



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

UTILIZAREA METODELOR NUMERICE PENTRU ESTIMAREA COEFICIENTULUI DE CONTRACȚIE AL UNUI ORIFICIU

Lucian MÂNDREA, Andrei Lucian VOINEA

THE USE OF NUMERICAL METHODS FOR ESTIMATING THE CONTRACTION COEFFICIENT OF AN ORIFICE

This paper presents one of the numerical methods that integrate the Navier-Stokes equations, namely the method of finite differences, in order to determine the flowing through a tank and the contracted section of the liquid passing through an orifice.

Keywords: flow coefficient, current lines, orifice, numerical methods

Cuvinte cheie: coeficient de debit, linii de curent, orificiu, metode numerice

1. Introducere

Extinderea domeniilor de aplicare a mecanicii fluidelor în noile ramuri ale științei și tehnicii și dezvoltarea în profunzime a cercetărilor în domeniile clasice necesită rezolvarea unor probleme dificile de mecanica fluidelor vâscoase. În prezent, nu se dispune de soluția generală a sistemului de ecuații Navier-Stokes și rezolvarea acestuia în diverse cazuri concrete de mișcare a impus utilizarea metodelor numerice. Aceste metode capătă o dezvoltare deosebită odată cu perfecționarea calculatoarelor și totodată formulează noi și interesante probleme privind convergența și stabilitatea soluțiilor [1], [2].

În acest articol se prezintă una din metodele numerice de integrare a ecuațiilor Navier-Stokes și anume metoda diferențelor finite, în scopul determinării curgerii printr-un rezervor, respectiv prin secțiunea contractată a lichidului la trecerea printr-un orificiu. Rezultatele obținute sunt determinate pentru numărul Reynolds $Re = 1$.

2. Soluția numerică a curgerii

Se consideră curgerea printr-un rezervor cu suprafață liberă alimentat pe la partea superioară și prevăzut cu un orificiu inferior central.

Se analizează curgerea bidimensională a fluidului pentru a estima coeficientul de contracție în orificiul practicat în baza rezervorului.

Datorită simetriei curgerii, se prezintă spectrul liniilor de curent numai pentru partea dreaptă a rezervorului.

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

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

unde r și 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, Ψ funcția de curent adimensională și Re numărul lui Reynolds.

În cadrul formulelor R este raza curentă și 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 ν este vâscozitatea cinematică a lichidului.

Utilizând numărul Reynolds al curgerii în rezervor precum și adimensionalizările anterioare în sistemul de ecuații Navier-Stokes se obține ecuația cu derivate parțiale [3], [4], [5], [6]:

$$\begin{aligned} & \Psi_{r^4}^{IV} + 2\Psi_{r^2 z^2}^{IV} + \Psi_{z^4}^{IV} - 2\frac{\Psi_{r^3}^{III} + \Psi_{r^2}^{III}}{r} + \frac{3}{r^2} \left(\Psi_{r^2}^{II} - \frac{\Psi_r^I}{r} \right) = \\ & = \text{Re} \left(\frac{3\Psi_z^I \Psi_r^I}{r^3} + \frac{\Psi_{rz}^{II} \Psi_r^I - 2\Psi_z^{II} \Psi_z^I - 3\Psi_{r^2}^{II} \Psi_z^I}{r^2} + \frac{\Psi_{r^3}^{III} \Psi_z^I - \Psi_{z^3}^{III} \Psi_r^I - \Psi_{r^2 z}^{III} \Psi_r^I + \Psi_{rz^2}^{III} \Psi_z^I}{r} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Se consideră că viteza este nulă pe pereții solizi.

Domeniul de curgere este acoperit de o rețea dreptunghiulară cu pași $\Delta r = h$ și $\Delta z = k$ constanți (figura 1).

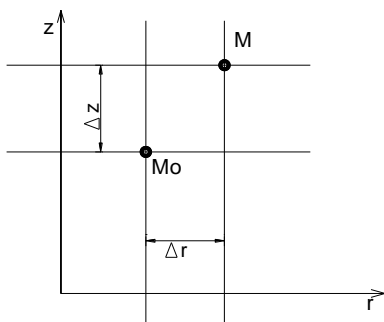


Fig. 1 Pașii rețelei unde $Z_t = 42$ mm, $R_t = 20$ mm

Se notează nodurile din rețea conform figurii 2.

