

**Dr Radisav Vidić**

# **HEMIJA VODE**

**Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Beograd, 2005.**

**Dr Radisav Vidić**

# **HEMIJA VODE**

**Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Beograd, 2005.**

Dr Radisav Vidić, dipl. inž.građ.,  
redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Pitsburgu, SAD

## **HEMIJA VODE**

Recenzenti:

Dr Ljubinka Rajaković, dipl.inž.tehnol., redovni profesor Tehnološkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

Dr Dejan Ljubisavljević, dipl.inž.građ., redovni profesor Građevinskog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

Izdavač:

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Đorđe Vuksanović, dipl.inž.građ.

Odobreno za štampu od strane Komisije za izdavačku delatnost Građevinskog  
fakulteta Univerziteta u Beogradu, a po preporuci Katedre za hidrotehniku i vodno-  
ekološko inženjerstvo Građevinskog fakulteta u Beogradu.

Štampa: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" A.D.  
Zavod za grafičku delatnost

Tiraž: 600 primeraka

**ISBN 86-7518-056-X**

---

# SADRŽAJ

## PREDGOVOR

1.0	UVOD .....	1
1.1	Karakteristike prirodnih voda .....	4
1.2	Voda kao životna sredina.....	9
1.3	Izražavanje koncentracija .....	11
2.0	HEMIJSKA RAVNOTEŽA.....	19
2.1	Termodinamičke osnove hemijskih reakcija .....	23
2.1.1	Entalpija .....	24
2.1.2	Entropija.....	28
2.1.3	Slobodna energija.....	29
2.2	Uticao temperature na ravnotežu hemijskih reakcija.....	36
2.3	Aktivnost supstanci u rastvoru.....	39
3.0	KINETIKA HEMIJSKIH PROCESA.....	44
3.1	Mehanizam, molekularnost i brzina hemijske reakcije.....	45
3.2	Elementarne reakcije.....	47
3.3	Izrazi za brzinu hemijskih reakcija .....	49
3.4	Uticao temperature na brzinu hemijskih reakcija .....	63
4.0	KISELO/BAZNI SISTEMI.....	67
4.1	Uvod .....	67
4.2	Proračun ravnoteže kiselobaznih sistema .....	71
4.3	Protonski uslov i uslov elektroneutralnosti rastvora.....	80
4.4	Ekvivalentni sistemi.....	84
4.5	Grafički pristup određivanju ravnoteže u kiselobaznim sistemima.....	86
4.6	Multiprotonske kiseline .....	95
4.7	Frakcioni jonizujući faktori .....	102
4.8	Puferski rastvori.....	106
5.0	KARBONATNI SISTEM .....	113
5.1	Uvod .....	113
5.2	Zatvoreni karbonatni sistem.....	115
5.3	Otvoreni karbonatni sistem.....	121
5.4	Alkalnost i kiselost.....	129

## II

6.0	KOMPLEKSIRANJE .....	139
6.1	Uvod .....	139
6.2	Definicije .....	140
6.3	Hemijska ravnoteža.....	141
6.4	Reakcije kompleksiranja u određivanju kvaliteta vode .....	155
7.0	RASTVARANJE I TALOŽENJE.....	158
7.1	Uvod .....	158
7.2	Taloženje.....	159
7.3	Rastvaranje .....	161
7.3.1	Prosta rastvorljivost.....	163
7.3.2	Rastvorljivost u prisustvu identičnih jona.....	164
7.3.3	Uslovna rastvorljivost .....	166
7.4	Fazni dijagram .....	173
7.5	Rastvorljivost kalcijum karbonata i stabilnost vode .....	178
7.6	Rastvaranje gasova .....	187
8.0	KOLOIDNI SISTEMI.....	193
8.1	Uvod .....	193
8.2	Stabilnost koloidnih čestica .....	195
8.3	Destabilizacija koloidnog sistema.....	200
9.0	OKSIDO-REDUKCIONE REAKCIJE.....	205
9.1	Uvod .....	205
9.2	Definicije .....	206
9.3	Ravnoteža oksido-redukcionih reakcija.....	212
9.4	Oksidacioni potencijal .....	213
9.5	Balans elektrona.....	220
9.6	Aktivnost elektrona i $p\epsilon$ .....	224
9.7	Grafički prikaz ravnoteže oksido-redukcionih reakcija .....	227
9.8	Dijagram dominantnih jedinjenja .....	233
9.9	Hemija hlora .....	236
9.10	Uticao mikroorganizama na oksido-redukcione reakcije .....	243
	SPISAK LITERATURE .....	248
	INDEKS POJMOVA .....	250

## **PREDGOVOR**

Ova knjiga predstavlja uvodni tekst u problematiku hemije vode sa posebnim naglaskom na hemiju prirodnih voda i hemiju koja se primenjuje u procesima za pripremu vode za piće i prečišćavanje otpadnih voda. Knjiga je prvenstveno namenjena onima koji se bave problemima zaštite životne sredine i sanitarnim inženjstvom, ali bi mogla biti od koristi i hemičarima, biologima, ekologima i geohemičarima. Jedina pretpostavka u pisanju ove knjige je da čitaoci imaju neka osnovna znanja iz srednjoškolske hemije jer je bazirana na predavanjima koje je autor poslednjih desetak godina držao studentima viših godina redovnih studija na građevinskom i tehnološkom odseku i prvoj godini poslediplomskih studija na smeru inženjstva zaštite životne sredine na Univerzitetu u Pitsburgu.

U knjizi su obrađeni osnovni principi hemijske ravnoteže i kinetike hemijskih procesa koji su potom primenjeni na razblažene vodene rastvore i reakcije koje se u njima odigravaju, kao što su kiselo-bazne reakcije, formiranje kompleksa, taloženje i rastvaranje i oksido-redukcione reakcije. Za svaku oblast su prvo prikazani osnovni principi koji su neophodni da bi se razumelo ponašanje specifičnih sistema a potom i bazični pristupi koji se koriste za rešavanje problema iz ovih oblasti. Svaki od ovih pristupa je ilustrovan primerima koji imaju za cilj da probleme iz prakse približe čitaocima. U knjizi su obrađeni i grafički pristupi za rešavanje ovih problema jer omogućavaju da se pravilno i slikovito sagleda ponašanje ovih ponekad kompleksnih sistema.

Autor je zahvalan studentima Građevinskog i Tehnološkog Fakulteta Univerziteta u Beogradu koji su ga inspirisali da napiše ovu knjigu, Fulbrajtovoj Komisiji koja je pružila finansijsku podršku za autorov jednogodišnji boravak u Beogradu u toku školske 2003/04 godine, recenzentima Prof. dr. Ljubinki Rajaković i Prof. dr. Dejanu Ljubisavljeviću čije dugogodišnje stručno i predavačko iskustvo je pomoglo da ova knjiga dobije svoju finalnu formu, kolegicama Mirjani Kmezić i Vladani Rajaković bez čije ogromne pomoći oko tehničke i lektorske pripreme ova

IV

---

knjiga sigurno ne bi bila završena u predviđenom roku i Institutu za Vodoprivredu "Jaroslav Černi" i Gradskom Zavodu za Zaštitu Zdravlja - Beograd koji su omogućili štampanje ove knjige.

Autor je neizmerno zahvalan porodici koja mu je uvek neiscrpan izvor inspiracije i podrške i koja je pokazala neograničeno razumevanje i strpljenje tokom pisanja ove knjige. Ova knjiga je posvećena Nataši, Nikoli, Sofiji i Dani.

Autor  
Beograd, 2005