Predgovor drugom izdanju

Pisanje neke stručne knjige, posebno udžbenika, po malo podseća na proces iterativnog rešavanja složenih hidrauličkih problema: napravi se prvo izdanje kao najbolje očekivano rešenje, a onda se, prateći reakcije čitalaca, u narednim izdanjima postepeno poboljšava, čime knjiga konvergira ka najboljem rešenju.

Slična je sudbina i ove knjige. Nakon prvog izdanja, sâm autor je pronašao niz sitnih grešaka i mesta gde je moguće dati bolja i ilustrativnija objašnjenja. Recenzenti knjige su dali predlog da se poboljša organizacija knjige promenom rasporeda pojedinih oblasti, tako da sada nakon izučavanja dinamike fluida, sledi oblast dimenzionalne analize i oblast hidrodinamičkih otpora, a na kraju knjige se nalaze dve oblasti u kojima se primenjuju izvedene i uprošćene jednačine, tečenje u cevima i tečenje u kanalima.

Brojni pažljivi čitaoci, starije i mlađe kolege, kao i studenti doktorskih studija su takođe ukazali na određene propuste u prvom izdanju knjige. Tu bih se pre svega zahvalio jednom od najmlađih kolega, studentu Dikić Draganu, koji je detaljno iščitao knjigu i, zahvaljujući njegovom krajnje konstruktivnom prilazu, učinio da ovo drugo izdanje bude još bolje. Koleginica Tijana Jovanović je vredno i pažljivo proverila sve proračune u knjizi, dok je moj sin Veljko Prodanović dao značajan doprinos na sređivanju pojedinih (prenatrpanih) slika.

Dušan Prodanović
Septembra 2013.

Sadržaj

1 Uvod 1

1.1 Način i predmet izučavanja . . . 2
1.2 Istorijski pregled razvoja Mehanike fluida . . . 3
1.3 Organizacija knjige . . . 5

2 Fizička svojstva fluida 9

2.1 Veličine, dimenzionalni sistem i jedinice mere . . . 10
2.2 Viskoznost . . . 12
2.3 Gustina (specifična masa) fluida . . . 20
2.4 Težina i specifična težina . . . 21
2.5 Elastične deformacije, stišljivost fluida . . . 22
2.6 Pritisak . . . 24
2.7 Površinski napon i kapilarnost . . . 28

3 Hidrostatika 33

3.1 Promena pritiska u zavisnosti od položaja . . . 34
3.1.1 Pretpostavke za izvođenje jednačine . . . 34
3.1.2 Osnovna jednačina hidrostatike . . . 35
3.1.3 Rešenje osnovne jednačine hidrostatike za homogeni fluid . . . 36
3.1.4 Pijezometarska kota kod homogenog fluida . . . 38
3.1.5 Rešenje osnovne jednačine hidrostatike za nehomogeni fluid . . . 40
3.2 Merenje pritiska . . . 43
3.2.1 Merenje apsolutnog pritiska barometrom . . . 44
3.2.2 Merenje pritiska manometrom . . . 45
3.3 Hidrostatičke sile na čvrste granične površine . . . 50
3.3.1 Hidrostatičke sile na ravne površine . . . 50
3.3.2 Hidrostatičke sile na krive površine . . . 57

3.3.3 Hidrostatička sila potiska 66
3.3.4 Ravanski zadaci 70
3.3.5 Sila pritiska gasa na zidove zatvorenog rezervoara . . . 77
3.4 Relativno mirovanje fluida 79
3.4.1 Pravolinijsko kretanje suda 79
3.4.2 Rotacija suda oko vertikalne ose 82

4 Osnove dinamike fluida **85**
4.1 Pojmovi i osnovne karakteristike toka 86
4.1.1 Materijalni delić, strujanje realnog i idealnog fluida . . 86
4.1.2 Stišljiv i nestišljiv, homogen i nehomogen fluid 87
4.1.3 Laminarno i turbulentno strujanje 87
4.1.4 Ustaljeno i neustaljeno strujanje 90
4.1.5 Jednoliko i nejednoliko strujanje 91
4.1.6 Dimenzionalnost problema: 3D, 2D, 1D 92
4.1.7 Trajektorija, strujnica i emisiona linija 93
4.1.8 Protok fluida i srednja brzina 97
4.2 Metode opisivanja kretanja fluida 100
4.3 Koncept kontrolne zapremine 102
4.3.1 Prelazak sa konstantne mase na konstantnu zapreminu 103
4.3.2 Praćenje kretanja materijalnog delića 107
4.3.3 Brzina deformacije materijalnog delića 109
4.3.4 Veza materijalnog izvoda i kontrolne zapremine 114
4.4 Princip održanja mase 116
4.4.1 Jednačina održanja mase 116
4.4.2 Ustaljeno strujanje nehomogenog i homogenog fluida . 118
4.4.3 Primer tečenja u cevi 120
4.5 Održanje količine kretanja 122
4.5.1 Integralna i diferencijalna jednačina održanja količine kretanja 123
4.5.2 Rešenje diferencijalne jednačine održanja količine kretanja za određena pojednostavljenja 128
4.5.3 Primeri primene Bernulijeve jednačine 133
4.5.4 Navie-Stoksove jednačine 142
4.5.5 Rešenje integralne jednačine održanja količine kretanja za ustaljeno tečenje homogenog fluida u cevi 147
4.5.6 Primeri primene jednačine sila 152
4.6 Održanje energije sistema 155
4.6.1 Integralna i diferencijalna jednačina održanja energije 155

