

UDK 697.444

Ugotovitev neznanih odpornosti v vročevodnih omrežjih

Postavitev stanja, ki preprečuje prehodne pojave, v omrežju z neznanimi geometrijskimi podatki

LÁSZLÓ GARBAI — GYÖRGY DESZŐ — JURIJ KROPE

V pričujočem članku je predstavljena merilno-računska metoda, ki omogoča predstavitev skladnih hidravličnih razmer pri vročevodnem omrežju in s tem določitev zmogljivosti in rezerv sistema, ob hkratni predstavitvi dejanskih odpornosti posameznih odsekov, s katerimi lahko določimo dejansko tlačno in tokovno razdelitev v omrežju.

Znano je, da je mogoče podati in določiti pretočno stanje s hidravličnimi enačbami in pretočnimi razmerami v vozlišču.

Označimo razmerje med padcem tlaka in kvadratom pretoka v odseku nekega omrežja z značilno vrednostjo R

$$R = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2} \quad (1)$$

Enačbo lahko izrazimo tudi z zvezo, ki upošteva geometrijske in konstrukcijske karakteristike odseka omrežja

$$R = \left(\lambda \frac{l}{d_B} + \xi \right) \frac{8 \rho_F}{d_B^4 \pi^2} \quad (2)$$

Če poznamo značilno vrednost R , lahko določimo hidravlično stanje z enačbami, za ohranitev mase oziroma prostornine v vozliščih. Prav tako je mogoča določitev hidravličnega stanja s sistemom enačb, ki izraža velikost padca tlaka na relaciji: izvor (točka napajanja toplovoda) — porabnik (odzemno mesto)

$$\Delta p = \sum_{i \in \Omega_k} R_i \dot{V}_i^2 + \Delta p_k \quad k = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$\dot{V}_j = \sum_{i=1}^{n_j} \dot{V}_i \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

V enačbah (3) in (4) pomenijo:

- $\dot{V}_j$ — prostorninski pretok v j -to vozlišče [m^3/s]
- $\dot{V}_i$ — prostorninski pretok iz j -tega vozlišča v i -ti cevi [m^3/s]
- n — število vozlišč
- n_j — število izstopnih cevi iz j -tega vozlišča
- Δp — padec tlaka [Pa]
- R_i — značilna vrednost razmerja $\Delta p_i / \dot{V}_i^2$
- Δp_k — koristen tlak pri k -tem porabniku [Pa]
- s — število uporabnikov
- Ω_k — množica indeksov cevovodov, ki potekajo od k -tega porabnika do napajalnega mesta
- ϵ — element

Natančnost izračuna značilne vrednosti R in pretočnega stanja je odvisna od tega, kako natančno poznamo geometrijske in druge — na rezultat

vplivajoče — karakteristične veličine (dolžina, premer, hrapavost, odpor zaradi oblike) odsekov omrežja.

Po izkušnjah vemo, da natančnost rezultatov hidravličnega stanja po zgoraj omenjeni metodi ni boljša od $\pm 30\%$. To je posledica dalj časa obratujočega ali večkrat preurejenega omrežja z nepopolno dokumentacijo. Pri računanju hidravličnega stanja z geometrijskimi karakteristikami ne moremo dati zanesljivega odgovora na to, kako se bo omrežje odzivalo pri priključitvi novih porabnikov.

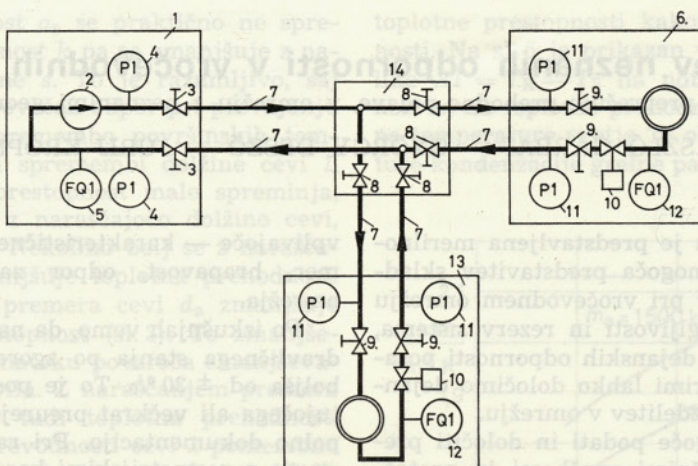
V nadaljnjem besedilu je prikazan postopek, s katerim lahko v nasprotju s prejšnjimi metodami (meritve, nova merna mesta), brez poznavanja geometrijskih karakteristik, izračunamo odpornost kateregakoli odseka omrežja.

