn., Sept. 1140.
- 8. **Bell, W.T.:**"*Perforating Techniques for Maximizing Well Productivity*", paper SPE-10033, presented at the International Petroleum Exhibition and Technical Symposium, Beijing, China, 17-24 March 1982
- 9. **Brooks, J.E.:** "A Simple Method for Estimating Well Productivity," paper SPE 38148 presented at the 1997 SPE European Formation Damage Conference, The Hague, 2–3 June
- Brown, K.E., James, F.L. : "Nodal Systems Analysis of Oil and Gas Wells", JPT. Vol. 37, October 1985
- 11. Carr, N.L., Kobayashi, R., and Burrows, D.B.: "Viscosity of Hydrocarbon Gases Under Pressure", Trans. AIME 201, 264
- 12. Chew, J., and Connally, C.A.: "A Viscosity Correlation for Gas Saturated Crude Oils", Trans. AIME 216, 23.
- 13. Crețu I, Stan. Al.D., *Transportul fluidelor prin conducte*, Editura Tehnică, București, 1985
- 14. **Cristescu, M.:** "*Stimularea productivității sondelor. Aplicații*", Editura Universității Petrol Gaze din Ploiești, 2007
- 15. Cristescu, M.: "Tehnologia extracției petrolului", Universitatea Ploiești, 1993
- 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. **Cristian, M., Socol, S., Constantinescu, A**.: "*Creșterea productivității și receptivității sondelor*", Editura Tehnică, București, 1982
- 19. **Dempsey, J.R.:** "Computer Routine Treats Gas Viscosity as a Variable", O & G Journal, Aug. 16, p. 141.
- 20. Dinu, F., Extracția gazelor naturale. Editura U. P. Gaze din Ploiești, 2000
- Dmour, H.D.: "Optimization of Well Production System by NODAL Analysis Technique", <u>Petroleum Science and Technology</u>, Volume 31, Issue 11, June 2013, pp: 1109-1122
- 22. **Dobrinescu, D.Bulau, L.** *Contributii la calculul termic al conductelor ingropate,*-Institutul de Petrol si Gaze,20, 2,1969
- 23. **Draghici, N. M.-** Conducte pentru transportul fluidelor, Editura Tehnica, Bucuresti 1977

