

*M. Benišek
R. Kilibarda*

*M. Nedeljković
D. Gerasimović*

Tehnika merenja

Zbirka zadataka
iz
strujno-tehničkih merenja

Treće izdanje



*Mašinski fakultet
Univerziteta u Beogradu*

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Edicija: **Mehanika fluida i Hidraulične mašine**

- **Tehnika merenja.** Zbirka zadataka iz strujno-tehničkih merenja.
Benišek M., Nedeljković M., Kilibarda R., Gerasimović D.
(Treće izdanje, 2006.god.) – ova knjiga
- **Pumpe i ventilatori.** Problemi, rešenja, teorija.
Protić Z., Nedeljković M.
Prvo izdanje, 1992.god. – Oktobarska nagrada grada Beograda za najvrednije dostignuće u oblasti tehničkih nauka za 1992. godinu.
(Peto izdanje, 2006.god.)
- **Klasična i uljna hidraulika.**
Crnojević C.
(Treće izdanje, 2006.god.)
- **Mehanika fluida.** Teorija i praksa.
Čantrak S., Benišek M., Pavlović M., Marjanović P., Crnojević C.
(Osmo izdanje, 2005.god.)
- **Hidrodinamika.**
Čantrak S.
(Četvrto izdanje, 2005.god.)
- **Dinamika jednodimenzijskih strujanja fluida.**
Đorđević V.
(Četvrto izdanje, 2005.god.)
- **Priručnik za proračun strujanja stišljivog fluida.**
Pavlović M., Stefanović Z.
(Osmo izdanje, 2005.god.)
- **Statika i kinematika fluida.**
Saljnikov V.
(Treće izdanje, 2003.god.)
- **Transport čvrstih materijala fluidima.**
Crnojević C.
(Prvo izdanje, 2002.god.)
- **Hidraulične turbine.**
Benišek M.
(Prvo izdanje, 1998.god.)

Urednici edicije:

- prof.dr Zoran Protić
- prof.dr Vladan Đorđević, akademik SANU
- prof.dr Miroslav Benišek
- prof.dr Svetislav Čantrak

UDK 621.65:621.63.001.1(076)

Ključne reči: Pumpe, Ventilatori, Energijska postrojenja

Tehnika merenja

Zbirka zadataka iz strujno-tehničkih merenja

Pisci:

prof.dr Miroslav Benišek, dipl.inž.maš.

prof.dr Miloš Nedeljković, dipl.inž.maš.

mr Radomir Kilibarda, dipl.inž.maš.

Darko Gerasimović, dipl.inž.maš.

Treće izdanje



Izdavač: Mašinski fakultet
Univerziteta u Beogradu

BEOGRAD

2006.

Tehnika merenja.

Zbirka zadataka iz strujno-tehničkih merenja.

- AUTORI:

dr Miroslav Benišek,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

dr Miloš Nedeljković,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

mr Radomir Kilibarda,

1993-2002 asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

dipl.inž.maš. Darko Gerasimović,

1994-1999 asistent-pripravnik Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

- RECENZENTI:

Dr.-Ing. Zoran Protić,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u penziji

Dr.-Ing. Svetislav Čantrak,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

- IZDAVAČ:

Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35,

telefon: (011) 337-0350, 33-02-384, telefaks: +381-11-337-0364.

Za izdavača: Dekan **prof.dr Miloš Nedeljković**

Štampanje 3.izdanja odobrila Komisija za izdavačku delatnost Mašinskog fakulteta Rešenjem br.53/06 od 19.10.2006.god.

Urednik: **prof.dr Aleksandar Obradović**

- ŠTAMPA:

PLANETA PRINT,

Beograd, Ruzveltova 10

telefon/telefaks: (011) 30-88-129

Kompjuterski slog: **Autori**

Tiraž: 200 primeraka

ISBN 86-7083-574-6

© Autori i Mašinski fakultet, Beograd 1996, 2000, 2006.

Preštampavanje i fotokopiranje nije dozvoljeno.

Predgovor trećem izdanju

Ovo izdanje je u potpunosti jednako drugom.

Beograd, 4.decembar 2006.god.

Autori

Predgovor drugom izdanju

Drugo izdanje ove knjige je u biti ostalo isto. Medjutim, pažljivim pregledom teksta uočene su izvesne omaške, koje su otklonjene u ovom izdanju. I dalje ostajemo u obavezi prema čitaocima, kada za to bude pogodna prilika, da ovu knjigu načinimo još boljom.

Beograd, 15.maj 2000.god.

Autori

Predgovor prvom izdanju

Tehnika merenja uvedena je 1974.god. kao obavezan predmet u obrazovanju mašinskih inženjera na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu za studente sledećih smerova: Hidroenergetika, Termoenergetika, Termotehnika, Automatsko upravljanje i Procesna tehnika. Do tada, elementi tehnike merenja objašnjavali su se samo u okviru već postojećih predmeta. Narastajuće potrebe, zahtevi savremene privrede i shvatanje da dobrog inženjera nema bez znanja o merenjima, doveli su do uvodjenja novog zasebnog predmeta u nastavne planove navedenih smerova. Program predmeta **Tehnika merenja** formirao je Prof.Dr.-Ing. Ivo Vušković, tadašnji Šef Katedre za hidraulične mašine, koji je ujedno i držao prva predavanja. Prof. Vušković je napisao i prvi udžbenik za ovaj predmet - "Osnove tehnike merenja", koji je štampan 1977.god. u izdanju Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Povod za izdavanje ove knjige leži u želji autora da se prvenstveno popuni praznina nedostajuće literature na Mašinskom fakultetu, i na taj način olakša studentima napor u savladjivanju nastavnog programa, a zatim i da se široj stručnoj javnosti pruži mogućnost upoznavanja sa problematikom strujno-tehničkih merenja koja je i tema ove knjige. Posebno se nadamo da će zadaci i rešenja data u knjizi, pomoći mnogim stručnjacima da reše svoje probleme merenja u laboratorijama i pogonima, a ako im pomoć ove knjige nije dovoljna, upućujemo ih na spisak dodatne literature dat na kraju knjige. Takodje, kao autori, uvek im stojimo na raspolaganju za savete, a ukoliko se ni tako ne dodje do rešenja, onda stručnjacima (a i nama) slede: muka, napor, neprospavane noći, i dani provedeni u laboratoriji (pogonu). Nakon toga, ipak na kraju dolazi zadovoljstvo kada se nadje rešenje, jer prema ocu savremene tehnike merenja *G. Galileju*, najveće zadovoljstvo pružaju oni problemi koji se mogu definisati geslom "učiniti nešto merljivim!"

Izbor zadataka u knjizi sačinjen je shodno pomenutim željama autora. Skoro svi izabrani zadaci su originalni, nastali pri merenjima u laboratoriji i na terenu,

ali prilagodjeni su tako da mogu biti ispitni zadaci. Problemi u knjizi grupisani su u poglavlja koja su u saglasnosti sa nastavnim planom i programom predmeta **Tehnika merenja**. Složeniji zadaci koji po sadržaju predstavljaju skup problema dve oblasti svrstani su u poglavlje Kombinovani zadaci. U tom smislu, deo zadataka može korisno poslužiti i studentima-postdiplomcima, koji na energetskim smerovima slušaju predmet **Strujno-tehnička merenja**.

Autori su se trudili da nizom objašnjenja i skica olakšaju razumevanje problematike. Poseban spisak oznaka nije dat, jer su sva objašnjenja njihovog značenja data u postavkama i rešenjima zadataka. Mnoge konstante, koje se javljaju kao neizbežni podaci u problemima, u cilju pojednostavljenja uzete su kao stalne veličine zaokružene na potreban broj decimala, a to su:

$$\rho_{H_2O} = 13550 \text{ kg/m}^3, \rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3, g = 9,81 \text{ m/s}^2, T_0 = 273 \text{ K}.$$

Takodje, za precizno izvođenje merenja prethodno je potrebno obezbediti i određene preduslove, npr. u pogledu neophodnih dužina ispred i iza mernog mesta, položaja mernih priključaka, hrapavosti cevi, i sl. Autori žele da naglase da su se, s obzirom na namenu knjige, prvenstveno usredsredili na objašnjavanje i razradu principa merenja, a ne na sve potrebne detalje, koji bi zbog svoje obimnosti opteretili ovaj udžbenik. Zainteresovani čitaoci upućuju se na međunarodne standarde, koji u ovoj oblasti precizno regulišu sve praktične mogućnosti.