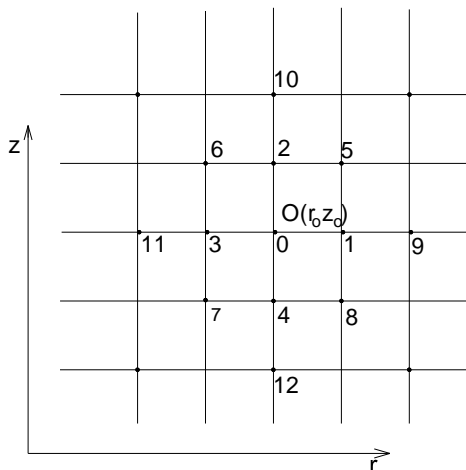


Fig. 2 Rețeaua și numerotarea nodurilor

Se utilizează dezvoltările Taylor finite pentru funcția de curent Ψ , și se obțin derivatele acestei funcții până la ordinul IV inclusiv în funcție de valorile funcției de curent în nodurile rețelei [3], [4], [5], [6]:

$$\begin{aligned}
\Psi_r^I &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{2h}; & \Psi_z^I &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{2k}; \\
\Psi_{r^2}^{II} &= \frac{\Psi_1 - 2\Psi_0 + \Psi_3}{h^2}; & \Psi_{z^2}^{II} &= \frac{\Psi_2 - 2\Psi_0 + \Psi_4}{k^2}; \\
\Psi_{r^3}^{III} &= \frac{\Psi_9 - 2\Psi_1 + 2\Psi_3 - \Psi_{11}}{2h^3}; & \Psi_{z^3}^{III} &= \frac{\Psi_{10} - 2\Psi_2 + 2\Psi_4 - \Psi_{12}}{2k^3}; \\
\Psi_{r^2z}^{III} &= \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8 - 2\Psi_2 + 2\Psi_4}{2h^2k}; \\
\Psi_{r^4}^{IV} &= \frac{\Psi_9 - 4\Psi_1 + 6\Psi_0 - 4\Psi_3 + \Psi_{11}}{h^4}; \\
\Psi_{r^2z^2}^{IV} &= \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8 - 2(\Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \Psi_4) + 4\Psi_0}{h^2k^2}
\end{aligned} \quad (3)$$

unde Ψ reprezintă valorile funcției de curent în punctele 1, 2, ..., n.

Dacă se substituie relațiile (3) în ecuația (2) se obține ecuația algebrică asociată ecuației cu derivate parțiale:

$$\alpha\Psi_0 = \beta + \text{Re}\delta \quad (4)$$

unde coeficienții au expresiile:

$$\begin{aligned}
\alpha &= 6\left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{r^2h^2}\right) + \frac{8}{h^2k^2} - \text{Re}\left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2}\right)\frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2k}; \\
\beta &= \left[4\left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2}\right) - \frac{3}{r^2}\right]\frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2\left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2}\right) - \frac{3}{2r^2}\right]\frac{\Psi_1 - \Psi_3}{rh} + 4\left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2}\right)\frac{\Psi_2 + \Psi_4}{k^2} - \\
&\quad - \frac{\Psi_9 + \Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{10} + \Psi_{12}}{k^4} - 2\frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2k^2} + \frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2}; \\
\delta_1 &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(3\frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2} - \frac{\Psi_{10} - \Psi_{12}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh}\right); \\
\delta_2 &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(\frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{9h^3} - 3\frac{\Psi_1 + \Psi_3}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2}\right); \\
\delta &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{r}
\end{aligned} \quad (5)$$

unde h și k reprezintă pașii de calcul pe direcțiile orizontală și verticală.

Pentru punctele situate lângă frontiera orizontală inferioară, conform principiului reflectării,

$$\Psi_1 = \Psi_0 \quad (6)$$

Variabila $r(l)$ adimensionalizată se exprimă în funcție de indicele punctelor de pe orizontală astfel:

$$r(I) = \frac{h(I-1)}{R_i}$$

Coefficienții ecuației algebrice (4) devin:

$$\alpha = 6 \left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{r^2 h^2} \right) + 8 \frac{1}{h^2 k^2} - \operatorname{Re} \left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2} \right) \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2 k} + \frac{1}{k^4} - \operatorname{Re} \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk^3 r}$$

$$\beta = \left[4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{r^2} \right] \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{2r^2} \right] \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{hr} + 4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{k^2} - \frac{\Psi_9 + \Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{10}}{k^4} - 2 \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2 k^2} + \frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2} \quad (7)$$

$$\delta_1 = \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(\frac{3(\Psi_2 - \Psi_4)}{r^2} - \frac{\Psi_{10}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh} \right)$$

$$\delta_2 = \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(\frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{9h^3} \right) - \frac{3(\Psi_1 + \Psi_3)}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2}$$

