

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329906528>

Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2005 POVEĆANJE TAČNOSTI PRI PRORAČUNU GASNE DISTRIBUTIVNE MREŽE HARDI-KROS METODOM ACCURACY INCREASING OF GAS DISTRIBUTION NETWO....

Conference Paper · January 2005

CITATIONS

0

READS

9

2 authors, including:



Dejan Brkić

VŠB-Technical University of Ostrava

147 PUBLICATIONS 1,015 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



[JMSE] (SCIE Indexed, IF 1.732)—Invite to Publish in Special Issue "Safe, Secure and Sustainable Oil and Gas Drilling, Exploitation and Pipeline Transport Offshore" [View project](#)



Flow friction calculation - Colebrook equation [View project](#)



POVEĆANJE TAČNOSTI PRI PRORAČUNU GASNE DISTRIBUTIVNE MREŽE HARDI-KROS METODOM

ACCURACY INCREASING OF GAS DISTRIBUTION NETWORK CALCULATION AFTER HARDY-CROSS METHOD

Dejan Brkić, Nenad Đajić
 RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET, BEOGRAD, Đušina 7, E-mail: dejanrgf@tesla.rcub.bg.ac.yu

Rezime: Gasne distributivne mreže se danas uobičajeno projektuju tako da njene cevi grade više zatvorenih kontura. Ovakve mreže obezbeđuju sigurnije snabdevanje potrošača, ali se moraju proračunavati iterativnim postupkom (najčešće Hardy-Kros). Iterativni postupak se koristi jer postoje tri nepoznata parametra, a mogu se napisati dve jednačine. U radu se na realnom primeru mreže razmatraju dva parametra tačnosti koja služe za prekid iterativnog proračuna, i to: (kvadrat) algebarskog zbira padova pritiska po konturama i popravni protok po konturama. Takođe, daju se preporuke o vrednostima parametara tačnosti za uobičajene veličine mreža.

KLJUČNE REČI: GAS, MREŽA, PRITISAK, PROTOK, GREŠKA, HARDI-KROS

Abstract: Gas distribution networks are calculated today usually so that its pipes are formed several annular loops. These networks are ensured certainly providing of consumers, but they have to be calculated after iterative procedure (mostly Hardy-Cross). Iterative procedure is used because here are existed three unknown parameters, and only two equations can be written. In this paper are considered two parameters of calculation accuracy which utilize for iterative procedure interrupt on the realistic example of network: (square of) algebraic addition of pressure by the loops and repairing flow by the loops. Also, here was shown recommendation for values of accuracy parameters for usual networks size.

KEY WORD: GAS, NETWORK, PRESSURE, FLOW, INACCURATE, HARDY-CROSS

1. UVOD

Pri definisanju modela distributivne gasne mreže mora se voditi računa o tome da se zadovolje dva osnovna zahteva:

- da do svakog potrošača stigne zahtevana količina gasa
- da struktura prečnika cevovoda mreže bude što povoljnija, kako bi troškovi investicija bili što niži

Definisanje racionalnog gasovodnog sistema je još složeniji problem imajući u vidu da potrošnja prirodnog gasa zavisi od broja potrošača, njihove opremljenosti gasnim uređajima i instalacijama, namene korišćenja pojedinih uređaja, ekonomske moći, navike racionalnog korišćenja energije, već izgrađene energetske infrastrukture, kao i politike cena.

2. PRINCIPI PRORAČUNA GASNIH MREŽA HARDI-KROS METODOM

Gasne distributivne mreže uglavnom se projektuju tako da cevi od kojih se sastoje grade više zatvorenih kružnih

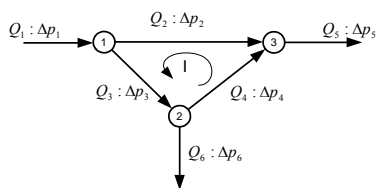
prstenova¹ kako bi kvarom na nekom delu mreže i zatvaranjem pojedine deonice što manji broj potrošača ostao bez gasa. Proračun protoka gasa i pad pritiska kroz pojedine cevi mreže vrši se iterativnim postupkom, i to najčešće Hardy-Kros (eng. Hardy-Cross) metodom. Iterativni postupak se prekida najčešće kada algebarski zbir kvadrata padova pritiska u svim konturama bude ispod neke unapred zadate tačnosti (drugi Kirhofov zakon). Mreže kojima se danas distribuira gas su obično srednjeg pritiska (preko 1bar) i u jednačini (najčešće Renoarova-j-na 1) za proračun ovih distributivnih mreža eksplicitno je izražena razlika kvadrata pritiska na izlazu i ulazu u cev.

