

UDK 532.595.7

Pretočno-tlačna analiza procesnih omrežij v odvisnosti od stopnje odprtosti ventilov

DRAGO GORIČANEC — JURIJ KROPE

UVOD

V sistemih daljinskega transporta fluidov, v topotnih podpostajah, procesnih obratih itd. se pojavljajo mnogokrat pretočno-tlačni problemi. Vzrok zanje sta napačna izbira elementov in naprav oziroma njihova napačna povezava, ki temeljita na nepoznavanju odvisnosti: pretok, tlak, upor, zmogljivost črpalk.

Da bi tovrstne težave uspešno premagali, je v prispevku vnaprej postavljena glavna misel, kako postaviti računski model oziroma postopek, ki bo zagotavljal stabilno hidravlično uravnoteženo delovanje procesnega omrežja v linijski zankasti ali kombinirani izvedbi. Namestitev črpalk je mogoča pri izvoru in v cevnih odsekih posamično, vzporedno ali zaporedno. Za reševanje modela je uporabljena Newton-Raphsonova metoda.

Padeč tlaka v vodoravnih cevih

Padeč tlaka pri pretoku nestisljive kapljevine iz vozlišča i v vozlišče j je odvisen od linijskih in lokalnih energijskih izgub in ga določimo z Darcy-Weisbachovo enačbo:

$$p_i - p_j = 0,81 \rho \frac{1}{d^4} \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \xi \right) q_{ij}^2 = K_{ij} q_{ij}^2 \quad (1)$$

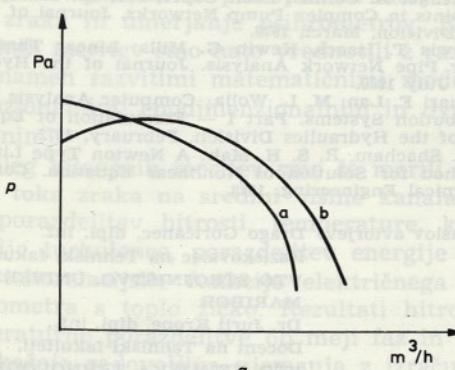
Darcyjev koeficient trenja λ je odvisen od hrapavosti cevi in vrste pretoka. Po Colebrooku znaša:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 D} \right) \quad (2)$$

Karakteristika črpalke $p - q$

Za določitev pogojev obratovanja črpalke je treba poznati karakteristične krivulje $p - q$ (sl. 1), ki jih dobimo iz praktičnih meritev oziroma iz kataloga izdelovalca. Analitično lahko zapišemo krivulji na sliki 1 s polinomom druge stopnje:

$$p = A q^2 + B q + C \quad (3)$$

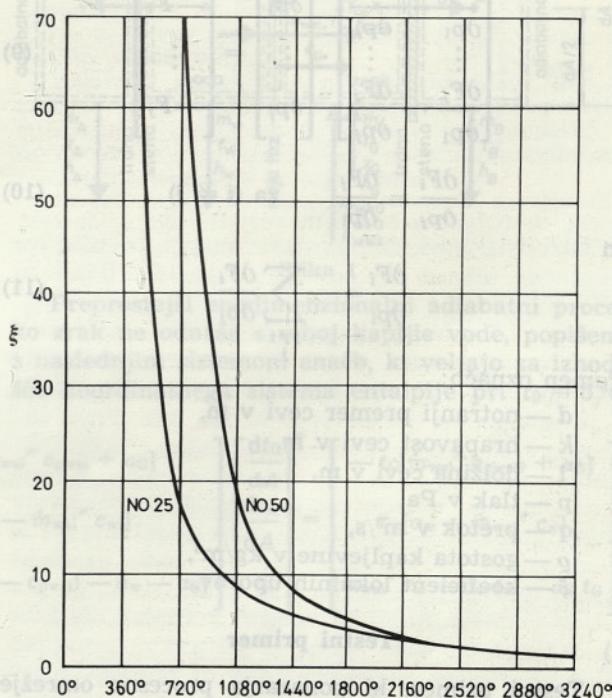


Sl. 1. Karakteristika krivulje črpalk

Ker so krivulje $p - q$ črpalk običajno parabole (sl. 1a $\Rightarrow A < 0, B > 0, C > 0$ ali sl. 1b $\Rightarrow A < 0, B < 0, C > 0$), je pravilna izbira predznaka (\pm) diskriminante rešene enačbe (3) odločilna za konvergenco sistema enačb (8).

Regulacijski ventili

Pretok skozi ventil spremenjamo z lego krožnika ventila. Lega je podana v kotnih stopinjah in je proporcionalna relativnemu gibu. Odvisnost koeficiente upora od stopnje odprtosti ventila dobimo s preizkusi (sl. 2).



