

SIMULAREA NUMERICĂ A FUNCȚIONĂRII AMORTIZOARELOR PNEUMATICE DE PULSAȚII COMPUTER SIMULATION OF THE OPERATION OF PULSATION DAMPER

Conf. dr.ing.mat. Ion PANĂ¹

¹ Universitatea de Petrol și Gaze din Ploiești, Romania
E-mail: ionpana@gmail.com

Rezumat: În cadrul sistemelor de pompare care folosesc pompe cu pistoane există dispozitive de uniformizare a debitului, amortizoarele de pulsații, numite și hidrofoare sau acumulateoare hidraulice. Articolul se ocupă de simularea numerică a acestui dispozitiv, folosind programul de modelare SimHydraulics. Sunt punctate avantajele și posibilitățile de integrare în cadrul unor modele virtuale ale generatoarelor hidraulice.

Cuvinte cheie: Acumulator hidraulic, SimHydraulics

Abstract: Pumping systems with reciprocating pumps contain devices for smoothing of the liquid flow, named hydrophores or hydraulic dampers. The article concerns to the numerical simulation of this device, using SimHydraulics as program of modelling. Are highlighted the advantages and the possibilities of integration in virtual models with hydraulic generators.

Keywords: Hydraulic Damper, SimHydraulics

1. INTRODUCERE

În cadrul sistemelor de pompare care folosesc pompe cu pistoane există sisteme de uniformizare a debitului (amortizoare de pulsații) numite și hidrofoare sau acumulateoare hidraulice [2]. Acestea se introduc în apropierea pompei cu piston atât pe conducta de aspirație cât și pe conducta de refulare. Ele înmagazinează/cedează lichid căutând să păstreze debitul pe conducte constant.

Principiul de funcționare al amortizorului de pulsații. Datorită mecanismului bielă – manivelă, parametrii funcționali presiune p și debit Q ai pompei cu piston au un caracter pulsator. În principiu dorim ca debitul de pe conductă să fie constant, egal cu debitul nominal al pompei. Se evită în acest mod o serie de efecte nedorite ca: vibrațiile pe conducte, fenomenul de cavitație, solicitarea neuniformă a motorului (determinând randamentul scăzut al acestuia) și a sistemului de acționare, surparea pereților sondei (la foraj) etc.

Dacă hidroforul este montat pe conducta de aspirație H.A., fig. 1,a, când debitul pompei este mai mic decât debitul nominal (o mărime convențională egală cu valoarea debitului furnizat de pompă, uniform pe întreaga cursă), diferența dintre debitul nominal și debitul instantaneu trebuie să se acumuleze în hidrofor pe seama comprimării gazului. În această situație hidroforul se încarcă.

