

COMPARAȚIE ÎNTRE PROGRAMELE DE SIMULARE NUMERICĂ SIMHYDRAULICS ȘI PIPE FLOW

COMPARISON BETWEEN THE PROGRAMS OF NUMERICAL SIMULATION SIMHYDRAULICS AND PIPE FLOW

Conf. univ. dr. ing. Ion PANĂ

Universitatea de Petrol și Gaze din Ploiești
Ploiești, b-dul București, nr. 39, Romania
e-mail: pana.ion@upg-ploiesti.ro

Rezumat: Există numeroase programe comerciale dedicate calculului numeric pentru conductele de transport produse petroliere, dintre care cele mai cunoscute sunt OLGA, Flow 3D, Ansys Fluent, Comsol, Pipe Flow. Simhydraulics (un modul din programul Matlab) destinat modelării proceselor de curgere dar și pentru studiul acționărilor hidraulice, constituie un produs similar. Utilizarea programului Simhydraulics este avantajoasă prin prețul mai mic (uzual sunt posibile licențe gratuite pentru studenți), flexibilitatea mai mare, legătura directă cu alte module destinate simulării numerice. Lucrarea compară o aplicație la un sistem de transport realizată atât în Pipe Flow cât și în Simhydraulics.

Cuvinte cheie: simulare numerică, Pipe Flow, Simhydraulics

Abstract: There are many commercial programs used in numerical calculus of pipelines for oil and gas, from which the most known are OLGA, Flow 3D, Ansys Fluent, Comsol, Pipe Flow. Simhydraulics (a toolbox of Matlab) is used to model the processes of flowing and hydraulic transmissions, there is a similar product. The using of program Simhydraulics is advantageous by: low cost (usually free licenses for students), great flexibility, and direct connection with other modules dedicated to numerical simulation. The article compares a study for a transport system realized in Pipe Flow and Simhydraulics.

Keywords: numerical simulation, Pipe Flow, Symhidraulics

1. INTRODUCERE

Aplicațiile din industria de petrol și gaze sunt deosebit de complexe necesitând produse software adecvate [4,5]. Modelarea proceselor de curgere / a sistemelor de acționare incluzând: extracția, transportul și distribuția produselor petroliere [1], sistemul de circulație de la instalațiile de foraj (atât în varianta cu noroi de foraj cât și cu aer), sistemul de acționare al prevenitoarelor de erupție, acționările hidrostatice / hidrodinamice pentru sistemele de manevră și rotire precum și cele necesare pentru manevrarea pașilor de prăjini, burlane, strângerea și desfacerea acestora, sistemele de curățire a fluidului de foraj, etc. este prezentă în multe aplicații, fiind subiectul unei bogate literaturi științifice. Produsele software cele mai răspândite din acest domeniu sunt: OLGA, Flow 3D, Ansys Fluent, Comsol, Pipe Flow. În Universitatea de Petrol și Gaze din Ploiești există datorită donației firmei Schlumberger, important furnizor mondial pe piața serviciilor și echipamentelor petroliere, un puternic pachet de programe specific proceselor de foraj și exploatare a zăcămintelor (Pipesim Well

Control Simulator, Pipesim Simulator, Drill Sim 50 and Drill Sim 5000 Well Control Simulator). De asemenea, în universitate funcționează un simulator pentru operații de foraj, intervenții și reparații la sonda, donat de către compania Petrom. Aceste produse software includ numeroase posibilități constituind un puternic instrument de cercetare. În cadrul activităților curente centrate pe realizarea unor investiții, modernizări, reparații utilizarea acestor produse software poate fi înlocuită cu succes prin metode mai simple, cum este programul Matlab [4,8] folosit în activitatea instruire a studenților din Universitatea de Petrol și Gaze din Ploiești atât la facultățile cu profil tehnic cât și la cele economice și de matematică informatică. În lucrare se realizează o aplicație referitoare la un sistem de transport produse petroliere realizată în programul Matlab și în programul Pipe Flow [9] comparându-se cele două posibilități de realizare.

