PREDGOVOR PRETHODNOM IZDANJU

Ugrožavanje vodnih resursa na Planeti od strane čoveka odavno je nametnulo potrebu za tretmanom vode za piće. Tek pojavom masovnih epidemija trbušnog tifusa i kolere u naseobinama sa organizovanim snabdevanjem vodom, počinje ozbiljnije da se posvećuje pažnja tretmanu vode. Od tog vremena pa sve do danas neprekidno se radi na istraživanju i usavršavanju novih postupaka, uređaja i sredstava za prečišćavanje i dezinfekciju raspoloživih voda u prirodi kako bi se one mogle upotrebiti za piće. Međutim, kroz čitav taj period od nešto više od 100 godina unazad, pojavio se veoma mali broj napisane literature ili priručnika posvećenih toj problematici. Na našem jeziku, osim prevoda sa francuskog Degremont-ove knjige: „Tehnika prečišćavanja voda“ još iz 1974. godine i NALCO-vog „Priručnika za vodu“ koji je preveden sa američkog engleskog 2005. godine, nije se do danas pojavila nijedna knjiga posvećena tretmanu pijaće vode.

Baveći se ovom kao i problematikom tretmana otpadnih voda preko 30 godina, uglavnom kao projektant, Autor je imao brojnih prilika da uoči i oseti nedostatak literature iz ovih oblasti. Međutim, to nije bilo dovoljno za donošenje odluke o pisanju ovakve knjige. Na to je ipak uticao splet drugih okolnosti a najviše prof. dr Martin Bogner koji je bio inicijator pisanja naše zajedničke knjige „O VODAMA“ izdate početkom 2006. godine.

Knjiga „TRETMAN PIJAĆE VODE“ predstavlja pokušaj autora da budućim čitaocima stavi na raspolaganje neka svoja stečena iskustva iz ove oblasti u kombinaciji sa iskustvima malobrojnih autora iz razvijenog dela sveta iskazanih kroz objavljene knjige i radove i predstavlja nadogradnju već pomenute knjige „O VODAMA“. Očekujući da će se u čitalačkoj publici naći stručnjaci koji rade na poslovima projektovanja, eksploatacije i održavanja postrojenja za tretman pijaće vode kao i studenti različitih fakulteta na kojima se ova materija izučava, Autor se trudio da sadržaj knjige i metodologiju izlaganja koncipira tako da se ona može čitati i razumeti i bez nekih posebnih predznanja iz ove oblasti.

Veliku zahvalnost dugujem recenzentima dr Dejanu Ljubisavljeviću, dipl. inž. građ., redovnom profesoru Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Vladimiru Jelenkoviću, dipl. inž. tehn., vodećem inženjeru u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, koji su pročitali rukopis i nizom korisnih sugestija doprineli da Knjiga dobije svoju konačnu formu.

Takođe se zahvaljujem Emilu Vasiću, likovnom umetniku, Želimiru Milijanoviću, dipl. inž. maš., Saši Žiži, dipl. inž. maš. i Mariji Bajić, dipl. inž. geol. na nesebičnoj pomoći oko tehničke obrade grafičkih priloga u tekstu knjige.

Posebnu zahvalnost izražavam mojoj matičnoj firmi „Energoprojekt-Hidroinženjering“ i firmi „Eko-vodo projekt“ koje su mi pružile značajnu pomoć oko tehničke pripreme radne verzije knjige (štampanje, skeniranje, kopiranje, povezivanje kao i kompjutersko crtanje dela grafičkih priloga).

Na kraju, ne treba zaboraviti ni one koji su za sve vreme izrade ove knjige radili na njenom ometanju. Njima sam zahvalan što u tom svom „poslu“ nisu bili dovoljno uspešni.
Unapred se zahvaljujem na svim konstruktivnim primedbama i sugestijama čitalaca koje ću uzeti u obzir i ugraditi u eventualno buduće izdanje ili proširenje ove knjige.