Posebnu zahvalnost dugujemo našim recenzentima Prof.Dr.-Ing. Zoranu Protiću i Prof.Dr.-Ing. Svetislavu Čantraku na uloženom trudu pri pregledu rukopisa i na korisnim savetima koji su doprineli da knjiga bude što bolja i u tehničkom i u stručnom pogledu. Za računarsku obradu većeg dela teksta, a naročito za izradu crteža, svoju zahvalnost izražavamo i našem kolegi - koautoru Darku Gerasimoviću, dipl.inž.maš.

Ceneći celokupno delo i ličnost našega učitelja Dr.-Ing. Iva Vuškovića, profesora u penziji, autori mu posvećuju ovu knjigu kao skromnu zahvalnost za sve što je učinio za razvoj nauke i struke o merenju na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

I pored pažljivog pregleda rukopisa pre štampanja, svesni smo da se uvek potkradaju greške koje pak pažljivim studentima i stručnjacima neće promaći. Autori bi bili izuzetno zahvalni svim čitaocima na pronadjenim greškama, kao i na svim sugestijama koje bi ovu knjigu u budućim izdanjima poboljšale. Završavajući rukopis, otkrili smo da knjiga može da bude još bolja - ali neka to za sada ostane naša mala tajna i želja da proverimo da li čitaoci i mi mislimo isto.

Tehnika merenja.

Zbirka zadataka iz strujno-tehničkih merenja.

* AUTORI:

dr Miroslav Benišek,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

dr Nedeljko Vukobratović,

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

mr Radovan Kilićević,

1991 Predgovorvii

1. Greška merenja 1

2. Nestišljivo strujanje55

3. Merenje protoka prigušnicama87

4. Stišljivo strujanje 113

5. Vlažan vazduh 147

6. Kombinovani zadaci 174

7. Prilog 231

Literatura 239

PLANETA PRINT

Beograd, Barutina III

82-84 (19) 311-312-313

U znak izuzetnog poštovanja, postavljenog pred nama, predložio sam ovu zbirku zadataka iz strujno-tehničkih merenja.

Beograd, 15. oktobra 1991. godine

redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

0-470-1597-99 NBI

Autor

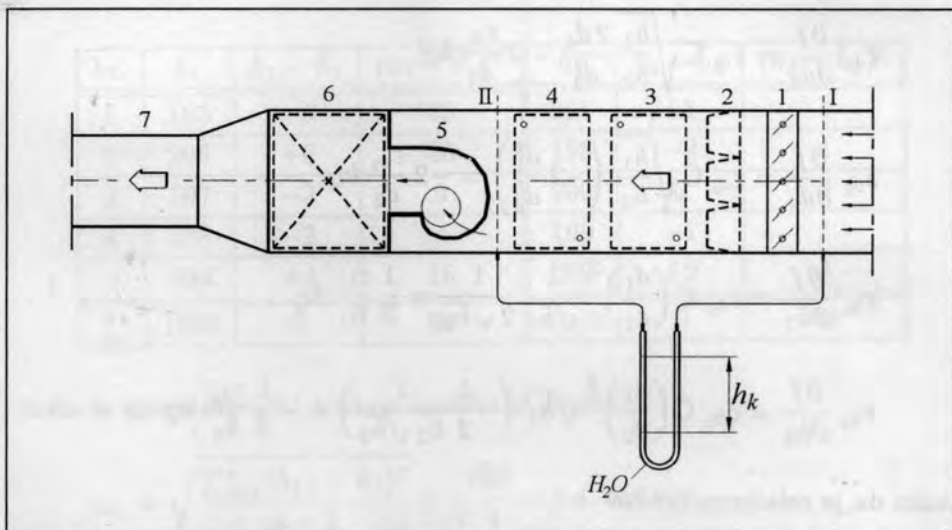
© 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025

Beograd, 15. oktobra 1991. godine

1.8. U program ispitivanja strujnih karakteristika klima komore (v. sliku) spada i određivanje koeficijenta strujnog otpora koji se definiše izrazom

$$\zeta_k = \frac{2 \Delta p_k}{\rho \bar{c}_k^2},$$

gde je: • Δp_k - ukupan pad pritiska u svim sekcijama klima komore od ulaza u komoru do ventilatora 5 (u regulacionoj žaluzini 1, filteru 2, grejaču 3, hladnjaku i odstranjivaču kapljica 4), • \bar{c}_k - srednja brzina u klima komori, i • ρ - gustina vazduha (na slici su osim pobrojanih sekcija smeštenih ispred ventilatora, prikazani na potisnom delu: prigušivač buke 6 i izlazni kanal 7 kojim se vazduh potiskuje ka klimatizovanim prostorijama).



Površine poprečnih preseka ulaza (I) i izlaza (II) klimatizacione sekcije iste su i iznose $A_I = A_{II} = A_k = 0,58 \text{ m}^2$. Veličine stanja vazduha su: $p_b = 1008 \text{ mbar}$ i $R = 287 \text{ J/kg K}$.

Srednja brzina \bar{c}_k u komori određuje se na osnovu izraza

$$\bar{c}_k = \frac{Q}{A_k}.$$

Prilikom ponovljenog merenja jedne radne tačke, dobijene su vrednosti razlike nivoa vode ($\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$) u U-cevi h_k , temperature t i protoka

Q , koje su prikazane u tabeli:

merenje broj	h_k mm	t °C	Q m ³ /s
1	28,0	16,1	1,21
2	28,4	16,5	1,22
3	28,5	16,4	1,19
4	27,9	16,0	1,20
5	28,1	15,9	1,18

Traži se:

a) odrediti srednje greške merenja veličina h_k , t i Q ,

b) odrediti relativnu srednju grešku posrednog merenja veličine ζ_k , ako se zna da je procentualna srednja greška merenja površine preseka komore $\varepsilon_{p,A_k} = 0,5\%$,

c) ucrtati ispravan položaj nivoa vode u U-cevi,

d) odrediti srednju vrednost koeficijenta ζ_k .

REŠENJE:

a) Srednje vrednosti mernih veličina određuju se iz relacija

$$\bar{h}_k = \frac{\sum_{i=1}^n h_{k,i}}{n} = \frac{140,9}{5} = 28,18 \text{ mm} ,$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{80,9}{5} = 16,18^\circ\text{C} ; \quad \bar{T} = 289,18 \text{ K} ,$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{6}{5} = 1,20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} .$$

Izmerene vrednosti obradjene su tablično. Pored izmerenih vrednosti, data su odstupanja izmerenih vrednosti od njihove srednje vrednosti i kvadrati odstupanja izmerenih vrednosti od njihove srednje vrednosti.

	h_k	$h_k - \bar{h}_k$	$(h_k - \bar{h}_k)^2$	t	$t - \bar{t}$	$(t - \bar{t})^2$	Q	$Q - \bar{Q}$	$(Q - \bar{Q})^2$
1	28,0	-0,18	0,0324	16,1	-0,08	0,0064	1,21	0,01	0,0001
2	28,4	0,22	0,0484	16,5	0,32	0,1024	1,22	0,02	0,0004
3	28,5	0,32	0,1024	16,4	0,22	0,0484	1,19	-0,01	0,0001
4	27,9	-0,28	0,0784	16,0	-0,18	0,0324	1,20	0	0
5	28,1	-0,08	0,0064	15,9	-0,28	0,0784	1,18	-0,02	0,0004
Σ	140,9	0	0,268	80,9	0	0,268	6	0	0,0010

Sada se mogu odrediti srednje greške (srednja kvadratna odstupanja) mere-

nja visine stuba vode u U-cevi h_k , temperature t i protoka Q

$$\varepsilon_{h_k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_{k,i} - \bar{h}_k)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,268}{4}} = \pm 0,2588 \text{ mm} ,$$

$$\varepsilon_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,268}{4}} = \pm 0,2588^\circ\text{C} ,$$

$$\varepsilon_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,001}{4}} = \pm 0,0158 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} ,$$

i njihove procentualne srednje greške

$$\varepsilon_{p,h_k} = \frac{\varepsilon_{h_k}}{\bar{h}_k} 100 = \frac{\pm 25,88}{28,18} = \pm 0,92 \% ,$$

$$\varepsilon_{p,T} = \frac{\varepsilon_T}{\bar{T}} 100 = \frac{\pm 25,88}{289,18} = \pm 0,09 \% ,$$

$$\varepsilon_{p,Q} = \frac{\varepsilon_Q}{\bar{Q}} 100 = \frac{\pm 1,58}{1,2} = \pm 1,32 \% .$$

b) Prilikom određivanja procentualne srednje greške posrednog merenja koeficijenta strujnog otpora ζ_k , potrebno je u odgovarajući izraz zameniti relacije za pad pritiska, gustinu vazduha i srednju brzinu u kojima figurišu nezavisne merne veličine h_k , T (odn. t), A_k i Q

$$\zeta_k = \frac{2 \Delta p_k}{\rho \bar{c}_k^2} = \frac{2 \rho_{H_2O} g h_k}{\frac{p_b}{RT} \left(\frac{Q}{A_k}\right)^2} = \frac{2 \rho_{H_2O} g R h_k T A_k^2}{p_b Q^2} = C \frac{h_k T A_k^2}{Q^2} .$$