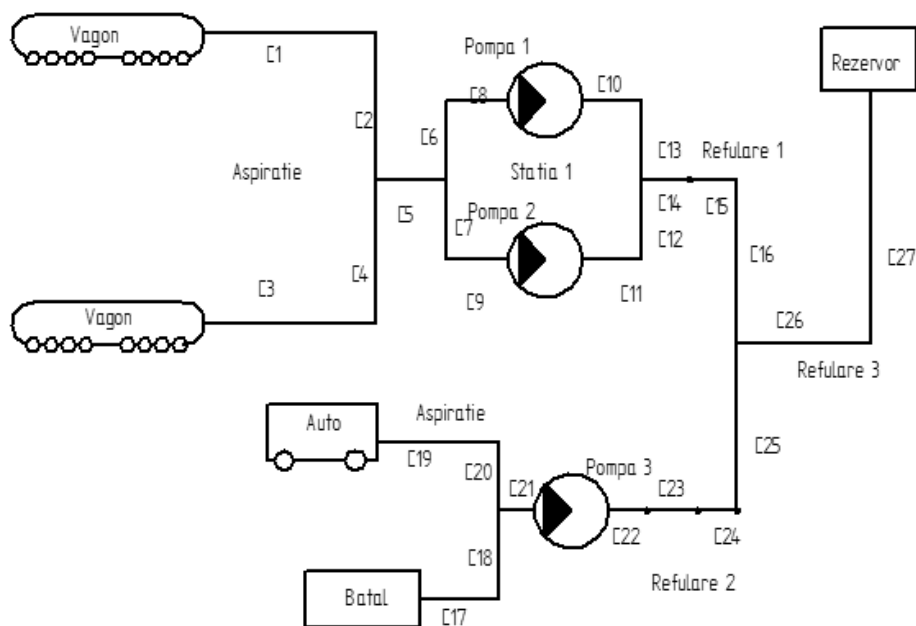


Fig. 1. Schema sistemului de transport produse petroliere.

2. DESCRIEREA APLICAȚIEI

Aplicația realizată se referă la fig. 1. Se presupune o rampă de descărcare petrol de pe vagoane, la care sunt alocate pompele 1 și 2 (pompe volumice [3]) care pot funcționa singure sau în paralel. În stația de pompare 1 există și o pompă de rezervă nefigurată. Rețeaua de transport asigură aducerea produselor petroliere descărcate într-un rezervor (figurat în partea dreaptă sus). La acest sistem de transport trebuie adăugată o pompă nouă, notată pe figură cu numărul 3, destinată descărcării de produse petroliere de la o rampă auto și colectării unor produse dintr-un batal. Se studiază variantele utilizării unei pompe volumice și a unei pompe centrifuge. Obiectivele problemei sunt: determinarea puterii de antrenare pentru pompa 3 racordată la sistemul existent; evitarea cavităției; determinarea randamentului și a debitului pompei în cazul utilizării unei pompe centrifuge.

Tabelul 1

Elementele de calcul pentru conductele din sistemul de transport.

Nr.	Conducta	Diametrul interior al conductei, mm	Înălțimea geodezică la începutul conductei, m	Înălțimea geodezică la sfârșitul conductei, m	Lungimea conductei, m	Pierderile echivalente pe conductă*, m col. lichid	Rugozitatea peretelui interior la conductei, μm
1	C1	112,16	45,7	45,7	0,305	0,5	5
2	C2	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
3	C3	112,16	45,7	45,7	0,305	0,5	5
4	C4	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
5	C5	112,16	45,7	45,7	0,305	0,5	5
6	C6	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
7	C7	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
8	C8	112,16	45,7	45,7	1,524	0,5	5
9	C9	112,16	45,7	45,7	1,524	0,5	5
10	C10	112,16	45,7	45,7	1,524	0,5	5
11	C11	112,16	45,7	45,7	1,524	0,5	5
12	C12	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
13	C13	112,16	45,7	45,7	0,610	0,5	5
14	C14	112,16	45,7	45,7	3,048	0,5	5
15	C15	112,16	45,7	57,9	274,32	0	5
16	C16	112,16	57,9	38,7	335,28	0,5	5
17	C17	84,58	24,4	24,4	9,100	0,5	5
18	C18	84,58	24,4	24,4	0,610	0,5	5
19	C19	84,58	24,4	24,4	9,100	0,5	5
20	C20	84,58	24,4	24,4	0,305	0,5	5
21	C21	84,58	24,4	24,4	1,524	0,5	5
22	C22	84,58	24,4	24,4	1,524	0,5	5
23	C23	84,58	24,4	24,4	0,610	0	5
24	C24	84,58	24,4	24,4	3,048	0	5
25	C25	84,58	24,4	38,7	109,72	0,5	5
26	C26	161,23	38,7	42,7	161,23	0,5	5
27	C27	208,40	42,7	70,1	208,40	1,0	5

* se pot specifica pierderile echivalente corespunzătoare unui anumit element de pe conductă sau se introduce în schemă elementul corespunzător: robinet, teu, reducție etc.

Se cunosc următoarele date: caracteristicile conductelor din sistem tab.1; volumul vagoanelor de pe rampă 6 m^3 ; volumul de lichid din cisterna auto 3 m^3 ; volumul de lichid din batal 3 m^3 ; volumul de lichid din rezervorul de colectare 2 m^3 ; debitul pompelor din stația 1, $15,1 \text{ m}^3 / \text{h}$ pentru fiecare pompă, pompele fiind cuplate în paralel; debitul impus al pompei 3, $28 \text{ m}^3 / \text{h}$; viscozitatea produsului vehiculat 10 cSt ; densitatea produsului vehiculat $860 \text{ kg} / \text{m}^3$; temperatura de lucru $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. MODUL DE LUCRU

Pentru efectuarea aplicației în programul Pipe Flow s-a realizat schema sistemului de transport din fig. 2. În partea din stânga sus se văd cele două rezervoare corespunzătoare

rampei de descărcare de pe calea ferată, conductele de aspirație ale pompelor 1 și 2, pompele și traseul de refulare corespunzător. În partea inferioară se vede pompa 3 conectată la rampa de descărcare auto și la batalul de colectare a produselor petroliere neconforme. Modul de construcție al schemei este următorul:

