A XVI-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară
*„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti”*
SEBEŞ, 2016

# STUDIUL CURGERII ÎN REZERVOARE PREVĂZUTE CU ORIFICII ASIMETRICE

Lucian MÂNDREA, Andrei Lucian VOINEA

# THE FLOW STUDY IN TANKS EQUIPED WITH ASIMETRIC ORIFICES

This paper presents numerical results referring at the hydrodynamic spectre of the flow inside a tank with asymmetric orifices. The finite difference method is used to integrate the Navier-Stokes equations. Besides the characteristics of the flow inside the tank, it presents interest the determination of the contraction coefficient of the orifices.

Keywords: hydrodynamic spectrum, numerical methods, contraction coefficient, orifice
Cuvinte cheie: spectru hidrodinamic, metode numerice, coeficient de contracție, orificiu

## 1. Introducere

Studiile uzuale referitoare la curgerea lichidelor prin rezervoare presupun de obicei configurații simetrice aplicabile pe scară largă în diverse instalații industriale.

Studiul de față abordează problema unor curgeri asimetrice date de poziția orificiilor de intrare și ieșire a lichidului din rezervor, precum și estimarea coeficientului de contracție al orificiilor de evacuare în situațiile respective.

Acest coeficient de contracție poate fi folosit la determinarea coeficientului de debit și în final a debitului evacuat prin orificiu respectiv, problemă cu largă aplicabilitate practică.

Pentru a rezolva problemele respective se integrează sistemul de ecuații Navier-Stokes utilizând metoda diferențelor finite. Autorii au realizat programe originale de calcul pentru situațiile concrete analizate în care au ținut cont de convergența şi stabilitatea soluțiilor [1], [2].

Se analizează patru configurații de rezervor. Se fac rulări pentru curgerea la numerele Reynolds Re = 1 și Re = 500.

## 2. Soluția numerică a curgerii

Se studiază curgerea bidimensională a fluidului pentru a figura spectrul hidrodinamic al curgerii și pentru a estima coeficientul de contracție în orificiul practicat în baza rezervorului.

Se consideră că mișcarea fazei lichide este permanentă, axial simetrică și se introduc mărimile adimensionale [3], [4], [5], [6]:

$$r=\frac{R}{R_t},\quad z=\frac{Z}{Z_t},\quad v_r=\frac{V_r}{V_m},\quad v_z=\frac{V_z}{V_m},\quad p=\frac{P}{\rho V_m^2},\quad \Psi=\frac{\Psi}{V_m R_t^2}=\frac{\Psi\pi}{Q},\quad \mathrm{Re}=\frac{V_m R_t}{\nu} \qquad (1)$$

unde *r şi z* sunt componentele adimensionale ale variabilelor spațiale, $v_r$ și $v_z$ sunt componentele adimensionale ale vitezei după direcțiile orizontală și verticală, *p* presiunea adimensională, $\Psi$ funcția de curent adimensională și Re numărul lui Reynolds [7].

În formulele precedente *R* este raza curentă, *Z* cota curentă pe verticală a punctului de interes, $R_t$ este raza maximă a rezervorului, $Z_t$ înălțimea maximă a rezervorului, $V_m$ viteza medie de curgere, *P* presiunea curentă, *Q* este debitul volumic de lichid iar $\nu$ este vâscozitatea cinematică a lichidului.

Utilizând numărul Reynolds al curgerii în rezervor precum și adimensionalizările anterioare în sistemul de ecuaţii Navier-Stokes se obține în final ecuația algebrică asociată ecuației cu derivate parțiale:

$$\alpha\Psi_0=\beta+\mathrm{Re}\,\delta \qquad (2)$$

unde coeficienții α, β și δ sunt funcții de valorile în noduri ale funcției de curent $\Psi$.

Se calculează iterativ valorile funcției de curent în punctele din interiorul rețelei, pornind din partea stângă jos, utilizând de fiecare dată valorile funcției de curent determinate anterior.

Se consideră că precizia este suficient de bună dacă diferența a două valori succesive ale funcției de curent din fiecare punct al rețelei este inferioară valorii 0,00001.

## 3. Exemple de calcul și interpretarea rezultatelor

Exemplele de calcul sunt realizate pentru un rezervor cilindric cu diametrul $D$ = 19 cm şi înălţimea $H$ = 20 cm. În primele două cazuri se consideră curgerea printr-un rezervor cilindric cu suprafață liberă alimentat uniform pe la partea superioară printr-o curgere asemănătoare unei ploi.

Evacuarea lichidului se face prin partea inferioară a rezervorului, printr-un orificiu cu diametrul $d$ = 2 cm, situat la R/2 de peretele vertical dreapta.

Asim semnifică o curgere asimetrică.

Exemplele de calcul corespund inițial unui număr Re = 1, iar ulterior valorii Re = 500. Funcția ψ ia valori între 0 și 1.

Se obțin următoarele spectre hidrodinamice ale curgerii.

