

SADRŽAJ

Napomena: Točke označene s * nije nužno čitati u prvom upoznavanju s gradivom Hidromehanike. Zainteresirani čitatelj za stjecanje znanja većeg od osnovnog, te točke treba proučiti u drugom čitanju, u cjelini s neoznačenima.

1. poglavlje	SVOJSTVA TVARI	1
1.	Uvod	1
2.	Podsjetnik iz mehanike materijalne točke	1
2.1.	Materijalna točka	1
2.2.	Brzina	2
2.3.	Ubrzanje	2
2.4.	Drugi Newtonov zakon	2
2.5.	Promjena količine gibanja	2
2.6.	Promjena kinetičke energije i rad sila	2
2.6.1.	Rad u polju sile teže, potencijalna energija	3
2.6.2.	Opće konzervativno polje sila	5
2.6.3.	Rad nekonzervativnih sila	5
2.7.	Snaga	6
3.	Osnovni pojmovi i fizikalna svojstva	7
3.1.	Pristup određivanju svojstava tvari	7
3.2.	Faze tvari	7
3.3.	Gustoća, specifični volumen i količina tvari	10
3.4.	Prijenos sila kroz tvari. Naprezanje i tlak	12
3.4.1.	Vrste sila	12
3.4.2.	Naprezanje	12
3.4.3.	Naprezanja u čvrstoj tvari	13
3.4.4.	Tlak u kapljevitini	14
3.4.5.	Tlak u plinu	15
3.4.6.	Atmosferski tlak, podtlak i nadtak	16
3.5.	Reološka podjela tvari	17
3.5.1.	Reološki pojam tekućine	17
3.5.2.	Idealna tekućina	18
3.5.3.	Realna tekućina. Viskoznost	19
3.6.	Stišljivost tekućina	19
3.7.	Brzina širenja stišljivih pojava. Brzina zvuka	20
3.8.	Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i kapljevitina	21
3.8.1.	Linearno rastezanje	21
3.8.2.	Površinsko i volumensko rastezanje	22
3.9.	Promjena agregatnog stanja. Latentna toplina	23
3.10.	Toplinski kapacitet	24

3.11.	Provođenje topline	26
3.11.1.	Konduktivno provođenje topline – vođenje topline	26
3.11.2.	Prijenosno ili konvektivno provođenje topline	28
3.11.3.	Toplinsko zračenje	28
3.12.	Površinske pojave	28
3.12.1.	Površinska napetost i kapilarnost	28
3.12.2.	Adsorpcija i apsorpcija	30
4.	Jednadžba stanja tvari	31
4.1.	p - V - T ploha	31
4.1.1.	Fazni dijagram, p - T projekcija. Kritična i trojna točka	32
4.1.2.	Fazni dijagram, p - V projekcija	33
4.2.	Jednadžba stanja plinova	34
4.2.1.	Boyle-Mairotteov zakon	34
4.2.2.	Gay-Lussacov zakon	34
4.2.3.	Charlesov zakon	35
4.2.4.	Jednadžba stanja idealnog plina	35
4.2.5.	Jednadžba stanja realnog plina – van der Waalsova jednadžba	37
5.	Termodinamički zakoni	38
5.1.	Pojam unutarnje energije sustava	38
5.2.	Prvi termodinamički zakon	38
5.2.1.	Promjena unutrašnje energije	38
5.2.2.	Rad zatvorenog sustava	39
5.3.	Entalpija	40
5.3.1.	Definicija	40
5.3.2.	Otvoreni termodinamički sustav	40
5.3.3.	Protjecanje kroz sustav	42
5.3.4.	Izobarno zagrijavanje	43
5.4.	Termodinamički procesi	44
5.4.1.	Politropa	47
5.4.2.	Kružni procesi	47
5.5.	Drugi termodinamički zakon	48
5.6.	Entropija	49
2.	poglavlje HIDROSTATIKA	51
1.	Sile koje djeluju na tekućinu u stanju mirovanja	51
1.1.	Volumenske sile	51
1.1.1.	Težina	51
1.1.2.	Opće vanjsko polje sila	52
1.2.	Površinske sile	53
1.2.1.	Normalne površinske sile – sile tlaka	53
1.2.2.	Sferno djelovanje tlaka	53
1.3.	Ravnoteža	54