Srednja greška posrednog merenja koeficijenta strujnog otpora ζ_k , uzimajući u obzir da je $\zeta_k = f(h_k, T, A_k, Q)$, određuje se iz jednačine

$$\varepsilon_{\zeta_k} = \sqrt{\left(\varepsilon_{h_k} \frac{\partial f}{\partial h_k}\right)^2 + \left(\varepsilon_T \frac{\partial f}{\partial T}\right)^2 + \left(\varepsilon_{A_k} \frac{\partial f}{\partial A_k}\right)^2 + \left(\varepsilon_Q \frac{\partial f}{\partial Q}\right)^2} .$$

Definisanjem članova pod korenom

$$\varepsilon_{h_k} \frac{\partial f}{\partial h_k} = \varepsilon_{h_k} C \frac{T A_k^2}{Q^2} \frac{h_k}{h_k} = \frac{\varepsilon_{h_k}}{h_k} \zeta_k ,$$

$$\varepsilon_T \frac{\partial f}{\partial T} = \varepsilon_T C \frac{h_k A_k^2 T}{Q^2} = \frac{\varepsilon_T}{T} \zeta_k ,$$

$$\varepsilon_{A_k} \frac{\partial f}{\partial A_k} = \varepsilon_{A_k} C \frac{h_k T A_k}{Q^2} \frac{2 A_k}{A_k} = 2 \frac{\varepsilon_{A_k}}{A_k} \zeta_k , \quad \text{i}$$

$$\varepsilon_Q \frac{\partial f}{\partial Q} = \varepsilon_Q C h_k T A_k^2 \left(-\frac{2}{Q^3} \right) = -2 \frac{\varepsilon_Q}{Q} \zeta_k ,$$

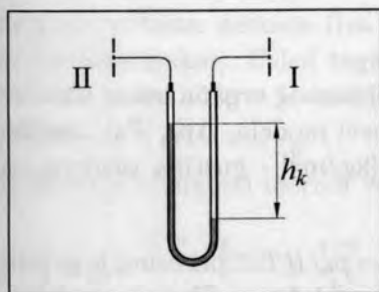
jednostavno je odrediti relativnu grešku

$$\frac{\varepsilon_{\zeta_k}}{\zeta_k} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{h_k}}{h_k} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_T}{T} \right)^2 + 4 \left(\frac{\varepsilon_{A_k}}{A_k} \right)^2 + 4 \left(\frac{\varepsilon_Q}{Q} \right)^2} ,$$

a zatim izračunati i procentualnu srednju grešku posrednog merenja koeficijenta otpora ζ_k

$$\varepsilon_{p, \zeta_k} = \sqrt{\varepsilon_{p, h_k}^2 + \varepsilon_{p, T}^2 + 4 \varepsilon_{p, A_k}^2 + 4 \varepsilon_{p, Q}^2} ,$$

$$\varepsilon_{p, \zeta_k} = \sqrt{0,92^2 + 0,09^2 + 4 \cdot 0,5^2 + 4 \cdot 1,32^2} = \pm 2,97\% .$$



c) Zbog pada pritiska, usled lokalnih otpora u klima komori (otpor regulacione žaluzine, otpor filtera, otpor grejača, otpor hladnjaka i otpor odstranjivača kapljica), u kraku U-cevi koji je spojen sa presekom I nivo vode je niži u odnosu na suprotni krak koji je spojen sa presekom II (v. sliku).

d) Da bi se izračunala najverovatnija vrednost neke veličine, u odgovarajući izraz, koji je funkcionalna zavisnost od određenih mernih veličina, potrebno je zameniti njihove srednje vrednosti. U konkretnom slučaju je

$$\zeta_k = \frac{2 \rho_{H_2O} g R \bar{h}_k \bar{T} \bar{A}_k^2}{p_b Q^2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 287 \cdot 0,02818 \cdot 289,18 \cdot 0,58^2}{1,008 \cdot 10^5 \cdot 1,2^2} = 106,35 .$$

2.11. Prilikom eksperimentalnog određivanja koeficijenta trenja λ za horizontalni izolovani parovod kroz koji struji pregrejana para, meri se razlika pritiska Δp između dva mesta međusobno udaljena $l = 275$ m. Strujanje se smatra nekompresibilnim, a za merenje razlike pritiska Δp koristi se diferencijalni manometar - prstenasta vaga napunjena živom.

Poznati su sledeći podaci: • prečnik parovoda $D = 250$ mm, • maseni protok pare $\dot{m} = 3,22$ kg/s, • specifična zapremina pare $v_{pr} = 0,305$ m³/kg i • pokazivanje prstenaste vage $h = 100$ mm.

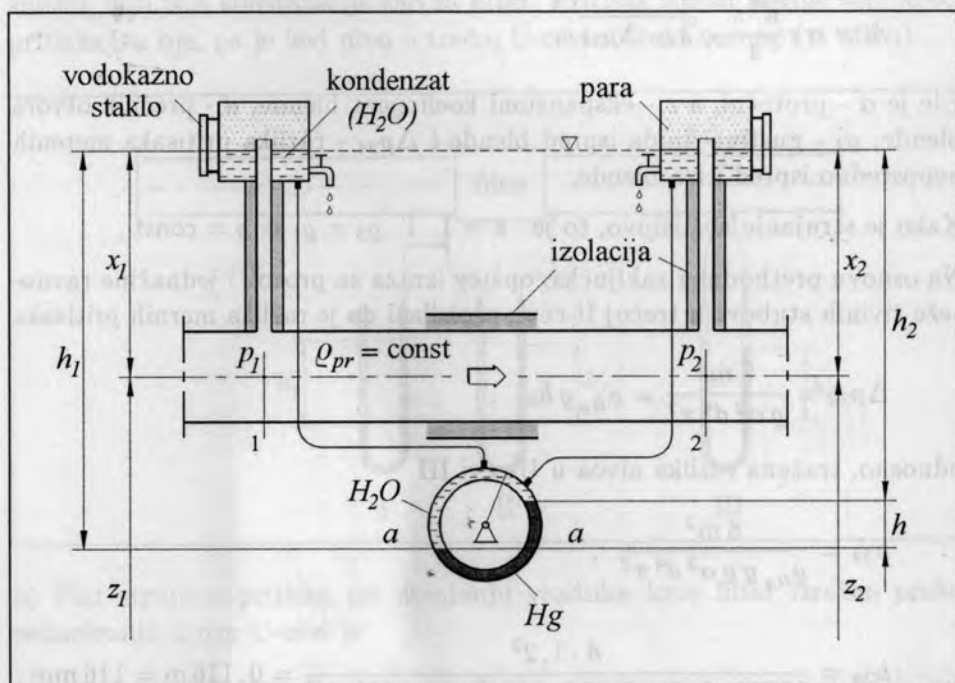
Ostali podaci: $\rho_{Hg} = 13550$ kg/m³, $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³.

Traži se:

- prikazati mernu instalaciju šematski, vodeći pritom računa o činjenici da dolazi do kondenzacije pare u spojnim vodovima i instrumentima,
- odrediti koeficijent trenja λ .

REŠENJE :

- Šematski prikaz merne instalacije dat je na slici.



