

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329894097>

# DIAGNOSTIC OF PROBLEMS ISSUED AT CALCULATION OF LOW PRESSURE GAS DISTRIBUTION NETWORK WITH LOOPS

Article · December 2018

CITATIONS

0

READS

16

1 author:



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](#)



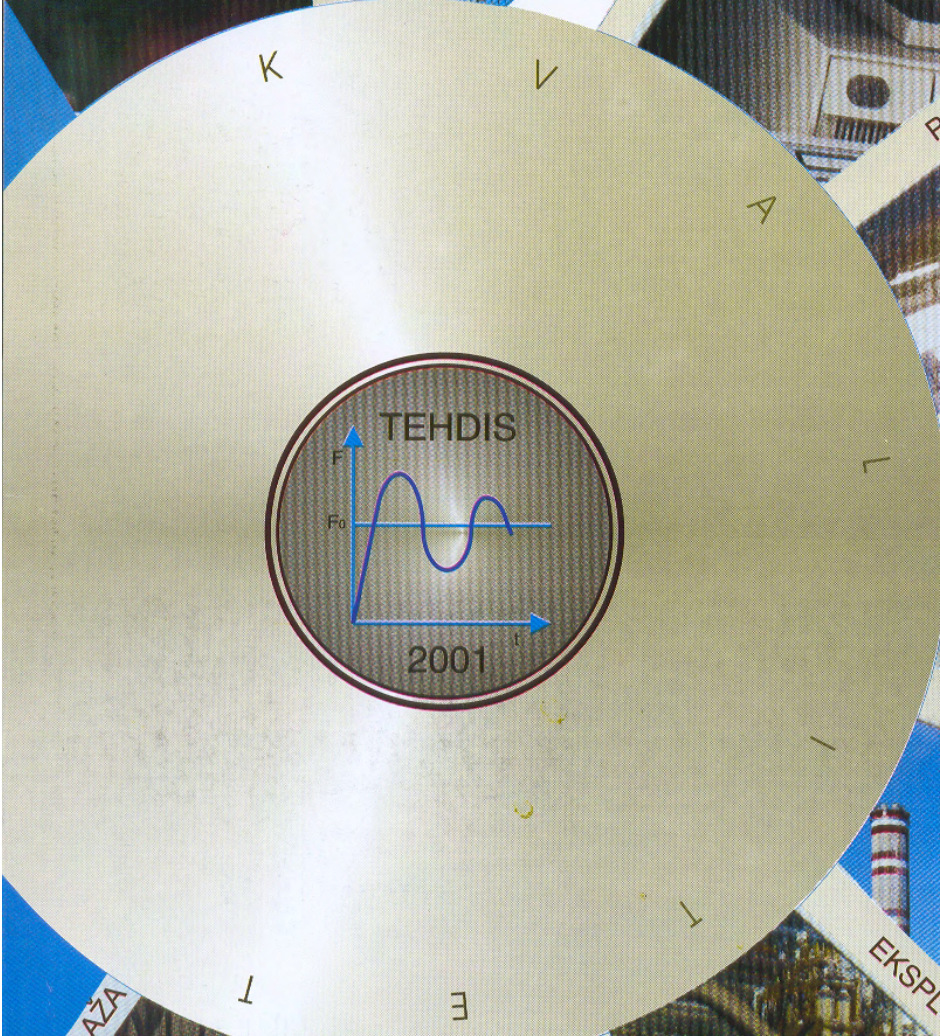
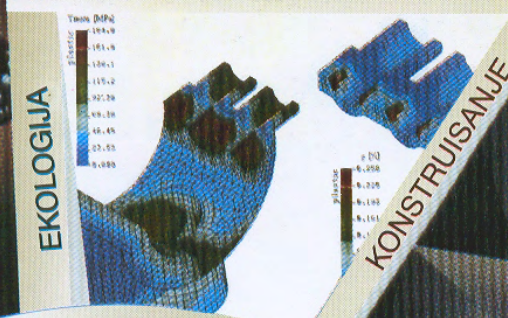
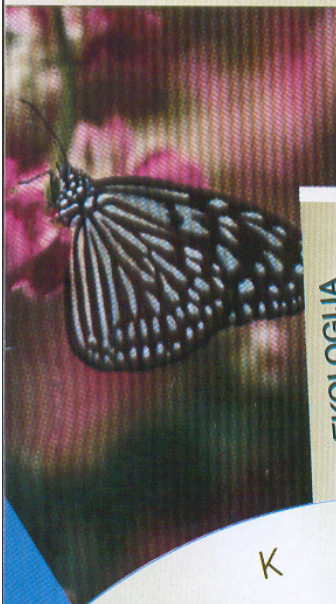
# TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA

ISSN 1451-1975



Naučno - stručni časopis, 11060 Beograd, Uralska 9, PF 8

Godina IV,  
**broj 2**  
2005 god.





# TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA

**Naučnostručni i informativni časopis za oblast tehničke dijagnostike u  
tehničkim i srodnim disciplinama**

**GODINA III  
Br. 2, 2005 god**

## IZDAVAČKI SAVET

- **Prof. dr Dragoljub Vujić - predsednik**
- Prof. dr Novica Grujić - zam. pred.
- Akademik Miomir Vukobratović
- Akademik Vladimir Vasiljević Kulba
- Akademik Miodrag Mesarović
- Akademik Ratko Šelmić
- Prof. dr Vera Šijački - Žeravčić
- Prof. dr Miodrag Bulatović
- Prof. dr Dušan Teodorović
- Prof. dr Miodrag Stojiljković
- Prof. dr Milivoj Klarin
- Prof. dr Hotimir Ličen
- Prof. dr Branko Vasić
- Prof. dr Dragan Vasiljević
- Prof. dr Slobodan Ivković
- Mr Spasoje Šćepanović
- Mr Milorad Rančić
- Mr Slobodan Stefanović

**GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK**  
*Mr Spasoje Šćepanović*

## UREĐIVAČKI ODBOR

- **Prof. dr Živoslav Adamović - predsed.**
- Akademik Miroslav Demić - zam. pre.
- Akademik Radomir Simić
- Akademik Kazimir Kurij
- Prof. dr Miroslav Lambić
- Prof. dr Milan Bukumirović
- Prof. dr Živko Mitrović
- Prof. dr Mirko Vujošević
- Prof. dr Stevan Maksimović
- Prof. dr Aleksandar Rac
- Prof. dr Slavko Božilović
- Prof. dr Dušan Regodić
- Prof. dr Milomir Gašić
- Dr Zlatomir Živanović
- Dr Predrag Uskoković
- Mr Ljubinka Radosavljević
- Mr Slavko Cvetković

- Registracioni broj: 651-01-353/2001-11 u Ministarstvu pravde Republike Srbije
- Međunarodni broj ISSN 1451 - 1975
- Mišljenjem Ministarstva za NTR Srbije br. 413-00-400/2002-01 časopis je publikacija od posebnog interesa za nauku (oslobađa se poreza na promet)
- Časopis izlazi četiri puta godišnje
- Tiraž: 250 primeraka
- **Devizni račun: 540100-17344331 Atlas banka, Bgd.**
- **Broj tekućeg računa: 125-1011-73**

## CENOVNIK

### 1. ČASOPIS

- Godišnja predplata na časopis Tehnička Dijagnostika (četiri broja) za područje Srbije iznosi 2000.00 dinara
- Predplata na časopis za područja van Srbije iznosi 50E

### 2. REKLAME

- Kolor strana A4 = 6000.00 din.
- Kolor strana A5 = 4000.00 din.
- Kolor strana A6 = 2000.00 din.
- Korice - kolor A4 = 9000.00 din.
  
- Crno - bela strana A4 = 3000.00 din.
- Crno - bela strana A5 = 2000.00 din.
- Crno - bela strana A6 = 1000.00 din.

### 3. OGLASI - PREZENTACIJE

- Crnobelo A4 = 2000.00 din.
- Crnobelo A5 = 1000.00 din.
- Crnobelo A6 = 500.00 din.

Predplatnici imaju jedno besplatno oglašavanje A6

Izvršite blagovremenu porudžbinu

Hvala na saradnji

## IZDAVAČ I ADRESA ČASOPISA TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA

11060 Beograd, Uralska 9 pošt. fah 8

Tel.: 011 / 2777501, 160006,

fax: 011 / 2772-099

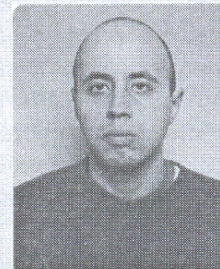
E - mail: [vujic@Eunet.yu](mailto:vujic@Eunet.yu)



## DIJAGNOSTIKOVANJE PROBLEMA NASTALIH PRI PRORAČUNU PRSTENASTE GASNE DISTRIBUTIVNE MREŽE NISKOG PRITISKA

### DIAGNOSTIC OF PROBLEMS ISSUED AT CALCULATION OF LOW PRESSURE GAS DISTRIBUTION NETWORK WITH LOOPS

Dejan Brkić, dipl. inž. Rudarstva  
Istraživač-stipendista Ministarstva  
Nauke i zaštite životne sredine  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd  
dejanrgf@tesla.rcub.bg.ac.yu



#### REZIME

Za uravnoteženje gasnih distributivnih mreža niskog pritiska po metodi Hardy-Cross, u praksi je vrlo često korišćena Darcy-Weisbach formula koja se koristi za protok nestišljivog fluida (uobičajena za kalkulacije protoka nafte). Ona je zadovoljavala, pošto su padovi pritiska u ovim mrežama mali. Pazljičite jednačine za protok gasa niskog pritiska (Renouard, Biel-Lummert, Pole, Spitzglass) su zastupljene u literaturi. Te jednačine su u radu testirane na primeru mreže.