$$p_1^2 - p_2^2 = 46742 \cdot \frac{\rho_r \cdot L \cdot Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad (1)$$

Ukoliko se koristi jednačina za gasne distributivne mreže niskog pritiska (kada se distribuira gas na niskom pritisku) ili se distribuira nestišljiv fluid uobičajeno se koristi jednačina u kojoj se eksplicitno daje razlika pritiska, te je i kriterijum za prekid iterativnog postupka unapred zadata vrednost ispod koje treba da padnu

¹ или контура – скуп цеви којима се из полазне може вратити у ту исту тачку (за прорачун уобичајено најкраћи пут)

algebarski zbrovi padova pritiska (a ne kvadrata) po svim konturama.



Slika 1: Segment prstenaste gasne mreže

Zadatak projektanta je da na osnovu prostornog rasporeda potrošača nacrti prostorni razmeštaj vodova mreže (trase distributivne mreže) sa određenim brojem zatvorenih prstenova. Cela mreža može da se napaja iz jedne ili više tačaka. Crtanje prostornog razmeštaja vodova na odgovarajućoj karti iz koga će se potrošači snabdevati gasom sledi nakon određivanja potreba za gasom pojedinih potrošača. U ovoj fazi se još uvek ne pretpostavljaju protoci po pojedinim granama, već se na trasi mreže čvorovima² pridružuju planirane potrošnje gasa duž zamišljenih trasa. Ove potrošnje se u daljem toku proračuna ne menjaju, a biraju se tako da zadovolje najveće moguće potrebe za gasom koje mogu da se jave. U daljem toku proračuna na osnovu potrošnje po čvorovima pretpostavlja se protok po deonicama tako da bude zadovoljen prvi Kirhofov zakon za svaki čvor. Na osnovu prvih pretpostavki protoka, se biraju unutrašnji prečnici. Na kraju se vrši provera dozvoljenih brzina strujanja gasa po deonicama i padovi pritiska, odnosno pritisci u čvorovima.

Proračun po Hardi-Kros metodi je aproksimativnog karaktera, ali veoma zadovoljavajuće tačnosti. Njime se uvode pojednostavljenja u proračunu utoliko što se izbegava rešavanje sistema jednačina višeg stepena koji bi se dobio ukoliko bi se za svaku granu (cev između dva čvora) uspostavila jednačina protoka. Zatim bi se za svaku petlju, odnosno prsten sastavio sistem tih jednačina, uz poštovanje graničnih ograničenja da su neke grane zajedničke za više prstenova. Primena ovakvih procedura bi znatno otežala proračun, a u nekim složenijim slučajevima ne bi moglo da se dođe do rešenja bez značajnih pojednostavljenja problema i uvođenja pretpostavki.

3. USLOVI PREKIDA ITERATIVNOG POSTUPKA

Za razliku od električnih mreža kod kojih je električni otpor konstanta tokom proračuna, otpor kretanju gasa je u slučaju distribucije gasa promenljiv u zavisnosti od promene vrednosti protoka i pritiska. Pad pritiska u gasnoj distributivnoj mreži odgovara električnom naponu u električnoj mreži, dok struja odgovara protoku gasa. U električnoj mreži algebarski zbir (računat u odnosu na smer struje) napona i elektromotornih sila po drugom Kirhofovom zakonu mora biti jednak nuli. Kod gasnih mreža ekvivalent naponu je razlika pritiska. Za električne mreže uz unapred poznat električni otpor, postoje dve nepoznate uz dve napisane jednačine (po

prvom i drugom Kirhofovom pravilu). Pri uravnoteženju gasne distributivne mreže uz isti broj jednačina postoji jedna nepoznata promenljiva više. U iterativnom postupku po Hardi-Krosu po određenim pravilima se dodaju popravke protoka (j-na 2) za svaku cev u pripadajućoj konturi [1].

$$\Delta = \frac{\sum R \cdot Q^n}{2 \cdot \sum R \cdot Q^{n-1}} \quad (2)$$

Za cevi zajedničke za dve konture dodaju se dve popravke po posebnom pravilima Hardi-Kros metoda uz obaveznu proveru zadovoljavanja uslova za sve čvorove po prvom Kirhofovom zakonu (računajući i potrošnju po čvorovima kao i ulaz gasa u mrežu).