Kod merenja pritiska na parovodu, u spojnim crevima između priključaka i diferencijalnog manometra dolazi do kondenzacije vodene pare i stvaranja vodenih čepova koji remete ispravno merenje pritiska. Zbog toga se kod parovoda obavezno primenjuje merna veza sa ugrađenim kondenzatnim sudovima (v. sliku), u kojima se forsira kondenzovanje pare, pri čemu se nivo kondenzata održava na određenoj koti. Kota nivoa se proverava na vodokaznom staklu, a višak kondenzata se pažljivo ispušta pomoću ugrađenih slavina.

b) Jednačina ravnoteže prstenaste vage za ravan istog pritiska a-a je

$$p_1 - \rho_{pr} g x_1 + \rho_{H_2O} g h_1 = p_1 - \rho_{pr} g x_2 + \rho_{H_2O} g h_2 + \rho_{Hg} g h .$$

Nivoi kondenzata u kondenzatnim loncima održavaju se na istoj koti $x_1 = x_2$ (cev je horizontalna, tj. $z_1 = z_2$), i pošto je gustina pare $\rho_{pr} \ll \rho_{H_2O}$, to je

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) g h = 12550 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 12312 \text{ Pa} .$$

Kako je gustina pare

$$\rho_{pr} = \frac{1}{v_{pr}} = \frac{1}{0,305} = 3,279 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} ,$$

to je srednja brzina strujanja pare

$$c = \frac{4 \dot{m}}{\rho_{pr} D^2 \pi} = \frac{4 \cdot 3,22}{3,279 \cdot 0,25^2 \pi} = 20,0 \text{ m/s} ,$$

tako da je traženi koeficijent trenja

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot D}{\rho_{pr} \cdot c^2 \cdot l} = \frac{2 \cdot 12312 \cdot 0,250}{3,279 \cdot 20,0^2 \cdot 275} = 0,0171 .$$

2.12. U nagnutom izolovanom cevovodu prečnika $D = 150 \text{ mm}$ kroz koji struji pregrejana para, meri se koeficijent trenja λ na dužini $l = 155 \text{ m}$.

Prilikom merenja, izmerene su sledeće veličine: • maseni protok pare (meren pomoću mlaznice) $\dot{m} = 0,882 \text{ kg/s}$, • temperatura i apsolutni pritisak pare u preseku 1 cevne deonice - $t_1 = 260^\circ\text{C}$ i $p_1 = 8 \text{ bar}$, • razlika nivoa žive u kracima U-cevi priključenim na preseke 1 i 2 - $h = 532 \text{ mm}$.

3. Merenje protoka prigušnicama

3.1. U jednom hidrauličkom postrojenju, protok radnog fluida meri se pomoću standardne (normirane) prigušnice.

Traži se:

- opisati princip merenja zapreminskog i masenog protoka,
- objasniti šta predstavlja koeficijent gubitka pritiska prigušnice.

REŠENJE :

a) Merenje prigušnicama predstavlja vrlo rasprostranjen i jednostavan način merenja protoka. Na mestu na kome je ugradjena, prigušnica prouzrokuje lokalno ubrzanje struje zbog suženja protočnog preseka, i time lokalni pad pritiska. Takodje, prigušnica zbog svoje nepovoljne konfiguracije u strujnom smislu, izaziva i lokalni gubitak strujne energije. Obe pojave manifestuju se kroz sniženje pritiska fluida pri strujanju kroz prigušnicu. Suština mernog postupka sastoji se u određivanju protoka na osnovu poznate zavisnosti

$$\dot{m} = f_1(\Delta p) , \quad Q = f_2(\Delta p) ,$$

gde je Δp razlika mernih pritisaka neposredno ispred i iza prigušnice

$$\Delta p = p_1 - p_2 .$$

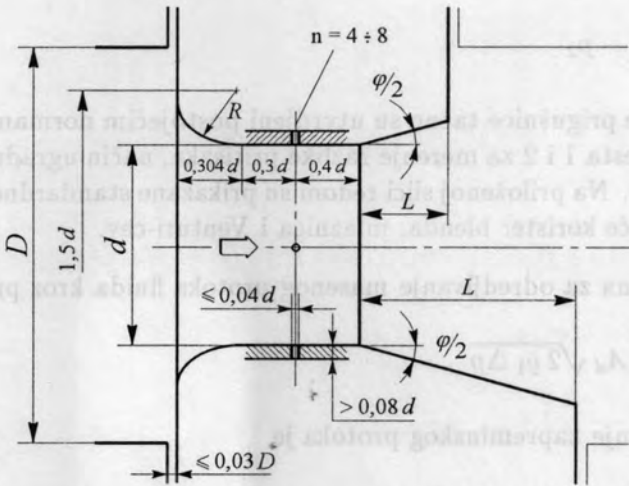
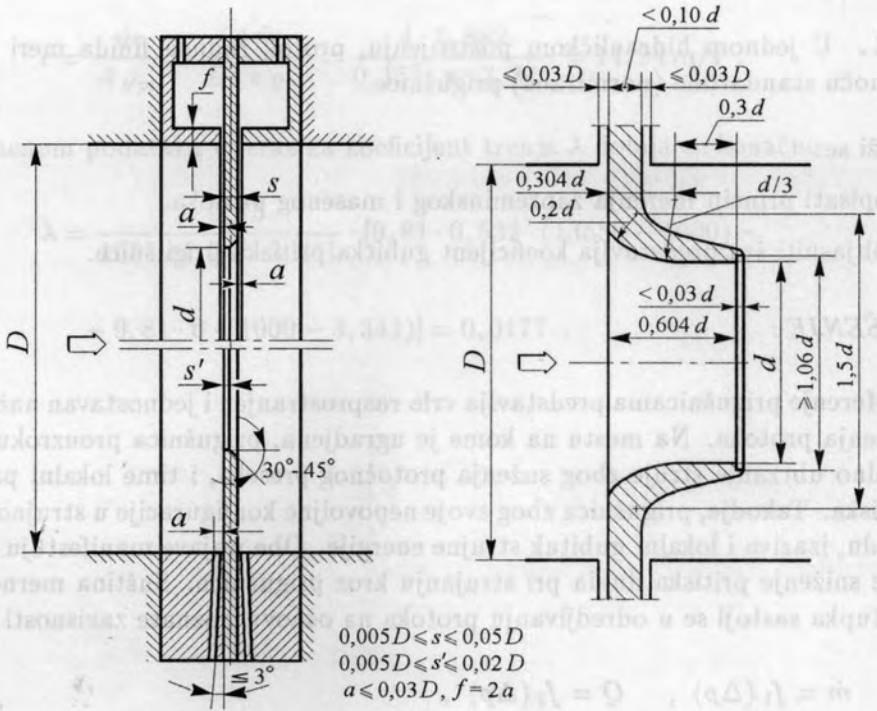
Za standardne prigušnice tačno su utvrđeni postojećim normama: položaji priključnih mesta 1 i 2 za merenje razlike pritisaka, način ugradnje i dimenzije prigušnice. Na priloženoj slici redom su prikazane standardne prigušnice koje se najčešće koriste: blenda, mlaznica i Venturi-cev.

Opšta jednačina za određivanje masenog protoka fluida kroz prigušnicu je

$$\dot{m} = \alpha \varepsilon A_d \sqrt{2 \rho_1 \Delta p} ,$$

a za određivanje zapreminskog protoka je

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho_1} = \alpha \varepsilon A_d \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_1}} .$$



U navedenim izrazima za protoke, pojedine veličine predstavljaju:

- α - koeficijent protoka prigušnice. To je bezdimenzijska veličina koja u opštem slučaju zavisi od odnosa glavnih dimenzija prigušnice i cevi, od stepena kontrakcije mlaza na izlazu iz prigušnice, od relativne hrapavosti cevi itd.

Za normirane prigušnice, protočni koeficijent računa se po obrascu

$$\alpha = \alpha_0 \cdot k_{tr} ,$$

gde α_0 predstavlja protočni koeficijent normirane prigušnice u hidraulički glatkoj cevi. On zavisi isključivo od Rejnoldsovog broja strujanja računatog za presek ispred prigušnice

$$Re = \frac{c_1 D}{\nu} ,$$

i koeficijenta otvora prigušnice kao odnosa površina otvora prigušnice i preseka cevi

$$m = \frac{A_d}{A} = \left(\frac{d}{D} \right)^2 .$$

Vrednost protočnog koeficijenta α_0 za standardne prigušnice u glatkim cevima date su redom za blendu, mlaznicu i Venturi-cev u Tabelama 1a, 2a i 3 u Prilogu, i to u zavisnosti od m^2 i Re-broja. Kvadrat koeficijenta otvora omogućava linearnu interpolaciju vrednosti iz tabela.

Ako relativna hrapavost cevi prelazi neku graničnu vrednost za dato m , prilikom odredjivanja protočnog koeficijenta mora se uvesti popravni protočni faktor k_{tr} koji je tada veći od jedinice (za glatke cevi je $k_{tr} = 1$). Za izračunavanje popravnog faktora k_{tr} postoje empirijski obrasci u literaturi.