**Ključne reči:** Gasna mreža, Pad pritiska, Protok, Jednačina, Hardy-Cross metod

#### 1. UVOD

Postavljanje gasne distributivne mreže u jednom gradu je veliki komunalni zahvat koji zahteva velike investicije i koji mora biti dugoročno planiran i realno postavljen u vremenu i prostoru. 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

Najveća greška pri projektovanju mreže je njeno poddimenzionisanje, što bi u kasnijem periodu eksploatacije gasovoda vodilo ponovnom ras-kopavanju i dogradnji sistema. Znači, potrebno je uraditi vrlo ozbiljnu tehno - ekonomsku analizu u koju mora biti ugrađena i procena brzine rasta

#### ABSTRACT

For equilibration of gas distribution networks of low pressure after Hardy-Cross method, in practice was utilized Darcy-Weisbach equation for flow of incompressible fluid (conventional for oil flow calculation). It was adequate, since the pressures droops are minor in these networks. Several equations for flow of low pressure fluids (Renouard, Biel-Lummert, Pole, Spitzglass) are shown in literature. Those equations are verified on the networks example.

**Key Words:** Gas Network, Pressure drop, Flow, Equation, Hardy-Cross method

gradova priključenih na mrežu, što direktno uslovljava veličinu buduće potrošnje. 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. RAZMATRANJE RADNOG PRITISKA U GASNOJ DISTRIBUTIVNOJ mreži

Starije mreže su projektovane za radni pritisak od najviše 1 bar, a često i manje. Ove mreže samim tim imaju veće prečnike u svojoj strukturi, tako da se priključenja novih potrošača mogu realizovati na račun povećanja radnog pritiska.

Mreže koje su nekada služile za distribuciju veštački dobijenih gasova (gradski gas dobijen gasifikacijom uglja) su radile pod vrlo malim pritisima. Ovi gasovi su danas daleko manje u



upotrebi. Ovi gasovi su se sastoje uglavnom od nepotpunih produkata sagorevanja uglja (većinom ugljenmonoksid-SO), dok se prirodni gas sastoji pretežno od metana (SN<sub>4</sub>) uz prisustvo ostalih alkanskih komponenti manje molekulske mase. Promenom vrste distribuiranog gasa dolazi do promene Vobeovog broja (Wo), što zahteva i dodatne intervencije na trošilima. Pored toga nepotpuni produkti sagorevanja uglja stvaraju zaštitnu masnu (čadavu) prevlaku sa unutrašnje strane cevi. Promenom vrste gasa i podizanjem pritiska, a imajući u vidu starost ovih cevi dolazi do propuštanja ovih cevi, posebno na spojevima.

U Beogradu nikada nije bio korišćen veštački dobijen gas. U XIX veku u Srbiji su ulice u gradovima počele da se osvetljavaju električnom energijom. Veštački dobijeni gas koristio se u nekim gradovima Srbije severno od Save i Dunava (Pančevo, Subotica...), koji tada nisu bili u sastavu naše države.

Otkrivanjem gasnih i naftno-gasnih polja u severnom delu Srbije prirodni gas je ušao u upotrebu u širokoj potrošnji, ali samo lokalno. Priključenjem na gasovodni sistem Evrope (1979. godine) i izgranjom gasovoda od Mađarske granice do Batajnice gas je prvi put stigao do Beograda. Ovime je počeo uvoz prirodnog gasa iz bivšeg SSSR-a, a danas Rusije, odakle se dobijaju najveće količine gasa koji se troši u našoj zemlji. U početku se vrlo mali broj potrošača priključivao na gasne distributivne mreže širom Srbije pa su one projektovane za rad na manjim pritiscima, tako da se priključenjem novih potrošača povećavao i pritisak. Mreže se sada projektuju za pritiske 3-4 bar-a.