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{r}$$

Pentru colțul dreapta jos (figura 3) $\Psi_{12} = \Psi_0$ și $\Psi_9 = \Psi_0$ și coeficienții ecuației algebrice devin:

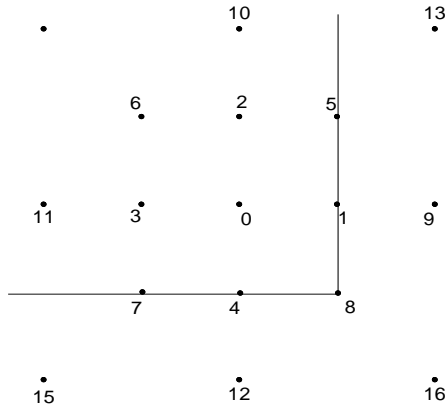


Fig. 3 Poziția punctelor rețelei în colțul dreapta jos

$$\begin{aligned}
\alpha &= 6 \left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{h^2 r^2} \right) + \frac{8}{h^2 k^2} - \operatorname{Re} \left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2} \right) \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2 k} + \frac{1}{k^2} - \\
&\quad - \operatorname{Re} \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk^3 r} + \frac{1}{h^4} - \frac{1}{h^3 r} - \operatorname{Re} \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{9h^3 kr} \\
\beta &= \left[4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{r^2} \right] \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{2r^2} \right] \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{rh} + 4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) \quad (8) \\
&\quad \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k^2} - \frac{\Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{10}}{k^4} - 2 \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2 k^2} - \frac{\Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2} \\
\delta_1 &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(\frac{3(\Psi_2 - \Psi_4)}{r^2} - \frac{\Psi_{10}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh} \right) \\
\delta_2 &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(-\frac{\Psi_{11}}{9h^3} \right) - \frac{3(\Psi_1 + \Psi_3)}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2} \\
\delta &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{r}
\end{aligned}$$

Pentru punctele situate lângă peretele din dreapta al rezervorului, tot pe baza principiului reflectării, se deduce că $\Psi_9 = \Psi_0$ și coeficienții devin :

$$\begin{aligned}
\alpha &= 6 \left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{h^2 r^2} \right) + \frac{8}{h^2 k^2} - \operatorname{Re} \left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2} \right) \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2 k} + \frac{1}{h^4} - \frac{1}{h^3 r} - \operatorname{Re} \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{9h^3 kr} \\
\beta &= \left[4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{r^2} \right] \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{2r^2} \right] \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{rh} + 4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) \quad (9) \\
&\quad \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{k^2} - \frac{\Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{10} + \Psi_{12}}{k^4} - 2 \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2 k^2} - \frac{\Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2} \\
\delta_1 &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(\frac{3(\Psi_2 - \Psi_4)}{r^2} - \frac{\Psi_{10} - \Psi_{12}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh} \right) \\
\delta_2 &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(-\frac{\Psi_{11}}{9h^3} \right) - \frac{3(\Psi_1 + \Psi_3)}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2} \\
\delta &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{r}
\end{aligned}$$

Punctele din vecinătatea suprafeței libere se tratează considerând că pe suprafața liberă efortul tangențial de frecare este nul.

Se obține: $\Psi_{10} + \Psi_0 = 2\Psi_2$ și având în vedere principiul reflectării: $\Psi_{10} = \Psi_0$.

Coeficienții ecuației algebrice asociate devin:

$$\begin{aligned}
\alpha &= 6 \left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{r^2 h^2} \right) + \frac{8}{(h^2 k^2)} - \operatorname{Re} \left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2} \right) \frac{(\Psi_2 - \Psi_4)}{r^2 k} - \frac{1}{k^4} - \operatorname{Re} \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk^3 r} \\
\beta &= \left[4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{r^2} \right] \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{2r^2} \right] \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{rh} + 4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) \\
&\frac{\Psi_2 + \Psi_4}{k^2} - \frac{\Psi_9 + \Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{12}}{k^4} - 2 \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2 k^2} + \frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2} \\
\delta_1 &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(3 \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2} + \frac{\Psi_{12}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh} \right) \\
\delta_2 &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(\frac{\Psi_9 - \Psi_{11}}{9h^3} - 3 \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2} \right) \\
\delta &= \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{r}
\end{aligned} \tag{10}$$

