



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ



Марина Стојановић
Дејан Васовић
Ана Милтојевић

ВОДА и њена заштита

Ниш, 2021.



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У
НИШУ



**Марина Стојановић
Дејан Васовић
Ана Милтојевић**

ВОДА И ЊЕНА ЗАШТИТА

Ниш, 2021.

Марина Стојановић
Дејан Васовић
Ана Милтојевић

Вода и њена заштита
Прво издање, 2021.

Издавач:
Факултет заштите на раду у Нишу

Рецензенти:
др Слободан Миленковић, ред. проф. (у пензији)
др Иван Крстић, ред. проф.
др Данило Поповић, ванр. проф. (у пензији)

За издавача:
Проф. др Момир Прашчевић, декан

Дизајн корица:
Родољуб Аврамовић, MSc

Штампа: Атлантис, Ниш

Тираж: 80

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека
Србије, Београд
502.1:502.51(075.8)
628.1/.3(075.8)
СТОЈАНОВИЋ, Марина, 1958-
Вода и њена заштита / Марина Стојановић, Дејан Васовић,
Ана Милтојевић.
- 1. изд. - Ниш : Факултет заштите на раду, 2021 (Ниш :
Атлантис). - 297
стр. : илустр. ; 25 см
На врху насл. стр.: Универзитет у Нишу. - Тираж 80. -
Библиографија: стр.
[301-306] и уз свако поглавље. - Регистар.
ISBN 978-86-6093-101-8

1. Васовић, Дејан М., 1982- [аутор] 2. Милтојевић, Ана, 1985-
[аутор]

а) Воде - Заштита б) Вода с) Снабдевање водом

COBISS.SR-ID 40461833

ПРЕДГОВОР

Убрзани демографски развој, праћен процесима интензивне урбанизације и индустријализације, доводи до интензивираних антропогених притисака на различите медијуме животне средине, који најчешће резултирају негативним променама стања квалитета животне средине. Са друге стране, промене у обрасцима функционисања друштва, модификовање технолошких образаца производње, као и коришћење нових материјала, доводе до потребе сагледавања и научног објашњења механизма деловања ових феномена на животну средину. Не мање важне су и последице које су условљене климатским променама, које често изазивају различите екстремне ситуације у животној средини и ремете устаљене екосистемске процесе и функције. У односу на било који поменути аспект, воде, односно водна тела и придружени акватични екосистеми, представљају вероватно најзначајнији и најосетљивији медијум животне средине коме се мора посветити одговарајућа пажња. У том контексту се креирање политике заштите вода односно водних ресурса мора базирати на савременим научно-стручним достигнућима у области заштите вода али и познавању механизма и процеса функционисања акватичних екосистема који су предмет заштите.

Имајући у виду напред изложено, аутори су настојали да напишу уџбеник који ће пружити не само основна, већ и шира знања потребна за разумевање проблематике квалитета вода, заштите вода, као и метода пречишћавања вода. Уџбеник је намењен студентима основних и мастер академских студија техничких факултета, посебно Факултета заштите на раду. Такође га могу користити и студенти докторских академских студија, као и студенти других факултета на којима се изучава заштита животне средине, односно заштита вода. Поред тога, намењен је и свима који се баве заштитом вода.

Приликом писања уџбеника аутори су водили рачуна о потребама и предзнању студената Факултета заштите на раду. Садржина је изложена кроз неколико целина у којима је дат приказ распрострањености воде у природи, физичке, хемијске и биолошке карактеристике воде, могућности употребе, врсте загађења, заштите вода уз примену различитих метода пречишћавања. Због ограниченог обима материјала, процес третмана отпадног муља је обрађен у кратким цртама. Уџбеник треба посматрати као својеврсан допринос унапређењу области управљања водама, са посебним фокусом на разумевање воде као медијума животне средине и механизма њене заштите.