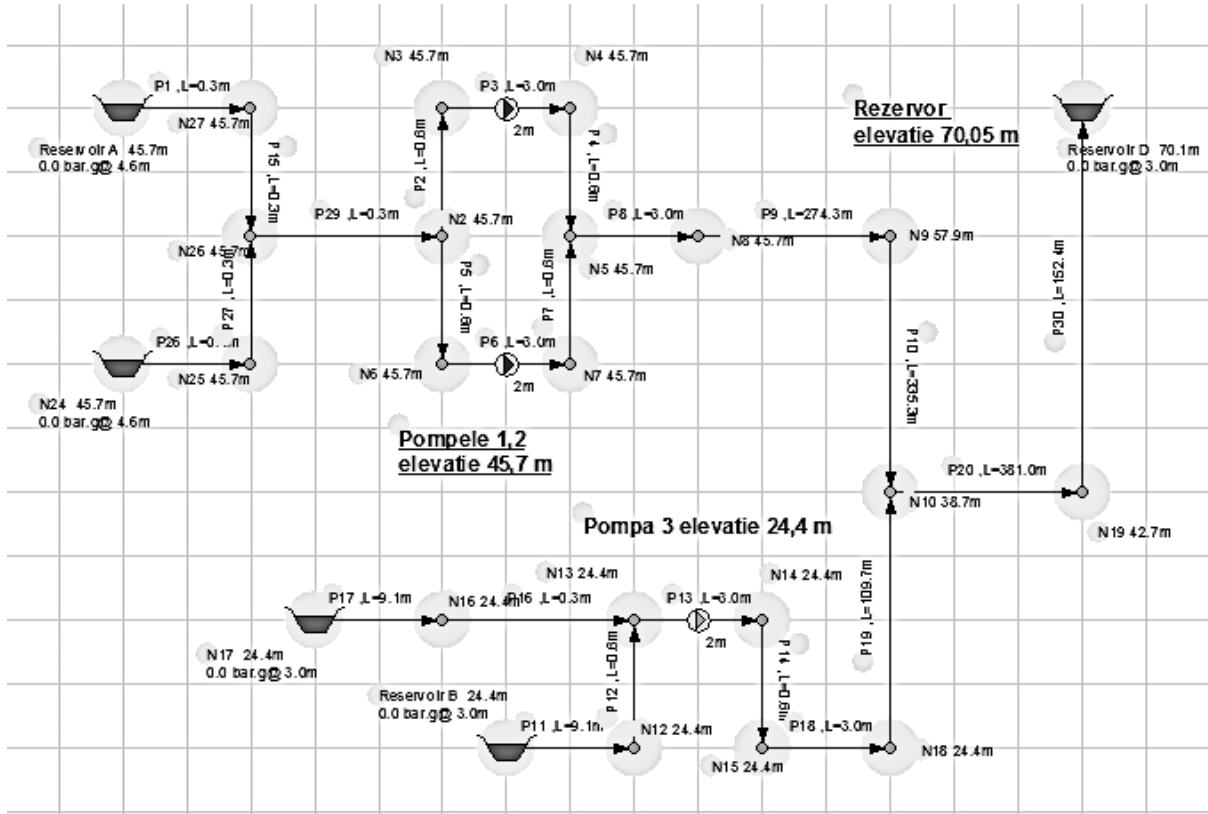


Fig. 2. Modelul sistemului de pompare realizat în programul Pipe Flow.

- Se alege din meniul programului tipul de element: rezervor, nod semnificativ al conductei, pompă, care sunt trase pe ecran.
- Se introduc caracteristicile elementelor introduse prin dublu clic și completarea casetei corespunzătoare. La pompele centrifuge [2] este posibilă introducerea caracteristicilor din catalog prin puncte (putere în funcție de debit, înălțimea de pompare în funcție de debit, înălțimea netă pozitivă de aspirație necesară), iar la pompele volumice se introduce debitul acestora, fig. 3.
- Se unesc cu linii elementele de mai sus generându-se conductele.
- Se selectează fiecare conductă introducându-se elementele din tab. 1. Ventilele, coturile, reducățiile, diafragmele etc. sunt introduse prin selectare din tabele care apar la accesarea conductei.
- Se selectează caracteristicile fluidului de lucru pe diferite zone, fiind posibile până la opt zone de lichid cu caracteristici diferite.

În continuare se rulează aplicația obținându-se căderile de presiuni în toate punctele sistemului. Dacă lucrăm cu o pompă centrifugă se obține și debitul acesteia în condițiile de echilibru. În anumite condiții soluția nu este găsită, impunându-se modificarea sistemului pentru găsirea unei soluții. Soluția este afișată de pentru fiecare conductă sub forma unor informații care apar la apropierea cursorului de conductă (tool tip) și anume: debitul masic,

Comparație între programele de simulare numerică

debitul volumetric, presiunile la intrarea și la ieșirea de pe conductă, căderea de presiune, viteza de transport, pierderile locale în fittinguri, elementele caracteristice din tab.1. Se poate afișa soluția sub forma unui raport însoțit de imaginile reprezentative ale sistemului.