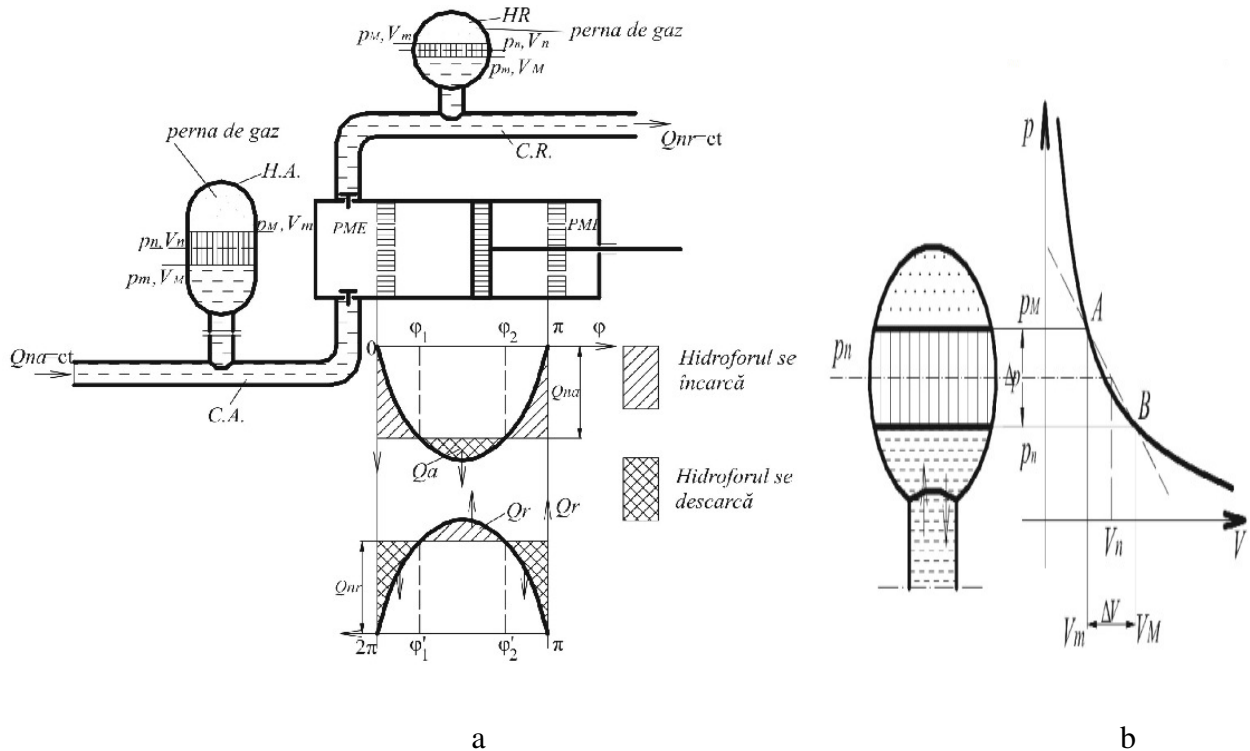


Fig.1. a) Modul de funcționare al hidrofoarelor (acumuloarelor pneumatice); b) influența volumului de gaz asupra funcționării hidroforului; Q_{na} debitul mediu pe aspirație; Q_{nr} debitul mediu pe refulare; p_m, p_n, p_m presiunea maximă, medie, minimă a gazului din hidrofor; V_M, V_n, V_m volumul maxim, mediu, minim al gazului din hidrofor; C.A. conducta de aspirație; C.R. conducta de refulare.

Dacă debitul cerut de pompă este mai mare decât debitul nominal, diferența dintre debitul cerut de pompă și debitul nominal se preia din hidrofor pe seama destinderii gazului. Când hidroforul H.R. fig. 1,a, este montat pe conducta de refulare procesul de încărcarea se petrece când debitul furnizat de pompă depășește debitul nominal, iar descărcarea când debitul pompei este mai mic decât cel nominal.

$$V_{eij} = Ar [2C_{ij} \cos \varphi_1 - k_{ij} (\pi - 2\varphi_1)] \quad (1)$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{Q_{nij}}{Q_{Mij}} = \frac{k_{ij} Ar \omega}{C_{ij} Ar \omega} \quad (2)$$

$$V_{nij} = cV_{eij} \quad (3)$$

Volumul de lichid V_{ij} acumulat în hidrofor în perioada în care debitul instantaneu depășește debitul maxim se numește *volum excedentar* (1). Acesta se poate calcula (pe baza unui calcul simplificat) pentru un anumit tip de pompă cunoscând: A- aria pistonului; r -raza manivelei; C_{ij} constanta care intervine în expresia debitului maxim $Q_{Mij} = C_{ij} Ar \omega$; k_{ij} constanta care intervine în expresia debitului mediu $Q_{nij} = k_{ij} Ar \omega$; φ_1 - unghiul determinat prin rezolvarea ecuației (2); ω este viteza unghiulară a arborelui pompei; i – numărul de cilindrii al pompei; j – numărul de efecte al pompei. Pentru a reduce variațiile de presiune hidroforul trebuie să aibă un volum mai mare V_{nij} decât volumul excedentar (3), $c \in (20 - 50)$ iar dimensiunile hidroforului se pot reduce dacă este preîncărcat cu gaz, fig. 1,b.