4.6.2 Jednačine mehaničke i toplotne energije 161
4.6.3 Rešenje integralne jednačine održanja energije za ustaljeno tečenje homogenog fluida u cevi 163
4.6.4 Drugi oblik rešenja integralne jednačine održanja energije za ustaljeno tečenje homogenog fluida 168
4.6.5 Poređenje energetske sa Bernulijevom jednačinom . . . 172
4.6.6 Primer primene energetske jednačine 173

5 Dimenzionalna analiza, sličnost i modeli 179
5.1 Dimenzionalna analiza 180
5.1.1 Uvod u dimenzionalnu analizu 180
5.1.2 Bakingemova Π teorema 183
5.1.3 Primeri primene dimenzionalne analize 185
5.1.4 Komentari u vezi dimenzionalne analize 191
5.1.5 Standardni bezdimenzionalni brojevi 196
5.2 Sličnost i fizički modeli 201
5.2.1 Geometrijska sličnost 202
5.2.2 Kinematska sličnost 203
5.2.3 Dinamička sličnost 205
5.2.4 Sloboda izbora razmera za fizičke modele 207
5.2.5 Primeri fizičkih modela 209

6 Hidrodinamički otpori 215
6.1 Trenje pri jednolikom tečenju kroz cev 216
6.1.1 Koeficijent linijskog gubitka energije 216
6.1.2 Trenje u cevi pri laminarnom tečenju 223
6.1.3 Prelaz iz laminarnog u turbulentno tečenje 227
6.1.4 Granica između laminarnog i turbulentnog tečenja u cevi 230
6.1.5 Turbulentno tečenje u cevi 232
6.1.6 Otpori trenja u cevima različitih poprečnih preseka . . 242
6.2 Ukupni otpori tela 246
6.3 Trenje uz ravnu (usamljenu) ploču 247
6.3.1 Osnovne pretpostavke 248
6.3.2 Raspored brzina i granični sloj oko tanke ploče 250
6.3.3 Proračun debljine graničnog sloja 253
6.3.4 Tangencijalni napon i sila trenja 256
6.4 Otpori oblika 260
6.4.1 Osnovne pretpostavke 261
6.4.2 Raspored pritisaka oko tela za idealan fluid 262

6.4.3 Tačka odvajanja graničnog sloja 265
6.4.4 Vrtložni trag 271
6.4.5 Proračun sile otpora oblika 276
6.4.6 Sila uzgona 281

7 Tečenje fluida kroz cevi **285**
7.1 Pretpostavke i uslovi za izvođenje jednačina 286
7.2 Osnovne jednačine održanja 289
7.2.1 Jednačina kontinuiteta 290
7.2.2 Dinamička jednačina 292
7.2.3 Energetska jednačina 300
7.3 Primeri primene jednačina održanja 315
7.3.1 Primeri primene energetske jednačine 316
7.3.2 Primer sa dinamičkom jednačinom 321
7.3.3 Dinamička ili energetska jednačina? 325
7.4 Hidrauličke mašine 326
7.4.1 Pumpe (crpke) 327
7.4.2 Turbine 330
7.4.3 Reverzibilne mašine 332

8 Tečenje u otvorenim tokovima **335**
8.1 Pretpostavke i uslovi za izvođenje jednačina 336
8.2 Jednoliko tečenje, normalna dubina 338
8.3 Raspored brzina u preseku 345
8.4 Specifična energija, kritična dubina 346
8.4.1 Specifična energija 347
8.4.2 Kritična dubina 349
8.4.3 Kritičan nagib dna kanala 352
8.4.4 Miran i buran režim tečenja 353
8.5 Hidraulički skok 358
8.6 Nejednoliko tečenje (blago promenljivo) 366
8.6.1 Diferencijalna jednačina linije nivoa 367
8.6.2 Rešavanje diferencijalne jednačine linije nivoa 368
8.7 Oblici linije nivoa kod nejednolikog tečenja 370
8.7.1 Nagib linije energije jednak nagibu dna 371
8.7.2 Velika dubina u kanalu 371
8.7.3 Dubina jednaka kritičnoj a različita od normalne . . . 371
8.7.4 Nagib dna kanala manji od kritičnog nagiba 372
8.7.5 Nagib dna kanala veći od kritičnog nagiba 377
8.7.6 Linija nivoa kod promene nagiba ili hrapavosti dna . . 380

8.8 Isticanje ispod ustave 382
8.9 Prelivanje preko širokog praga 385

A Osnovne i izvedene fizičke veličine **393**

B Tabele osobina nekih fluida **397**

C Karakteristike ravnih površina i tela **401**