2.	Hidrostatika u polju sile teže	55
2.1.	Jednadžba hidrostatike u polju sile teže	55
2.1.1.	Stišljiva tekućina	55
2.1.2.	Nestišljiva tekućina ($\rho = const$)	56
2.1.3.	Hidrostatika atmosfere*	56
2.2.	Potencijalna energija tekućine u polju sile teže	59
2.3.	Tlak na ravne plohe	60
2.3.1.	Dijagram tlaka	60
2.3.2.	Veličina tlačne sile i hvatište	61
2.3.3.	Hvatište sile na površinu proizvoljnog oblika (središte ili centar tlaka)	62
2.4.	Tlak na poligonalne ravne plohe	64
2.5.	Tlak na zakrivljene plohe. Komponente tlaka	64
2.6.	Integral tlaka po projekciji	67
2.7.	Hidrostatski uzgon	69
2.7.1.	Arhimedov zakon	69
2.7.2.	Stabilnost uronjenih i plivajućih tijela	70
2.8.	Hidrostatski paradoks	71
3.	Hidrostatika u općem polju sile*	72
3.1.	Integralni oblik jednadžbe hidrostatike	72
3.2.	Eulerova jednadžba hidrostatike	72
3.3.	Lagrangeova jednadžba hidrostatike	73
3.4.	Diferencijalni oblik jednadžbe hidrostatike	74
3.5.	Potencijalna energija tekućine u općem polju sile	75
3. poglavlje	KINEMATIKA TEKUĆINA	77
1.	Gibanje tijela tekućine	77
1.1.	Sustav praćenja gibanja	77
1.2.	Kontrolni volumen	78
1.3.	Oblici gibanja čestica tekućine	79
2.	Putanje ili trajektorije	79
3.	Strujnice – brzinsko polje	79
4.	Strujna cijev	80
4.1.	Masa čestice tekućine u gibanju po strujnici	80
4.2.	Protok mase kroz strujnu cijev	81
5.	Trag ili krivulja izrona	82
6.	Vrtložno vlakno	82
7.	Vrtložna cijev	82
8.	Stacionarno gibanje po strujnicama	83
8.1.	Jednadžba kontinuiteta za stacionarno strujanje	83
8.2.	Deformacija čestice tekućine, volumenska dilatacija*	84
9.	Zakon održanja ekstenzivnog polja*	86
9.1.	Integralni oblik zakona održanja	86

9.2.	Reynoldsov prijenosni poučak	87
9.3.	Zakon održanja za kontrolni volumen	90
9.4.	Diferencijalni oblik zakona održanja	91
9.5.	Jednadžba kontinuiteta u prostornom strujanju	92
9.6.	Materijalna (supstancijalna) derivacija	92
10.	Nestacionarno gibanje po strujnicama*	94
10.1.	Jednadžba kontinuiteta za strujnu cijev	94
10.2.	Materijalna derivacija za strujanje po strujnici	95
4.	poglavlje POTENCIJALNO STRUJANJE	97
1.	Bezvrtložno strujanje	97
2.	Ćirkulacija	99
3.	Brzinski potencijal	101
4.	Strujna mreža	102
4.1.	Jednadžba ekvipotencijale	102
4.2.	Strujna funkcija	102
4.3.	Jednadžba strujnice	104
4.4.	Svojstva ekvidistantne strujne mreže	104
5.	Jednadžba potencijalnog strujanja	105
5.1.	Formulacija za brzinski potencijal	105
5.2.	Formulacija za strujnu funkciju	106
5.3.	Rubni uvjeti	106
6.	Postupci rješavanja potencijalnog strujanja	108
6.1.	Toćni postupci – analitićke metode*	108
6.1.1.	Konformno preslikavanje	109
6.1.2.	Inverzno konformno preslikavanje	112
6.1.3.	Transformacije koordinatnog sustava	114
6.1.4.	Kompleksni potencijal elementarnih oblika strujanja i njihove kombinacije	115
6.1.5.	Optjecanje valjka u neogranićenom prostoru	124
6.1.6.	Jednoliko gibanje valjka u mirnoj tekućini	126
6.1.7.	Brzinski potencijal jednolikog gibanja kugle u mirnoj tekućini	128
6.1.8.	Posebne metode konformnog preslikavanja	128
6.2.	Približni postupci	129
6.2.1.	Grafićke konstrukcije	129
6.2.2.	Analogni postupci	130
6.2.3.	Numerićki postupci – metoda konaćnih razlićka*	132
7.	Numerićko modeliranje potencijalnog strujanja	140
7.1.	Osnovni fizikalni pristup, metoda podpodrućja ili metoda zakona održanja	140
7.1.1.	Diskretizacija – konaćni elementi	140
7.1.2.	Oblik približnog rješjenja	141
7.1.3.	Matrica vodljivosti konaćnog elementa	143

