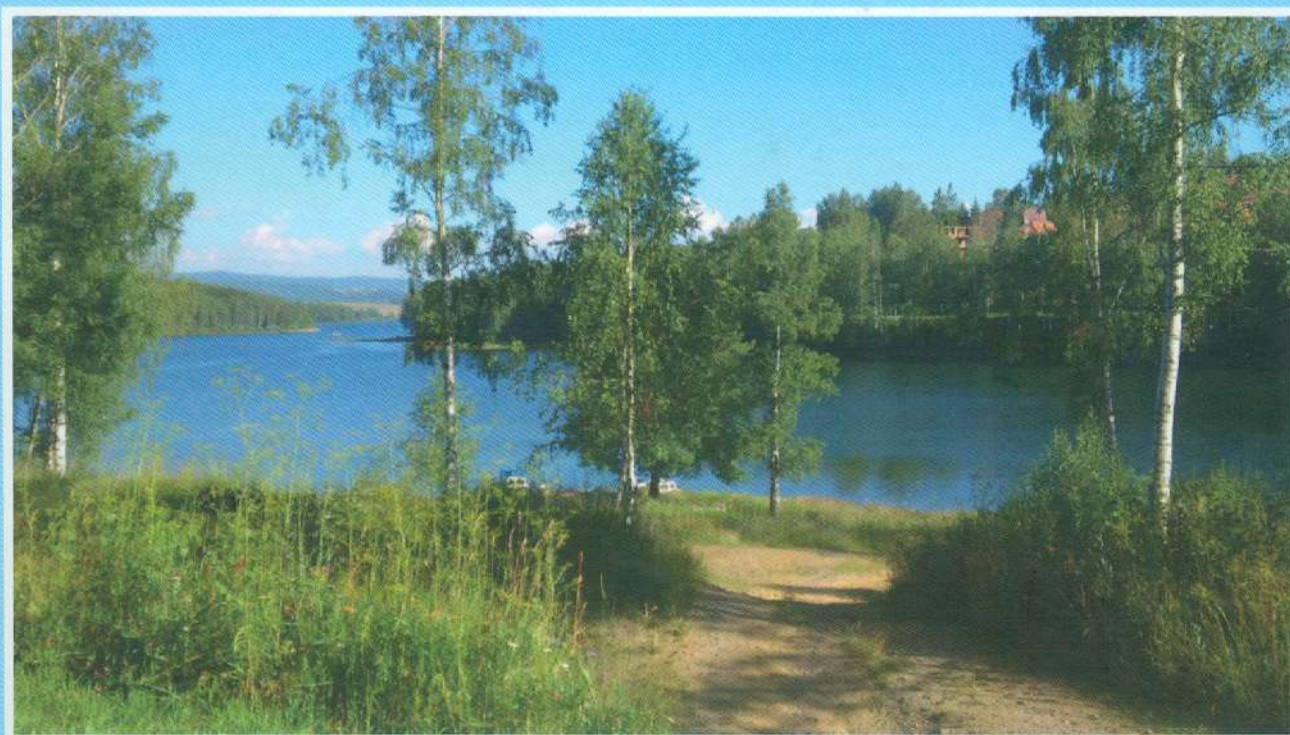


**BRANISLAV ĐORĐEVIĆ**

**TINA DAŠIĆ**

# **EKOLOGIJA VODOPRIVREDNIH SISTEMA**



**Univerzitet u Beogradu  
Građevinski fakultet**



**Akademija inženjerskih  
nauka Srbije**

**BRANISLAV V. ĐORĐEVIĆ**

**TINA P. DAŠIĆ**

## **EKOLOGIJA VODOPRIVREDNIH SISTEMA**

Recenzenti:

Prof. dr Miodrag Jovanović, redovni profesor  
Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Cvetanka Popovska, redovni profesor  
Građevinski fakultet, Univerzitet Sv. Kiril i Metodij, Skopje

Prof. dr Ratko Ristić, redovni profesor  
Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Odobreno za štampu na osnovu odluke Nastavno-naučnog veća Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj 13.09.2018.

Slika na naslovnoj strani korica: Vlasinsko jezero (foto Ljubomir Mihajlović)

Izdavači: Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet  
Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd

Za izdavača: Prof. dr Vladan Kuzmanović, dipl.građ.inž.

Štampa: BiroGraf, Zemun

Tiraž: 500

CIP – Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд  
502.51:626/628

**ЂОРЂЕВИЋ, Бранислав, 1938-**

Ekologija vodoprivrednih sistema / Branislav Đorđević, Tina Dašić. - Beograd : Univerzitet, Građevinski fakultet, 2019 (Beograd : BiroGraf). - IV, 448 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 500. - Bibliografija: str. 423-440. - Registri.