2. DESCRIEREA MODELULUI

Programul Simulink oferă posibilități de modelare a acumulatorului hidraulic [1,3], utilizând modulul SimHydraulics. Pentru a putea observa rolul hidroforului au fost realizate două modele în cadrul acestui program: un model al unui circuit hidraulic fără hidrofor, fig. 2 și un model al unui circuit hidraulic cu hidrofor fig. 3. Aceste modele sunt descrise în continuare.

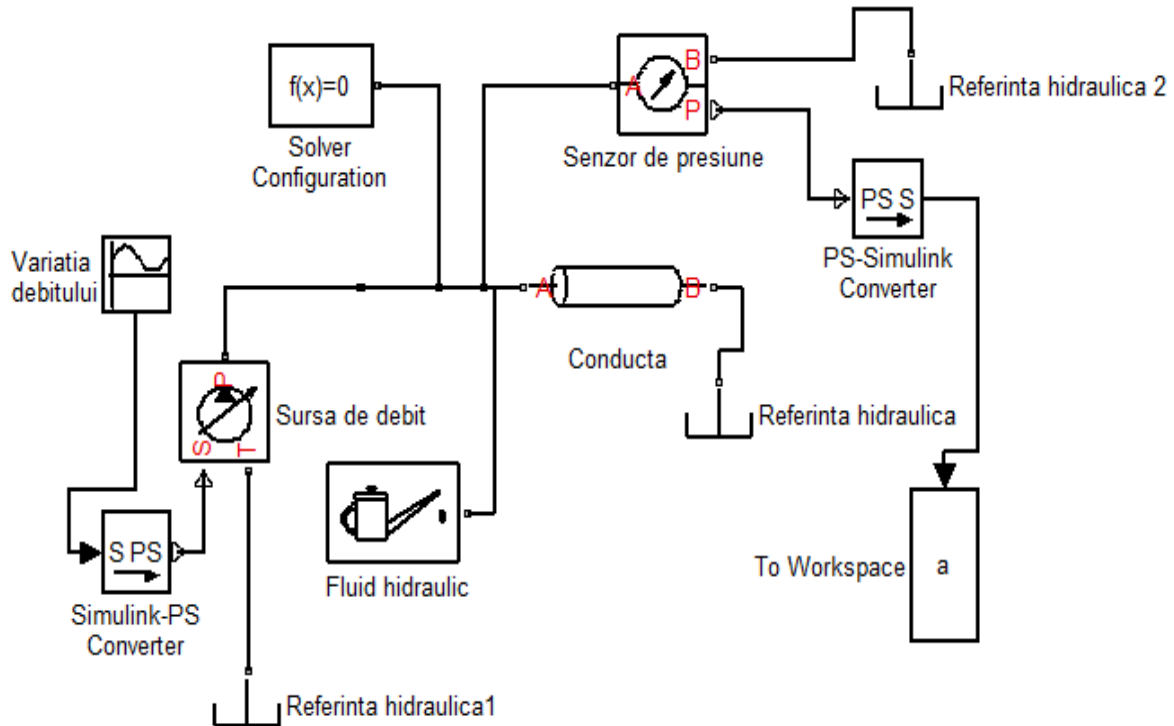


Fig. 2. Modelul realizat în Simhydraulics, fără hidrofor.

Descrierea modelului din fig.2. Blocul *Variația debitului* este o sursă de semnal de tip sinusoidal (având caracteristicile Amplitude = $1e-3$; Bias $5e-3$; Frequency = $2\pi/5$ Phase = 0; Sample time = 0), utilizat pentru a introduce un debit care are valoarea nominală de 5 l/s și variază sinusoidal cu o amplitudine de 1 l/s. Turația arborelui cotit al pompei este de 74 rot/min. Semnalul corespunzător variației debitului poate fi modificat prin: introducerea unor valori măsurate ale debitului; racordarea la mecanism virtual care constituie un model Simulink al pompei cu piston, sau prin construcția unui semnal adecvat variației debitului pentru o anumit tip de pompă cu piston. Blocul *Simulink – PS Converter* transformă semnalul numeric într-unul fizic.