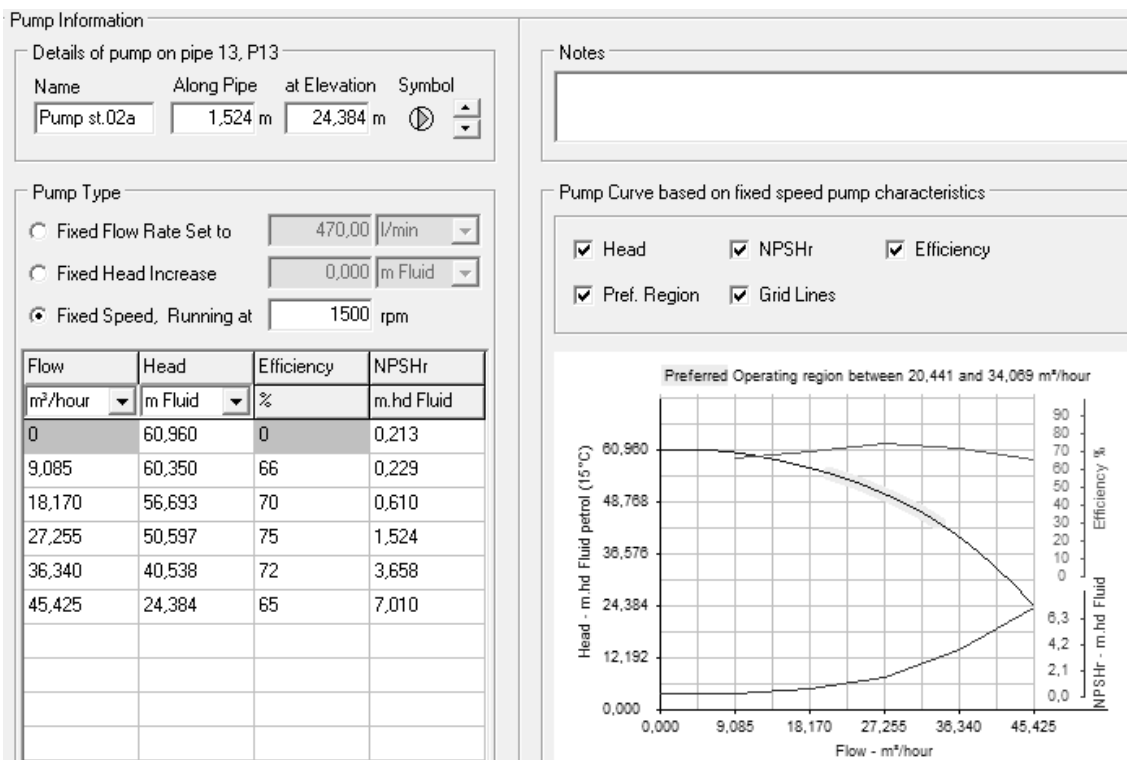


Fig. 3. Introducerea tipului de pompă în programul Pipe Flow.

Pentru efectuarea aplicației în programul Matlab, modulul Simhydraulics s-a realizat schema sistemului de transport din fig. 4. Schema include cele două stații de pompare 1 și 2, conductele și rezervorul final. În partea din dreapta sus sunt afișate volumele de lichid din fiecare rezervor existent în sistemul de transport. În partea inferioară a schemei sunt în ordine de la stânga la dreapta: instrumentul pentru afișarea debitului la pompele din stațiile de pompare; presiunea la intrarea și la ieșirea din pompe; puterea necesară la pompe; timpul; un instrument de oprire a simulării la apariția evenimentului de golire a unui rezervor (pentru evidențierea timpului de pompare necesar). Detaliile despre stațiile de pompare se pot vedea în figurile 5 și 6. Modul de construcție al schemei este următorul:

- Se alege din biblioteca programului Simhydraulics elementele utilizate la construcția schemei: rezervoarele, conductele, pompele, tipul lichidului, senzorii.
- Pentru pompele volumice utilizăm generatoare cu debit fix, preluate din bibliotecă; există o anumită pierdere internă de lichid dependentă de presiune care este neglijată la construcția acestui model. Pompele centrifugale pot avea caracteristicile presiune (p) funcție de debit (Q) și putere (N) funcție de debit (Q) introduse printr-o: aproximare polinomială; caracteristicile de catalog; o familie de caracteristici de catalog, diferențiate prin turația pompei. Pentru situația din fig. 6,a s-a utilizat varianta a doua: $p=f(Q)$ și $N=f(Q)$ fiind introduse conform datelor din cataloagele producătorului.