- ε - koeficijent ekspanzije. Kada je radni fluid gas i kada je odnos mernih pritisaka iza i ispred prigušnice $p_2/p_1 < 0,99$, pri odredjivanju protoka dolazi da izražaja stišljivost gasa. Tada se dešava značajnija promena gustine fluida (širenje) iza prigušnice i u formulu za protok treba uvesti ovaj popravni koeficijent. Koeficijent ekspanzije zavisi od koeficijenta otvora m prigušnice, odnosa pritisaka p_2/p_1 i vrste gasa preko eksponenta izentropije κ . Vrednosti koeficijenta ε date su u Tabeli 1b za normirane blende i Tabeli 2b za normirane mlaznice, u Prilogu. Pritom, opet se koristi veličina m^2 zbog

linearne interpolacije. Za nestišljiv fluid ($\rho = \text{const}$) koeficijent ekspanzije uvek je $\varepsilon = 1$.

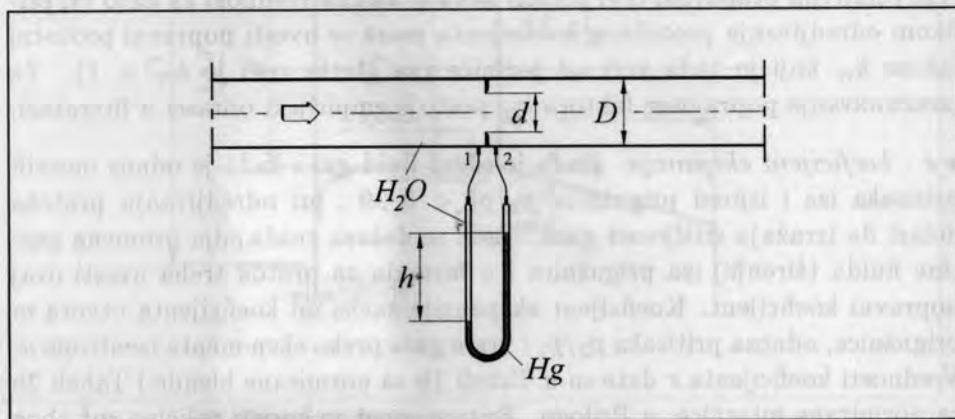
- ρ_1 - gustina fluida u mernom preseku ispred prigušnice. Za nestišljiv fluid je $\rho_1 = \rho = \text{const}$.
- Δp - razlika mernih pritisaka ispred i iza prigušnice ($p_1 - p_2$). Za merenje razlike pritisaka koristi se pogodno izabran merni instrument (diferencijalni manometar - U-cev, prstenasta vaga, i sl.).

b) Jedan od najvažnijih zadataka projektovanja nekog hidrauličkog postrojenja je proračun strujnih gubitaka u tom postrojenju, bilo da se radi o gubicima usled trenja, bilo usled otpora lokalnog karaktera. U ovu drugu grupu otpora, sa hidrauličnog stanovišta spadaju i ugrađeni merači protoka - prigušnice. To je razlog što se u strujno-tehničkoj praksi koristi pojam koeficijenta gubitka pritiska φ_g u prigušnicama, kao bezdimenzijska veličina koja predstavlja odnos stvarnog pada pritiska koji prigušnica izaziva u postrojenju u kome je ugrađena i razlike pritisaka merenih na priključcima neposredno ispred i iza prigušnice, odnosno

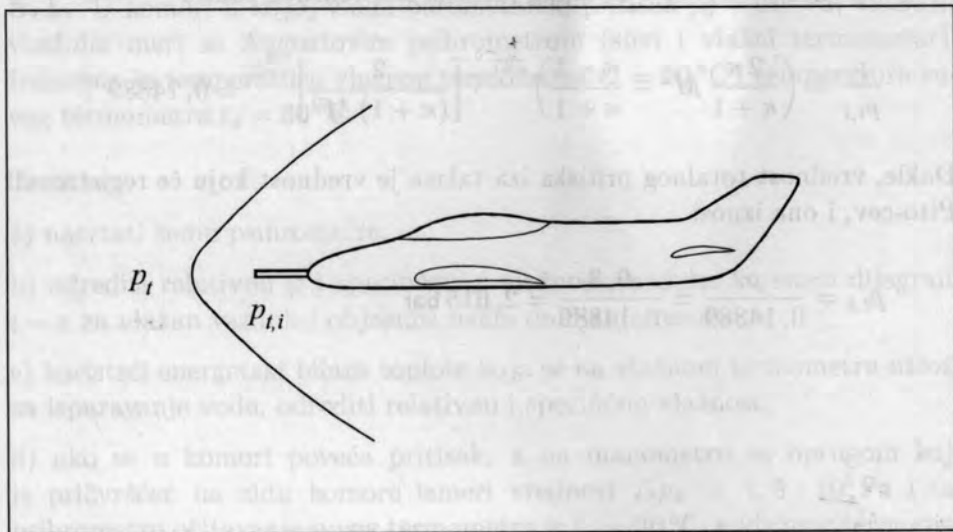
$$\varphi_g = \frac{\Delta p_{gub}}{p_1 - p_2} = \frac{\Delta p_{gub}}{\Delta p}$$

U Tabeli 4 u Prilogu dati su podaci za koeficijent gubitka pritiska φ_g u standardnim prigušnicama u zavisnosti od koeficijenta otvora m .

3.2. Protok vode u jednoj pumpnoj instalaciji meri se normiranom blendom. Razlika pritisaka ispred i iza blende meri se pomoću diferencijalnog manometra - U-cevi sa živom (vidi skicu).



4.14. Nadzvučni avion leti brzinom od $M = 2,2$. Atmosferski pritisak na datoj visini je $p = 0,3$ bar.



Traži se:

- odrediti vrednost totalnog pritiska ispred udarnog talasa,
- odrediti pritisak koji registruje Pito-cev.

REŠENJE :

- Na osnovu klasičnog izraza koji povezuje vrednosti totalnog i strujnog pritiska sa Mahovim brojem strujanja - u struji ispred udarnog talasa

$$\frac{p_t}{p} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}},$$

jednostavno se nalazi vrednost totalnog pritiska ispred udarnog talasa

$$p_t = p \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = 0,3 \cdot \left(1 + \frac{0,4}{2} 2,2^2\right)^{\frac{1,4}{0,4}} = 3,208 \text{ bar}$$

- Na osnovu relacije koja povezuje vrednosti totalnih pritiska ispred i iza udarnog talasa

$$\frac{p_t}{p_{t,i}} = \left(\frac{2\kappa}{\kappa + 1} M^2 - \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}\right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \cdot \left[\frac{(\kappa - 1) M^2 + 2}{(\kappa + 1) M^2}\right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}},$$

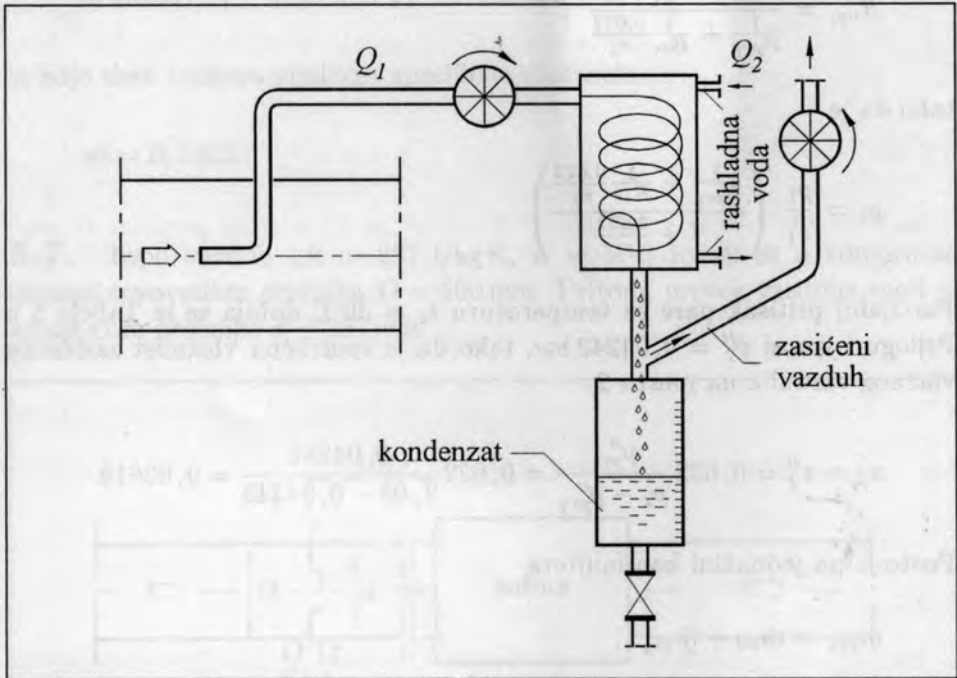
zamenom napred prikazane veze izmedju totalnog i strujnog pritiska sa Mahovim brojem, eliminiše se totalni pritisak p_t , i dobija da je odnos izmedju strujnog pritiska ispred i totalnog pritiska iza udarnog talasa

$$\frac{p}{p_{t,i}} = \left(\frac{2\kappa}{\kappa+1} M^2 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \right)^{\frac{1}{\kappa+1}} \cdot \left[\frac{2}{(\kappa+1)M^2} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0,14889 .$$