7.1.4.	Globalni sustav jednadžbi – matrica globalnih vodljivosti G	145
7.2.	Varijacijska formulacija potencijalnog strujanja	147
7.3.	Numeričko rješenje za nekaku formulaciju	149
7.4.	Programsko rješenje potencijalnog strujanja	151
7.5.	Relativne vrijednosti brzinskog potencijala	153
7.6.	Određivanje brzine uzduž strujnice	153
5.	poglavlje DINAMIKA IDEALNIH TEKUĆINA	157
1.	Promjena količine gibanja u stacionarnom strujanju	157
2.	Dinamička jednadžba stacionarnog strujanja uzduž strujnice	159
2.1.	Nestišljiva tekućina	159
2.1.1.	Bernoullijeva jednadžba za nestišljivu tekućinu	159
2.1.2.	Zakon održanja snage toka	166
2.2.	Stišljiva tekućina	167
2.2.1.	Energijska jednadžba	167
2.2.2.	Entalpijsko strujanje	168
2.2.3.	Dinamička jednadžba	169
2.2.4.	Podzvučne i nadzvučne brzine. Machov broj	171
2.2.5.	Stacionarno izentropijsko strujanje u konvergentnoj mlaznici	172
2.2.6.	Strujanje plina kod malih brzina	174
2.2.7.	Stacionarno izentropijsko strujanje u konvergentno divergentnoj mlaznici	176
3.	Dinamička jednadžba nestacionarnog strujanja uzduž strujnice*	176
3.1.	Dinamička jednadžba izvedena iz održanja energije	176
3.2.	Centrifugalno ubrzanje	179
3.3.	Dinamička ravnoteža okomito na strujnice	180
3.4.	Dinamička jednadžba izvedena iz ravnoteže sila	182
3.5.	Rasprava uz izvode dinamičke jednadžbe	184
4.	Dinamička jednadžba za strujanje idealne tekućine u prostoru*	184
4.1.	Eulerova i Lagrangeova jednadžba	184
4.2.	Specifična energija bezvrtložnog strujanja	187
4.3.	Valjanost Bernoullijeve jednadžbe	188
5.	Određivanje hidrodinamičkog tlaka i sila	189
5.1.	Opterećenje valjka u stacionarnoj jednolikoj struji	189
5.1.1.	Raspodjela tlaka po valjku	189
5.1.2.	Hidrodinamička sila optjecanja. D'Alembertov paradoks	190
5.2.	Nestacionarno gibanje tijela u mirnoj tekućini. Prividna masa*	191
5.2.1.	Hidrodinamička sila za nestacionarno gibanje valjka	191
5.2.2.	Prividna i dodana masa u nestacionarnom gibanju valjka	193
5.2.3.	Dodana masa u nestacionarnom gibanju kugle u mirnoj tekućini	195