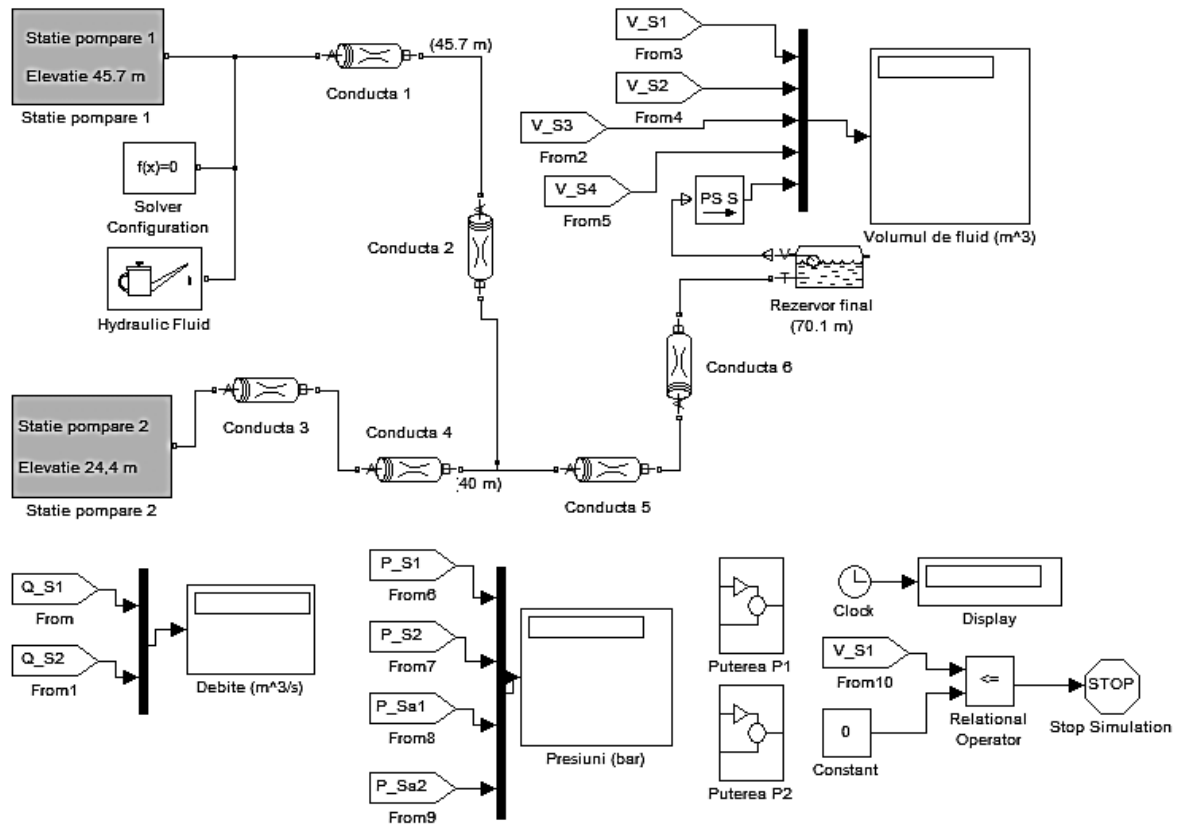


Fig. 4. Modelul sistemului de pompare realizat în programul Matlab, modulul Simhydraulics.

- Spre deosebire de programul Pipe Flow afișarea informațiilor despre debit și presiune se face cu ajutorul unor senzori v. fig. 5 și 6. Informațiile de la senzori sunt afișate pe un indicator plasat lângă senzor dar pot fi transmise și la un indicator central prin intermediul unor blocuri de legătură, aspecte folosite în modelul din fig. 4.
- Modelul rezervorului în Simhydraulics permite urmărirea volumului de lichid extras din rezervor, aspect care face posibilă aprecierea timpului de pompare.
- Caracteristicile conductelor (v. tab. 1) se introduc în casetele de control activate prin dublu clic pe simbolul grafic corespunzător.
- Modelul poate fi completat cu relațiile (transpuse cu blocurile corespunzătoare din biblioteca Simulink) care exprimă condiția de evitare a cavităției pentru pompa volumică relația (1) respectiv pompa centrifugă relația (2).

$$\omega \leq \omega_{cr} = \sqrt{\frac{g}{KL_a R} \left(\frac{p_a}{\rho g} - H_a - \frac{p_{vs}}{\rho g} - h_s \right)} \quad (1)$$

$$NPSH_a = \frac{p_a}{\rho g} - H_a - \frac{p_{vs}}{\rho g} - h_a \geq NPSH_r \quad (2)$$