În acest bloc introducem unitatea de măsură a debitului m^3/s . Blocul *Sursa de debit* condus de semnalul definit anterior se comportă ca o pompă ideală care menține acest debit, indiferent de variația presiunii din sistem. Practic nu avem pierderi de debit, aspect care ar corespunde unei pompei cu piston noi. Semnalul fizic (debitul) este condus prin blocul conductă (având caracteristicile Pipe cross section type=circular; Pipe internal diameter = 0,025m; Geometrical Shape factor = 64; Pipe lenght = 50; Aggregate equivalent length of local resistances = 0.2 m; Internal surface roughness height = $1.5 e-5$ m; Laminar flow upper margin = $2e3$; Turbulent flow lower margin = $4e3$; Pipe wall type = rigid; Specific heat ratio = 1,4) spre rezervor

Referință hidrolică. Pentru a fixa condițiile inițiale ale simulării (o anumită precizie, pasul iterațiilor, acceptarea unor condiții de convergență a rezultatului) folosim blocul *Solver Configuration* (valorile folosite sunt cele implicite din programul Simhydraulics). Caracteristicile fluidului sunt introduse cu blocul *Fluid hydraulic* (având caracteristicile: Relative amount of trapped air = 0,005; System temperature (C) = 60; Viscosity derating factor = 1; Density (kg/m³) = 961; Viscosity (cSt) = 7,128; Bulk modulus (Pa) at atm. pressure and no gas = 1,24285e9).

Blocul *Senzor de presiune* este folosit pentru a extrage valoarea presiunii. Acesta este legat la o referință hidrolică și prin intermediul blocului *PS- Simulink Converter* la variabila *a* din spațiul de lucru (To Workspace). În blocului *PS- Simulink Converter* facem conversia de la semnalul fizic (o presiune exprimată în Pa la un semnal numeric care va fi afișat). Numărul de valori este mare pentru valoarea aleasă a timpului de simulare $t = 200$ s, de ordinul a 100 000- 200 000 de valori. Afișarea acestora se poate face după stocarea lor în variabila *a* și folosirea posibilităților grafice ale programului Matlab. Pentru modelul cu hidrofor, fig. 3, s-a adăugat un model al acestui element care există în bibliotecă, numit *Hidrofor*. Datele hidroforului sunt: Capacity = 0,2 m³; Preload pressure (gauge): 10⁵ Pa; Initial volume = 0 m³; Specific heat ratio = 1,4.

