

Čedo Maksimović

MERENJA U HIDROTEHNICI



*Peritus tractandæ virgulæ furcatæ
ad inquirendas venas.*

Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

OD ISTOG AUTORA:

D. Obradović, M. Radojković, Č. Maksimović

Primena računara u komunalnoj hidrotehnici

Naučna knjiga, Beograd, 1989

G. Hajdin, Č. Maksimović, M. Ivetić, A. Špoljarić

Zadaci iz mehanike fluida sa ispita održanih u 1974. i 1975. god

Naučna knjiga, Beograd, 1990

Č. Maksimović, M. Radojković

Urban Drainage Catchments

Pergamon Press, Oxford, 1986

A. Ichikawa, Č. Maksimović

都市域の雨水流出とその抑制 (Urban Runoff and Its Reduction)

Kashima Publishers, Tokyo, 1988

Č. Maksimović

Operational Hydrology in Urban Areas

Vol. 4.: Measurement of Urban Water Quantity (u štampi)

Svetska Meteorološka Organizacija, 1993

Č. Maksimović, M. Radojković

Fundamentals and Application of Urban Storm Drainage

(autorizovana skripta za međunarodne kurseve iz urbanog odvodnjavanja)

WARREDOC, Perugia, 1992

Č. Maksimović, M. Radojković (editors)

Urban Drainage Modelling

Pergamon Press, Oxford, 1986

C.A. Brebbia, Č. Maksimović, M. Radojković (editors)

Hydraulic Engineering Software HYDROSOFT⁸⁴

Elsevier Applied Science, Amsterdam, 1984

M. Radojković, Č. Maksimović, C.A. Brebbia (editors)

Hydraulic Engineering Software HYDROSOFT⁸⁶

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg and CML Publications, Southampton, 1986

Č. Maksimović, M. Radojković (editors)

Computational Modelling and Experimental Methods in Hydraulics

Elsevier Applied Science, London, 1989

Č. Maksimović (editor)

New Technologies in Urban Drainage

Elsevier Applied Science, London, 1991

J. Gayer, Ö. Starosolszky, Č. Maksimović (editors)

Interaction of Computational Methods and Measurements

in Hydraulics and Hydrology

VITUKI Water Resources Research Centre, Budapest, 1992

Gradjevinski fakultet
Univerzitet u Beogradu

Čedo Maksimović

**MERENJA U
HIDROTEHNICI**

BEOGRAD, 1993.

Prof. dr Čedo Maksimović
MERENJA U HIDROTEHNICI

Recenzenti:

Prof. dr Vojislav Vukmirović

Prof. dr Božidar Batinić

Prof. dr Milivoje Simić

Odobreno za štampu na osnovu odluke Veća katedara za osnovne i primenjene hidrotehničke discipline Gradjevinskog fakulteta na sednici od 7. aprila 1993. godine.

Izdavanje ove knjige finansijski su pomogli IRTCUD (UNESCO International Research and Training Centre on Urban Drainage) i Savezni hidrometeorološki zavod iz Beograda.

Izdavač:

Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Beograd, Bulevar revolucije 73/I

Glavni i odgovorni urednik: Prof. dr Života Perišić

Tehnički urednik i kompjuterski slog i crteži: Vladimir Janković

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

627.13(075.8)

МАКСИМОВИЋ, Чедо

Merenja u hidrotehnici / Čedo Maksimović, – Beograd: Gradjevinski fakultet Univerziteta: 1993 (Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet). – 164 str.: graf. prikazi ; 24 cm

Tiraž 200. – Bibliografija: 57 - 58; 161 - 164

ISBN 86-80049-09-3

556.5.08:532.57(075.8)

а) Хидротехника – Мерења б) Хидрометрија
15137804

Štampa:

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Tiraž:

200 primeraka

ISBN 86-80049-09-3

Predgovor

Ovo, prvo, izdanje udžbenika Merenja u hidrotehnici namenjeno je studentima redovne i poslediplomske nastave hidrotehničkog odseka Građevinskog fakulteta u Beogradu.

Materija izložena u ovoj knjizi podeljena je u dva nezavisna dela koji čine zasebne celine.

U prvom delu prikazane su osnove dinamičkih merenja, koje su osnova ne samo za merenja u hidrotehnici, nego i u nizu drugih tehničkih disciplina. Namera autora je da čitaocima na jednom mestu prikaže materiju koja se delimično izučava u predmetu Matematika (deo Statistika), koja je osnova za obradu dinamičkih podataka i materiju iz Dinamičkih merenja, koja su dobila svoj zamah uvodjenjem računara u merenje i obradu podataka.

U drugom delu prikazane su osnove merenje hidrodinamičkih veličina u sistemima sa slobodnom površinom vode. Materija izložena u ovom poglavlju, bazira se na iskustvu autora u merenju u kolektorima i kanalima sa slobodnom površinom vode. Ova merenja imaju dugu tradiciju u Institutu za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu. Autor je započeo rad na ovim merenjima zajedno sa ekipom kojom je rukovodio Prof. dr Georgije Hajdin i nastavio u okviru delatnosti međunarodnog IRCUD centra (*International Research and Training Centre on Urban Drainage*), osnovanog u okviru Instituta.

Deo materijala iz ove knjige autor je prvobitno napisao na engleskom jeziku po zahtevu i za potrebe Svetske Meteorološke Organizacije (SMO), koja će ga u vidu priručnika zasebno publikovati za potrebe hidroloških službi u zemljama članicama.