Аутори захваљују рецензентима проф. др Слободану Миленковићу, проф. др Ивану Крстићу и проф. др Данилу Поповићу на критичком читању рукописа, корисним предлозима и сугестијама, што је допринело побољшању његовог квалитета и учинило да се материја на адекватан начин приближи читаоцима.

Ниш, 2021. године

Аутори:
Др Марина Стојановић
Др Дејан Васовић
Др Ана Милтојевић

РЕЗИМЕ

Вода је једна од најраспрострањенијих супстанци на Земљи и у потпуности чини једну од сфера – хидросферу, али је присутна и у атмосфери, литосфери и биосфери. У води се развио живот и без воде нема живота. Потреба за квалитетном водом се константно повећава, претећи да постане ограничавајући фактор даљег развоја цивилизације. На Конференцији о водама и животној средини која је 1992. године одржана у Даблину, вода је окарактерисана као „ограничен извор и економско добро” које треба чувати и њиме управљати тако да се не угрозе интереси будућих генерација, а истовремено да се осигура њено ефикасно и правилно коришћење.

Имајући у виду изложено, у уџбенику је дат приказ распрострањености воде у природи, физичке, хемијске и биолошке карактеристике воде, могућности употребе, врсте загађења, заштите вода уз примену различитих метода пречишћавања. На самом почетку су дата теоријска објашњења везана за лексику воде, као и нормативна уређеност ове области у свету и код нас. Садржина уџбеника је изложена у шеснаест поглавља.

Прва целина посвећена је води као хемијском једињењу које на Земљи чини посебну сферу – хидросферу, али је анализирано и присуство воде у литосфери и хидросфери.

У следећој целини обрађене су природне воде, фактори њиховог настанка, физичке и хемијске особине природних вода. Нарочита пажња посвећена је хемијском саставу природних вода, као и процесима који се дешавају у њима.

Посебне целине односе се на проблематику загађења вода, настанка отпадних вода и заштите вода. Следе поглавља посвећена методама пречишћавања вода, и то физичким, физичкохемијским, хемијским, биолошким и комбинованим.

Уџбеник се завршава целином која је посвећена значају пречишћавања и мониторинга отпадних вода са аспекта безбедности и здравља на раду.

Градиво изложено у Уџбенику улустровано је одговарајућим табелама и сликама. Уџбеник пружа основу за надоградњу претходних знања из области животне и радне средине.

SUMMARY

Water is the most widespread substance on Earth and completely forms one of the spheres - the hydrosphere, but it is also present in the atmosphere, lithosphere, and biosphere. Life was developed in water and there would be no life without water. Global water demand is constantly growing, threatening to become a limiting factor for the further development of civilization. At the International Conference on Water and the Environment, held in Dublin in 1992, water was characterized as “a finite and vulnerable resource” and “a public good that has a social and economic value” that should be preserved and managed without compromising the ability of future generations to meet their own needs, while ensuring its efficient and proper use.

Having in mind this, the distribution of water in nature, physical, chemical and biological characteristics of water, possibilities of use, types of pollution, water protection with the application of various purification methods are the main subjects of the textbook. At the very beginning, the necessary theoretical explanations related to the vocabulary related to water, are given, as well as the normative regulation of this area in the world and our country.

The first unit is dedicated to water as a chemical compound, which forms a special sphere on Earth - the hydrosphere, but its presence in the lithosphere and hydrosphere has also been analyzed.

The next unit deals with natural waters, the factors of their formation, physical and chemical properties of natural waters. Special attention is paid to the chemical composition of natural waters, as well as to the processes that take place in them.

The special unit refers to the issues of water pollution, wastewater generation, and water protection, as well as to the methods of its purification, physical, physicochemical, chemical, biological, and combined ones.

The material presented in the textbook is accompanied by appropriate tables and pictures that simply illustrate the theoretical part. At the same time, the textbook provides a basis for upgrading knowledge in the field of living and working environment.