Sl. 2. Koeficient upora regulacijskega ventila

Krivulja je podana z enačbo

$$\xi_v = a \alpha^{-n} \quad (6)$$

za ventil s premerom 25 mm je

$$\xi_v = 349578 \cdot \alpha^{-1,486654}$$

in za ventil s premerom 50 mm je

$$\xi_v = 337226577 \alpha^{-2,36395}$$

Matematični model

Matematični model podaja odvisnost med pretoki, padcem tlaka, hidravličnimi upori cevnih elementov in transportno višino posameznih črpalk. Izhajamo iz predpostavke kontinuitete pretoka vozlišč (I. Kirchoffov zakon) in ohranitve energije okoli zaprte zanke (II. Kirchoffov zakon).

Sistem dobljenih nelinearnih enačb oblike:

$$F_i = - \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^J \sqrt{\frac{1}{K_{ij}} (p_i - p_j)} + q_{ij} = 0 \quad \text{za } i = 1, \dots, J \quad (7)$$

oziroma

$$F_i = - \sum_{\substack{j \neq i \\ j=i}}^J \sqrt{\frac{p - p_0}{A} - \frac{B}{2A}} + q_{ij} = 0 \quad \text{za } i = 1, \dots, J \quad (8)$$

rešujemo z Newton-Raphsonovo iteracijsko metodo, potem ko smo enačbe razvili v Taylorjevo vrsto. Korekcijske tlake $p^{(m)}$ dobimo iz sistema enačb:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial p_j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_j}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial F_j}{\partial p_j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta p_1 \\ \vdots \\ \delta p_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F_1 \\ \vdots \\ -F_j \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\frac{\partial F_i}{\partial p_j} = \frac{\partial F_j}{\partial p_i} \quad \text{za } (i \neq j) \quad (10)$$

in

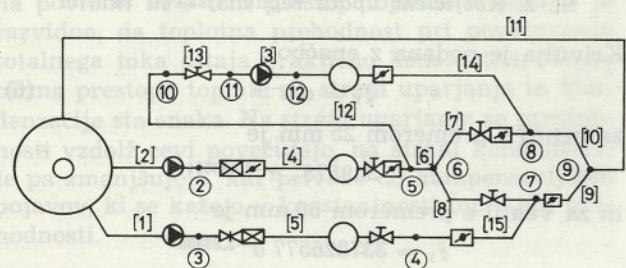
$$\frac{\partial F_i}{\partial p_i} = - \sum_{j \neq i} \frac{\partial F_i}{\partial p_j} \quad (11)$$

Pomen označb:

- d — notranji premer cevi v m,
- k — hrapavost cevi v m,
- l — dolžina cevi v m,
- p — tlak v Pa,
- q — pretok v m^3/s ,
- ρ — gostota kapljevine v kg/m^3 ,
- ξ — koeficient lokalnih uporov.

Testni primer

Testni primer, ki ponazarja procesno omrežje (sl. 3), prikazuje aplikativen prenos razvite teorije



Legenda:

- | | | | |
|--|------------------------------|--|--------------------|
| | - čistilnik nečistoče v cevi | | - varovalni ventil |
| | - regulacijski ventil | | - loputa |
| | - črpalka | | - raztezna posoda |

Sl. 3. Testno omrežje

na dejansko izračunavanje pretočne razdelitve in določitve tlakov pri različni priprtosti ventilov in različnih vrstah črpalk. (Primer: računalniški izpis.)

PODATKI

PREDPOSTAVLJENI TLAK NA VOZLISCU 1 = 100000. (Pa)
MAKSIMALNO DOVOLJENO STEVILO ITERACIJ = 1000
KINEMATIČNA VISOKOZNOST = 0.3655E-06 (m²/s)
ZAHTEVANA NATANČNOST = 0.1E-04
GOSTOTA MEDIJA = 971.8 (kg/m³)

PODATKI O CEVEM

CEV	DOL.(m)	PREMER(m)	HRAPAVOST(m)	CETA	CETA REG. VENT.
4	5.2	0.0545	0.50E-04	0.1411E+02	0.4503E+02
5	2.8	0.0545	0.50E-04	0.7700E+01	0.0000E+00
6	0.5	0.0545	0.50E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
7	3.5	0.0545	0.50E-04	0.3900E+01	0.1200E+04
8	1.2	0.0545	0.50E-04	0.2800E+00	0.4503E+02
9	3.8	0.0545	0.50E-04	0.4100E+01	0.0000E+00
10	1.5	0.0545	0.50E-04	0.2800E+00	0.0000E+00
11	4.5	0.0545	0.50E-04	0.3600E+01	0.0000E+00
12	2.5	0.0545	0.50E-04	0.3000E+01	0.0000E+00
13	2.0	0.0285	0.50E-04	0.7450E+01	0.4325E+01
14	6.0	0.0285	0.50E-04	0.5415E+01	0.0000E+00
15	2.5	0.0285	0.50E-04	0.2700E+01	0.0000E+00