### 3. PRINCIPI PROJEKTOVANJA MREŽE NISKOG PRITISKA I ODABIR JEDNAČINA

Mreže su većinom projektovane tako da imaju više kružnih prstenova kako bi kvarom na nekom delu mreže i zatvaranjem pojedine deonice što manji broj potrošača ostao bez gasa. Uravnoteženje protoka u mreži se vrši **Hardy-Cross** metodom [1], koja je i danas u primeni za mreže sa većim radnim pritiscima. Mreže do 1 bar-a su za proračune po Hardy-Cross uglavnom primenjivali **Darsy-Weisbach** (1) jednačinu, koja pretežno služi za proračune protoka nestišljivog fluida i koristi se široko u proračunu transporta nafte. Zbog malih padova pritiska u okviru gasne distributivne mreže niskog pritiska (do 1 bar-a) su imale male padove pritiska

tako da je ova jednačina zadovoljavala grube proračune.

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D_u} \rho \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

Proračun mreže sa većim radnim pritiskom se uobičajeno vrši jednačinom Renouard-a (za više pritiske).

Hardy-Cross metodom proračuna se unapred odabira maksimalna potrošnja po čvorovima, i jedno ili više mesta za napajanje distributivne mreže. Ovi parametri su konstante u proračunu. Proračun mreže se dalje vrši tako da se kao rezultat proračunaju protoci kroz deonice u zavisnosti od izabranog prečnika cevi. Na kraju se vrši provera dozvoljenih brzina strujanja gasa po deonicama i padovi pritiska, odnosno pritisci u čvorovima.

Zadatak projektanta je da na osnovu prostornog rasporeda potrošača nacrti prostorni razmeštaj vodova mreže (trazu 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. Poželjno je prostorni razmeštaj mreže odrediti uz pomoć GIS-a (geografskog informacionog sistema), kojim se određuje optimalna trasa na osnovu unapred zadatih parametara (konfiguracije terena, rasporeda ostale komunalne infrastrukture itd.).

U ovoj fazi se još uvek ne pretpostavljaju protoci po pojedinim granama, već se na trasi mreže čvorovima pridružuju planirane potrošnje gasa duž zamišljenih trasa. Ove potrošnje se u daljem toku proračuna ne menjaju, a biraju se tako 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 prečnici unutrašnji po sledećoj formuli:

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} \quad (2)$$

Za ovako dobije vrednosti unutrašnjih prečnika biraju se najbliže standardne cevi ( $d_u \sim D_u$ ).



Prečnici izabrani na ovaj način ostaju dalje tokom proračuna nepromenljivi. Za gasovodne mreže pritiska od 1 bar-a, ne vrši se korekcija protoka u prethodnoj jednačini, dok za druge pritiske mora da se svede protok na radni pritisak i tek na osnovu toga proračuna prečnik. U ostale jednačine se unosi protok na normalnim (ili standardnim) uslovima.

Rešenje zavisi od potrošnje (i ulaznih) količina gasa po čvorovima, prečnika i dužina cevi i za takav sistem je jedinstveno. Ukoliko za potpuno iste navedene podatke odaberemo različite početne inicijalne protoke rezultat će konvergirati jedinstvenom rešenju posle manje ili više iteracija.

Zamenom izraza za brzinu u Darsy-Weisbach-ovu jednačinu (1),

$$v = \frac{4 \cdot Q}{D_u^2 \cdot \pi} \Rightarrow v^2 = \frac{16 \cdot Q^2}{D_u^4 \cdot \pi^2} \quad (3)$$

dobija se:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot Q^2 \cdot L}{D_u^5 \cdot \pi^2} \quad (4)$$

gde prethodni izraz može da se zapiše kao:

$$\Delta p = R \cdot Q^2 \quad (5)$$

gde je

$$R = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot L}{D_u^2 \cdot \pi^2} \quad (6)$$

U analogiji sa električnom mrežom R predstavlja otpornost, koja je u slučaju gasne mreže promenljiva veličina i menja se sa protokom i promenom pritiska. Pritisak r je analogan električnom naponu, a protok Q je analogan jačini električne struje.

U radu je vršen odabir najpogodnije jednačine koja se koristi u praksi za protok gasa na uslovima pritiska do 1bar. Na modelu mreže je vršena provera pomenutom jednačinom Darsy-Weisbach-a (1), i zatim:

1. **Renuard**-ovom (7) jednačinom za niske pritiske [2]:

$$\Delta p = 2275,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_r \cdot L \cdot Q^{1,82}}{D_u^{4,86}} \quad (7)$$

2. **Biel-Lummert**-ovom (8) jednačinom za niske pritiske [2]:

$$\Delta p = 38,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{K \cdot L \cdot Q^{1,875}}{D_u^5} \quad (8)$$

3. **Pole**-ovom (9) jednačinom za niske pritiske [2]:

$$\Delta p = 1970 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_r \cdot L \cdot Q^2}{D_u^5} \quad (9)$$