5.2.4.	Opće jednadžbe gibanja krutog tijela kroz tekućinu koja miruje	195
5.2.5.	Dodane mase u nestacionarnom gibanju nekih tijela u mirnoj tekućini	196
6.	poglavlje DINAMIKA REALNIH TEKUĆINA	199
1.	Disipacija mehaničke energije	199
1.1.	Raspodijeljena sila otpora	199
1.2.	Koncentrirana sila otpora	202
2.	Vrste strujanja	203
2.1.	Reynoldsovi pokusi	203
2.2.	Nestabilnost laminarnog strujanja	205
2.3.	Karakteristike turbulencije	206
2.4.	Turbulentna ili virtualna naprezanja	207
2.5.	Granični sloj na ravnoj ploči	208
2.6.	Debljine graničnog sloja	209
2.7.	Trenje po podlozi u graničnom sloju	210
3.	Hidrodinamički otpori u cijevima i kanalima	213
3.1.	Granični sloj u cijevima i kanalima	213
3.2.	Snaga stacionarnog strujanja. Coriolisov broj	214
3.3.	Disipacija energije uslijed trenja	217
3.4.	Darcy-Weisbachov izraz	218
3.5.	Dinamička jednadžba stacionarnog strujanja	218
4.	Koeficijent otpora strujanju u cijevima	219
4.1.	Laminarno strujanje	219
4.1.1.	Hagen-Poiseuilleov zakon	219
4.1.2.	Otpori u laminarnom strujanju	222
4.2.	Turbulentno strujanje	223
4.2.1.	Struktura turbulentnog graničnog sloja	223
4.2.2.	Utjecaj hrapavosti	224
4.2.3.	Moodyjev dijagram	226
4.2.4.	Ekvivalentna hidraulička hrapavost	227
5.	Otpori oblika	229
5.1.	Svojstva graničnog sloja s gradijentom tlaka	229
5.2.	Odvajanje graničnog sloja	230
5.3.	Hidrodinamička sila optjecanja	231
5.3.1.	Koeficijenti otpora oblika	231
5.3.2.	Karmanova vrtložna staza	236
5.3.3.	Karmanova sila	238
5.4.	Opterećenje objekata u struji tekućine	239
5.4.1.	Proračun napadne sile	239
5.4.2.	Vibracije uzrokovane nestabilnim točkama odvajanja graničnog sloja	240
5.4.3.	Kišne vibracije	243

5.4.4.	Postupci otklanjanja vibracija uzrokovanih strujom tekućine	244
5.5.	Nestacionarno gibanje tijela kroz mirnu tekućinu	244
5.5.1.	Dinamička jednadžba	244
5.5.2.	Brzina tonjenja	245
5.6.	Odvajanje graničnog sloja u cijevima i/ili kanalima	246
6.	Ostali otpori	247
6.1.	Otpori uslijed promjena smjera strujanja – lomovi i krivine	247
6.2.	Otpori valova	249
7.	Lokalni gubitci mehaničke energije	249
7.1.	Koeficijent lokalnog gubitka energije	249
7.2.	Nagle promjene protočnog presjeka	250
7.2.1.	Zaslon u cijevi	250
7.2.2.	Naglo proširenje	252
7.2.3.	Naglo suženje	254
7.3.	Ostali lokalni gubitci mehaničke energije	256
8.	Proračun strujanja u cjevovodima	257
8.1.	Integracija dinamičke jednadžbe stacionarnog strujanja	257
8.2.	Linijski i lokalni gubitci	258
8.3.	Primjer proračuna istjecanja	258
8.4.	Pogonska hrapavost, odnos linijskih i lokalnih otpora	261
7. poglavlje	HIDRODINAMIKA ISTJECANJA I PRELIJEVANJA	265
1.	Osobine slobodnog istjecanja	265
1.1.	Istjecanje bez utjecaja sile teže	265
1.2.	Istjecanje u polju sile teže	268
2.	Osobine potopljenog istjecanja	269
3.	Istjecanje kroz male otvore i nasatke	271
3.1.	Istjecanje kroz mali otvor na dnu	271
3.2.	Istjecanje kroz mali bočni otvor	272
3.3.	Potopljena istjecanja kroz male otvore	272
3.4.	Istjecanje kroz nasatke	273
4.	Istjecanje kroz velike otvore	275
4.1.	Istjecanje kroz veliki bočni otvor	275
4.2.	Poseban slučaj istjecanja kroz veliki otvor	276
4.2.1.	Proračun koeficijenta kontrakcije prema literaturnim podacima	276
4.2.2.	Proračun protoka	278
4.3.	Potopljeno istjecanje ispod zapornice	279
5.	Oštrobridni preljevi	280
5.1.	Pravokutni oštrobridni preljevi	280
5.1.1.	Bazainov preljev	280
5.1.2.	Pravokutni preljevi s nagnutim pragom	283
5.2.	Bočna kontrakcija – Poincelletov preljev	288