Drugi deo materije koja se predaje u predmetu Merenja u hidrotehnici, a koja se odnosi na merenje u sistemima pod pritiskom, prikazan je u knjizi: Računari u komunalnoj hidrotehnici [14], za koju je autor ove knjige napisao poglavlje o merenjima i o UDM (*Urban Drainage Modelling*) bazi podataka o vezi između padavina i oticaja.

Autor se iskreno nada da će izložena materija korisno poslužiti i inženjerima iz hidrotehničke prakse koji se bave merenjem u laboratoriji ili na terenu, kao i analizom rezultata dobijenih merenjem.

Autor se iskreno zahvaljuje svima koji su pomogli da se ova knjiga obradi i pripremi za štampu.

Posebnu zahvalnost autor izražava Prof. dr Vojislavu Vukmiroviću, Prof. dr Milivoju Simiću, Prof. dr Božidaru Batiniću i Doc. dr Marku Ivetiću, koji su savesno i detaljno pregledali tekst i ukazali na moguća poboljšanja i greške.

Autor se takodje zahvaljuje svojim saradnicima mr Dušanu Prodanoviću, mr Slobodanu Djordjeviću, Ani Tomanović i Zorici Todorović, koji su pomogli pri izvodjenju eksperimenata, prilikom uvođenja predmeta *Merenja u hidrotehnici* u nastavu, pri obradi podataka dobijenih merenjem i u konačnoj pripremi teksta za štampu.

Kao i mnogo puta u sličnim prilikama autor se zahvaljuje Vladimiru Jankoviću na izuzetnom trudu na kompjuterskoj obradi teksta i slika.

I na kraju, autor će sa zahvalnošću prihvatiti sve primedbe koje se odnose na još neotklonjene propuste u tekstu i sugestije za dopune i poboljšanje za naredno izdanje.

Beograd, april 1993. godine

Autor

Sadržaj

I	Osnove dinamičkih merenja	1
1	Uvod	3
2	Zašto meriti u hidrotehnici	7
3	Oblasti primene merenja i realizatori merenja	13
4	Osnovni pojmovi o dinamičkim merenjima	17
4.1	Klasifikacija podataka dobijenih merenjem	17
4.2	Determinističke veličine i njihovo predstavljanje	19
4.3	Stohastičke veličine, njihova analiza i predstavljanje rezultata	27
4.3.1	Osnovna podela	27
4.3.2	Odredjivanje ustaljenosti i ergodičnosti na osnovu statističkih pokazatelja	28
4.3.3	Ostali statistički pokazatelji i funkcije	31
5	Zbirne osobine slučajnih veličina	37
5.1	Uvod	37
5.2	Funkcije koje definišu zbirne osobine	39
5.2.1	Funkcija zbirne gustine verovatnoće	39
5.2.2	Funkcija zbirne raspodele verovatnoće	39
5.2.3	Kros korelaciona funkcija	42
5.2.4	Kros spektralna funkcija	43
5.2.5	Funkcija koherencije	44

6 Dinamičke karakteristike mehaničkih, električnih i hidrauličkih sistema	45
6.1 Uvod	45
6.2 Osnovne funkcije kojima se opisuje dinamičko ponašanje sistema	46
6.2.1 Težinska funkcija	46
6.2.2 Transfer funkcija $h(\tau)$	47
6.2.3 Funkcija frekventnog odziva	47
6.2.4 Dirac-ova delta funkcija	48
6.2.5 Definicija decibela	49
6.3 Primeri analize dinamičkih karakteristika	49
6.3.1 Mehanički sistem	49
6.3.2 Hidraulički sistem	55
 BIBLIOGRAFIJA ZA I DEO	 57

II Merenja u sistemima sa slobodnom površinom vode **59**

1 Poreklo i bilans voda u urbanim sredinama	61
1.1 Poreklo voda	61
1.2 Bilans voda	63
1.3 Pogodnost merenja	66
 2 Potrebe za merenjem u zavisnosti od korišćenja podataka	 73
2.1 Istorijski pregled	73
2.2 Nova uloga sistema za odvodjenje površinskih voda	75
2.3 Cilj odredjuje vrstu podataka	78
 3 Hidraulički uslovi i načini merenja protoka u kolektorima sa slobodnim površinama	 81
3.1 Vrste mernih stanica	81
3.2 Faktori koji utiču na izbor metode merenja i lokacije za mernu stanicu	85
3.3 Hidraulički i konstrukcijski zahtevi	87

3.4	Principi merenja protoka i veze izmedju protoka i dubine	92
3.4.1	Grupe merenja	92
3.4.2	Merač sa normalnom dubinom – prednosti i nedostaci	95
3.4.3	Prelivi i merni kanali – nepotopljeno tečenje . . .	99
3.4.4	Potopljeno prelivanje	115
3.4.5	Metode sa integrisanjem polja brzina	119
4	Uslovi koji odredjuju tačnost merenja i analize grešaka	125
4.1	Greške izazvane hidrauličkim uslovima	126
4.2	Analiza grešaka u merenju skatergrafom (Scattergraph)	132
4.3	Ostali izvori grešaka	135
4.4	Kvantifikacija grešaka	138
5	Neki tipovi senzora, elektronskih instrumenata i akvizicija podataka	147
5.1	Integralno merenje protoka	147
5.2	Merenje brzine u tački i duž linije	150
5.3	Merenje dubine za odredjivanje protoka	153
5.4	Akvizicija podataka	156
	BIBLIOGRAFIJA ZA II DEO	161