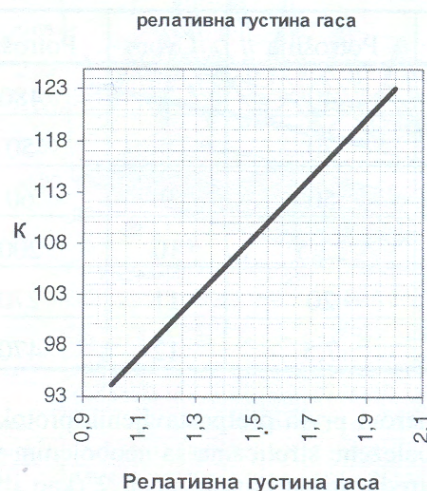
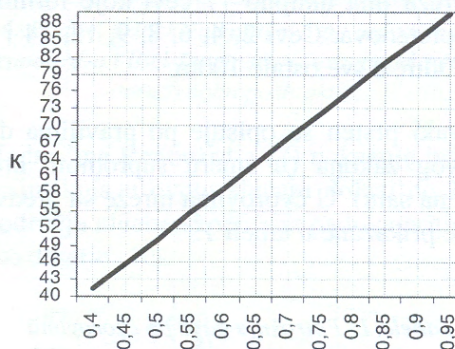
4. **Spitzglass**-ovom (10) jednačinom za niske pritiske [2]:

$$\Delta p = \left( 855 + \frac{782000}{D_u} + D_u \right) \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_r \cdot L \cdot Q^2}{D_u^5} \quad (10)$$

Analogno jednačini Darsy-Weisbach izrazi za otpor R se dobijaju odbacivanjem člana  $Q^n$  iz prethodnih jednačina. Samo u jednačini Darsy-Weisbach eksplicitno figuriše koeficijent trenja  $\lambda$ , što otežava proračun.

U jednačinama za protok gasa na nižim priscima obično se eksplicitno daje  $\Delta r$  (a za srednje i više pritiske  $\Delta r^2$ ).

Koeficijent K se u jednačini Biel-Lummert-a (8) iz dijagrama na slici 1.

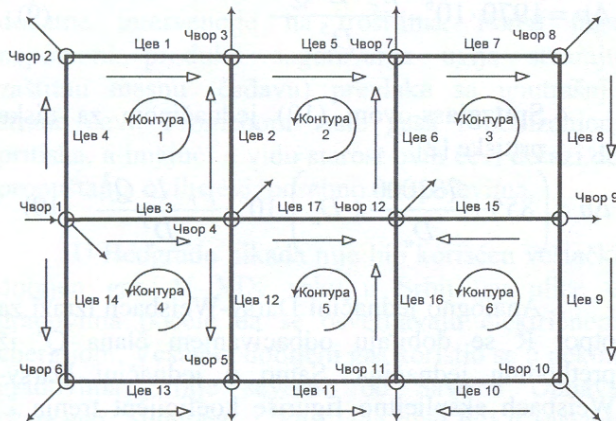


Slika 1. Koeficijent K u jednačini Biel-Lummert-a



#### 4. RAZMATRANJE JEDNAČINA NA PRAKTIČNOM MODELU

Na slici 2. prikazana je šema jedne prostije distributivne gasne mreže sa 12 čvorova kojima se fiktivno pridružuje potrošnja duž deonica.



Slika 2. Gasna distributivna mreža niskog pritiska

Čvor 1 je mesto u kome se mreža napaja, ali se i njemu pridružuje izvesna potrošnja gasa. U napojni čor 1 se dovodi  $1740\text{m}^3/\text{h}$ .

Mreža ima ukupno 17 cevi koje formiraju 6 kružnih prstenova. Cevi 2, 4, 6, 8, 9, 12, 14 i 16 su dužine 200m, a sve ostale 100m.

Svaki prsten se opisuje po pravilima drugog Kirhofovog zakona (u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu). U čvorovima mreže su predviđene potrošnje prikazane u tabeli 1:

Tabela 1: Potrošnja gasa po čvorovima

| Čvor | Potrošnja | Čvor | Potrošnja |
|------|-----------|------|-----------|
| 1    | 40        | 7    | 480       |
| 2    | 70        | 8    | 50        |
| 3    | 50        | 9    | 60        |
| 4    | 22,5      | 10   | 200       |
| 5    | 20        | 11   | 270       |
| 6    | 7,5       | 12   | 470       |