Comparație între programele de simulare numerică

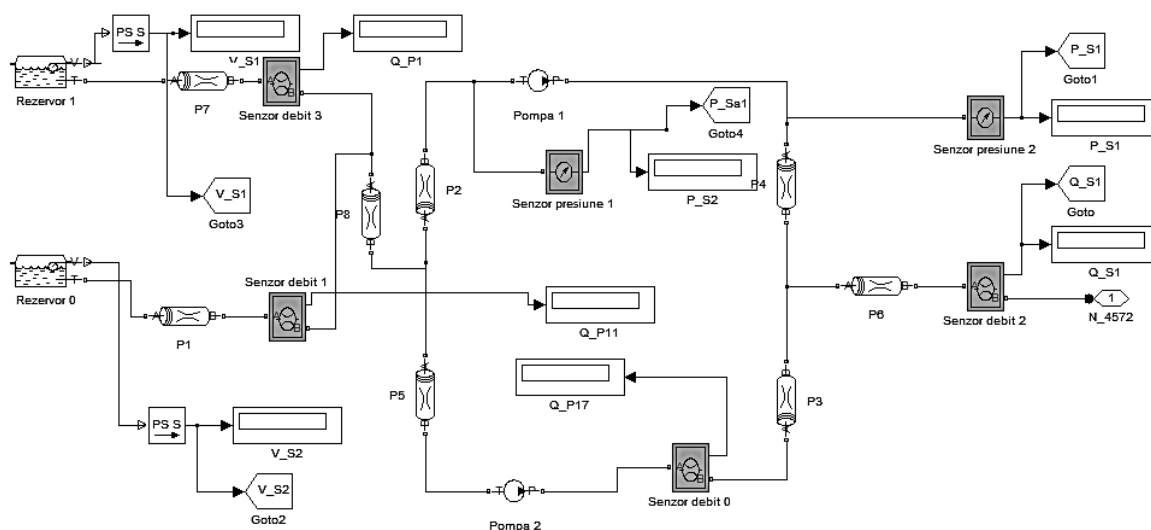


Fig. 5. Modelul stației de pompare nr.1 realizat în Simhydraulics.

3. CONCLUZII

Utilizarea programelor de calcul constituie o simplificare a modului de rezolvare a rețelelor de conducte. Manual această problemă se rezolvă dificil determinând caracteristica căderi de presiune în funcție de debit pentru conducta echivalentă (acesta este o conductă unică ce rezultă prin combinarea conductelor din sistem după anumite reguli), obținerea punctului de funcționare la intersecția cu caracteristica generatorului (presiune creată în funcție de debit) și apoi determinarea debitului pe fiecare conductă care constituie sistemul.

Așa cum am spus este posibil ca pe anumite conducte să nu fie posibilă curgerea în sensul dorit / sau la valorile de debit dorite. În urma utilizării modelelor pentru sistemul de pompare ales pentru exemplificare (fig. 1) s-au obținut rezultatele din tab. 2 pentru varianta unei pompe cu piston în stația de pompare 2 și tab. 3 pentru varianta unei pompe centrifuge în această stație. Rezultatele obținute în cele două programe nu diferă obținându-se aceleași căderi de presiune pe conducte și în cazul utilizării pompei centrifuge același debit pentru condițiile de echilibru ($25,56 \text{ m}^3/\text{h}$ – debitul impus $28 \text{ m}^3/\text{h}$). Din punctul de vedere al comodității utilizării programului Pipe Flow este mai avantajos dispunând de: tabele pentru alegerea rapidă a caracteristicilor produsului (aspect posibil și în Simhydraulics dar în Pipe Flow avem mult mai multe produse disponibile); tabele pentru introducerea caracteristicilor fittingurilor și armăturilor; există posibilitatea alegerii unor ventile de reglare automată; se realizează un raport rapid referitor la simularea realizată, însoțit de imagini cu sistemul de transport. În programul Simhydraulics avem în schimb alte avantaje: prețul de achiziționare al unei licențe mai mic; posibilitatea de a modifica modelul pentru obținerea unor informații legate de puterea necesară, parametri referitori la cavitație, timpul de pompare; posibilitatea integrării unui model realizat în SimMechanics pentru generatoarele hidraulice [6]; posibilitatea integrării unui model realizat în SimDriveline pentru transmisia dintre pompă și motor [7]; posibilitatea utilizării unui model realizat în Sim Power Systems pentru motor; modelul poate fi controlat prin folosirea modulului State Flow pentru introducerea evenimentelor care corespund opririi pompării în diferitele puncte ale sistemului. De exemplu monitorizând volumul de lichid din rezervoare putem adapta modelul sistemului de pompare atunci când unul dintre rezervoarele din care este tras produsul s-a golit. Putem introduce în

acest model buclele de automatizare frecvente la reglarea parametrilor din sistemele de pompare. Din punct de vedere formativ utilizarea programului Matlab este mai bună putând construi un model în care putem integra aspecte legate de partea mecanică, hidraulică, electrică și automatizare.

Tabelul 2

Rezultatele analizei procesului de curgere în varianta utilizării unei pompe volumice (în stația de pompare 2) pompa nr. 3