Sprovedenjem ovog postupka algebarski zbrovi (kvadrata) padova pritiska po konturama konvergiraju nuli. Takođe ka nuli konvergiraju i popravni protoci po konturama. Ova konvergencija za oba kriterijuma nije uniformna, odnosno na dijagramu na kome su na apscisi prikazane iteracije, a na ordinati proračunati zbrovi (kvadrata) padova pritiska po konturama (ili vrednosti popravnog protoka) dobila bi se karakteristična testerasta kriva (slika 3 i 4) čija linija trenda teži da preseče apscisu (ali to nikad ne čini čak ni teoretski).

Svaka gasna distributivna mreža se proračunava za maksimalne uslove potrošnje po čvorovima, tako da rezultati odgovaraju tim uslovima koji se skoro nikad u stvarnosti ne ostvaruju. Oni su sa aspekta opterećenja mreže najnepovoljniji koji smeju da se jave tokom eksploatacije mreže.

Uobičajeno se smatra da je mreža uravnotežena kada suma kvadrata padova pritiska padne ispod 1bar² (odnosno 1bar) po svim konturama. Ovaj kriterijum zadovoljava proračun za većinu mreža u praksi imajući u vidu ograničenja iz prethodnog pasusa i činjenicu da izbor nešto većih prečnika cevi danas ne povećava znatno investiciju (jer su cevi od polietilena jeftinije).

Međutim, primenjujući samo ovaj kriterijum, a ne i da popravni protoci padnu ispod određene vrednosti mogu nastati smanjenje tačnosti. Ove greške se mogu vrlo lako otkloniti povećanjem broja iteracija (20 do 30 dodatnih), što za proračun upotrebom računara ne predstavlja problem. Komercijalnim programima koji su u upotrebi je predviđen samo uslov da suma kvadrata padova pritiska padne ispod 1bar² (odnosno 1bar). Međutim za preciznije proračune može se uvesti i dodatni uslov da se proračun prekine tek u onoj iteraciji kada i popravi protok u svakoj konturi padne ispod 1,5m³/h.

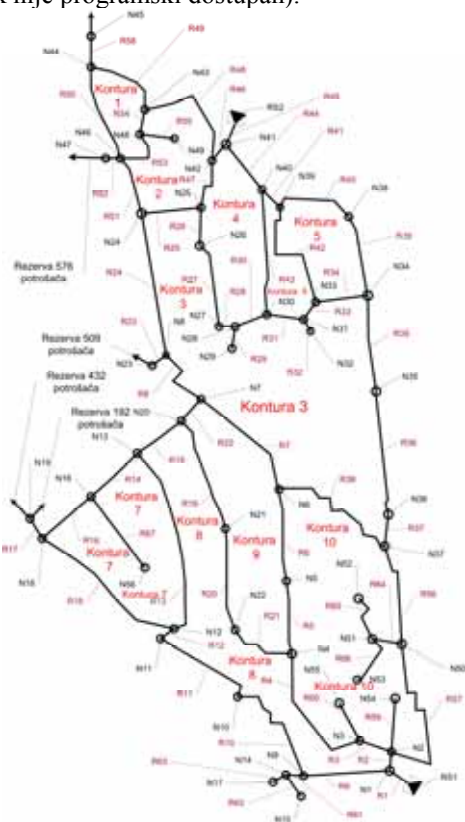
4. PRIMER PRORAČUNA GASNE MREŽE

Na sledećem primeru razmatrana je gasovodna mreža tipična za snabdevanje jednog prosečnog naselja (slika. 2.). Mreža se napaja preko dve merno-regulacione stanice (na jugu MRS 1 i na severu MRS 2), ima 10 prstenova, 56 čvorova i 67 cevi. Projektovana je za snabdevanje 4751 potrošača, uz predviđenu rezervu za još 1803 potrošača

² Место где се спајају две или више цеви, врши мерење, напaja мрежа или придружује потрошња дуж цеви

[2]. Kao što je već naglašeno gradska gasna distributivna mreža je izvedena tako da se sastoji od više prstenova, odnosno u ovom konkretnom slučaju ovih prstenova ima 10. Pojedini od ovih prstenova u okviru sebe imaju slepe grane koje u kasnijim nadogradnjama mreže mogu da se produže i formiraju nove prstene. U slučaju zatvaranja pojedine cevi izvršila bi se preraspodela protoka i pritiska u celoj distributivnoj mreži. Nezavisne grane unutar prstenova su R29, R32, R55, R59, R60, R64, R65, R66 i R67. Spoljne grane izvan prstenova, od kojih su neki predviđeni za dalje nastavljjanje mreže su R17, R23, R52, R58, R 61, R62 i R63 [2].