ISBN 978-86-7518-205-4

1. Дашић, Тина, 1970- [autor]

а) Водопривреда -- Еколошки аспект

COBISS.SR-ID 277317388

# SADRŽAJ

## PREDGOVOR

### I UVOD: EKOLOGIJA, EKOLOGIJA VODOPRIVREDNIH SISTEMA, ODRŽIV RAZVOJ I MEĐUNARODNE OBAVEZE

1. EKOLOGIJA KAO NAUKA I NJENE GRANE .....	1
2. EKOLOGIJA VODOPRIVREDNIH SISTEMA U OKVIRU INŽENJERSKE EKOLOGIJE .....	6
3. PARADIGMA O ODRŽIVOM RAZVOJU .....	11
3.1. Uslovi koji su pokrenuli strategiju održivog razvoja .....	11
3.2. Definicija održivog razvoja .....	14
4. MEĐUNARODNE AKTIVNOSTI USMERENE KA PROMENI ODNOSA PREMA RESURSIMA I OKRUŽENJU .....	17
4.1. Skupovi sa zaključcima na nivou preporuka i smernica .....	18
4.2. Konvencije sa karakterom obavezujućih dokumenata .....	20
4.3. Ključni stavovi međunarodnih dokumenata .....	23

### II VODOPRIVREDNI SISTEMI, NJIHOV KIBERNETSKI OPIS I UTICAJ NA OKRUŽENJE

1. SVOJSTVA VODE BITNA SA STANOVIŠTA EKOSISTEMA .....	25
1.1. Fizička i hemijska svojstva vode .....	25
1.1.1. Slatka voda .....	25
1.1.2. Morska voda .....	28
1.1.3. Termički kapacitet .....	28
1.1.4. Voda kao rastvarač .....	29
1.1.5. Osmoza .....	30
1.1.6. Provodljivost .....	30
1.1.7. Površinski napon .....	30
1.1.8. Osobina kapilarnosti .....	31
1.1.9. Amfoternost .....	32
1.2. Resursna svojstva vode .....	32
1.2.1. Osobine vode kao resursa .....	32
1.2.2. Voda prisutna na slivu i voda kao resurs .....	33
1.3. Potrebe za vodom: šta to stvarno znači? .....	35
1.3.1. Zadovoljavajući vodni resurs - šta to znači? .....	35
1.3.2. Kako okvirno oceniti raspoložive količine vode? .....	37
1.3.3. Zaštita od voda kao ekološka kategorija .....	40
1.4. Stanje vodnih resursa u svetu .....	40
1.5. Stanje vodnih resursa u Srbiji i na području Balkana .....	43

1.6. Cirkulacije vazduha i vode na planeti i uticaj na sve globalne ekološke procese .....	47
1.6.1. Najvažniji planetarni vetrovi .....	48
1.6.2. Morske struje i njihov izuzetan značaj za život na planeti .....	49
<b>2. VODOPRIVREDA, VODOPRIVREDNI SISTEMI I VODNI POTENCIJALI .....</b>	<b>55</b>
2.1. Vodoprivredni sistemi i faze njihovog razvoja .....	55
2.1.1. Vodoprivreda i vodoprivredni sistemi .....	55
2.1.2. Fazni razvoj vodoprivredne infrastrukture .....	55
2.1.3. Sistematizacija razvoja vodoprivredne infrastrukture .....	58
2.2. Vodni potencijali – polazište za strategiju upravljanja vodama .....	59
2.2.1. Totalni i parcijalni vodni potencijali .....	59
2.2.2. Ekološki potencijal .....	64
2.2.3. Primarni, sekundarni i tercijarni potencijali .....	65
2.2.4. Ekonomsko vrednovanje vodnih potencijala .....	65
2.3. Vodoprivredne kategorije značajne za planiranje sistema i njihovo skladno uklapanje u okruženje .....	66
2.3.1. Vodni režimi .....	66
2.3.2. Vodoprivredni postulati kao polazište za sva strateška planiranja ...	67
<b>3. KIBERNETIZACIJA VODOPRIVREDNIH SISTEMA .....</b>	<b>73</b>
3.1. Sistematizacija sistema prema stepenu razvoja .....	73
3.2. Vodoprivredni sistemi kao kibernetizovani upravljački sistemi .....	75
3.2.1. Ciljna i kriterijumska polazišta .....	75
3.2.2. Kibernetiska šema vodoprivrednog sistema .....	79
3.3. Nadsistem: vodoprivredni sistem + okruženje u zoni uticaja .....	83