Conducta	Debit	Viteza	Presiune intrare	Presiune ieșire	Conducta	Debit	Viteza	Presiune intrare	Presiune ieșire
	m ³ /s	m/s	bar	bar		m ³ /s	m/s	bar	bar
C1	0,0031	0,317	0,3854	0,3854	C2	0,0031	0,317	0,3854	0,3853
C3	0,0053	0,533	0,3856	0,3855	C4	0,0053	0,533	0,3855	0,3853
C5	0,0084	0,850	0,3853	0,3850	C6	0,0042	0,425	0,3850	0,3849
C7	0,0042	0,425	0,3850	0,3849	C8	0,0042	0,425	0,3849	0,3849
C9	0,0042	0,425	0,3849	0,3849	C10	0,0042	0,425	3,1166	3,1166
C11	0,0042	0,425	3,1166	3,1166	C12	0,0042	0,425	3,1166	3,1164
C13	0,0042	0,425	3,1166	3,1164	C14	0,0084	0,850	3,1164	3,1135
C15	0,0084	0,850	3,1135	1,8268	C16	0,0084	0,850	1,8268	3,1303
C17	0,0039	0,690	0,2571	0,2484	C18	0,0039	0,690	0,2484	0,2478
C19	0,0040	0,704	0,2571	0,2481	C20	0,0040	0,704	0,2481	0,2478
C21	0,0078	1,394	0,2478	0,2460	C22	0,0078	1,394	4,7003	4,6985
C23	0,0078	1,394	4,6985	4,6965	C24	0,0078	1,394	4,6965	4,6869
C25	0,0078	1,394	4,6869	3,1303	C26	0,0162	0,795	3,1303	2,5945
C27	0,0162	0,476	2,5945	0,2571					

Tabelul 3

Rezultatele analizei procesului de curgere în varianta utilizării unei pompe centrifuge (în stația de pompare 2) pompa nr. 3

Conducta	Debit	Viteza	Presiune intrare	Presiune ieșire	Conducta	Debit	Viteza	Presiune intrare	Presiune ieșire
	m ³ /s	m/s	bar	bar		m ³ /s	m/s	bar	bar
C1	0,0031	0,317	0,3854	0,3854	C2	0,0031	0,317	0,3854	0,3853
C3	0,0053	0,533	0,3856	0,3855	C4	0,0053	0,533	0,3855	0,3853
C5	0,0084	0,850	0,3853	0,3850	C6	0,0042	0,425	0,3850	0,3849
C7	0,0042	0,425	0,3850	0,3849	C8	0,0042	0,425	0,3849	0,3849
C9	0,0042	0,425	0,3849	0,3849	C10	0,0042	0,425	3,0995	3,0995
C11	0,0042	0,425	3,0995	3,0995	C12	0,0042	0,425	3,0995	3,0994
C13	0,0042	0,425	3,0995	3,0994	C14	0,0084	0,850	3,0994	3,0965
C15	0,0084	0,850	3,0965	1,8097	C16	0,0084	0,850	1,8097	3,1132
C17	0,0035	0,627	0,2571	0,2497	C18	0,0035	0,627	0,2497	0,2492
C19	0,0036	0,639	0,2571	0,2495	C20	0,0036	0,639	0,2495	0,2492
C21	0,0071	1,266	0,2492	0,2482	C22	0,0071	1,266	4,6281	4,6261
C23	0,0071	1,266	4,6261	4,6245	C24	0,0071	1,266	4,6245	4,6163
C25	0,0071	1,266	4,6163	3,1132	C26	0,0155	0,760	3,1132	2,5927
C27	0,0155	0,455	2,5927	0,2571					