Bistvo postopka je v tem, da v omrežje po določenem sistemu nastavimo različna obratovalna stanja, medtem pa v vsakem obratovalnem stanju izmerimo na mernih mestih (v točki napajanja in točki odvzema toplote) tlake oziroma razlike tlakov v predtočnem in povratnem vodu, kakor tudi prostorninski pretok vode, ki kroži.

V vsakem obratovalnem stanju napišemo Kirchhoffove zakone z uporabo izmerjenih vrednosti. V enačbah, ki jih tako dobimo, so neznane vrednosti iskane odpornosti. Za eno obratovalno stanje napisan sistem enačb ima več neznank, kakor je enačb. Zato moramo nastaviti in upoštevati toliko obratovalnih stanj in poiskati toliko vrednosti z meritvami, da dobimo z uporabo Kirchhoffovih zakonov toliko pretočnih enačb, kolikor je iskanih neznank.

Različna obratovalna stanja nastavimo tako, da reguliramo ali zapiramo ventile, ki so na mestih odvzema (porabnik), do te mere (po potrebi do nič), da pride na preostalih mernih mestih omrežja (prav gotovo pa na točki napajanja omrežja) do spremembe vrednosti merjenih veličin, v velikosti, ki presega mejo natančnosti merilnega instrumenta.

Postopek meritve ima pravzaprav dve različici, odvisno od tega, ali lahko na odjemnih mestih merimo prostorninski pretok ali ga ne moremo meriti. Če na odjemnih mestih ne merimo prostorninskih pretokov, je neznanka porazdelitev prostorninskih pretokov omrežja. Naloga je tudi v tem primeru nastaviti toliko »linearno neodvisnih« obratovalnih stanj, da dobimo z zapisom Kirchhoffovih enačb toliko enačb, kolikor je neznank (vrednosti odpora in prostorninskega pretoka). Stanje se nadalje zaplete, ker postanejo Kirchhoffove enačbe nelinearne.



Sl. 1. Shematski prikaz poenostavljenega omrežja

Zgornji alternativni postopka meritev bomo obravnavali nadalje posebej in jih razlikovali kot »linearni« in »nelinearni« postopek.

Linearni postopek

Dejansko uporabo linearnega postopka prikazuje slika 1. Kot prvi korak popolnoma odpremo ventile (v točki napajanja 1, na vodu 7 in porabniških mestih 6, 13), in sicer ventile 3, 8, 9 ročno in ventil 10 avtomatično. Nato v takšnem stanju registriramo vrednosti tlaka, razlike tlaka in prostorninskega pretoka. Registriramo na merilnikih tlaka 4 in 11 (za napajalno mesto 1 in porabniški mesti 6, 13) ter merilnikih prostorninskega pretoka 5 in 12.

Če na primer na porabniškem mestu 13 popolnoma zapremo ventil 9, tako da na 13 ni več odjemalca, lahko v takšnem obratovalnem stanju izmerimo obratovalne vrednosti v napajalni točki 1 in na porabniškem mestu 6, z merilniki tlaka 4, 11 ter merilniki prostorninskega pretoka.

$$\Delta p_{01} = R_0 \dot{V}_{01}^2 + R_1 \dot{V}_{11}^2 + \Delta p_{11} \quad (5)$$

$$\Delta p_{01} = R_0 \dot{V}_{01}^2 + R_2 \dot{V}_{21}^2 + \Delta p_{21} \quad (6)$$

$$\Delta p_{02} = R_0 \dot{V}_{02}^2 + R_1 \dot{V}_{12}^2 + \Delta p_{12} \quad (7)$$