### **III EKOLOŠKE KATEGORIJE I ZAKONITOSTI OD ZNAČAJA ZA VODOPRIVREDNA PLANIRANJA**

<b>1. DEFINICIJE I OSNOVNI POJMOVI .....</b>	<b>85</b>
1.1. Biotop, biocenoza, ekosistem .....	85
1.2. Biodiverzitet – biološka raznovrsnost .....	90
1.2.1. Biodiverzitet .....	90
1.2.2. Uništavanje i osiromašenje biodiverziteta .....	91
1.2.3. Ekonomski aspekti biološke raznovrsnosti .....	95
1.2.4. Invazivne vrste – opasnost po biodiverzitet .....	96
1.3. Sukcesije, klimaks, homeostaza .....	99
1.4. Ekološki faktori, valentnost, ograničavajući faktori .....	101
1.4.1. Ekološki faktori .....	101
1.4.2. Ekološka valenca i ekološki spektar vrste .....	104
1.4.3. Libigov zakon minimuma .....	105

1.5.	Zakon tolerantnosti ili zakon izdržljivosti vrsta .....	106
1.6.	Opsezi ekoloških valenci .....	113
1.6.1.	Stenoek i euriek vrste .....	113
1.6.2.	Ekološke niše .....	114
1.6.3.	Areal .....	116
2.	KRETANJE MATERIJE I PROTOK ENERGIJE U EKOSISTEMU .....	116
2.1.	Kruženje materije u ekosistemu .....	117
2.2.	Protok energije kroz ekosistem i produkcija u njemu .....	120
2.2.1.	Protok energije kroz ekosistem .....	120
2.2.2.	Efektivnost ekosistema .....	124
2.3.	Lanac ishrane u ekosistemu .....	126
2.3.1.	Lanac ishrane .....	126
2.3.2.	Kvantifikacija odnosa u lancu ishrane .....	129
2.4.	Razvoj ekosistema u svetlu energetske odnosa u njemu .....	130
2.5.	Pravilo ograničene stabilizacije ekosistema .....	136
3.	ODNOSI UNUTAR VRSTE I IZMEĐU VRSTA .....	137
3.1.	Homeotipske koakcije .....	137
3.2.	Heterotipske koakcije .....	138
4.	SPECIFIČNI POKAZATELJI RAZNOVRSNOSTI I STABILNOST BIOCENOZA .....	141
4.1.	Specifični pokazatelji strukture i raznovrsnosti ekosistema .....	141
4.2.	Stabilnost ekosistema .....	143
4.3.	Ešbijev (Ashby) zakon raznovrsnosti .....	145
4.4.	Zakon maksimizacije informacija .....	147
4.5.	Primena ekoloških zakonitosti u upravljanju vodama .....	148
4.6.	Pravilo 'mekog upravljanja' ekološkim sistemima .....	149

#### **IV VODOPRIVREDNI SISTEMI KAO DEO ŽIVOTNE SREDINE**

1.	EKOLOŠKI POKAZATELJI ZA OCENJIVANJE VODENIH EKOSISTEMA .....	153
1.1.	Vodna tela .....	153
1.1.1.	Vodna tela i njihove vrste .....	153
1.1.2.	Osobnosti i klasifikacije vodotoka .....	154
1.1.3.	Vodotoci prema morfologiji rečne doline .....	157
1.1.4.	Morfologija rečnog korita i njen ekološki značaj .....	159
1.2.	Erozija zemljišta i njen uticaj na ekološke procese .....	164
1.2.1.	Erozioni procesi – veliki izazov sa kojim se suočava civilizacija... ..	165

