

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Gordana KASTRATOVIĆ
Dragoslav KUZMANOVIĆ
Nenad VIDANOVIĆ
Nikola MIRKOV

MEHANIKA FLUIDA

BEOGRAD
2025.

Gordana Kastratović, Dragoslav Kuzmanović, Nenad Vidanović, Nikola Mirkov
MEHANIKA FLUIDA
I izdanje

Recenzenti: dr Predrag Cvetković,
dr Aleksandar Čović
Za izdavača: dr Milorad Kilibarda, dekan
Glavni i odgovorni urednik: dr Mirjana Bugarinović
Tehnički urednik: Predrag Knežević
Korice: Predrag Knežević
Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
Vojvode Stepe 305; telefon: 011 3976 017;
faks: 011 3096 704; <http://www.sf.bg.ac.rs>
Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta;
telefon: 011 3091 344; idsf@sf.bg.ac.rs;
(skriptarnica) sfknjige@sf.bg.ac.rs
Štampa: DONAT GRAF DOO BEOGRAD,
Vučka Miličevića, 29, 11306 Grocka;
telefon: 011 29 28 265; www.donatgraf.com
Tiraž: 150 primeraka
ISBN 978-86-7395-500-1

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, broj 354/2 od 8. maja 2025. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi na osnovnim studijama kao osnovni udžbenik za obavezni predmet „Mehanika fluida”.

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

532(075.8)

MEHANIKA fluida / Gordana Kastratović ... [et al.]. - 1. izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2025 (Beograd : Donat Graf). - 271 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 150. - Srpsko-engleski rečnik i pojmovnik: str. 263-267. - Beleška o autorima: str. 269-271. - Bibliografija: str. 261-262.

ISBN 978-86-7395-500-1

1. Кастратовић, Гордана, 1973- [autor]

a) Механика флуида

COBISS.SR-ID 169041161

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukcijska pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

Sadržaj

Predgovor	7
1. UVOD	9
1.1. Sile koje deluju na fluid	10
1.2. Fluidni delić	12
1.3. Neprekidnost	13
2. FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA.....	15
2.1. Gustina	16
2.2. Specifična težina	17
2.3. Stišljivost.....	17
2.4. Temperaturno širenje	18
2.5. Viskoznost.....	19
3. STATIKA FLUIDA.....	23
3.1. Uvod.....	23
3.2. Pritisak	24
3.3. Statički pritisak. Svojstva statičkog pritiska	25
3.4. Ojlerove jednačine za statiku fluida.....	27
3.5. Integracija diferencijalnih jednačina ravnoteže fluida	29
3.6. Fluid u polju sile Zemljine teže.....	31
3.6.1. Nestišljivi fluid.....	31
3.6.2. Barometar i atmosferski pritisak	37
3.6.3. Standardna atmosfera	38
3.6.4. Stišljiv fluid.....	41

3.7.	Sila statičkog pritiska koja deluje na potopljene površi	43
3.7.1.	Određivanje intenziteta sile statičkog pritiska na ravnu potopljenu površ	43
3.7.2.	Određivanje intenziteta sile statičkog pritiska na krivu potopljenu površ	47
3.7.3.	Pritisak tečnosti na zidove cevi i rezervoara	50
3.8.	Sila potiska i stabilnost	53
3.8.1.	Stabilnost potopljenih i plutajućih tela	56
3.9.	Relativno mirovanje nestišljivog fluida	61
3.9.1.	Relativno mirovanje tečnosti pri translaciji	61
3.9.2.	Relativno mirovanje tečnosti pri rotaciji	64
3.10.	Primeri rešavanja problema iz statike fluida	69
3.10.1.	Hidrostatika	69
3.10.2.	Sila statičkog pritiska koja deluje na potopljene površi	75
3.10.3.	Relativno mirovanje tečnosti	94
3.10.4.	Potisak	115
4.	KINEMATIKA FLUIDA	119
4.1.	Lagranžov pristup	120
4.2.	Ojlerov pristup	120
4.3.	Brzina strujanja	121
4.4.	Vremenska klasifikacija strujanja	122
4.5.	Vizuelizacija strujanja	122
4.5.1.	Kretanje i deformisanje fluidnog delića	124
4.5.2.	Brzina deformisanja fluidnog delića	128
4.5.3.	Kontrolne zapremine	130
4.6.	Protok fluida	131
4.6.1.	Maseni i zapreminski protok fluida	131
4.6.1.1.	Gausova teorema	133
4.7.	Jednačina kontinuiteta	133
4.8.	Vrste strujnih polja. Kinematska podela strujanja	136
4.8.1.	Potencijalno strujanje	136
4.8.2.	Vrtložno strujanje	137
4.8.3.	Teorema Kuta–Žukovskog	141