V enačbah (5, 6, 7) pomenijo:

R_0 — značilno vrednost dvojice cevovodov med napajalno točko 1 in vozliščem 14

R_1 — značilno vrednost dvojice cevovodov med porabniškim mestom 6 in vozliščem 14

R_2 — značilno vrednost dvojice cevovodov med porabniškim mestom 13 in vozliščem 14

Δp_{01} — razliko tlaka med tlačnim in povratnim vodom, merjeno v napajalni točki 1 pri prvem obratovalnem stanju

Δp_{02} — razliko tlaka med tlačnim in povratnim vodom, merjeno v napajalni točki 1 pri drugem obratovalnem stanju

$\dot{V}_{01}$ — prostorninski pretok v napajalni točki 1 pri prvem obratovalnem stanju

$\dot{V}_{02}$ — prostorninski pretok v napajalni točki 1 pri drugem obratovalnem stanju

$\dot{V}_{11}$ — prostorninski pretok na porabniškem mestu 6 pri prvem obratovalnem stanju

$\dot{V}_{12}$ — prostorninski pretok na porabniškem mestu 6 pri drugem obratovalnem stanju

$\dot{V}_{21}$ — prostorninski pretok na porabniškem mestu 13 pri prvem obratovalnem stanju

Δp_{11} — razliko tlaka med tlačnim in povratnim vodom, merjeno na porabniškem mestu 6 pri prvem obratovalnem stanju

Δp_{21} — razliko tlaka med tlačnim in povratnim vodom, merjeno na porabniškem mestu 13 pri prvem obratovalnem stanju

Δp_{12} — razliko tlaka med tlačnim in povratnim vodom, merjeno na porabniškem mestu 6 pri drugem obratovalnem stanju

Število enačb je enako številu neznank R_0 , R_1 , R_2 , kar pomeni, da so neznanke določljive.

Nelinearni postopek

Pri uporabi nelinearnega postopka pri istem primeru (sl. 1) moramo nastaviti novo obratovalno stanje, ki ga dosežemo z zaprtjem ventila 9 na porabniškem mestu 6. S tem odpade merjenje prostorninskih pretokov na porabniških mestih z različna obratovalna stanja. Pri uporabi nelinearnega postopka lahko pišemo

$$\Delta p_{01} = R_0 \dot{V}_{01}^2 + R_1 \dot{V}_{11}^2 + \Delta p_{11} \quad (8)$$

$$\Delta p_{01} = R_0 \dot{V}_{01}^2 + R_2 \dot{V}_{21}^2 + \Delta p_{21} \quad (9)$$

$$\Delta p_{02} = R_0 \dot{V}_{02}^2 + R_1 \dot{V}_{12}^2 + \Delta p_{12} \quad (10)$$

$$\Delta p_{03} = R_0 \dot{V}_{03}^2 + R_2 \dot{V}_{23}^2 + \Delta p_{23} \quad (11)$$

Pri tem velja

$$\dot{V}_{02} = \dot{V}_{12}$$

$$\dot{V}_{03} = \dot{V}_{23}$$

$\dot{V}_{01}$ so znane vrednosti, izmerjene v napajalnih točkah. V zgornjem sistemu enačb so neznanke:

$$R_0, R_1, R_2, \dot{V}_{11}, \dot{V}_{21}$$

Postavimo:

$$\Delta p_{11} = \Delta p_{21} = \Delta p_a \quad (12)$$

Če enačbe delimo s kvadratom prostorninskih pretokov V_{01}^2 , dobimo

$$R_{01} = R_0 + R_1 \left(\frac{\dot{V}_{11}}{\dot{V}_{01}} \right)^2 + \frac{\Delta p_a}{\dot{V}_{01}^2} \quad (13)$$

$$R_{01} = R_0 + R_2 \left(\frac{\dot{V}_{21}}{\dot{V}_{01}} \right)^2 + \frac{\Delta p_a}{\dot{V}_{01}^2} \quad (14)$$