Beograd, marta 2009. Autor

PREDGOVOR UZ KNJIGU PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE

Knjiga PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE predstavlja novo izdanje moje prethodne knjige TRETMAN PIJAĆE VODE, koju je izdala Građevinska knjiga 2009. godine. Do promene naslova knjige je došlo na osnovu predloga jednog broja čitalaca a takođe i izdavača ove knjige „AGM knjiga“ iz Beograda.
U odnosu na prethodno izdanje, knjiga je proširena jednim kompletno novim poglavljem pod rednim brojem 18. UTICAJ VODE NA MATERIJALE, koje je usledilo na predlog pojedinih čitalalaca koji se ovom problematikom bave praktično bilo kao projektanti ili inženjeri zaduženi za eksploataciju i održavanje postrojenja za prečišćavanje vode za piće.
Pored toga, još jedno dodatno poglavlje 6. FLOTACIJA je izdvojeno iz ranijeg poglavlja i 5. TALOŽENJE, budući da su oba ova dela dopunjena novim materijalima.
Dopunjavanja su takođe izvršena i u poglavljima: 1. PRIRODA VODE I NJENE OSNOVNE KARAKTERISTIKE, 3. KOAGULACIJA I FLOKULACIJA 7. FILTRACIJA,12.IZMENA JONA,15.MEMBRANSKA SEPARACIJA i 17. TRETMAN MULJA.
Naravno, izvršene su ispravke uočenih štamparskih i drugih grešaka.
Na kraju knjige je dat i prilog RAČUNSKI PRIMERI IZ TEORIJE I PRAKSE sa konkretnim problemima i rešenjima vezanim za materiju obuhvaćenu ovom knjigom.
Veoma sam zahvalan recenzentima: dr Aleksandru Đukiću, dipl. inž. građ. i dr Vladani Rajaković-Ognjanović, dipl. inž. tehn., vanrednim profesorima na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu koji su pažljivo pročitali rukopis i čije sam korisne i konstruktivne primedbe i sugestije ugradio u ovu knigu.

U Beogradu, avgusta 2022. godine Autor

SADRŽAJ

1. PRIRODA VODE I NJENE OSNOVNE KARAKTERISTIKE / 1
1.1. Uvod / 1
1.2. Molekul vode / 4
1.3. Vodni resursi na našoj planeti / 8
1.4. Vodni resursi u Srbiji / 12
1.5. Elementarna hemija / 23
1.6. Hemizam vode / 42
1.7. Biologija vode / 56

2. PREDTRETMAN POVRŠINSKIH VODA / 67
2.1. Uvod / 65
2.2. Uklanjanje grubih i krupnih otpadaka / 67
2.3. Destratifikacija akumulacionih jezera / 70
2.4. Hemijski tretman akumulacija / 72
2.5. Aeracija i predoksidacija / 73
2.6. Predtaloženje / 74

3. KOAGULACIJA I FLOKULACIJA / 75
3.1. Uvod / 75
3.2. Osnovi teorije koagulacije / 77
3.3. Faze u aglomeraciji / 85
3.4. Koagulanti / 87
3.5. Flokulanti / 88
3.6. Koagulacija u prečišćavanju voda / 89
3.7. Brzo mešanje / 93
3.8. Flokulacioni sistemi / 97
3.9. Uređaji koji se koriste za flokulaciju / 100
3.10. Kontrola i praćenje flokulacije / 103

4. SKLADIŠTENJE I DOZIRANJE HEMIKALIJA / 111
4.1. Uvod / 111
4.2. Izbor hemikalija / 111
4.3. Projektni kriterijumi / 115

5. TALOŽENJE / 137
5.1. Uvod / 137

5.2. Teorijske osnove taloženja / 137
5.3. Primena taloženja / 143
5.4. Horizontalni protočni taložnici / 145
5.5. Taložnici sa neprekidnim kontaktom / 151
5.6. Taloženje u lamelastim taložnicima / 154