1.2.2. Oblici erozionih procesa .....	166
1.2.3. Klasifikacija erozionih procesa .....	168
1.2.4. Bujični tokovi .....	173
1.2.5. Pristupi za uređenje bujičnih slivova .....	175
1.3. Rečni nanosi i ekološki aspekti njihovog pokretanja, transporta i deponovanja .....	183
1.3.1. Dinamizam pokretanja nanosa .....	183
1.3.2. Energija suspendovanja: režimi taloženja i erodiranja .....	185
1.3.3. Procesi zasipanja akumulacija i njihove ekološke posledice .....	191
1.3.4. Mutne struje i njihov uticaj na procese u akumulacijama .....	199
1.4. Indikatori za razmatranje ekološkog statusa površinskih voda .....	202
1.4.1. Geofizički i hidromorfološki pokazatelji .....	202
1.4.2. Biološki pokazatelji kvaliteta voda .....	204
1.4.3. Fizičko-hemijski pokazatelji ekološkog statusa površinskih voda .....	208
1.4.4. Ekološki status voda .....	218
<b>2. KARAKTERISTIKE ŽIVOTNIH ZAJEDNICA TEKUĆIH I STAJAĆIH VODA .....</b>	<b>222</b>
2.1. Sistematizacija tekućih i stajaćih voda .....	222
2.2. Sistematizacija vrsta životnih zajednica u vodotocima .....	223
2.2.1. Osnovno korito .....	224
2.2.2. Bentos .....	225
2.2.3. Nekton .....	226
2.2.4. Plankton .....	226
2.2.5. Neuston i perifiton .....	228
2.3. Ekološke odlike raznih vodotoka .....	228
2.3.1. Temperaturni režimi reka .....	228
2.3.2. Tekuće gornjih delova sliva .....	229
2.3.3. Spore tekućice .....	230
2.3.4. Podela prema sastavu ihtiofaune .....	231
2.4. Jezera i njihove ekološke osobenosti .....	233
2.4.1. Tipovi jezera .....	233
2.4.2. Temperaturni režimi jezera .....	237
2.4.3. Procesi eutrofikacije jezera i dinamizam razvoja .....	241
2.4.4. Podela jezera prema stanju razvoja procesa trofije .....	244
2.4.5. Upravljanje procesima u jezerima u cilju zaštite od eutrofikacije ..	246
2.5. Ihtiofauna i njen uticaj na upravljanje vodoprivrednim sistemima .....	249
2.5.1. Postulat planiranja: obezbediti uslove za biološku raznovrsnost ...	249
2.5.2. Vrste riba od posebnog značaja za upravljanje sistemima .....	253
2.5.3. Opasnost od unošenja invazivnih vrsta riba .....	258
2.5.4. Iskustva sa razvojem ribljih populacija u nekim hidrotehničkim sistemima .....	259

## V UPRAVLJANJA VODAMA U CILJU POBOLJŠAVANJA EKOLOŠKIH USLOVA

1. UTICAJI VODOPRIVREDNIH SISTEMA NA EKOLOŠKO OKRUŽENJE	267
1.1. Pozitivni uticaji vodoprivrednih sistema na okruženje	269
1.2. Negativni uticaji vodoprivrednih sistema i mogućnosti njihovog otklanjanja	271
1.3. Fenomeni koji se neopravdano navode kao negativni uticaji	274
2. UKLAPANJE VODOPRIVREDNIH SISTEMA U EKOLOŠKO OKRUŽENJE	279
2.1. Ekološki ciljevi i kriterijumi pri planiranju sistema	279
2.2. Mere pri planiranju sistema	281
2.3. Mere pri operativnom upravljanju	284
2.4. Objekti za nesmetanu migraciju riba u zonama brana	285
2.4.1. Nepovoljni uticaji na ihtiofaunu i mere zaštite	285
2.4.2. Objekti za propuštanje riba u zoni uspornih građevina i prateće mere zaštite	286
3. OBEZBEĐIVANJE PROTOKA U REKAMA NIZVODNO OD BRANA I VODOZAHVATA	304
3.1. Pristup rešavanju problema obezbeđenja ekoloških protoka	304
3.2. Određivanje protoka nizvodno od brana i vodozahvata	305
3.3. Određivanje ekoloških protoka	310
3.3.1. Metoda GEP	313
3.3.2. Metoda abiotičkih i biotičkih parametara i indeksa saprobnosti – MABIS	318
3.4. Objedinjen pristup upravljanja ekološkim protocima	321
4. MERE NATURALNE REGULACIJE I REHABILITACIJE VODOTOKA	323
4.1. Naturalna regulacija vodotoka	323
4.1.1. Posledice isključivo 'funkcionalističke' regulacije vodotoka	323
4.1.2. Bazna polazišta koncepta naturalnog uređenja vodotoka	324
4.1.3. Korišćenje inundacionih prostora i vodnog zemljišta	330
4.1.4. Osobnosti planiranja, realizacije i održavanja naturalnih regulacija	332
4.2. Mere obnove reka koje su bile uništene kao ekosistemi	333
4.2.1. Funkcionalna regulacija koja devastira ekološke i urbane vrednosti nekih reka	333
4.2.2. Pristupi i bazni principi obnove devastiranih reka	339
5. SPECIFIČNOSTI UPRAVLJANJA VODAMA U USLOVIMA KARSTA	345
5.1. Ekološke karakteristike karstnih područja	345