$$R_{02} = R_0 + R_1 + \frac{\Delta p_{12}}{\dot{V}_{02}^2} \quad (15)$$

$$R_{03} = R_0 + R_2 + \frac{\Delta p_{23}}{\dot{V}_{03}^2} \quad (16)$$

Če enačbi (13) in (14) seštejemo in uvedemo nadomestno vrednost R_{er} , dobimo

$$R_{01} = R_0 + R_{er} + \frac{\Delta p_a}{\dot{V}_{01}^2} \quad (17)$$

$$R_{02} = R_0 + R_1 + \frac{\Delta p_{12}}{\dot{V}_{02}^2} \quad (18)$$

$$R_{03} = R_0 + R_2 + \frac{\Delta p_{23}}{\dot{V}_{03}^2} \quad (19)$$

kakor tudi

$$\frac{1}{\sqrt{R_{er}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} \quad (20)$$

Za določitev neznank R_0, R_1, R_2, R_{er} imamo na voljo štiri enačbe.

Koristnost postopkov

Koristnost oz. bolje rečeno zanesljivost navedenih postopkov sta odvisni v veliki meri od konfiguracije merjenega omrežja in natančnosti meritev. Npr.: za »omrežje z enim odsekom« kot skrajno preprostim primerom velja

$$R = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2} \quad (21)$$

Naključni pogreški pri meritvah razlike tlaka ali prostorninskega pretoka — tvorijo normalno porazdelitev. Naj bodo meje pogreškov za srednjo vrednost simetrične in enake. Verjetnost, da bomo izmerili vrednost v mejah pogreškov oziroma večjo

vrednost za katero od dveh karakteristik ($\Delta p, \dot{V}$), je

$$P(|H| \geq H_h) \leq Q \text{ (podano število)} < 1 \quad (22)$$

Pozitivna meja pogreška za značilno vrednost R je

$$H_R^+ = \frac{1 + H_h}{(1 - H_h)^2} - 1 \quad (23)$$

Torej je

$$H_R^+ > H_h \quad (24)$$

kar pomeni, da se področje pogreškov širi. Hkrati je verjetnost, da bi prišlo do takega pogreška, (izrek neodvisnosti verjetnosti), enaka

$$P(H \geq H_R^+) \leq Q^2 < Q \quad (25)$$

Pri izoblikovanju postopka merjenja in opravljanju meritev je odločujoče vprašanje analize verjetnosti pojavljanja pogreškov pri znanih vrednostih odpornosti.

Osnova za izvajanje postopka merjenja in računanja je zveza

$$\left. \begin{aligned} P(H \geq H_R(R_i)) &\leq Q, \\ H_R(R_i) &\leq K_i, \end{aligned} \right\} \nabla R_i, \quad i = 1, 2, \dots, z \quad (26)$$

kjer sta K_i in Q podani števili.

Če zadostimo zgornjim pogojem, lahko predpisujemo območja za natančnost merilnih instrumentov. Če pa imamo podane merilne instrumente, z določenimi območji pogreškov, so lahko naš cilj edino najmanjši pogreški pri znanih vrednostih odpornosti.

Pomen označb v enačbah (22) do (26):

P	— verjetnost
H	— naključna spremenljivka, ki podaja vrednost merskega pogreška
H_h	— pogrešek merilnega instrumenta
Q	— podano število
H_R^+	— pozitivna meja pogreška značilne vrednosti R
$H_R(R_i)$	— pogrešek značilne vrednosti R_i
K_i	— podano število

LITERATURA

[1] Deszö, Gy. — Garbai, L.: Eljárás távfűtorendszerekben hálózatrészek ellenállástényezőjének meghatározására, (EGI-OTH 13864/78), Budapest, 1978.

[2] Deszö, Gy. — Garbai, L.: Távfűtőhálózatok ismeretlen ellenállástényezőinek identifikációja, (10. TÁVHO konferencia), Miskolc, 1982.

Naslovi avtorjev: dr. László Garbai, dipl. ing., svetnik ministrstva za gospodarstvo, energetski oddelek, Budimpešta
dr. György Deszö, dipl. ing., direktor državnega inštituta za energetiko, Budimpešta
mag. Jurij Kropce, dipl. ing., višji predavatelj, VTS — Kemijska tehnologija, Maribor