PODATKI O REG. VENTILIH

REG. VENT.	A	N	ST. ODPRT.
4	0.337227E+09	-0.236795E+01	0.8000E+03
5	0.337227E+09	-0.236795E+01	0.8000E+03
7	0.337227E+09	-0.236795E+01	0.2000E+03
8	0.337227E+09	-0.236795E+01	0.8000E+03
13	0.345978E+06	-0.148665E+01	0.2000E+04

PODATKI O CRPALKAH

CRPALKA	A	B	C
1	-0.7920570E+10	0.1487041E+08	0.1630760E+06
2	-0.7920570E+10	0.1487041E+08	0.1630760E+06
3	-0.293700E+10	0.410661E+07	0.7221670E+05

PODATKI O VOZLIZAH

VOZLISCE	1. CEV	2. CEV	3. CEV	4. CEV	V-IZTOK(m³/s)	TL. V-IZTOK(Pa)	VOZL.
1	1	2	11	0	0.000000	100000.	
2	2	4	0	0	0.000000		0.
3	1	5	0	0	0.000000		0.
4	5	15	0	0	0.000000		0.
5	4	6	12	0	0.000000		0.
6	6	7	8	0	0.000000		0.
7	8	15	9	0	0.000000		0.
8	7	10	14	0	0.000000		0.
9	9	10	11	0	0.000000		0.
10	12	13	0	0	0.000000		0.
11	13	3	0	0	0.000000		0.
12	3	14	0	0	0.000000		0.

REZULTATI

CEV	CRP.	OD	DO	q1(m³/s)	HITROST(m/s)	/Pi-Pj/(Pa)	VOZL.	TLAK(Pa)
---	2	1	2	0.00362	-----	113167.	1	100000.
---	1	3	0.00311	-----	132057.	2	213167.	
11	---	9	1	0.00672	2.883	202929.	3	232857.
4	---	2	5	0.00362	1.551	71255.	4	186556.
5	---	3	4	0.00311	1.331	46387.	5	141913.
15	---	4	7	0.00311	4.869	54828.	6	141849.
6	---	5	6	0.00281	0.863	64.	7	131722.
12	---	5	10	0.00151	2.57	14652.	8	121236.
8	---	6	7	0.00159	0.675	10127.	9	120529.
7	---	6	8	0.00044	0.100	20519.	10	127261.
9	---	7	9	0.00049	2.097	10793.	11	86163.
10	---	8	9	0.00204	0.876	381.	12	15749.
14	---	12	8	0.00161	2.517	36179.		
13	---	10	11	0.00161	2.517	41099.		
---	3	11	12	0.00161	-----	71246.		

LITERATURA

[1] Kropo J.: Analiza pretočne porazdelitve v omrežju dajinskega ogrevanja (sistemi zank) — Strojniški vestnik 1983/1-3, Ljubljana.

[2] Kanson, T. H. Lin: The Numerical Analysis of Water Supply Networks by Digital Computer, International Association for Hydraulic Research, 1969.

[3] Belamy C. J., McCormick M.: Computer Program for the Analysis of Networks of Pipes and Pumps. The Journal of the Institution of Engineers, Australian, March, 1968.

[4] Michael A. Collins, Leon Coper, Jeff L.: Multiple Operating Points in Complex Pump Networks, Journal of the Hydraulics Division, March 1979.

[5] Lewis T. Isaacs, Kevin G. Mills: Linear Theory Methods for Pipe Network Analysis. Journal of the Hydraulics Division, July 1980.

[6] Chari F. Lan, M. L. Wolla: Computer Analysis of Water Distribution Systems. Part I — Formulation of Equations. Journal of the Hydraulics Division, February, 1972.

[7] M. Shacham, R. S. H. Mah: A Newton Type Linearization Method for Solution of Nonlinear Equation. Computers and Chemical Engineering, 1978.

Naslov avtorjev: Drago Goričanec, dipl. inž.

Raziskovalec na Tehniški fakulteti,
VTO STROJNISTVO, UNIVERZA
MARIBOR

Dr. Jurij Kropo, dipl. inž.,
Docent na Tehniški fakulteti,
VTO KEMIJSKA TEHNOLOGIJA,
UNIVERZA MARIBOR