6. FLOTACIJA / 173
6.1. Uvod / 173
6.2. Veličina i brzina mehurića / 174
6.3. Prirodna i potpomognuta flotacija / 177
6.4. Mehanička flotacija i flotacija pene / 180
6.5. Flotacija mikromehurićima (rastvorenim vazduhom) / 180

7. FILTRACIJA / 187

7.1. Uvod / 187
7.2. Vrste filtera / 188
7.3. Evolucija filtracije / 189
7.4. Proces filtracije vode / 194
7.5. Uloga filtracije u tretmanu voda / 202
7.6. Direktna filtracija / 203
7.7. Projektovanje filterskih sistema / 206
7.8. Ostali tipovi filtera / 254

8. DEZINFEKCIJA I STERILIZACIJA / 261
8.1. Uvod / 261
8.2. Aktuelne metode koje se koriste / 261
8.3. Teorija dezinfekcije / 262
8.4. Dezinfekcija hlorisanjem / 263
8.5. Ozonizacija / 276
8.6. Kalijum permanganat / 307
8.7. Jod / 307
8.8. Brom / 308
8.9. Srebro / 309
8.10. Vodonik peroksid / 310
8.11. Zračenje ultraljubičastim lampama / 310

9. ADSORBCIJA AKTIVNIM UGLJEM / 313
9.1. Uvod / 313
9.2. Kontrola ukusa i mirisa / 314
9.3. Primena aktivnog uglja / 315
9.4. Postupak adsorbcije ugljem / 317
9.5. Proizvodnja aktivnog uglja / 318
9.6. Razvijanje projektnih kriterijuma za tretman vode aktivnim ugljem / 323
9.7. Projektovanje sistema za GAU adsorbciju i njegovu reaktivaciju / 324
9.8. Adsorbcija aktivnim ugljem poboljšana ozonom / 329

9.9. Primena aktivnog uglja kao dehlorinatora vode / 330

10. AERACIJA I DEGAZACIJA / 333
10.1. Aeracija / 333
10.2. Degazacija / 336

11. UKLANJANJE GVOŽĐA I MANGANA / 343
11.1. Uvod / 343
11.2. Rasprostranjenost u prirodi / 343
11.3. Uklanjanje gvožđa i mangana / 346

12. IZMENA JONA / 353
12.1. Uvod / 353
12.2. Opšte o jonskim izmenjivačima / 354
12.3. Struktura jonskih izmenjivača / 357
12.4. Proizvodnja jonskih izmenjivača / 362
12.5. Osnovni koncept jonske izmene / 364
12.6. Uklanjanje nitrata jonskom izmenom / 375

13. UKLANJANJE TRIHALOMETANA / 379
13.1. Uvod / 379
13.2. Definicija parametara merenja THM / 379
13.3. Faktori koji utiču na brzinu stvaranja THM i krajnje koncentracije THM / 381
13.4. Neophodni koraci za ublažavanje THM MCL / 383
13.5. Metode za kontrolu stvaranja THM / 388
13.6. Uputstvo za kontrolu THM u sistemima koji koriste samo hlor / 389
13.7. Uputstvo za sisteme koji koriste konvencionalne tretmane / 393
13.8. Uputstva za sisteme koji koriste omekšavanje krečom / 398
13.9. Pregled mikrobioloških ispitivanja / 401

14. KONTROLA UKUSA I MIRISA / 403
14.1. Uvod / 403
13.2. Terminologija, karakterizacija i merenje / 404
13.3. Izazivači ukusa i mirisa / 405
13.4. Uklanjanje ukusa i mirisa / 409

15. MEMBRANSKA SEPARACIJA / 421
15.1. Uvod / 421
15.2. Struktura membrana /421
15.3. Mikrofiltracija /422
15.4. Ultrafiltracija / 423
15,5. Nanofiltracija / 423
15.6. Reversna osmoza / 424
15.7. Materijalni bilans u membranskim procesima / 430
15.8. Konstruktivne karakteristike komercijalnih uređaja / 431
15.9. Održavanje membrana / 435