5.3.	Utjecaj ozračenja mlaza	289
5.4.	Oblici noža oštrobriđnih mjernih preljeva	290
5.5.	Nestandardni oblici pravokutnih oštrobriđnih preljeva	291
5.6.	Oštrobriđni trokutni preljevi	291
5.7.	Trapezni preljevi	293
5.8.	Okrugli i paraboliđni preljevi	293
6.	Bezvakuumski preljevi	294
6.1.	Preljevni obris bezvakuumskog preljeva	294
6.2.	Creager-Oficerov preljev	298
6.3.	Preljevna kruna po WES-standardu	299
6.4.	Zaključna rasprava	301
8.	poglavlje STRUJANJE U OTVORENIM KORITIMA	305
1.	Energijska jednadžba stacionarnog strujanja u koritu	305
2.	Stacionarno strujanje u blago nagnutom koritu	307
3.	Jednoliko strujanje u blago nagnutom koritu	308
3.1.	Brzina jednolikog strujanja u koritu	308
3.2.	Protođna krivulja	312
3.2.1.	Protođna krivulja jednostavnih presjeka	312
3.2.2.	Protođna krivulja u složenim koritima	313
3.3.	Specifiđna energija u presjeku	316
3.3.1.	Kritiđna dubina, mirno, silovito i kritiđno strujanje	316
3.3.2.	Froudeov broj	317
3.3.3.	Specifiđna energija i Froudeov broj u složenom presjeku	318
3.3.4.	Kritiđni protok	321
3.3.5.	Kritiđni pad i prorađun vrste strujanja	321
3.3.6.	Brzina elementarnog vala	323
3.4.	Programska rješenja za jednoliko strujanje	325
4.	Nejednoliko strujanje u blago nagnutim koritima	327
4.1.	Nejednoliko blago promjenjivo strujanje	327
4.1.1.	Osobine nejednolikog strujanja	327
4.1.2.	Jednadžba vodnog lica	328
4.1.3.	Oblici vodnog lica za prizmatička korita	330
4.1.4.	Prorađun nejednolikog strujanja neposrednom primjenom krivulje specifiđne energije	332
4.1.5.	Prorađun nejednolikog strujanja modificiranom primjenom krivulje specifiđne energije	334
4.1.6.	Programska rješenja prorađuna nejednolikog strujanja	335
4.2.	Nagle promjene popređnog presjeka	337
5.	Jednoliko strujanje u brzotoku	340
5.1.	Brzina jednolikog strujanja u brzotoku	340
5.2.	Specifiđna energija u presjeku brzotoka	341

5.3.	Froudeov broj brzotoka	341
6.	Nejednoliko strujanje u brzotoku	343
6.1.	Diferencijalna jednadžba vodnog lica u brzotoku	343
6.2.	Uvlačenje zraka u brzotok	345
7.	Vodni skok i slapište	346
7.1.	Pojava vodnog skoka	346
7.2.	Spregnute dubine i dužina vodnog skoka	348
7.3.	Disipacija energije u vodnom skoku	350
7.4.	Potopljenost i položaj vodnog skoka	351
7.5.	Slapište i kaskada	352
7.5.1.	Oblikovanje slapišta	352
7.5.2.	Proračun slapišta	353
7.5.3.	Proračun kaskada	356
8.	Nekonzervativno strujanje u koritu*	357
8.1.	Jednadžbe nekonzervativnog strujanja	357
8.2.	Jednadžba vodnog lica bočnog preljeva	361
8.3.	Specifična energija strujanja	362
8.4.	Integracija jednadžbi bočnog prelijevanja	363
9.	Stabilnost kanala i gibanje nanosa	366
9.1.	Pokretanje nanosa. Shieldsov dijagram	366
9.2.	Oblici gibanja pješčanog i šljunčanog nanosa	368
9.3.	Proračun stabilnosti kanala	368
9.4.	Gibanje riječnog nanosa	370
9.4.1.	Erozija sliva i prirodna morfološka ravnoteža	370
9.4.2.	Protok nanosa	372
9. poglavlje	STRUJANJE PODZEMNIH VODA	375
1.	Osnovni pojmovi o pojavi i istraživanju podzemnih voda	375
1.1.	Uvod	375
1.2.	Istražni radovi i podloge	376
1.3.	Vrste vodonosnih slojeva	377
2.	Voda u tlu	378
2.1.	Sastav tla, klasifikacija s obzirom na vrstu pora	378
2.2.	Poroznost tla	379
2.3.	Zasićeno i nezasićeno područje	381
2.3.1.	Ravnotežni profil vlažnosti	381
2.3.2.	Neravnotežni profil vlažnosti	382
2.3.3.	Aktivna (efektivna) poroznost	383
3.	Hidrodinamički zakoni	384
3.1.	Brzina procjeđivanja	384
3.2.	Darcyjev zakon	385
3.2.1.	Linearni zakon procjeđivanja	385
3.2.2.	Poopćenje Darcyjeva zakona	389
3.2.3.	Donja granica valjanosti Darcyjevog zakona	395