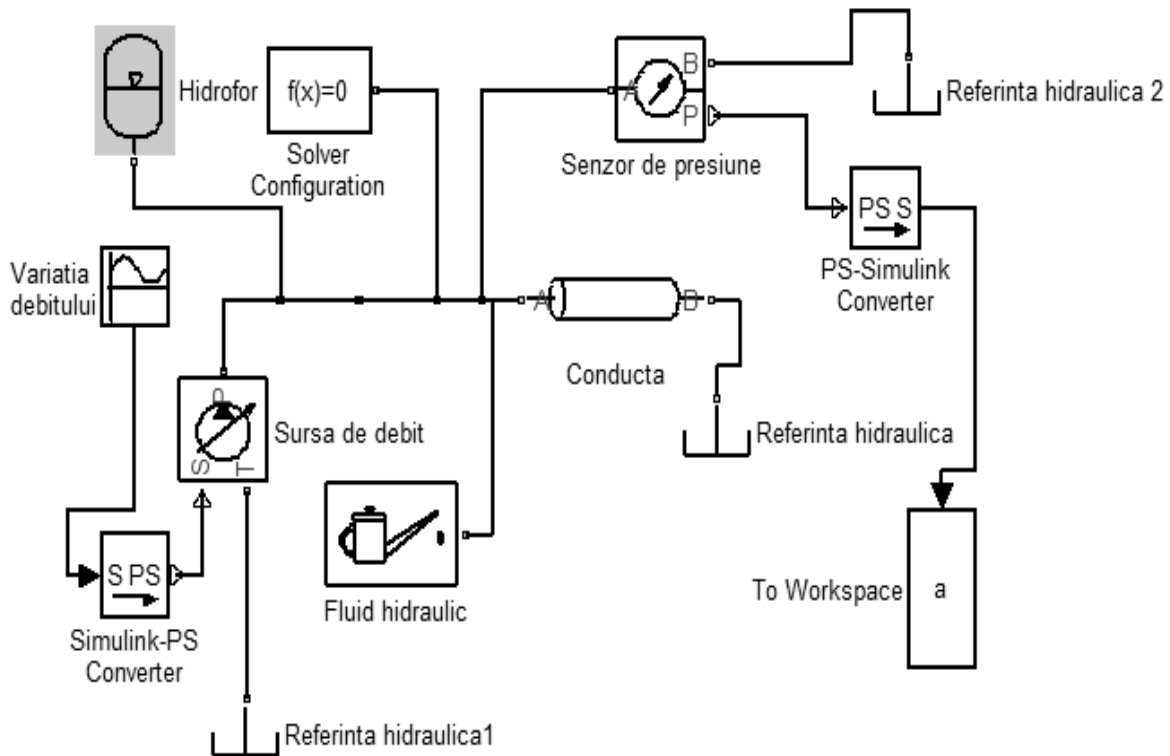


Fig. 3. Modelul realizat în Simhydraulics, cu hidrofor.

3. REZULTATE, CONCLUZII

Modul de variație a presiunii din sistem este indicat în fig. 4 și 5 pentru schema reprezentată în fig. 3, referitoare la funcționarea circuitului fără hidrofor. Se observă că avem o variație periodică a presiunii între 3,3 MPa și 1,58 MPa datorată variației debitului pompei.