Pentru colțul din dreapta sus $\Psi_9 = \Psi_0$ și $\Psi_{10} = -\Psi_0$ și coeficienții ecuației algebrice devin:

$$\begin{aligned}
\alpha &= 6 \left(\frac{1}{h^4} + \frac{1}{k^4} - \frac{1}{r^2 h^2} \right) + \frac{8}{(h^2 k^2)} - \operatorname{Re} \left(\frac{3}{h^2} + \frac{2}{k^2} \right) \frac{(\Psi_2 - \Psi_4)}{r^2 k} - \frac{1}{k^4} \\
&- \operatorname{Re} \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk^3 r} + \frac{1}{h^4} - \frac{1}{h^3 r} - \operatorname{Re} \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{9h^3 kr} \\
\beta &= \left[4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{r^2} \right] \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{h^2} - \left[2 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) - \frac{3}{2r^2} \right] \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{rh} + 4 \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k^2} \right) \\
&\frac{\Psi_2 + \Psi_4}{k^2} - \frac{\Psi_{11}}{h^4} - \frac{\Psi_{12}}{k^4} - 2 \frac{\Psi_5 + \Psi_6 + \Psi_7 + \Psi_8}{h^2 k^2} - \frac{\Psi_{11}}{rh^3} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{rhk^2} \\
\delta_1 &= \frac{\Psi_1 - \Psi_3}{4hk} \left(3 \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{r^2} + \frac{\Psi_{12}}{k^2} - \frac{\Psi_5 + \Psi_6 - \Psi_7 - \Psi_8}{h^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 + \Psi_7 - \Psi_8}{2rh} \right) \\
\delta_2 &= \frac{\Psi_2 - \Psi_4}{k} \left(-\frac{\Psi_{11}}{9h^3} - 3 \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{2rh^2} - \frac{\Psi_2 + \Psi_4}{rk^2} + \frac{\Psi_5 - \Psi_6 - \Psi_7 + \Psi_8}{4hk^2} \right) \\
\delta &= \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{r}
\end{aligned} \tag{11}$$

Se calculează ulterior valorile funcției de curent în punctele din interiorul rețelei care nu au fost afectate de una dintre condițiile anterioare. Calculul se face iterativ, 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 0,001.

S-a analizat modul de curgere și formarea vârtejurilor pentru rezervor cu orificiu de fund (figura 4). Se observă formarea vârtejurilor într-o zonă moartă spre colțul stânga sus, precum și în colțul dreapta jos datorită devierii curentului.

3. Exemplu de calcul și interpretarea rezultatelor

Exemplu de calcul corespunde unui număr $Re = 1$, iar funcția ψ ia valori între 0 și 1, (figura 4). Curgerea are loc lent aproximativ pe toată lungimea rezervorului, cu liniile de curent aproximativ paralele în partea dreaptă a rezervorului, vârtejuri semnificative producându-se în partea stângă a figurilor.

Considerând curgerea plană și aplicând metoda prezentată s-a obținut spectrul curgerii (figura 4), rezultat care deschide noi posibilități de studiu și rezolvare a problemelor legate de coeficientul de debit al orificiilor.

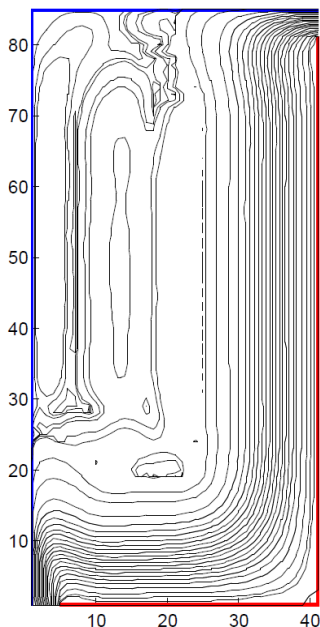


Fig. 4, a

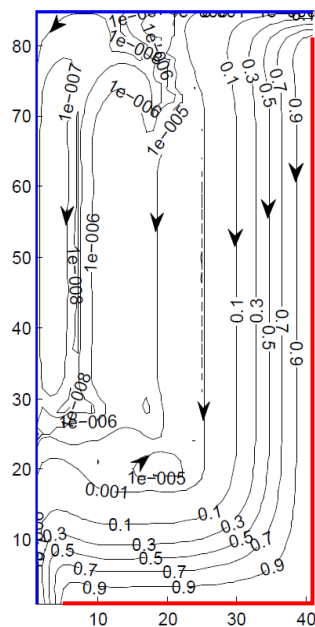


Fig. 4, b

Fig. 4 Vizualizarea liniilor de curent și prezentarea valorilor funcției de curent ψ

În figura 4, a sunt reprezentate mai multe linii de curent pentru a obține o imagine mai amplă a spectrului curgerii, iar în figura 4, b s-au figurat un număr de 10 linii de curent cu funcțiile de curent $\Psi = \text{constant}$ însoțite de sensul de parcurgere, ele fiind marcate cu numărul Ψ corespunzător fiecărei linii de curent.