1. УВОД	1
1.1. Вода и животна средина	2
1.2. Нормативна уређеност у области вода у Републици Србији	4
2. ВОДА КАО ХЕМИЈСКО ЈЕДИЊЕЊЕ	17
2.1. Хемијска структура молекула воде	18
2.2. Основне физичко-хемијске особине воде	21
2.2.1. Температура кључања	21
2.2.2. Густина	22
2.2.3. Површински напон	22
2.2.4. Капиларност	23
2.2.5. Електричне особине	24
2.2.6. Вода као растварач	25
3. ХИДРОСФЕРА	31
3.1. Настанак хидросфере	32
3.2. Расподела воде на Земљи	33
4. РАСПРОСТРАЊЕНОСТ ВОДЕ У ПРИРОДИ	39
4.1. Вода у атмосфери	40
4.2. Вода у литосфери	41
4.3. Вода на површини Земље	45
4.4. Кружење воде у природи	47
4.4.1. Једначина хидролошког биланса	49
5. ПРИРОДНЕ ВОДЕ	55
5.1. Фактори који утичу на састав природних вода	56
5.1.1. Физичко-географски фактори	56
5.1.2. Хемијски фактори	59
5.1.3. Биолошки фактори	60
5.1.4. Мешање воде	60
5.2. Физичко-хемијске особине природних вода	61
5.2.1. Температура	61
5.2.2. Боја	63
5.2.3. Мирис и укус	63
5.2.4. Мутноћа и провидност	63
5.2.5. Вискозност	64
5.2.6. Густина	65
5.2.7. Покрети воде	65
5.2.8. Електрична проводљивост	66
5.2.9. Растворљивост супстанци у води	67
6. ХЕМИЈСКИ САСТАВ ПРИРОДНИХ ВОДА	75
6.1. Гасовити састојци природних вода	76
6.1.1. Кисеоник (O_2)	76
6.1.2. Угљеник(IV)-оксид (CO_2)	77
6.1.3. Водоник-сулфид (H_2S)	79

6.1.4. Метан (CH ₄)	79
6.2. Неоргански састојци природних вода.....	79
6.2.1. Хлоридни јони (Cl ⁻).....	80
6.2.2. Сулфатни јони (SO ₄ ²⁻).....	81
6.2.3. Хидрогенкарбонатни (HCO ₃ ⁻) и карбонатни јони (CO ₃ ²⁻).....	82
6.2.4. Јони натријума (Na ⁺).....	83
6.2.5. Јони калијума (K ⁺).....	83
6.2.6. Јони калцијума (Ca ²⁺).....	84
6.2.7. Јони магнезијума (Mg ²⁺).....	84
6.2.8. Јони водоника (H ⁺) и рН вредност	86
6.2.9. Силицијум.....	87
6.3. Биогене материје.....	88
6.3.1. Азот и његова једињења.....	88
6.3.2. Фосфор и његова једињења.....	89
6.4. Микроелементи.....	90
6.5. Органске материје.....	92
6.6. Класификација природних вода на основу хемијског састава	94
7. ПРОЦЕСИ У ПРИРОДНИМ ВОДАМА	103
7.1. Растварање	104
7.2. Адсорпција.....	104
7.3. Испирање	105
7.4. Испаравање.....	105
7.5. Фотохемијски процеси	106
7.6. Оксидо-редукциони процеси	106
7.7. Хидролиза	107
7.8. Метаболички процеси.....	107
7.9. Самопречишћавање воде.....	107
8. ЗАГАЂИВАЊЕ ВОДА	115
8.1. Основни појмови о загађивању животне средине	116
8.2. Загађивање вода	117
8.2.1. Физичко загађивање вода.....	118
8.2.2. Хемијско загађивање вода.....	122
8.2.3. Биолошко загађивање вода	141
9. ОТПАДНЕ ВОДЕ.....	149
9.1. Порекло отпадних вода	150
9.2. Индикатори стања отпадних вода	152
9.3. Класификација отпадних вода према садржају загађујућих материја.....	154
9.4. Класификација отпадних вода према извору загађујућих материја.....	155
9.4.1. Комуналне отпадне воде	155
9.4.2. Индустијске отпадне воде.....	157
9.4.3. Отпадне воде из пољопривреде.....	161
9.4.4. Атмосферске отпадне воде.....	162