Pri proračunu komercijalnim programom iterativni postupak je prekinut u onoj iteraciji kada je algebarski zbir kvadrata padova pritiska pao ispod 1bar (0,92bar). U konkretnom slučaju poslednja kontura u kojoj je zadovoljen ovaj uslov je kontura 2 (slika 2 i 3). U istoj iteraciji u konturi 8 po ovom kriterijumu pad pritiska je iznosio 0,7bar, dok je po ostalim konturama bio već znatno niži. Redni broj poslednje iteracije u kojoj je komercijalni program prekinuo proračun nije poznat (ovaj podatak nije programski dostupan).

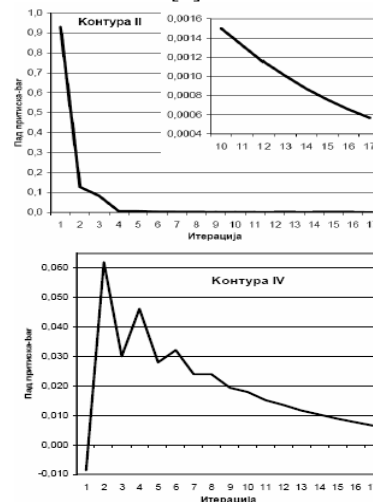


Slika 2: Tipična gasna distributivna mreža

Ova kalkulacija daje rezultate sa dovoljnom tačnošću za izgradnju mreže, imajući u vidu da svaka promena prečnika, dužina grana ili prekid uzrokuju preraspodelu protoka i pritiska u celoj mreži. Prekinuvši proračun bez provere veličine popravnog protoka po konturama, smanjuje tačnost. Naime u konturi 2 koja je tek zadovoljila traženi kriterijum pritiska, popravni protok je još uvek veliki, i to $94,22\text{m}^3/\text{h}$, dok je u konturi 8 popravni protok $14,62\text{m}^3/\text{h}$. Za ostale konture popravni protoci su ispod $1,5\text{m}^3/\text{h}$. Ovi rezultati pokazuju dobru korelaciju sa kriterijumom pada pritiska, ali imaju veću osetljivost. Krajnji rezultati ovog proračuna su korišćeni

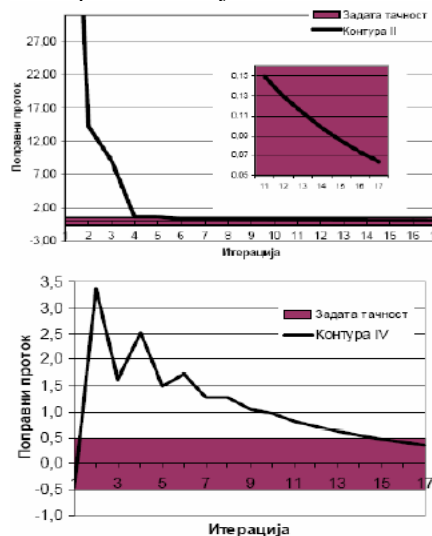
kao ulaz u autorov program napisan u Microsoft Excelu, koji takođe služi za proračun prstenastih mreža po Hardy-Kros metodi. Tačnost koja se dostiže ovim proračunom je da za svaku granu u mreži popravni protok mora biti ispod $1,5\text{m}^3/\text{h}$. Da bi se postigla tražena tačnost bilo je potrebno uraditi još 17 iteracija [2].