15.10. Dijaliza / 436
15.11. Elektrodijaliza / 437

16. FLUORIZACIJA I DEFLUORIZACIJA / 441
16.1. Uvod / 441
16.2. Istraživanje dejstva fluorida / 441
16.3. Fluorizacija / 443
16.4. Sistemi za fluorizaciju / 445
16.5. Defluorizacija / 448

17. TRETMAN MULJA / 453
17.1. Uvod / 453
17.2. Klasifikacija muljeva / 453
17.3. Minimizovanje proizvodnje mulja / 459
17.4. Tehnike ugušćivanja i obezvodnjavanja mulja / 460
17.5. Odlaganje krajnjih produkata mulja / 487

18. UTICAJ VODE NA MATERIJALE / 491
18.1. Uvod / 491
18.2. Elektrohemijska korozija gvožđa / 491
18.3. Korozija bez prisustva kiseonika ili korozija vodonikom / 493
18.4. Korozija kiseonikom / 495
18.5. Kontrola i merenje korozije / 497
18.6. Formiranje zaštitnih slojeva i pasivizacija / 497
18.7. Sekundarni parametri korozije / 503
18.8. Korozija nerđajućih čelika / 510
18.9. Korozija livenog gvožđa / 514
18.10. Korozija galvanizovanog čelika / 515
18.11. Degradacija betona / 516
18.12. Starenje plastike / 520

RAČUNSKI PRIMERI IZ TEORIJE I PRAKSE / 521

LITERATURA / 537

1. PRIRODA VODE I NJENE OSNOVNE KARAKTERISTIKE [4], [10], [13], [30], [31]

1.1. UVOD

Hidrosfera, vodeni omotač Zemlje, je složen dinamički sistem, u kome se u procesu kružnog kretanja voda neprekidno gubi, ali i stvara. Pošto je hidrosfera u interakciji sa ostalim sferama – atmosferom, litosferom i biosferom, u njima se odvija intenzivno kruženje. U toku godine sa Zemljine površine ispari pod uticajem Sunčeve energije oko 577 000 km^3 vode. Kondenzacijom vodene pare i izlučivanjem u obliku padavina, ta količina vode se vraća na Zemlju. Pri tome voda stalno ulazi u sastav žive organske materije i iz nje se oslobađa. U ovom kruženju učestvuje oko 60 % ukupne biološke vode. Može se zaključiti da u procesu kruženja učestvuje voda u svim oblicima pojavljivanja na Zemlji: slobodna, atmosferska, biološka, kao i ona koja je fizički vezana u Zemljinoj kori i omotaču jezgra. Ova poslednja kruži kroz mnoge geofizičke i geohemijske procese, pri kojima se oslobađa iz Zemljine unutrašnjosti i ponovo vezuje u stenama. Najveći deo koji se oslobađa iz omotača jezgra odlazi na popunjavanje hidrosfere, dok se manji deo akumuliše u stenama Zemljine kore. Vodi u Svetskom moru potrebno je 2 320 godina da bi se jednom obnovila. Voda u rečnim koritima se u proseku obnavlja svakih 16 dana, a biološka voda svakih nekoliko časova.

Hidrosfera je stara između 3,5 i 4 milijarde godina. Ona je stvorena tokom prvih nekoliko stotina miliona godina postojanja Zemlje i poticala je iz omotača Zemljinog jezgra, gde su se nalazile velike zalihe vezane vode. Proces akumulacije hidrosfere je bio veoma spor, jer se degazacija omotača jezgra kroz procepe u Zemljinoj kori odvijala sporo. Početkom arhaika, odnosno pre 3,2 milijarde godina, obrazovano je 90 % zapremine hidrosfere, a svoju sadašnju veličinu Svetsko more je dostiglo, po nekim autorima, tek početkom mezozoika, pre 200 miliona godina.