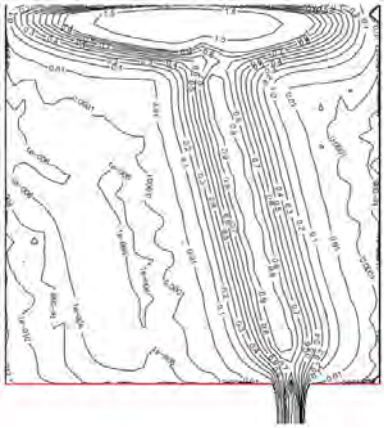

Fig. 1 Asim 5, Re = 1

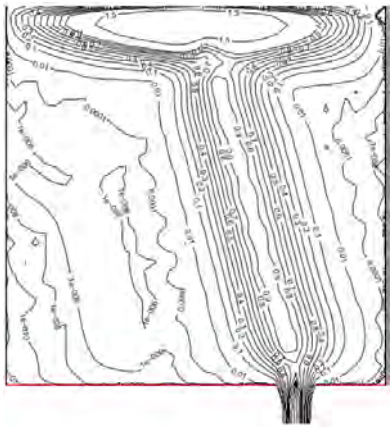

Fig. 2 Asim 1, Re = 500

În următoarele două cazuri (figura 3 și figura 4) se consideră curgerea prin rezervor alimentat tot printr-o curgere asemănătoare unei ploi dar cu două evacuări circulare cu diametrul $d$ = 2 cm la partea inferioară situate la R/2 de pereții verticali.

În următoarele patru cazuri (figurile 5, 6, 7 și 8) se consideră curgerea prin același rezervor alimentat pe la partea superioară printr-un orificiu similar cu orificiul de diametru $d$ = 2 cm situat la partea inferioară a rezervorului. Orificiul superior este plasat inițial la R/2 de partea stângă a rezervorului și ulterior în centru.

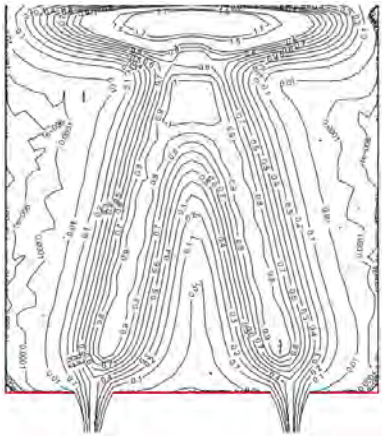

Fig. 3  Asim 8, Re = 1

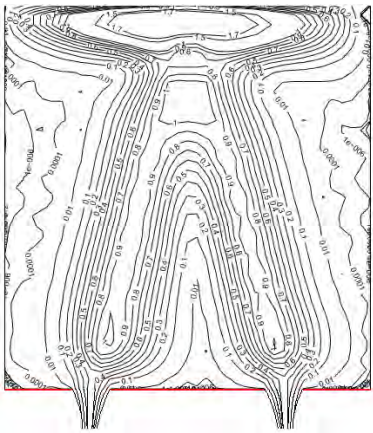

Fig. 4  Asim 4, Re = 500

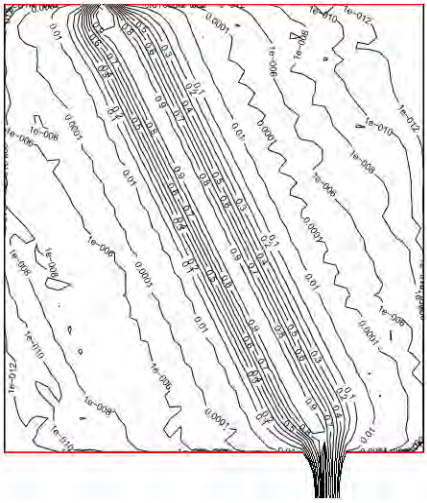

Fig. 5  Asim 6, Re = 1

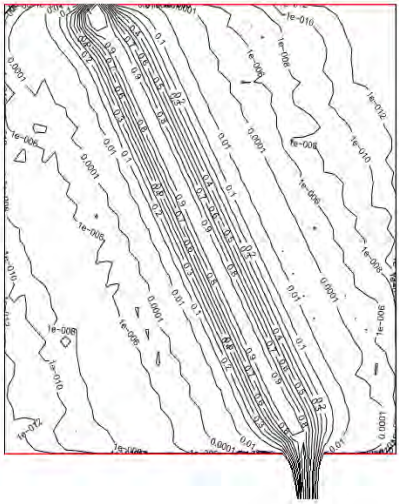

Fig. 6  Asim 2, Re = 500

Vizualizarea liniilor de curent cu prezentarea valorilor funcției de curent Ψ în cadrul celor 8  figuri arată o curgere ce se orientează aproximativ liniar între orificii iar spre pereții laterali prezintă vârtejuri.