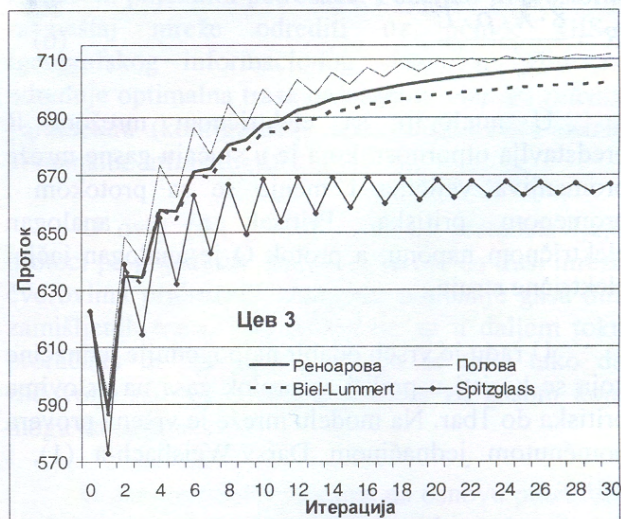
Smerovi prvih pretpostavljenih protoka su na slici 2 obeležene strelicama sa neobojenim vrhom i njihove vrednosti su date u tabeli 2 (kao i veličine prečnika cevi):

Tabela 2: Polazne pretpostavke protoka i unutrašnji prečnici  $D_u$

| Cev | Polazna pretpostavka protoka | $D_u$ |
|-----|------------------------------|-------|
| 1   | 800                          | 187,3 |
| 2   | 100                          | 64,2  |
| 3   | 622,5                        | 187,3 |
| 4   | 870                          | 187,3 |
| 5   | 850                          | 187,3 |
| 6   | 533                          | 155,5 |
| 7   | 900                          | 187,3 |
| 8   | 850                          | 187,3 |
| 9   | 300                          | 155,5 |
| 10  | 100                          | 64,2  |
| 11  | 280                          | 130,1 |
| 12  | 100                          | 64,2  |
| 13  | 200                          | 90,2  |
| 14  | 207,5                        | 90,2  |
| 15  | 490                          | 155,5 |
| 16  | 110                          | 64,2  |
| 17  | 400                          | 130,1 |

Za svih pet jednačina (1), (7), (8), (9), (10) rađen je proračun mreže po Hardy-Cross metodi. U svih pet slučajeva proračun se vršio do tridesete iteracije.

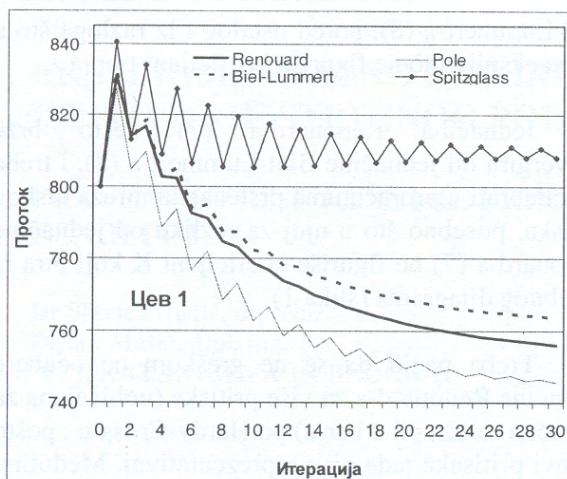
Na slikama 3 i 4 dat je prikaz promena protoka tokom iteracija u cevima 3 i 1.



Slika 3. Protok u cevi 3 (uravnoteženje u iterativnom postupku)

Konstatovano je veliko odstupanje vrednosti za protoke po svim granama mreže po jednačini Spitzglass-a (10), što je najuočljivije na granama sa većim protocima, gde su i razlike u apsolutnom iznosu i najveće.

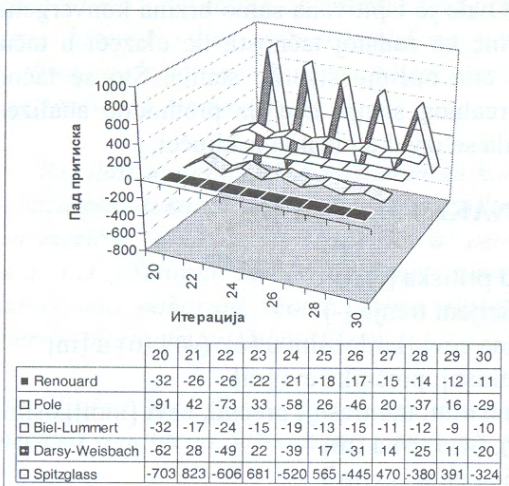




Slika 4. Protok u cevi 1 (uravnoteženje u iterativnom postupku)

U cevi 3 pritisak je nakon uravnoteženja mreže veći od pretpostavljenog u prvoj iteraciji, dok je u slučaju cevi 1, pritisak nakon uravnoteženja manji.

Algebarski zbir padova pritiska po konturama nakon uravnoteženja mreže treba da konvergira nuli.