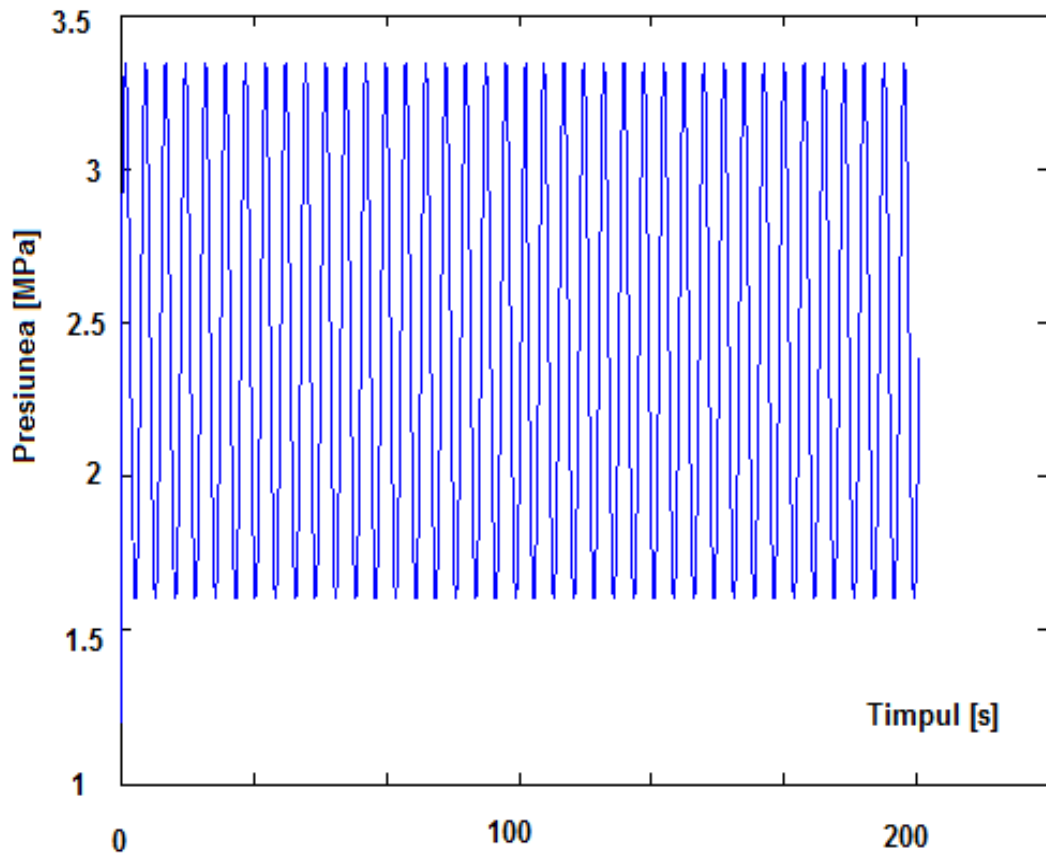


Fig. 4. Variația presiunii în circuit în absența hidroforului.

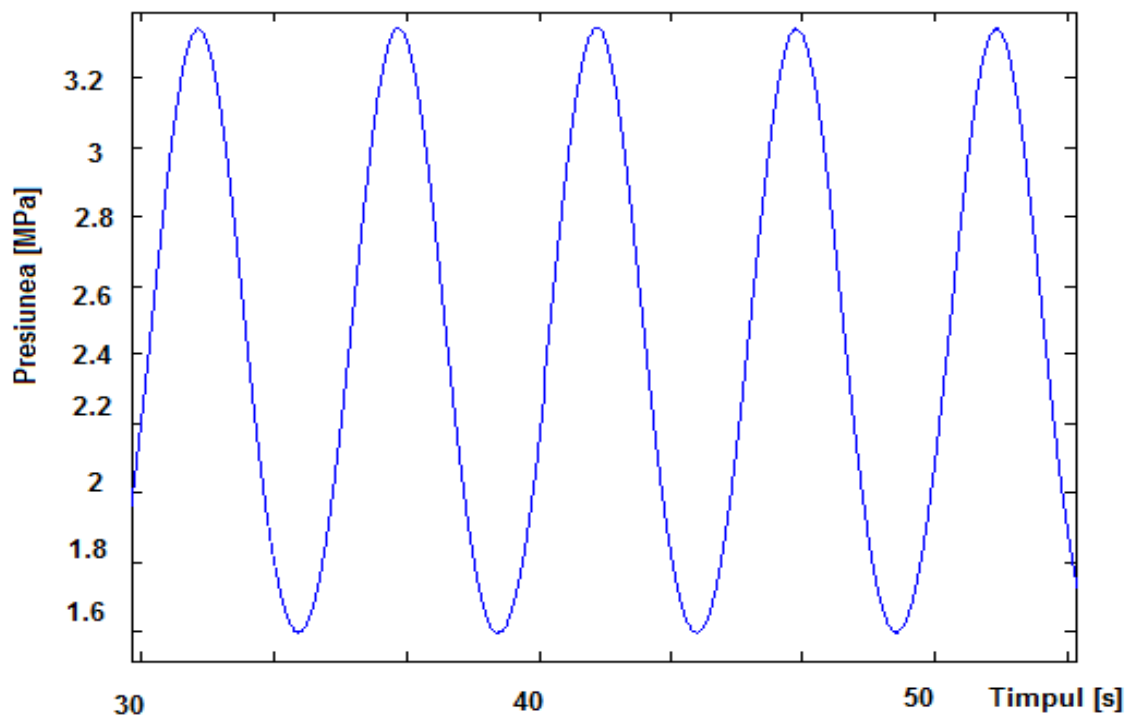


Fig. 5. Variația presiunii în circuit în absența hidroforului - detaliu.