Dakle, vrednost totalnog pritiska iza talasa je vrednost koju će registrovati Pito-cev, i ona iznosi

$$p_{t,i} = \frac{p}{0,14889} = \frac{0,3}{0,14889} = 2,015 \text{ bar} .$$

5.6. Vlažnost vazduha u sušari određuje se merenjem kondenzata pomoću uređaja prikazanog na slici.



Izmerene su sledeće veličine: zapreminski protok vlažnog vazduha ispred kondenzatora $Q_1 = 0,009 \text{ m}^3/\text{s}$, maseni protok kondenzata izmeren zapreminskom metodom pomoću menzure i štoperice $\dot{m}_{kd} = 0,001065 \text{ kg/s}$, temperatura i pritisak u cevovodu $t_1 = 80^\circ\text{C}$, $p_1 = 1200 \text{ mbar}$, temperatura i pritisak zasićenog vlažnog vazduha $t_2 = 30^\circ\text{C}$, $p_2 = 1050 \text{ mbar}$.

Ostali podaci su: $R_{sv} = 287 \text{ J/kg K}$, $R_{pr} = 462 \text{ J/kg K}$.

Traži se:

- izračunati specifičnu vlažnost x_1 u cevovodu sušare.

REŠENJE :

Maseni protok i gustina uzetog uzorka vlažnog vazduha iz cevi određuju se na osnovu izraza

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{vv1} = \rho_1 Q_1 = \dot{m}_{sv1} + \dot{m}_{pr1} = \dot{m}_{sv1} (1 + x_1) ,$$

$$\rho_1 = \rho_{vv1} = \rho_{pr1} + \rho_{sv1} = \varphi_1 \rho_1'' + \frac{p_1 - \varphi_1 p_1''}{R_{sv} T_1} = \frac{p_1}{R_{vv1} T_1} .$$

Gasna konstanta vlažnog vazduha u cevi je

$$R_{vv1} = \frac{1 + \frac{0,622}{x_1}}{\frac{1}{R_{pr1}} + \frac{1}{R_{sv}} \frac{0,622}{x_1}},$$

tako da je

$$\rho_1 = \frac{p_1}{T_1} \left(\frac{\frac{1}{R_{pr1}} + \frac{1}{R_{sv}} \frac{0,622}{x_1}}{1 + \frac{0,622}{x_1}} \right).$$

Parcijalni pritisak pare za temperaturu $t_2 = 30^\circ\text{C}$ dobija se iz Tabele 5 u Prilogu i iznosi $p_2'' = 0,04242$ bar, tako da je specifična vlažnost zasićenog vlažnog vazduha na mestu 2

$$x_2 = x_2'' = 0,622 \frac{p_2''}{p_2 - p_2''} = 0,622 \frac{0,04242}{1,05 - 0,04242} = 0,02619.$$

Pošto je po jednačini kontinuiteta

$$\dot{m}_{vv1} = \dot{m}_{kd} + \dot{m}_{vv2},$$

a takođe je

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{vv1} = \dot{m}_{sv1} (1 + x_1), \quad \dot{m}_{vv2} = \dot{m}_{sv2} (1 + x_2'') \quad \text{i}$$

$$\dot{m}_{sv1} = \dot{m}_{sv2} = \dot{m}_{sv},$$

proizilazi da je

$$\dot{m}_{sv} = \frac{\dot{m}_{kd}}{x_1 - x_2''} \quad \text{i} \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_{kd} \frac{1 + x_1}{x_1 - x_2''} = \rho_1 Q_1.$$

Smena odgovarajućih veličina u poslednjem izrazu daje

$$\begin{aligned} & 0,001065 \frac{1 + x_1}{x_1 - 0,02619} = \\ & = \frac{1,2 \cdot 10^5}{(273 + 80)} \left(\frac{1}{462} + \frac{1}{287} \frac{0,622}{x_1} \right) \left(\frac{x_1}{x_1 + 0,622} \right) \cdot 0,009, \end{aligned}$$

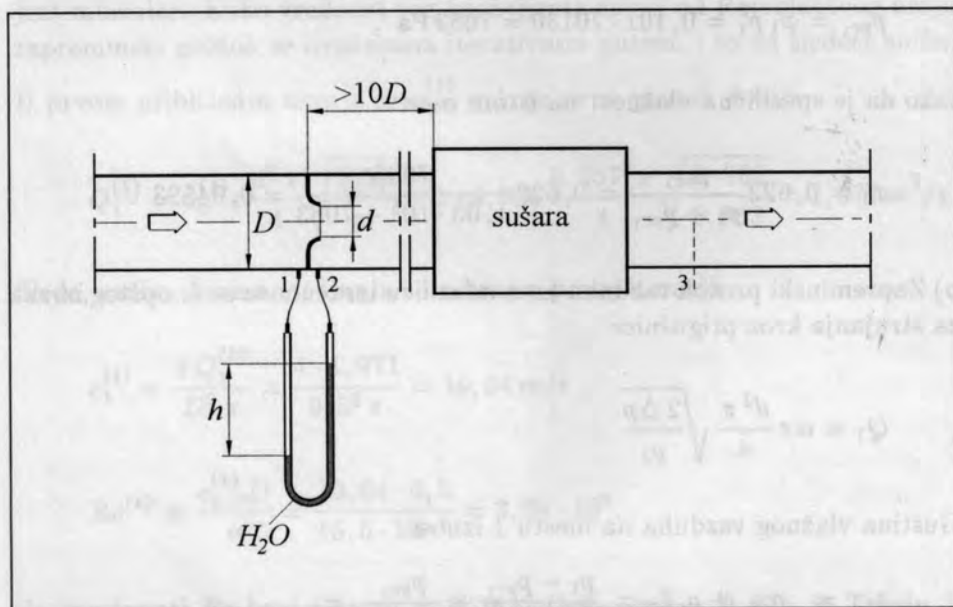
i posle sredjivanja, dobija se kvadratna jednačina po nepoznatoj x_1

$$0,005557 x_1^2 + 0,004731 x_1 - 0,000836 = 0,$$

iz koje sledi tražena vrednost specifične vlažnosti

$$x_1 = 0,1502.$$

5.7. Topli vazduh ($R = 287 \text{ J/kg K}$, $\kappa = 1,4$) uvodi se u komoru za sušenje cevovodom prečnika $D = 500 \text{ mm}$. Pritom, protok vazduha meri se mlaznicom prečnika $d = 257 \text{ mm}$.



Izmerene veličine stanja vazduha ispred mlaznice su: temperatura $t_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, apsolutni pritisak $p_1 = 1,03 \text{ bar}$ i relativna vlažnost $\varphi_1 = 10,1 \%$. Razlika nivoa vodenih stubova u U-veći manometra iznosi $h = 71,5 \text{ mm}$.

Ostali podaci su: kinematička viskoznost vazduha $\nu = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $R_{\text{sv}} = 287 \text{ J/kg K}$, $R_{\text{pr}} = 462 \text{ J/kg K}$. Zanimariti trenje u cevi.