Comparație între programele de simulare numerică

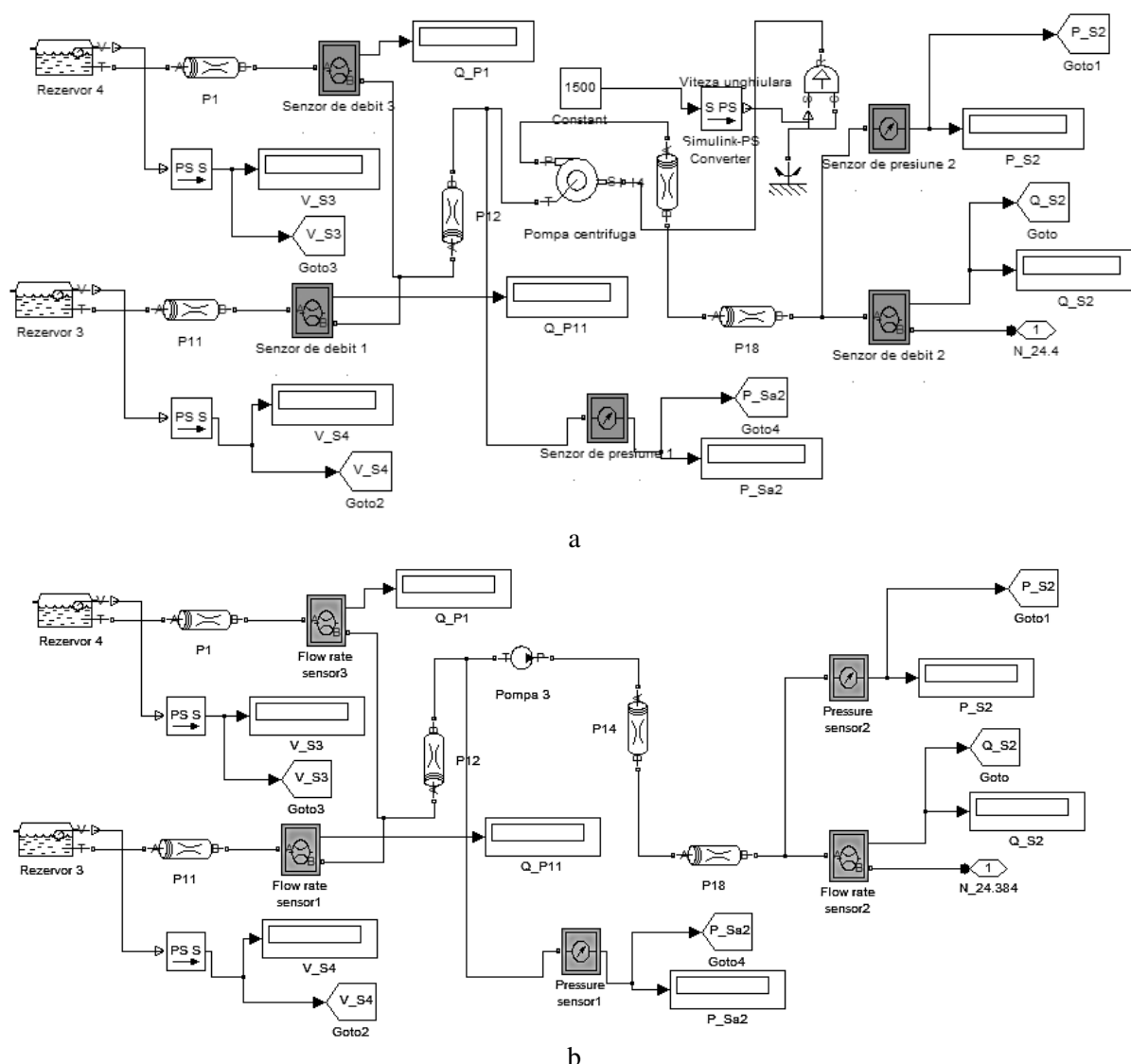


Fig. 6. Modelul stației de pompare nr.2 realizat în Simhydraulics: a)varianta cu pompă centrifugă; b) varianta cu pompă volumică.

Notațiile utilizate

g – accelerația gravitațională

H_a – înălțimea geodezică de aspirație (valoare pozitivă la poziția rezervorului sub cea a pompei sau negativă dacă rezervorul este plasat deasupra cotei pompei)

h_a – pierderile hidraulice prin conducta de aspirație a pompei

h_s – pierderile hidraulice prin supapa pompei cu piston

K – constanta pierderilor hidraulice liniare și locale de pe conducta de aspirație care depinde de tipul pompei volumice folosite în aplicație

L_a – lungimea conductei de aspirație

N – puterea necesară pentru antrenarea pompei

$NPSH_a$ – înălțimea netă pozitivă de aspirație disponibilă la pompa centrifugă

$NPSH_r$ – înălțimea netă pozitivă de aspirație necesară la pompa centrifugă

p – presiunea la refularea pompei

p_a – presiunea la suprafața lichidului din rezervorul de aspirație al pompei

p_{vs} – presiunea vaporilor saturați ai lichidului vehiculat la temperatura de lucru și înălțimea de amplasare a pompei

Q – debitul pompei

R – raza butonului de manivelă

ρ – densitatea lichidului

ω – viteza unghiulară a arborelui cotit la pompa cu piston

ω_{cr} – viteza unghiulară critică a arborelui cotit la pompa cu piston.

Bibliografie

- [1] **Il'kaev R.I., Seleznev V.E., Aleshin V.V., Klishin G.S.** - “*Numerical simulation of gas pipeline networks: theory, computational implementation, and industrial applications*”, KomKniga, Moscow, 2005.
- [2] **Lobanoff V.S.** - „*Centrifugal Pump : design and applications*”, Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1992.
- [3] **Karassic, I.J., Messina, J.P., Cooper, P., Heald, C.C.** - „*Pump Handbook*”, Fourth edition, McGraw-Hill, NY, 2008.
- [4] **Karris. S. T.** - *Introduction to Simulink with Engineering Applications*, Orchard Publications, 2006.
- [5] **Pană, I.** - “*Acționări hidraulice și pneumatice– îndrumar de proiectare cu aplicații în Simhydraulics*”, Editura Universității Petrol – Gaze din Ploiești, 184 pagini, Ploiești 2007.
- [6] **Pană, I.** - „*Computer Simulation of the Operation of a Reciprocating Pump*”, în lucrările celui de al III-lea simpozion cu participare internațională „*DURABILITY AND RELIABILITY OF MECHANICAL SYSTEMS*”, Universitatea „Constantin Brâncuși” din Târgu Jiu, 24-26 mai, secțiunea 3, lucrarea 15, CAD/CAM/CAE/CNC, p. 496-502, volumul publicat pe CDROM, ISBN 978-973-144-350-8, Târgu Jiu, 20-21 mai, 2010.
- [7] **Pană, I.** - „*Numerical Simulation of Hydrodynamic Clutches*”. Trans & Motauto '05, Velico Tarnovo, November 23-25, Volume 4, ISBN 954-9322-12-2, Computer Technics and Military Technologies, pag. 73-76 Sofia Bulgaria, 2005
- [8] ***. Matlab – Product help, Mathworks, 2011.
- [9] ***. Pipe Flow Expert – v. 5.12, Product help, Pipeflow.co.uk, 2010.