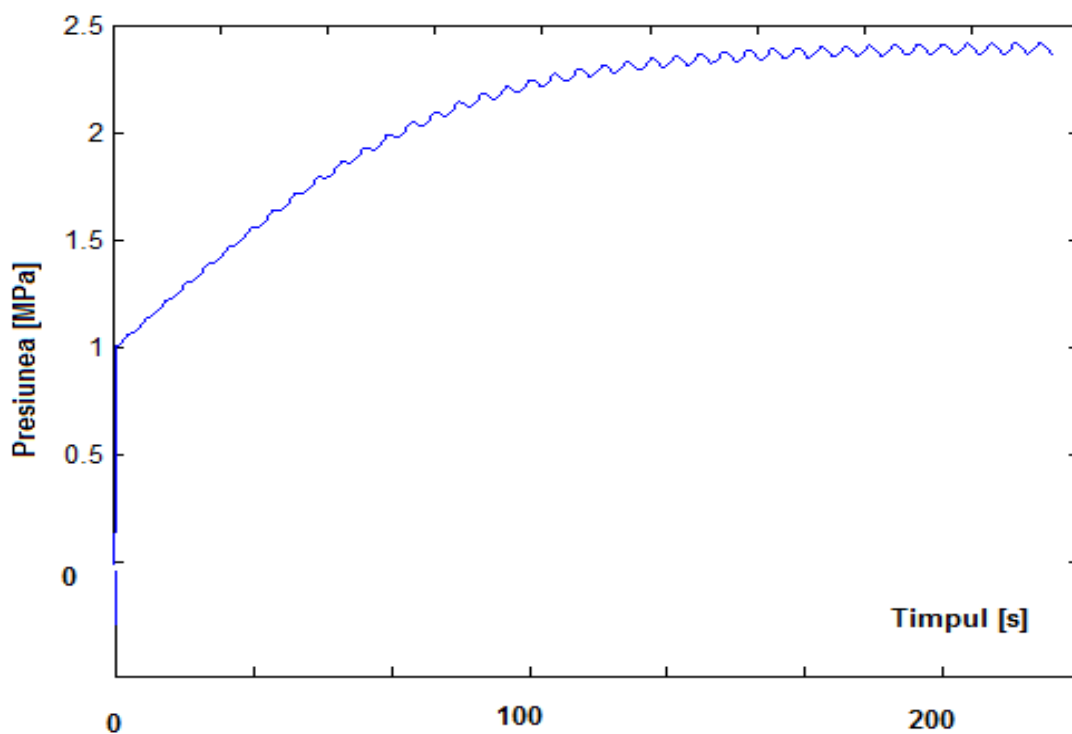


Fig. 6. Variația presiunii în circuit când hidroforul funcționează.