9.4.5. Остали извори отпадних вода.....	162
10. ЗАШТИТА И ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ВОДА.....	169
10.1. Уопштено о заштити вода.....	170
10.2. Пречишћавање вода.....	171
10.2.1. Третман воде за пиће.....	173
10.2.2. Пречишћавање отпадних вода.....	174
10.3. Обрада муљева.....	181
11. ФИЗИЧКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА.....	187
11.1. Механичке методе пречишћавања воде.....	188
11.1.1. Груба филтрација - цеђење.....	188
11.1.2. Уситњавање.....	190
11.1.3. Таложење.....	191
11.1.4. Флотација.....	196
11.2. Термичке методе пречишћавања вода.....	198
11.2.1. Евапорација.....	198
11.2.2. Сагоревање – инцинерација отпадних материја.....	198
11.2.3. Хлађење.....	198
11.3. Пречишћавање воде ултраљубичастим зрачењем.....	200
11.4. Пречишћавање воде ултразвучним таласима.....	201
12. ФИЗИЧКОХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА.....	207
12.1. Коагулација и флокулација.....	209
12.2. Јонска измена.....	211
12.2.1. Обрада природне воде јонским измењивачима.....	214
12.2.2. Обрада отпадне воде јонским измењивачима.....	217
12.2.3. Остале примене методе јонске измене за пречишћавање вода.....	218
12.3. Аерација.....	219
12.4. Адсорпција.....	223
12.5. Екстракција.....	225
12.6. Електродијализа.....	226
12.7. Електродијарежа.....	228
12.8. Филтрација.....	229
12.8.1. Макрофилтрација.....	229
12.8.2. Мембранска филтрација.....	231
13. ХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА.....	239
13.1. Хемијско таложење.....	240
13.1.1. Омекшавање воде методом таложења.....	240
13.1.2. Уклањање тешких метала из воде хемијским таложењем.....	243
13.1.3. Уклањање фосфора из воде хемијским таложењем.....	244
13.2. Оксидо-редукционе методе.....	244
13.2.1. Дезинфекција воде оксидацијом.....	245
13.2.2. Уклањање раствореног кисеоника оксидацијом.....	252
13.2.3. Уклањање амонијака из воде оксидацијом.....	253

13.2.4. Деферизација и деманганизација воде оксидацијом	253
13.2.5. Уклањање цијанида оксидацијом	255
13.2.6. Уклањање водоник-сулфида оксидацијом	255
13.2.7. Уклањање хлора из вода редукцијом	255
13.3. Метода неутрализације	255
14. БИОЛОШКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА	263
14.1. Аеробне методе пречишћавања вода	265
14.1.1. Аеробни поступци са суспендованом микрофлором	266
14.1.2. Аеробни поступци са имобилисаном микрофлором	267
14.2. Анаеробне методе пречишћавања вода	270
14.3. Биолошки поступци уклањања фосфора	271
15. КОМБИНОВАНЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА	277
15.1. Пречишћавање вода земљиштем	278
15.2. Олигодинамичке методе пречишћавања вода	279
16. ПОТРЕБАН СТЕПЕН ПРЕЧИШЋАВАЊА ОТПАДНИХ ВОДА, МОНИТОРИНГ, АСПЕКТИ БЕЗБЕДНОСТИ И ЗДРАВЉА НА РАДУ	285
16.1. Контрола процеса у централним постројењима за третман отпадних вода	288
16.2. Аспекти безбедности и здравља на раду	291
БИБЛИОГРАФИЈА:	301
ИНДЕКС ПОЈМОВА	307