Traži se:

a) odrediti specifičnu vlažnost x_1 vazduha,

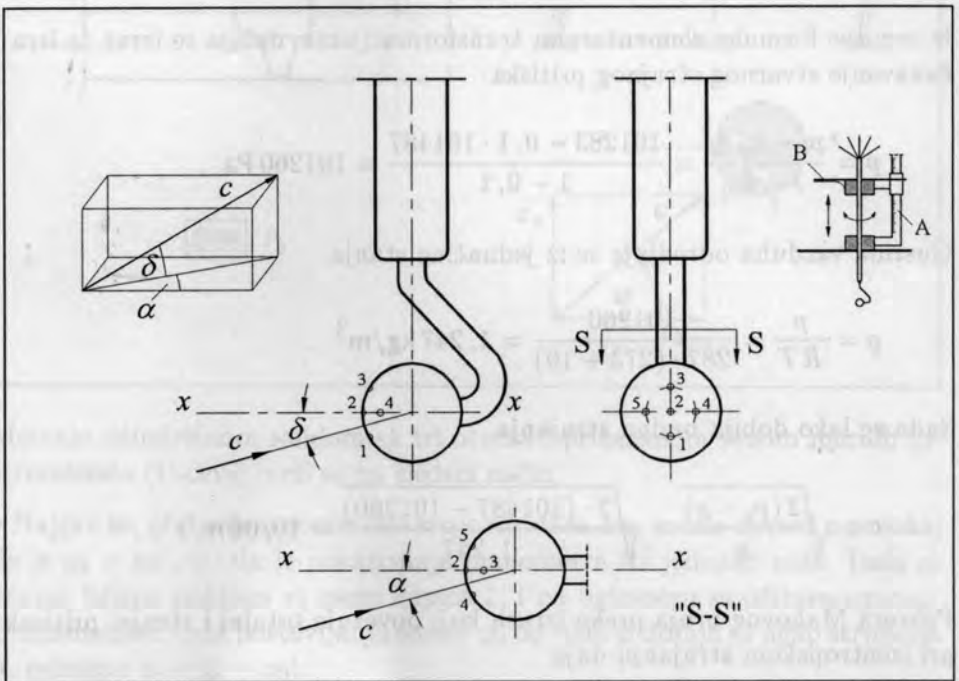
S obzirom na vrlo malu vrednost Mahovog broja ($M < 0,2$), stišljivost vazduha ne dolazi do značajnijeg izražaja. Drugim rečima, sam proračun koji je sproveden za nestišljivo strujanje može se oceniti kao valjan.

Ostaje još da se izračunaju obimska i meridijanska komponenta brzine:

$$c_z = c \cos \alpha = 19,08 \cdot \cos 30^\circ = 16,52 \text{ m/s} ,$$

$$c_u = c \sin \alpha = 19,08 \cdot \sin 30^\circ = 9,54 \text{ m/s} .$$

c) Pojava treće komponente brzine c_r u pravcu radijusa ukazuje da je strujanje trodimenzijsko (3D), i da se ovakvo polje brzina ne može meriti cilindričnom sondom sa tri rupice. U ovakvim slučajevima koriste se sonde za merenje trodimenzijskih polja brzina: kuglasta sonda, Konrad sonda i dr.



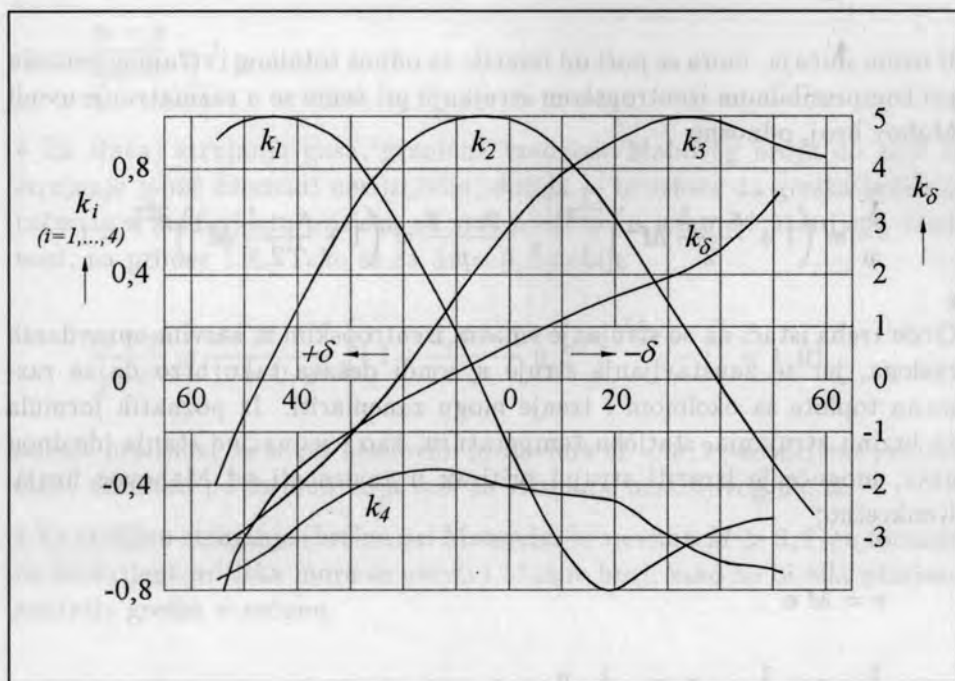
U slučaju da se za merenje 3D polja brzina koristi kuglasta sonda (v. sliku), postupak merenja je sledeći:

- Sonda sa držačem sonde pričvršćuje se za zid strujnog prostora. Držać obezbeđuje uzdužno pomeranje i obrtanje oko uzdužne ose sonde. Uzdužno pomeranje glave sonde se očitava na lenjiru A, a obrtanje oko uzdužne ose na uglomeru B.

- Sonda se postavlja u nulti položaj tako da se osa srednje rupice postavlja u izabrani reporni pravac $x - x$, i na uglomeru B se tada očitava ugao postavljanja φ_0 .
- Obrtanjem sonde oko uzdužne ose, sonda se dovede u položaj takav da je pritisak u rupicama 5 i 4 isti, odnosno $p_5 = p_4$, i tada se očitava ugao φ na uglomeru. Prema tome, ugao struje je $\alpha = |\varphi - \varphi_0|$.
- Odredjivanje ugla δ i brzine strujanja obavlja se pomoću baždarnog dijagrama određenog merenjem na baždarnoj instalaciji na osnovu definisanih baždarnih koeficijenata (v. sliku)

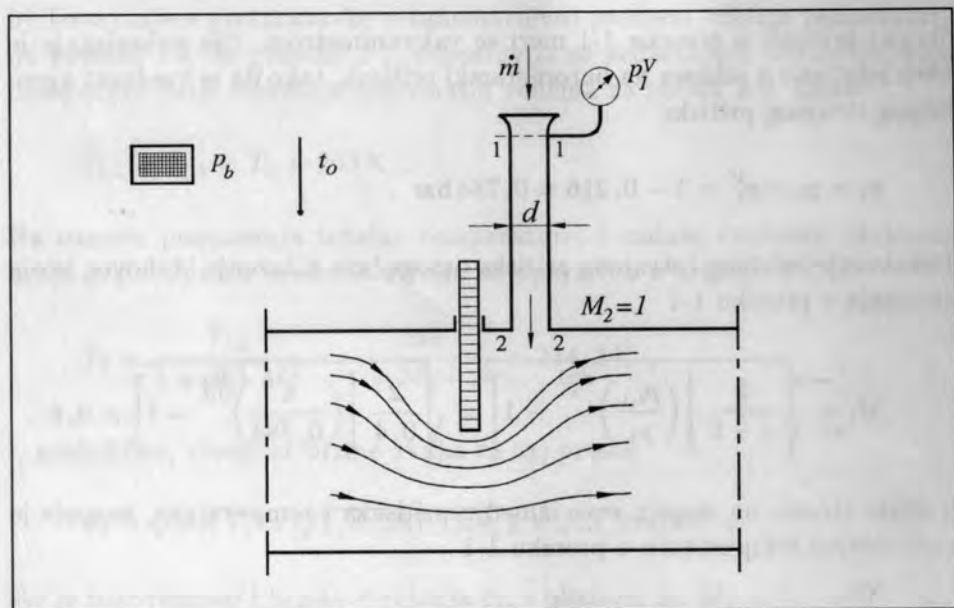
$$k_i = \frac{p_i - p}{\frac{1}{2} \rho c^2} \quad \text{i} \quad k_\delta = \frac{p_3 - p_1}{p_2 - p_4} = \frac{k_3 - k_1}{k_2 - k_4},$$

gde je $i = 1, 2, \dots, 5$ broj rupice.



Ugao strujanja δ u vertikalnoj ravni odredjuje se merenjem vrednosti pritiska p_3 , p_1 , p_2 i p_4 u uglonom položaju sonde φ i odredjivanjem koeficijenta k_δ tako što se iz dijagrama za vrednost k_δ uzima vrednost δ , ali i vrednosti k_1 , k_2 , k_3 , k_4 i k_5 .

6.13. U jednom tunelu kroz koji struji voda, nalazi se tablasti zatvarač. U cilju sprečavanja pojave kavitacije, iza zatvarača postavljena je ventilaciona cev ($d = 0,5 \text{ m}$), kroz koju se uvlači vazduh ($R = 287 \text{ J/kg K}$, $\kappa = 1,4$). Strujanje vazduha se odvija velikom brzinom, tako da se na ulazu u tunel (iza zatvarača) formira strujanje brzinom zvuka.