- 24. 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
- 25. **Duns, H.J. and Ros J.C.J.:** *"Vertical Flow of Gas and Liquid Mixtures in Wells*", the 6th World Petroleum Congress, June 19-26, 1963, Frankfurt, pp: 451-465.
- Florescu, S. C., Albulescu, M., Stoianovici, D., <u>Trifan, T. F.</u> 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
- 27. **Glasø, Ø.:** "Generalized Pressure-Volume-Temperature Correlations", JPT, May 1980, p 784-795.
- 28. **Govier, G. W. Aziz K**., *The flow of complex mixtures in pipes*, Van Nostrand Reinolds Comp. 1972
- 29. Griffith, P., Wallis, G.B.:" *Two-Phase Slug Flow*", Journal of Heat Transfer, August 1961, Vol.83 (3), 307-318.
- 30. Halliday D, Resnick R., Fizica, vol. I, Editura didactică și pedagogică, București, 1975
- 31. Holman. J.P., *Thermodynamics*, McGraw Hill Book Comp. New York 1974
- 32. Ionescu, E.M. : "*Hidraulică subterană*", Editura UPG Ploiești, 2005, 12-21
- 33. Issham, I.:"*Multiphase Flow Correlation (Part 1):* Development and Applications, Buletin FKKKSA 1992, 6(1), 26-31
- 34. **Jung M.,** Determinarea cantităților de gaze uscate la măsurarea gazelor umede prin metoda orificiului, Petrol și Gaze Nr.6/1965
- 35. Lasater, J.A.: "Bubble Point Pressure Correlation", Trans. AIME, 213, p.379-381.
- 36. Lyons, W.C.:" Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering, vol 2, 488-533
- 37. **Manolescu, G. Soare El.,** *Fizico-chimia zăcămintelor de hidrocarburi*, Editura didactică și pedagogică București 1981
- 38. Marinescu, M., Termodinamica tehnica, MATRIX ROM, Bucuresti, 1998
- Musaab M. A., Ayoub M. A.: "A Comprehensive Study on the Current Pressure Drop Calculation in Multiphase Vertical Wells; Current Trends and Future Prospective", Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 14, 3162-3171.
- 40. **McCain, A.E.:** *"The Properties of Petroleum Fluids"*, Petroleum Publishing Co. Tulsa, Oklahoma, 1973
- 41. Moody F.J., Introduction to unsteady thermofluid mechanics, John-Wiley sons 1990
- 42. Nobles, M.D., Using the Computer to Solve Petroleum Engineering Problems, Gulf Publishing Co., 1974
- 43. Neacşu, S., Termodinamica sistemelor tehnice, Editura Universității din Ploiești, 2003
- 44. Nemeth, L.K., Kennedy, H.T.: "A Correlation of Dewpoint Pressure with Fluid Composition and Temperature", SPEJ, June, p 99.
- 45. **Oroveanu T.**, *Hidraulica și transportul produselor petroliere*, Editura didactică și pedagogică București 1966
- 46. Oroveanu T., Mecanica fluidelor vâscoase, Editura Academiei Române 1968
- 47. Oroveanu, T., David, V., Stan, Al.D., Trifan, C., Colectarea, transportul, depozitarea și distribuția produselor petroliere și gazelor, E. D. P., București, 1985
- 48. **Orkiszewski, J.:** "*Predicting Two-Phase Pressure Drops in Vertical Pipe*", Journal of Petroleum Technology, June 1967, 829-838.
- 49. **Pavloski, N. Stan Al. D., Ionescu Gh.,** *O noua teorie privind transportul bifazic prin conducte*, Rev. Romana de Gaze, nr. 4/2000
- 50. Pușcoiu. N., Extracția gazelor naturale, Editura Tehnică București 1986
- 51. Richardson. St. M., Fluid Mechanics-Hemisphere. Publishing Comp. New York 1989
- 52. Sanati, A.:"Numerical Simulation of Air-Water Two Phase Flow in Vertical Pipe Using

*k*- ε Mode", International Journal of Engineering & Technology, 4 (1) 2015, 61-70