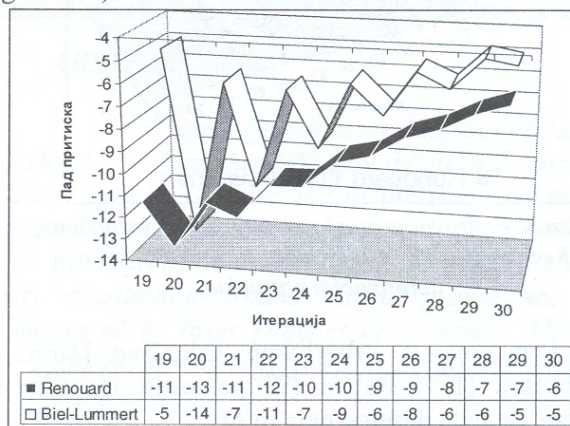


Slika 5. Padovi pritiska u konturi 1 (uravnoteženje u iterativnom postupku)

Na prethodnom grafiku dat je prikaz padova pritiska za konturu jedan od 20 do 30 iteracije (slika 5). Jednačina Spitzglass-a (10) po ovom kriterijumu daje rezultate sa najvećim odstupanjem, odnosno vrednosti protoka najsporije konvergiraju ka ravnotežnom stanju. Vrednosti padova pritiska po jednačinama Renouard-a (7) i Biel-Lummert-a (8) skoro da konvergiraju bez oscilacija, dok po jednačinama Darsy-Weisbach-a (1) i Pole-a (9) pokazuju blaže oscilacije tokom konvergencije, i daju identične rezultate u tokom iteracija veličine desetog dela Ra.

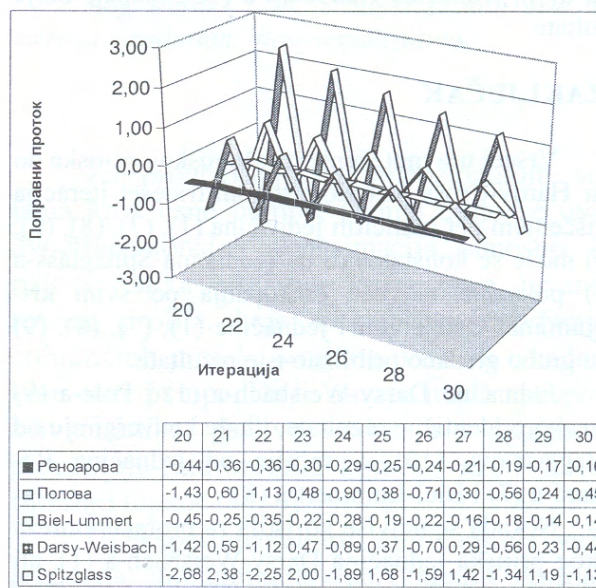
U tabeli koja je data uz sliku 5 date su vrednosti padova pritiska u Ra u konturi jedan na osnovu pet razmatranih jednačina (1), (7), (8), (9), (10) (na osnovu ovih podataka je konstruisan grafikon). Napominje se da su odstupanja veoma mala, reda desetina Ra, osim za jednačinu Spitzglass-a (10) gde je odstupanje reda stotina Ra.

Za konturu pet dato je detaljnije poređenje u padovima pritiska između jednačina Renouard-a (7) i Biel-Lummert-a (8) (Slika 6). U tabeli u ispod slike 6 dati su padovi pritiska u Ra u konturi pet na osnovu jednačina Renouard-a (7) i Biel-Lummert-a (8) (na osnovu ovih podataka je konstruisan grafikon).



Slika 6. Padovi pritiska u konturi 5 po jednačinama Renouard-a i Biel-Lummert-a (uravnoteženje u iterativnom postupku)

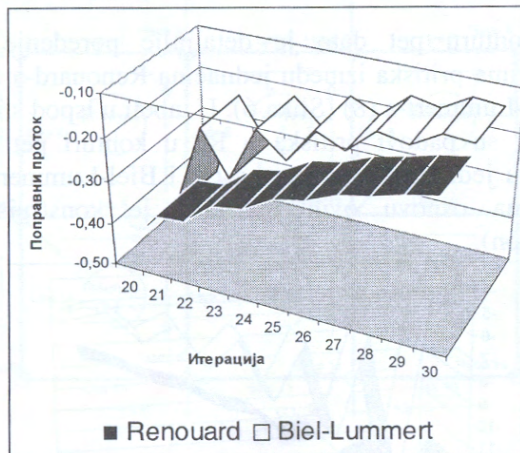
Jednačina Renouard-a (7) pokazuje bržu konvergenciju, koja u ovom slučaju dolazi do izražaja tek u području algebarskog zbira padova pritiska od nekoliko desetina Ra.