Izmerene su sledeće veličine: pokazivanje vakuum-metra priključenog u preseku 1-1 $p_1^V = 0,216 \text{ bar}$, barometarski pritisak $p_b = 1 \text{ bar}$ i temperatura okoline $t_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Zanimariti temperaturske gubitke u ventilacionoj cevi i strujne gubitke u ulaznoj mlaznici, i pretpostaviti ravnomerne rasporede brzina i gustina (temperature) u presecima 1-1 i 2-2.

Traži se:

- odrediti maseni protok vazduha koji se uvlači u tunel,
- odrediti pritisak p_2 na ulazu u tunel, gde je Mahov broj $M_2 = 1$,
- odrediti gubitak energije izmedju preseka 1-1 i 2-2.

REŠENJE :

a) U okolini, koja miruje, vladaju barometarski pritisak i temperatura okoline. To su veličine koje predstavljaju ukupnu (totalnu, zaustavnu) energiju vazduha, koji se zatim, zbog potpritiska iza zatvarača, uvlači u ventilacionu

Tabela 1.a Protočni koeficijent α_0 za normirane blende u glatkim cevima

m^2 \ Re	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
0,0025	0,6024	0,6005	0,5993	0,5989	0,5985	0,5981	0,5978	0,5977
0,0030	0,6032	0,6011	0,5998	0,5993	0,5988	0,5985	0,5981	0,5980
0,0040	0,6045	0,6022	0,6007	0,6001	0,5995	0,5991	0,5986	0,5986
0,0050	0,6058	0,6031	0,6015	0,6008	0,6002	0,5997	0,5992	0,5991
0,0100	0,6110	0,6073	0,6050	0,6039	0,6031	0,6025	0,6018	0,6016
0,0200	0,6194	0,6142	0,6108	0,6094	0,6081	0,6073	0,6062	0,6061
0,0300	0,6268	0,6203	0,6161	0,6143	0,6129	0,6117	0,6105	0,6103
0,0400	0,6335	0,6260	0,6212	0,6190	0,6173	0,6160	0,6146	0,6144
0,0500	0,6399	0,6315	0,6260	0,6236	0,6217	0,6202	0,6186	0,6184
0,0600		0,6370	0,6308	0,6281	0,6260	0,6245	0,6226	0,6223
0,0700		0,6422	0,6355	0,6327	0,6302	0,6284	0,6265	0,6262
0,0800		0,6474	0,6403	0,6371	0,6343	0,6324	0,6303	0,6300
0,0900		0,6526	0,6450	0,6415	0,6385	0,6362	0,6341	0,6338
0,1000		0,6577	0,6497	0,6459	0,6425	0,6401	0,6378	0,6375
0,1100		0,6630	0,6542	0,6500	0,6465	0,6439	0,6415	0,6412
0,1200		0,6682	0,6588	0,6544	0,6507	0,6478	0,6452	0,6449
0,1300		0,6734	0,6633	0,6587	0,6547	0,6516	0,6489	0,6486
0,1400		0,6786	0,6679	0,6629	0,6587	0,6555	0,6526	0,6522
0,1500		0,6839	0,6724	0,6672	0,6627	0,6594	0,6563	0,6559
0,1600		0,6890	0,6769	0,6715	0,6667	0,6633	0,6600	0,6596
0,1700		0,6943	0,6815	0,6759	0,6708	0,6671	0,6638	0,6633
0,1800		0,6995	0,6861	0,6802	0,6749	0,6711	0,6675	0,6670
0,1900		0,7047	0,6908	0,6846	0,6791	0,6751	0,6713	0,6708
0,2000		0,7099	0,6954	0,6890	0,6832	0,6791	0,6751	0,6746
0,2100		0,7153	0,7000	0,6934	0,6874	0,6830	0,6789	0,6784
0,2200		0,7206	0,7047	0,6979	0,6917	0,6871	0,6828	0,6823
0,2300		0,7259	0,7094	0,7024	0,6960	0,6911	0,6867	0,6861
0,2400		0,7312	0,7142	0,7069	0,7003	0,6952	0,6906	0,6899
0,2500		0,7366	0,7189	0,7114	0,7046	0,6994	0,6945	0,6938
0,2600		0,7419	0,7237	0,7160	0,7090	0,7035	0,6984	0,6977
0,2700		0,7472	0,7286	0,7207	0,7136	0,7078	0,7025	0,7017
0,2800		0,7526	0,7336	0,7255	0,7180	0,7121	0,7065	0,7057
0,2900		0,7580	0,7385	0,7301	0,7225	0,7163	0,7105	0,7096
0,3000		0,7635	0,7436	0,7349	0,7269	0,7206	0,7145	0,7136
0,3100		0,7690	0,7487	0,7398	0,7317	0,7250	0,7187	0,7177
0,3200		0,7745	0,7538	0,7446	0,7363	0,7294	0,7228	0,7218
0,3300		0,7802	0,7591	0,7495	0,7410	0,7339	0,7269	0,7259
0,3400		0,7859	0,7646	0,7547	0,7459	0,7385	0,7312	0,7301
0,3500		0,7917	0,7699	0,7597	0,7508	0,7432	0,7354	0,7343
0,3600		0,7976	0,7754	0,7648	0,7554	0,7476	0,7396	0,7384
0,3700			0,7809	0,7699	0,7605	0,7523	0,7439	0,7426
0,3800			0,7866	0,7752	0,7656	0,7571	0,7483	0,7470
0,3900			0,7924	0,7805	0,7706	0,7619	0,7527	0,7513
0,4000			0,7986	0,7864	0,7763	0,7673	0,7576	0,7561
0,4100			0,8046	0,7924	0,7819	0,7726	0,7624	0,7609

Literatura

- [1] Kozić Dj., Bekavac V., Vasiljević B., Priručnik za termodinamiku, 4. izdanje, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1987.
- [2] Vušković I., Osnove tehnike merenja, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1977.
- [3] Goldstein J. R., Fluid Mechanics Measurements, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1983.
- [4] Кремлевский П. П., Расходомеры и счетчики количества, Машиностроение - Ленинградское отделение, Ленинград, 1989.
- [5] Preobrazhensky V., Measurements & instrumentation in heat engineering, vol. 1 and 2, Mir Publishers, Moscow, 1980.
- [6] Čantrak S., Benišek M., Pavlović M., Marjanović P., Crnojević C., Mehanika fluida - teorija i praksa, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [7] Voronjec D., Kozić Dj., Vlažan vazduh - termodinamičke osobine i primena, SMEITS, Beograd, 1980.
- [8] Gramberg A., Technische Messungen, Springer - Verlag, Berlin, 1967.
- [9] Nashchokin V. V., Engineering thermodynamics and heat transfer, Mir Publishers, Moscow, 1979.
- [10] Krsmanović Lj., Vušković I., Metod laboratorijskih merenja. Opšti principi tehničkih merenja, 3. izdanje, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1984.
- [11] Reid C. R., Prausnitz M. J., Sherwood K. T., The properties of gases and liquids, McGraw - Hill Book Company, New York, 1977.
- [12] Vušković I., Benišek M., IMP - knjiga 3, Metode i sredstva merenja, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
- [13] Veriga S., Medjunarodni sistem jedinica fizičkih veličina, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1979.
- [14] Holman P. J., Experimental methods for engineers, Fifth edition, McGraw - Hill International Book Company, Auckland, 1989.
- [15] Simonović V., Uvod u teoriju verovatnoće i matematičku statistiku, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1991.
- [16] Gligorić L. B., Teorija i tehnika merenja I, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
- [17] Повх Л. И., Аэродинамический эксперимент в машиностроении, Машиностроение, Ленинградское отделение, Ленинград, 1974.

CIP - Каталогизacija y yублиkacija
 Народна библиотека Србије, Београд

CIP

532. 57 (075.8) (076)
 532 (075.8) (076)

ТЕХНИКА merenja : zbirka zadataka iz
 strujno-tehničkih merenja / pisci Miroslav
 Benišek ... [et al.]. - 3. izd. - Beograd :
 Mašinski fakultet Univerziteta, 2006
 (Beograd : Planeta print). - VIII, 239
 str. : graf. prikazi, tabele ; 24 cm. -
 (Edicija Mehanika fluida i Hidraulične
 mašine)

- Tiraž 200. - Bibliografija : str. 239.

ISBN 86-7083-574-6

1. Бенишек, Мирослав, 1946-

- a) Флуиди - Струјање - Мерење - Задачи
- b) Механика флуида - Задачи

COBISS. SR-ID 135697164