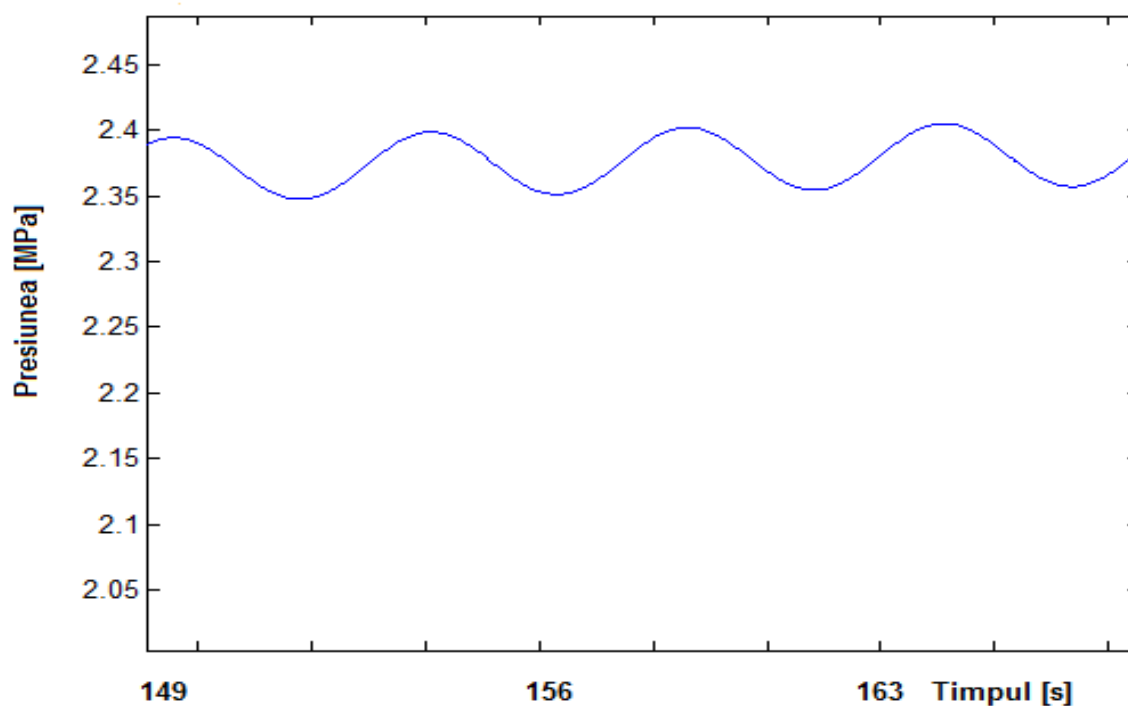


Fig. 7. Variația presiunii în circuit când hidroforul funcționează - detaliu.

Utilizarea acestui model oferă următoarele avantaje:

- Se evită calculele de dimensionare a hidroforului (nu trebuie să știm decât debitul pompei și parametrii sistemului de conducte);
- Pentru studenții care utilizează acest mod de lucru se creează un grad de receptivitate mai mare, deoarece nu mai sunt obligați să lucreze cu relații de

calcul. Majoritatea blocurilor din cadrul modelului au o semnificație fizică și tot ceea ce trebuie să facem este să punem în acord parametrii vasului (volum, volum de gaz inițial, presiunea gazului) cu variația debitului pompei și cu caracteristicile rețelei de conducte. Modul de lucru apelează la „instinctul” ingineresc, studiul reducându-se la modificări bazate pe înțelegerea sistemului până la realizarea unor efecte dorite. În acest caz o anumită variație de presiune în sistem.

- Putem conecta modelul la un mecanism virtual care corespunde pompei cu piston (realizat în SimMechanics) și se poate studia astfel comportarea generatorului hidraulic, pornind de la geometria elementelor componente;
- Adăugând un motor de antrenare disponibil în secțiunea SimPowerSystems [4], putem realiza o simulare interesantă cu ajutorul unor module concepute pe baza celor mai bune modele teoretice, cu posibilități de studiu mult mai mari decât calculul analitic;
- Modelul se poate folosi și pentru un studiu termic (mijloacele disponibile din varianta R2009b permit acest lucru [4]) când acumulatorul servește pentru compensarea dilatării/contractiei lichidului.

BIBLIOGRAFIE

1. **Pană, I.** *Acționări hidraulice și pneumatice* – îndrumar de proiectare cu aplicații în Simhydraulics, Editura Universității Petrol – Gaze din Ploiești, 184 pagini, ISBN 978-973-719-197-7, Ploiești 2007.
2. **Karassik I. J., Messina J. P., Cooper P., Heald C.** (ed). *Pump Handbook*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-034032-3, third Edition, New York, 2001.
3. **Karris. S. T.**, *Introduction to Simulink with Engineering Applications*, Orchard Publications, ISBN 0-9744239-8-X, ISBN 978-0-9744239-8-2, 2006,
4. ***. *Matlab*, Release R 2009b, Product Help, the MathWorks Inc., 2009.