5.1.1. Specifičnosti karsta sa aspekta izgradnje brana .....	345
5.1.2. Ekološke specifičnosti karsta .....	348
5.1.3. Ekološke posledice izgradnje brana u karstu .....	350
5.1.4. Očuvanje vlažnih staništa (močvara) u karstu .....	350
5.2. Upravljanje vodama u karstu – primer višenamenskog hidrosistema Trebišnjica .....	353
<b>6. MOGUĆNOSTI MATEMATIČKOG MODELIRANJA PROCESA U EKOSISTEMIMA .....</b>	<b>356</b>
6.1. Opšti principi matematičkog modeliranja procesa u vodoprivredno- ekološkim sistemima .....	356
6.1.1. Spoznajne odlike matematičkih modela .....	356
6.1.2. Postulati matematičkog modeliranja sistema .....	358
6.1.3. Generalni pristupi modeliranju sistema .....	360
6.2. Simulacioni modeli hidroloških režima kao ključnog ekološkog faktora .	363
6.2.1. Primena ARMA modela za složene analize promene hidroloških režima .....	364
6.2.2. Primena metoda zasnovanih na fizičkim zakonitostima .....	368
6.3. Modeliranje abiotičkih i biotičkih procesa u ekosistemima .....	377
6.3.1. Polazište i sistematizacija ekoloških modela .....	377
6.3.2. Generalni pristup za formiranje abiotičkih modela .....	379
6.3.3. Pristup formiranju biotičkih modela .....	384
6.3.4. Spregnuti modeli .....	385
6.3.5. Ekološko vrednovanje alternativa sistema .....	386
6.4. Modeliranje dinamičkih procesa u akumulacijama .....	388
6.4.1. Dinamizam procesa u jezerima .....	389
6.4.2. Abiotičke komponente procesa u jezerima .....	390
6.4.3. Biotičke komponente procesa u akumulaciji .....	397
6.4.4. Analiza mogućnosti promene modela .....	402
6.5. Modeli za proveru scenarija razvoja višenamenskih sistema .....	407
6.5.1. O potrebi provere razvojnih scenarija primenom simulacionih modela .....	407
6.5.2. Model WEAP .....	408
6.5.3. Iskustva u primeni WEAP modela na primeru sliva Drine .....	411
<b>POGOVOR .....</b>	<b>415</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>423</b>
<b>INDEKS POJMOVA .....</b>	<b>441</b>
<b>INDEKS AUTORA .....</b>	<b>447</b>





BRANISLAV V. ĐORĐEVIĆ rođen je 1938. u Skoplju. Redovni je profesor Građevinskog fakulteta u Beogradu, redovni član Akademije inženjerskih nauka Srbije, član Naučnog društva Srbije, professor honoris causa. Kao utemeljivač Teorije vodoprivrednih sistema predavao je na više univerziteta. Bio je šef Katedre za hidrotehniku. Njegova specijalnost su složeni hidrotehnički sistemi sa hidroelektranama, višenamensko korišćenje, uređenje i zaštita voda, kao i ekološki aspekti složenih sistema. Za knjige "Korišćenje vodnih snaga I i II" nagrađen je 1984. Oktobarskom nagradom Beograda. Njegovo kapitalno delo iz oblasti teorije vodoprivrednih sistema, objavljeno u SAD (1993) - Cybernetics in Water Resources Management - bazna je monografija u svetu iz te oblasti i citira se u tom svojstvu. Druge češće citirane knjige: Vodoprivredni sistemi, Objekti hidroelektrana, Hidroenergetsko korišćenje voda. Radio je na planiranju svih većih hidroelektrana i vodoprivrednih sistema u SFRJ, kao i na izradi najvažnijih strateških planskih dokumenata u oblasti voda na prostoru bivše SFRJ. Autor je dela Prostornog plana Srbije koji se odnosi na vode i vodnu infrastrukturu.



TINA P. DAŠIĆ rođena je 1970. godine u Dubrovniku. Vanredni je profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na kome predaje predmete Korišćenje vodnih snaga i Vodoprivredni sistemi, na osnovnim i master studijama, a na doktorskim studijama: Metode optimizacije i Upravljanje hidrotehničkim sistemima. Autor je knjige Kvalitet vode u akumulacijama (modeliranje, ocenjivanje, praćenje) i Hidroenergetika - kroz rešavanje konkretnih problema (kao koautor sa prof. Branislavom Đorđevićem). Bila je učesnik u izradi velikog broja naučno-istraživačkih, razvojnih i stručnih projekata iz oblasti upravljanja vodoprivrednim i hidroenergetskim sistemima, uticaja hidrotehničkih sistema na okruženje, pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema i dr.