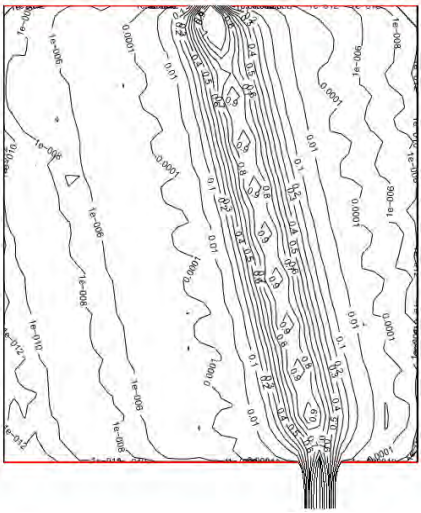

Fig. 7 Asim 7, Re = 1

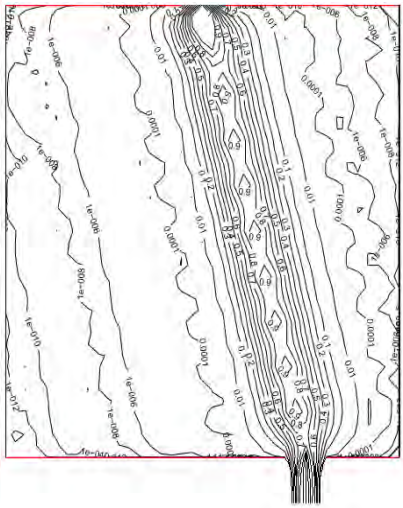

Fig. 8 Asim 3, Re = 500

Prezintă interes în mod special spectrul de curgere în zona orificiului inferior pentru estimarea coeficientului de contracție.

## 3. Rezultate

Valorile coeficientului de contracție funcție de numărul Reynolds al curgerii și de depărtarea de ieșirea din rezervor sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

| | $\varphi_c$ = Ac/Ag | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Asim 1 | Asim 2 | Asim 3 | Asim 4 |
| Re | 500 | 500 | 500 | 500 |
| D/3 | 0,741 | 0,656 | 0,731 | 0,673 |
| D/2 | 0,704 | 0,587 | 0,694 | 0,568 |
| 3D/4 | 0,678 | 0,523 | 0,684 | 0,511 |
| D | 0,671 | 0,491 | 0,682 | 0,497 |
| | | | | |
| --- | Asim 5 | Asim 6 | Asim 7 | Asim 8 |
| Re | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| D/3 | 0,762 | 0,679 | 0,759 | 0,694 |
| D/2 | 0,711 | 0,603 | 0,706 | 0,581 |
| 3D/4 | 0,689 | 0,552 | 0,691 | 0,544 |
| D | 0,685 | 0,529 | 0,685 | 0,518 |

## 4. Concluzii

■ Aplicarea metodei numerice și programele de calcul originale elaborate de autori pot caracteriza cu ajutorul valorilor funcției de curent comportarea lichidului în rezervor indiferent de configurația orificiilor. Aplicațiile practice pot fi numeroase în funcție de interesul utilizatorilor.

■ Cu ajutorul coeficientului de contracție se poate determina ulterior debitul evacuat din fiecare rezervor, dimensiunile acestuia putând fi variabile de la caz la caz.

■ Se observă că la un număr Reynolds mai mare, coeficientul de contracție are o tendință de diminuare pentru fiecare din cazurile studiate.

**BIBLIOGRAFIE**

[1] Florea, J., Panaitescu, V., *Mecanica fluidelor*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
[2] Degrez, G., Dick, E., Grundmann, E., *Course of computational fluid dynamics*. Von Karman Institute for Fluid Dynamics, 1992.
[3] Băran, G., Mândrea, L., *Studiul curgerii în reactoarele de omogenizare,*. Revista Hidrotehnica nr. 2, 1998, p. 39-44.
[4] Băran, G., Mândrea, L., *Influenţa geometriei reactoarelor de omogenizare, asupra curgerii*, Revista Hidrotehnica nr. 8, 1998, p. 147 – 149.
[5] Mândrea, L., Băran, G., *Optimizarea formei reactoarelor de omogenizare, hidraulică,* Revista Hidrotehnica nr. 6, 2001, p.187-190.
[6] Mândrea, L., *Influența formei asupra curgerii în reactoarele de omogenizare,* Revista Hidrotehnica, Nr.4-5, Vol. 56, 2011, p. 33-37.
[7] Mândrea, L., Voinea, A.L., *Utilizarea metodelor numerice pentru estimarea coeficientului de contracție al unui orificiu,* Știință și Inginerie, An XV, vol. 27/2015, Editura AGIR, București, 2015, pag. 381-390, ISSN 2067-7138.

Conf. Dr. Ing. Lucian MÂNDREA, Departamentul de Hidraulică, Maşini Hidraulice şi Ingineria Mediului, Universitatea Politehnica Bucureşti, membru AGIR, e-mail: mandrea_lucian@hotmail.com

Dr. Ing. Andrei Lucian VOINEA,
Direcţia Măsură, VSR şi Telegestiune, Societatea ENEL Distribuţie Muntenia
e-mail: andreilucianvoinea@yahoo.com