4.9. Režimi strujanja	142
4.9.1. Rejnoldsov ogled	142
5. DINAMIKA FLUIDA	145
5.1. Dinamika neviskoznog (idealnog) fluida	145
5.1.1. Ojlerove jednačine za dinamiku neviskoznog (idealnog) fluida	145
5.1.2. Bernulijev integral Ojlerovih jednačina	148
5.1.3. Bernulijeva jednačina za nestišljiv fluid	149
5.1.4. Primena Bernulijeve jednačine za nestišljiv fluid	150
5.1.5. Bernulijeva jednačina za stišljivi fluid	153
5.1.6. Strujanje gasa kroz Lavalovu mlaznicu	157
5.2. Dinamika viskoznog fluida	160
5.2.1. Sile u viskoznom fluidu	161
5.2.2. Navije-Stoksove jednačine	164
5.3. Primeri rešavanja problema iz dinamike fluida	168
5.3.1. Bernulijeva jednačina za nestišljiv fluid	168
6. LAMINARNI GRANIČNI SLOJ	173
6.1. Šta je granični sloj?	174
6.2. Osnovne jednačine strujanja u laminarnom graničnom sloju	176
7. TURBULENTNA STRUJANJA FLUIDA.....	181
7.1. Statistička priroda turbulentnih tokova	183
7.2. Modeliranje turbulentnih strujanja	183
7.3. Turbulentni granični sloj	184
7.4. Razvoj graničnog sloja i gubitak energije	185
7.4.1. Integralni oblik jednačine količine kretanja za granični sloj..	185
7.5. Laminarno-turbulentni prelazna oblast	187
7.6. Odvajanje graničnog sloja	188
7.7. Turbulentni vrtložni trag	190
7.8. Atmosferska turbulencija	191
8. PRIMENJENA MEHANIKA FLUIDA	193
8.1. Srednje vrednosti hidromehaničkih veličina	193
8.1.1. Srednja brzina	194
8.1.2. Količina kretanja	195
8.1.3. Kinetička energija	196

8.2. Strujanje realne tečnosti	197
8.2.1. Bernulijeva jednačina za realnu tečnost	197
8.2.2. Hidraulički otpori	197
8.2.3. Strujanje tečnosti kroz cevi	200
8.2.4. Proračun cevovoda	203
8.2.5. Isticanje tečnosti kroz mali otvor	208
8.2.6. Isticanje kroz velike otvore	214
8.3. Primeri rešavanja problema iz primenjene mehanike fluida	216
8.3.1. Jednostavan cevovod	216
8.3.2. Složen cevovod	220
8.3.3. Isticanje kroz male otvore	232
8.3.4. Isticanje kroz velike otvore	236
9. TEORIJA SLIČNOSTI I DIMENZIJSKA ANALIZA	241
9.1. Sličnost strujanja	241
9.2. Dimenzijska analiza i π – teorema	247
10. DODATAK.....	253
10.1. Geometrijske karakteristike ravnih figura.....	253
10.2. Elementi teorije polja	257
10.2.1. Skalarno polje.....	257
10.2.2. Vektorsko polje	258
10.2.3. Neka svojstva gradijenta, divergencije i rotora	258
10.2.4. Fluks i cirkulacija	259
Literatura	261
Srpsko-engleski rečnik i pojmovnik.....	263
Beleška o autorima	269

Predgovor

Udžbenik *Mehanika fluida* je prvenstveno namenjen studentima vazdušnog i vodnog modula Saobraćajnog fakulteta u Beogradu. On je rezultat dugogodišnjeg nastavničkog rada na istoimenom predmetu koji je umnogome odredio njegov sadržaj, obim i koncepciju. Materija u ovom udžbeniku je predstavljena na način koji je prilagođen savremenim trendovima i koji je u potpunosti prilagođen postignućima studenata Saobraćajnog fakulteta ali po svom sadržaju i načinu prezentacije on može biti od izuzetne koristi i studentima drugih tehničkih fakulteta koji slušaju predmete iz oblasti mehanike fluida.

U pogledu metodsko-pedagoškog pristupa, težilo se da materija bude izložena postupno, jednostavno i jasno. Na kraju određenih poglavlja predstavljeni su primeri rešavanja problema u vidu zadataka. Želja autora je bila da ovi primeri pomognu boljem razumevanju prethodno izložene teorije, ali i rešavanju realnih problema sa kojima će se studenti, kao budući inženjeri, susretati u praksi.

Autori izražavaju zahvalnost recenzentu dr Predragu Cvetkoviću, redovnom profesoru Saobraćajnog fakulteta u penziji i dr Aleksandru Ćoćiću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Beogradu, koji su rukopis pažljivo pregledali i dali niz dragocenih i korisnih sugestija. Njihova pomoć pri izradi ove knjige prevazilazi uobičajenu pomoć recenzenta i kolega.

I pored uloženog truda da tekst bude razumljiv i bez propusta i grešaka, svesni smo da do njih uvek dolazi. Svim čitaocima koji nam na njih ukažu unapred se zahvaljujemo.