4.	Stacionarno procjeđivanje	396
4.1.	Jednadžba stacionarnog procjeđivanja	396
4.2.	Strujna mreža	397
4.3.	Prijelom strujnice	399
4.4.	Fizikalni smisao strujne mreže	400
4.5.	Rubni uvjeti	401
4.5.1.	Primjeri rubnih uvjeta	401
4.5.2.	Vrelna ploha	404
4.5.3.	Određivanje položaja vodnog lica i veličine vrelne plohe	406
4.6.	Utjecaj anizotropije*	407
4.6.1.	Utjecaj anizotropije na strujnu sliku	407
4.6.2.	Veličina anizotropije koeficijentata procjeđivanja	408
4.7.	Hidrodinamička raspodjela tlaka	412
4.7.1.	Izračunavanje hidrodinamičkog tlaka	412
4.7.2.	Uzgon na branu	413
4.8.	Tlačna sila u procjeđivanju	416
5.	Postupci rješavanja problema procjeđivanja	419
5.1.	Analički postupci	419
5.2.	Analogni postupci	419
5.2.1.	Elektroanalogija	419
5.2.2.	Viskozna analogija	420
5.2.3.	Ostale vrste analogija	421
5.2.4.	Procjena rješenja	422
5.3.	Numerički postupci	423
5.3.1.	Metoda područja ili metoda zakona održanja	423
5.3.2.	Nejaka formulacija problema procjeđivanja – metoda konačnih elemenata	427
5.3.3.	Programsko rješenje	428
6.	Hidraulička teorija strujanja podzemnih voda	431
6.1.	Približno horizontalno strujanje – Dupuitova pretpostavka	431
6.2.	Potencijal Girinskog	433
6.3.	Vodozahvati	434
6.3.1.	Vodozahvatna galerija	434
6.3.2.	Potpuni zdenci	435
6.3.3.	Nepotpuni vodozahvati i denivelacija na zdencima	439
6.3.4.	Grupe zdenaca u ravnini	443
6.3.5.	Zdenac pod tlakom u poluravnini uz vodotok	444
6.3.6.	Zdenac pod tlakom u poluravnini uz nepropusni rub	446
7.	Određivanje hidrauličkih parametara vodonosnika	447
7.1.	Stacionarno crpljenje istražnog zdenca	447
7.1.1.	Izvedba istražnog zdenca i obrada stacionarnih mjerenja	447
7.1.2.	Radijus utjecaja zdenca	450
7.2.	Nestacionarno crpljenje istražnog zdenca	451
7.2.1.	Bousinesqueova jednadžba nestacionarnog strujanja podzemnih voda	451