Slika 7. Popravni protoci za konturu 3 (uravnoteženje u iterativnom postupku)



Popravni protoci po granama su vrlo bitan pokazatelj uravnoteženosti mreže. Isto kao i padovi pritiska po konturama i oni moraju da konvergiraju ka nuli. Popravni protoci za konturu 3 dati su na slici 7, a detaljnije za jednačine Renouard-a (7) i Biel-Lummerta (8) na slici 8.



Slika 8. Popravni protoci za konturu 3 za jednačine Renouard-a i Biel-Lummerta (uravnoteženje u iterativnom postupku)

I po ovome kriterijumu jednačine Darsy-Weisbach-a (1) i Pole-a (9) pokazuju identične rezultate do reda desetog dela  $m^3/h$ .

Vrednosti dobijene po jednačina Spitzglass-a (10) najviše osciluje i u ovom slučaju, dok su na ovoj skali jednačine Renouard-a (7) i Biel-Lummert-a (8) skoro uravnotežene.

Posmatrajući na skali reda veličine desetog dela  $m^3/h$ , jednačina Renouard-a (7) pokazuje bolje rezultate.

## 5. ZAKLJUČAK

Vršeći uravnoteženje mreže niskog pritiska do 1bar Hardy-Cross metodom tokom trideset iteracija korišćenjem pet različitih jednačina (1), (7), (8), (9), (10) može se konstatovati da jednačina Spitzglass-a (10) pokazuje najveća odstupanja po svim kriterijumima. Ostale četiri jednačine (1), (7), (8), (9) daju grubo gledano približno iste rezultate.

Jednačine Darsy-Weisbach-a (1) i Pole-a (9) daju skoro identične rezultate, i brže konvergiraju od Spitzglass-ove (10), a sporije od jednačina Renouard-a (7) i Biel-Lummert-a (8).

Nekada se najviše koristila za proračun mreža niskog pritiska jednačina Darsy-Weisbach-a (1), ali prednost treba dati jednačinama Renouard-a (7) i

Biel-Lummert-a (8), pored ostalog i iz razloga što u njima eksplicitno ne figuriše koeficijent trenja  $\lambda$ .

Jednačina Renouard-a (7) nešto brže konvergira od jednačine Biel-Lummert-a (8), i treba nju odabrati u proračunima prstenastih mreža niskog pritiska, posebno što u njoj za razliku od jednačine Renouard-a (7) ne figuriše koeficijent K koji bira iz posebnog dijagrama (slika 1).

Treba paziti da se ne greškom ne odabere jednačina Renouard-a za više pritiske (uobičajena za proračun mreža od 4 bar-a) po Hardy-Cross-u, pošto padovi pritiska tada nisu reprezentativni. Međutim, ako je kriterijum kojim se prekida proračun vrednost popravnog protoka rezultat dobijen po jednačini Renouard-a za srednje i visoke i po jednačini Renouard-a niske pritiske je istovetan.

Konačnu verifikaciju valjanosti jednačine u svakom datom slučaju treba obaviti merenjima na terenu.

Ovde je ispitivana samo brzina konvergencije jednačine ka zadatoj tačnosti, ne ulazeći u tačnost kojom ona opisuje stvarno stanje. Što se tačnosti opisa realnog stanja tiče, iz prethodne analize ne mogu da se izvuku nikakvi zaključci.

## 6. OZNAKE I JEDINICE

- $\Delta p$ -pad pritiska [Ra]
- $\lambda$ -koeficijent trenja [-]
- L-dužina cevi [km], osim u (1), (4) i (6) u [m]
- $d_u$ -unutrašnji prečnik cevi [m]
- $D_u$ -standardni unutrašnji prečnik cevi [mm], osim u (1), (3), (4) i (6) u [m]
- $\rho$ -gustina gasa [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_r$ -relativna gustina gasa [-]
- $\pi$ -Ludolf-ov broj ( $\pi = 3,1415\dots$ )
- v-brzina strujanja gasa (m/s)
- R-otpor strujanju gasa [ $\sim \Omega$ ]
- Q-protok gasa [ $m^3/h$ ], osim u (2), (3), (4) i (5) u [ $m^3/s$ ]
- K-koeficijent u jednačini Biel-Lummert-a (Slika 1) [-]

## 7. LITERATURA

- [1]. \*\*\*, **Gas Engineers Handbook**: Industrial press inc. (chapter 9), New York 1974.
- [2]. Božidar Prstojević, Nenad Đajić, Vojislav Vuletić, **Distribucija prirodnog gasa**: Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 2005. (u pripremi)