Pošto je u pojedinim cevima protok proračunat komercijalnim programom manji nego nego popravni protok ($94,22\text{m}^3/\text{h}$) pre dodatnih iteracija relativna greška u procenjenom protoku je relativno velika (primer: cev 50- $3,4\text{m}^3/\text{h}$; cev 36- $73,7\text{m}^3/\text{h}$; cev 28 - $85,6\text{m}^3/\text{h}$; cev 13 - $41,8\text{m}^3/\text{h}$; cev 16 - $35,3\text{m}^3/\text{h}$; cev 19 - $49,5\text{m}^3/\text{h}$). Ovo je značajno jer se promene u protoku u bilo kojoj konturi odražavaju na celu mrežu [2].



Slika 3: Padovi pritiska za dve konture date mreže

Bez dodatnih 17 iteracija proračun nije završen ni u smislu određivanja konačnih smerova protoka (u cevi 50 vrednost protoka je pre dodatnih iteracija iznosio $3,4\text{m}^3/\text{h}$, dok posle iznosi $28,79\text{m}^3/\text{h}$, ali u suprotnom smeru). Ova promena smera se događa u trećoj dodatnoj iteraciji. Treba imati u vidu da po konturama pojedini parametri tačnosti u pojedinim iteracijama zadovoljavaju tačnost, dok u narednoj ne (Slika 4; dole-iteracija 1 zadovoljava, 2-14 ne zadovoljava, >14 zadovoljava). Proračun treba prekinuti u onoj iteraciji u kojoj tačnost zadovoljava u svakoj konturi po oba kriterijuma.



Slika 4: Promene vrednosti popravnih protoka (u m^3/h) za dve konture date mreže

Dijagrami padova pritisaka i promene vrednosti popravnih protoka su vrlo slični za sve konture (slika 3 i slika 4), samo je merodavno pitanje tražene tačnosti.

Posle dodatnih 17 iteracija vrednosti protoka su se značajno promenile u pojedinim cevima u odnosu na završne rezultate dobijene komercijalnim programom (u cevi R16-78,3%, u R50-947,0%* (* trocifren broj), u R13-34,4% dok je u svim ostalim cevima promena manja od 30% ili mnogo manje). Cev R50, R16 i R13 su najmanjeg prečnika ($\phi 32,6$) u celoj strukturi prečnika zastupljenih u mreži. Može se zaključiti da što su apsolutne vrednosti protoka kroz pojedine cevi veće odnosno što je veći prečnik cevi, to su manje relativne greške u proračunu po Hardi-Kros metodi. Na kraju proračuna pad pritiska u konturi 2 bio je samo 56,7Pa, dok je u 4 zabeležen najveći algebarski zbir pada pritiska od samo 658,4Pa.

Konačna provera tačnosti proračuna se može obaviti samo merenjima na terenu pri projektnom opterećenju mreže.

5. OZNAKE I JEDINICE

p-pritisak [bar]	L-dužina cevi [km]
ρ_r -relativna gustina gasa [-]	Q-protok gasa [m^3/h]
D-prečnik cevi [mm]	
Δ -popravni protok gasa [m^3/h]	
n-eksponent protoka Q iz osnovne j-ne (u j-ni 1; n=1,82)	

6. ZAKLJUČAK

Pri proračunu gasnih distributivnih mreža sa prstenovima po metodi Hardi-Kros potrebno je proračun prekinuti u onoj iteraciji u kojoj po svakoj konturi:

1. Algebarske sume (kvadrata) padova pritisaka padnu ispod 1bar-a
2. Popravni protoci padnu ispod $1,5m^3/h$

Ukoliko se traži znatno veća tačnost posle zadovoljenja ovih uslova, a proračunat protok u bilo kojoj cevi bude manji od $1,5m^3/h$, iterativni proračun treba nastaviti dok ne bude bio zadovoljen uslov 2. samo sad sa vrednosti protoka u cevi sa najmanjim protokom (po vrednosti iz poslednje iteracije po kriterijumu 2 za vrednost $1,5m^3/h$).

Inače za klasične proračune dovoljno je da bude zadovoljen kriterijum 1. Ukoliko je potrebna veća tačnost, a programski nije moguće u komercijalnom programu zadati tačnost po kriterijumu 2, dovoljno je zadovoljiti zahtev po kriterijumu 1 po povećanoj tačnosti (manjoj vrednosti pritiska).

LITERATURA

- [1]. ***, *Gas Engineers Handbook*: Industrial press inc. (chapter 9), New York, 1974.
- [2]. Dejan Brkić, *Određivanje graničnih parametara upotrebe prirodnog gasa u Beogradu*-magistarski rad: Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005.