7.2.2.	Rješenje za nestacionarno crpljenje zdenca	453
7.2.3.	Izvedba istražnog zdenca i obrada nestacionarnih podataka	455
8.	Strujanje nemiješajućih kapljevina*	460
8.1.	Opis pojave	460
8.2.	Ghyben-Hertzbergov zakon	461
8.3.	Rubni uvjeti stacionarnog procjeđivanja nemiješajućih kapljevina	462
8.4.	Približno horizontalno strujanje nemiješajućih kapljevina	466
9.	Strujanje podzemne vode u kršu*	467
9.1.	Uvod	467
9.2.	Istražni radovi u krškom slivu	468
9.3.	Struktura krša	468
9.3.1.	Kanalsko i difuzno strujanje	468
9.3.2.	Provodljivost i poroznost podzemnog kanalskog sustava u kršu	469
9.4.	Osnovni model strujanja podzemne vode u kršu	470
9.4.1.	Procesni pristup	470
9.4.2.	Diskretizacija	471
9.4.3.	Jednadžba kontinuiteta	472
9.4.4.	Dinamička jednadžba	472
9.4.5.	Sustav jednadžbi	473
9.5.	Glavni razvojni oblici krških pojava u dinarskom području	474
9.5.1.	Vrtače, škripi, lokve i odušni prostori	474
9.5.2.	Izvori, ponori	475
9.5.3.	Polje	476
9.5.4.	Vrulje	477
10.	poglavlje DIMENZIONALNA ANALIZA I MODELSKA SLIČNOST	479
1.	Dimenzionalna homogenost fizikalnih jednadžbi	479
2.	Određivanje strukture fizikalnih izraza	481
2.1.	Osnovni pristup	481
2.2.	Buckinghamov Pi postupak	482
3.	Modelska sličnost	485
3.1.	Geometrijska sličnost	485
3.2.	Kinematička sličnost	485
3.3.	Dinamička sličnost	486
3.3.1.	Froudeova sličnost	487
3.3.2.	Reynoldsova sličnost	488
3.3.3.	Eulerova sličnost	488
3.3.4.	Cauchyjeva sličnost	489
3.3.5.	Weberova sličnost	489
3.4.	Opća sličnost	489

11. poglavlje	PROGRAMSKA RJEŠENJA	491
1.	Uvod	491
1.1.	Računalna točnost	492
2.	Numeričko rješavanje problema s početnim uvjetima	494
2.1.	Sustav jednadžbi	494
2.2.	Eksplisitni postupak	496
2.3.	Implicitni postupak	496
2.4.	Mješoviti postupak	497
2.5.	Runge-Kuttin postupak	497
2.5.1.	Metoda četvrtog reda	497
2.6.	Runge-Kutta-Fehlbergov postupak	498
2.6.1.	Smisao metode	498
2.7.	Programsko rješenje – modul <code>ObicneDj</code>	500
2.8.	Programski izvornik – modul <code>ObicneDj</code>	503
2.9.	Primjer korištenja modula <code>ObicneDj</code> – oscilacije dviju masa	507
3.	Rješenje linearnog algebarskog sustava jednadžbi	512
3.1.	Uvod	512
3.2.	Potprogram <code>PuniSustav</code>	513
3.3.	Potprogram <code>PojasniSustav</code>	515
4.	Programsko rješenje za potencijalno strujanje	516
4.1.	Organizacija programskog rješenja	516
4.2.	Unos podataka – dinamička alokacija memorije	517
4.3.	Slaganje globalnog sustava jednadžbi	518
4.4.	Rubni uvjeti	519
4.5.	Rješavanje sustava jednadžbi i ispis rezultata	519
4.6.	Izvornik programskog rješenja <code>PotencijalnoStrujanje</code>	519
5.	Otpori strujanju u cijevima	522
5.1.	Modul <code>Moody</code>	522
5.2.	Kalkulator za proračun strujanja u cijevima	524
6.	Otvoreni vodotoci	526
6.1.	Programsko rješenje jednolikog strujanja u trapeznom i pravokutnom koritu	526
6.2.	Programska rješenja za nejednoliko strujanje	534
6.2.1.	Integracija jednadžbe vodnog lica Runge-Kuttinim postupkom	534
6.2.2.	Integracija energijske jednadžbe Runge-Kuttinim postupkom	538
6.2.3.	Integracija energijske jednadžbe Runge-Kutta-Fehlbergovim postupkom	543
7.	Podzemne vode	546
7.1.	Programsko rješenje <code>Relax</code>	546
7.1.1.	Organizacija programskog rješenja <code>Relax</code>	546
7.1.2.	Izvornik programskog rješenja <code>Relax</code>	549
7.2.	Programsko rješenje <code>Filtracija</code>	553