- 53. **Soare, Al., Strătulă, C.** *Transportul și depozitarea fluidelor* Vol. II Editura Universității din Ploiești 2002
- 54. **Soare, AI., ş.a.,** *Ingineria zăcămintelor de hidrocarburi,* vol I și II, Editura Tehnică, București, 1982.
- 55. **Standing, M.B**.:"A Pressure-Volume-Temperature Correlation for Mixtures of California Oils and Gases", API Drilling and Production pract., p. 247.
- 56. **Standing, M.B.:** "Volumetric Phase Behaviour of Oil Field Hydrocarbon Systems", Chevron Research Company.
- 57. Popescu, C., Coloja, M.P., "Extracția țițeiului și gazelor asociate", Ed. Tehnică, 1993
- 58. Peng, D. -Y. and Robinson, D. B. (1976). A New Two-Constant Equation of State, Ind.Eng. Chem. Fundam., 15, 59-64.108
- 59. 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.
- Sanati, A.:"Numerical Simulation of Air-Water Two Phase Flow in Vertical Pipe Using k- ε Mode", International Journal of Engineering &Technology, 4 (1) 2015, 61-70
- 61. **Sanjay K. Dhiraj:** "Nodal Analysis, Well Problem Analysis, Wax and Sand Control", http://petrofed.winwinhosting.net/upload/30May-01June11/19.pdf
- 62. Soare, Al. :" Investigarea hidrodinamică a zăcămintelor", Editura UPG, 2005
- 63. **Stoffregen, J., Botros, K. K., Sennhauser, D.J., Jungowski, K., Golshan, H.,** *Pipeline Network Optimization – Application of Genetic Algorithm Methodologies*, Pipeline Simulation Interest Group (<u>http://psig.org/papers/</u> 2000/0502.pdf, 2009)
- 64. **Stoianovici, D., Albulescu, M., Florescu, S. C., <u>Trifan, T.,F.</u> The Study of the influience of Biphazic Composition over the Hydaulic Performances of Transport Pipelines, Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, Vol. LXIX No.4/2016**
- 65. **Stoianovici, Doru,** <u>**Trifan, T., F.,</u>**Ilie B. *Study on How Insulting a Mixture Pipeline Influences the Outflow Capacity of an Offshore Oil Well*, Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, sub tipar</u>
- 66. Shelley. J.F., Engineering Mechanics Dynamics, McGraw Hill Book Comp. 1980
- 67. Soo. S.L., Multiphase Fluid Dynamics, Science Press Beijing Gower Technical 1990
- 68. **Stan Al. D., Albulescu M**., *Posibilități de corecție a debitului de gaze la fracțiuni mari de apă în curentul de gaze*, St.cerc.mec.apl.46. 1987, Editura Academiei Române
- 69. **Standing, M.B.:** Volumetric and Phase Behaviour of Oil Field Hydrocarbon Systems, Soc. Petr. Engin., Dallas, 1981.
- 70. **Standing, M.B.:** "Inflow Performance Relationships for Damaged Wells Producing by Solution Gas Drive", JPT, November 1970
- 71. **Standing, M.B.:** "Concerning the Calculation of Inflow Performance of Wells Producing from Solution Gas Drive Reservoirs", JPT, September 1971
- Sutton, R.P., Farashad, F. F.: "Evaluation of Empirically Derived PVT Properties for Gulf of Mexico Crude Oils", SPE 13172, 59th Annual Meeting, Houston, TX, 1984.
- 73. **Stefănescu D., Marinescu M., Ganea I.**, *Termogazodinamica tehnică*. Editura Tehnică București 1986
- 74. Torrens, T.S., Lee, K.C.:"Vertically Upward Two Phase Flow in an Annulus",
- 75. **Trifan C., Albulescu M., Neacşu S.**, *Elemente de mecanica fluidelor şi termodinamică tehnică*, Editura U.P.G.Ploiești 2005
- 76. **Trifan, C., Albulescu, M.,** *Hidraulica, transportul și depozitarea produselor petroliere și gazelor*, Editura Tehnică, București 1999
- 77. <u>Trifan T. F.</u> Studiu privind variațiile presiunii și temperaturii în cazul curgerii

*bifazice prin conductele de amestec*, Proiect de cercetare științifică. UPG Ploiești

- 78. <u>**Trifan T. F.**</u> Prezentarea metodelor de estimare a gradienților de presiune în cazul curgerii bifazice prin conductele de amestec, Referatul nr. 1 la teza de doctorat, UPG Ploiești
- 79. <u>Trifan T. F.</u> Studiul influenței factorilor specifici de exploatare asupra presiunii și temperaturii din conductele de amestec sondă – parc, Referatul nr. 2 la teza de doctorat, UPG Ploiești
- 80. <u>**Trifan, T. F.**</u> Optimizarea producției unei sonde de țiței ținând cont de pierderile de presiune înregistrate în conducta de amestec-studiu de caz, Referatul nr. 3 la teza de doctorat, UPG Ploiești
- 81. <u>Trifan, T., F.,</u> Stoianovici, Doru, Ilie B., Study on How the Positioning of the Mixture Pipeline Influences Its Thermal and Hydrodynamic Behavior, Buletinul U.P.G. Ploiești, Seria tehnica, sub tipar
- 82. **Tuma J.**, *Engineering Mathematics Handbook*. 3th Edition McGraw Hill Book Comp. New York 1987
- 83. Upp E.L., Fluid Flow-Gulf Publishing Comp. New York 1993
- 84. **Vasquez, M., Beggs, H.D.:** "*Correlation for Fluid Physical Property Predictions*", JPT, June 1980, p. 968-970.
- 85. Weller, W.T.: "Reservoir Performance During Two-Phase Flow", JPT, February 1966 16th NZ Geothermal Workshop, 1994, 275-279
- 86. Whitson, C.H., Brule, M. R.: *Phase Behavior\_SPE Monograph vol. 20, Henry L. Doherty series Richardson, Texas 2000*