Se observă apariția unei multitudini de vârtejuri către colțul stânga sus al rezervorului, zonă în care energia lichidului este foarte mică datorită curgerii lente. Se formează vârtejuri și în partea inferioară colț dreapta jos din cauza devierii curentului de lichid de către partea inferioară a rezervorului însă acestea sunt mai restrânse și puțin sesizabile.

Se prezintă în continuare în figura 5 forma spectrului de curgere în zona orificiului inferior pentru estimarea coeficientului de contracție.

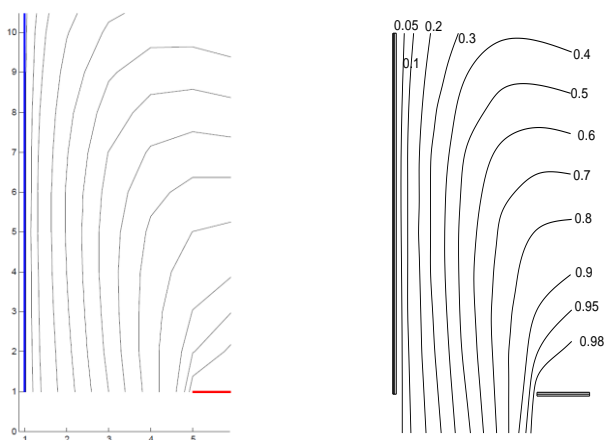


Fig. 5 Forma spectrului curgerii la ieșirea din orificiul inferior

S-au obținut următoarele valori ale coeficientului de contracție ϵ asociate valorilor funcției de curent:

$$\begin{array}{ll} \Psi = 0,98 \text{ rezulta } \epsilon = 0,977, & \Psi = 0,9 \text{ rezulta } \epsilon = 0,9005 \\ \Psi = 0,95 \text{ rezulta } \epsilon = 0,946, & \Psi = 0,8 \text{ rezulta } \epsilon = 0,801 \end{array}$$

Coeficientul de contracție care se ia în considerație în final pentru orificiu este $\epsilon = 0,977$ deoarece corespunde liniei de curent din extrema dreaptă a orificiului, corespunzătoare razei constructive a orificiului.

Concluzii

■ Soluția numerică obținută poate rezolva problema determinării coeficientului de contracție al unui orificiu și cu ajutorul acestei valori se poate determina coeficientul de debit al orificiului și în final debitul real ce se scurge afară din rezervor.

■ Tratarea numerică a problemei conduce la obținerea spectrului curgerii în rezervor cu precizarea zonelor de vârtejuri, fapt ce poate favoriza obținerea de informații suplimentare pentru utilizatori.

Mulțumiri

Lucrarea a fost finanțată de către Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013 al Ministerului fondurilor europene prin Acordul financiar POSDRU/159/1.5/S/132395.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Florea, J., Panaitescu, V., *Mecanica fluidelor*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 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 Hidrotehnică nr. 2, 1998, pag. 39-44.
- [4] Băran, G., Mândrea, L., *Influența geometriei reactoarelor de omogenizare, asupra curgerii*, Revista Hidrotehnică nr. 8, 1998, pag. 147 – 149.
- [5] Mândrea, L., Băran, G., *Optimizarea formei reactoarelor de omogenizare, hidraulică*, Revista Hidrotehnică nr. 6, 2001, pag.187-190.
- [6] Mândrea, L., *Influența formei asupra curgerii în reactoarele de omogenizare*, Revista Hidrotehnică, Nr.4-5, Vol 56, 2011, pag. 33-37.

Conf. Dr. Ing. Lucian MÂNDREA
Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului,
Universitatea Politehnică București, membru AGIR,
e-mail: mandrea_lucian@hotmail.com

Drd. Ing. Andrei Lucian VOINEA
Inginer, Direcția Măsură, VSR și Telegestiune,
Societatea ENEL Distribuție Muntenia
e-mail: andreilucianvoinea@yahoo.com