7.2.1.	Organizacija programskog rješenja Filtracija	553
7.2.2.	Format ulazne datoteke za Program Filtracija	554
7.2.3.	Izvornik programskog rješenja Filtracija	555
7.3.	Eksponencijalna integralna funkcija	559
12.	poglavlje VJEŽBE	561
1.	Svojstva tekućina	561
2.	Hidrostatika u polju sile teže	566
3.	Hidrostatika u općem polju sila*	579
4.	Kinematika tekućina	586
5.	Potencijalno strujanje	588
6.	Dinamika idealnih tekućina – stacionarno strujanje	594
7.	Dinamika idealnih tekućina – nestacionarno strujanje*	607
7.1.	Programsko rješenje VodnaKomora	618
8.	Dinamika realnih tekućina	621
8.1.	Izvornik programskog modula Putanja	624
9.	Hidrodinamika istjecanja i prelijevanja	643
10.	Strujanje u otvorenim koritima	658
11.	Strujanje podzemnih voda	668
11.1.	Primjena programskih rješenja Relax i Filtracija	672
11.1.1.	Rješenje programom Relax	673
11.1.2.	Rješenje programom Filtracija	675
11.1.3.	Usporedba rješenja dobivenih programima Relax i Filtracija	676
11.1.4.	Rješenje za slučaj anizotropnog tla	677
11.2.	Programsko rješenje KrsKaoJadro*	686
11.2.1.	Primjena osnovnog numeričkog modela na sliv rijeka Jadro	687
11.2.2.	Opis programskog rješenja KrsKaoJadro	688
11.2.3.	Programski izvornik KrsKaoJadro	689
12.	Dimenzionalna analiza i modelska sličnost	693
Dodatak A	FIZIKALNA SVOJSTVA TEKUĆINA	697
Dodatak B	INDEKSNA PRAVILA	705
1.	Nijemi indeksi	705
2.	Slobodni indeksi	706
3.	Kroneckerov jedinični delta simbol	707
4.	Permutacijski simbol	709
5.	Operacije pomoću indeksnih izraza	709
5.1.	Uvrštavanje	709

5.2.	Množenje	710
5.3.	Transponiranje	710
5.4.	Faktorizacija	710
5.5.	Sažimanje ili kontrakcija	711

Dodatak C VAŽNIJI MATEMATIČKI POUČCI 713

1.	Elementarne formule vektorskog računa	713
1.1.	Koordinate vektora	713
1.2.	Linearne kombinacije vektora	713
1.3.	Zbrajanje vektora	714
1.4.	Produkt skalara i vektora	714
1.5.	Množenje vektora	714
1.5.1.	Skalarni produkt	714
1.5.2.	Vektorski produkt	715
1.5.3.	Dvostruki vektorski produkt	715
1.5.4.	Mješoviti produkt	715
2.	Vektorski operatori	716
2.1.	Gradijent skalarnog polja	716
2.2.	Divergencija vektorskog polja	716
2.3.	Laplaceov operator	717
2.4.	Rotor	717
2.5.	Prijenosni ili konvektivni operator	717
3.	Integralne pretvorbe	719
3.1.	Poučak Green-Gauss-Ostrogradskog	719
3.1.1.	Greenov poučak	719
3.1.2.	Poučak Gauss-Ostrogradskog	720
3.1.3.	Integrali po projekciji (GGO) poučak	720
3.2.	Stokesov poučak – cirkulacija	720
3.3.	Parcijalna integracija	720
4.	Leme varijacijskog računa	721
4.1.	Prva lema varijacijskog računa	721
4.2.	Druga lema varijacijskog računa	721

Dodatak D OPTJECANJE I LOKALNI OTPORI 723

1.	Napadna sila optjecanja	723
2.	Lokalni otpori – uvod	723
3.	Otpori na ulaznim objektima	726
4.	Postupni prijelazi	727
4.1.	Postupno proširenje	727
4.2.	Postupno suženje	727
5.	Oštri lom	728
6.	Koljeno – kružni luk	729

7.	Zatvarači i armature	730
7.1.	Pločasti zatvarači i zasuni	730
7.1.1.	Zasuni i slični zatvarači	732
7.2.	Leptirasti zatvarači	732
7.3.	Valjkasti, kuglasti zatvarači i slavine	732
7.4.	Ušisna košarica	734
8.	Rešetke	734
8.1.	Djelomično potopljene rešetke	734
8.2.	Potpuno potopljene rešetke	736
9.	Račve	737
9.1.	Okomite 'T' račve	737
9.1.1.	Spajanje protoka na glavnu cijev	737
9.1.2.	Račvanje protoka	738
9.2.	Kose račve	738
9.2.1.	Spajanje protoka na glavnu cijev	738
9.2.2.	Račvanje protoka	739
	Kazalo pojmova	741