Prvi, najstariji, okean imao je mineralizovanu vodu i bio je bez živih bića. Za nastanak života poslužilo je obilje organske materije rastvorene u morskoj vodi. Zbog odsustva slobodno rastvorenog kiseonika postojali su samo jednostavni heterotrofni organizmi. Mada su biološki procesi bili primitivni, njihove životne delatnosti su počele da utiču na formiranje prirode okeana. Oni su kvalitativno menjali hemijski sastav atmosfere i vode i bili materijal za obrazovanje mulja na dnu okeana, čijim su kasnijim preobražajem stvorene sedimentne stene. Daljom evolucijom pojavili su se organizmi sa hlorofilnim aparatom, sposobni da koriste neorganske materije i uz pomoć svetlosti sami proizvode hranu za sebe. Ujedno oni su služili kao hrana heterotrofnim organizmima. Prvobitna sredina sa

preovlađujućim ugljen-dioksidom menja se u oksidacionu u kojoj preovladava kiseonik. Tako je počela nova era razvitka na Zemlji.

Život se, dakle, začeo u okeanu i odatle proširio na kopno. I danas je okean idealna sredina za život i razvitak organizama: bogat je kiseonikom i neophodnim materijama, ne podleže suštinskim promenama svojih hemijskih i fizičkih karakteristika značajnih za život, sadrži velike količine biogenih elemenata. U njemu je registrovano preko 200 000 vrsta biljaka i životinja, od oko 250 000 koliko ih je u celoj hidrosferi. Međutim, okean treba shvatiti kao neistraženo područje koje stalno donosi nova otkrića. Pri tome je uočljivo preovlađivanje zoomase nad fitomasom, dok je na kopnu obrnuto. U moru životinje prevazilaze biljke po biomasi 28 puta, dok je na kopnu njihiva biomasa 1 000 puta manja od biljne. To se objašnjava time što su u vodi biljke uglavnom predstavljene sitnim, često mikroskopskim algama, koje su po jedinici mase mnogo produktivnije od kopnenih makrofita i kao takve služe za ishranu mnoštva raznovrsnih životinja.

Po broju vrsta organizama hidrosfera znatno zaostaje za kopnom. Međutim, ako se uporede podaci o krupnim taksonima onda je situacija drugačija. Od ukupno 33 klase biljaka, 18 je prilagođeno životu u vodi, a 15 životu na kopnu. Među 63 klase životinja u vodi se sreće 57 (54 samo u vodi), dok ih je na kopnu 9 (3 samo na kopnu). Ovi podaci ne samo da idu u prilog shvatanju da je život nastao u vodenoj sredini, nego ukazuju i na to da je voda najrasprostranjeniji biotop.

Tri četvrtine površine Zemlje je prekriveno vodom. Život nastaje i opstaje zahvaljujući vodi. Kompletan biljni, životinjski, ljudski i svet mikroorganizama je zasnovan na upotrebi vode. Drugim rečima, voda je osnov života.

Voda je na površini Zemlje, koju prekriva sa tri četvrtine njene ukupne vrednosti, najčešće mineralna. Ona je sastavni deo hidrosfere. Njena zapremina se procenjuje na 1 370 miliona kubnih kilometara, pri čemu se količina između 500 000 i jednog miliona kubnih kilometara računa kao slatka voda raspodeljena na reke, jezera i podzemnu vodu. Zapremina polarnih ledenih kapa je zastupljena sa 25 miliona kubnih kilometara slatke vode. Konačno, u atmosferi se nalazi 50 000 kubnih kilometara vode u obliku pare i oblaka. Godišnje isparavanje se procenjuje na oko 500 000 kubnih kilometara a količina padavina na kontinentima se računa sa 120 000 kubnih kilometara godišnje.

Voda je glavna komponenta živih materija. Procenjuje se da ona u proseku čini oko 80 % njihove građe. Kod krupnijih životinja procentualni sadržaj vode je između 60 i 70 %. U morskim organizmima, kao u slučaju meduza i algi, ove proporcije dostižu ekstremnih 98 %. S druge strane, bakterije u stanju sporulacije ili zaustavljene animacije, ostaju izdržljive, kako su pokazala iskustva, na opadanje sadržaja vode i do 50 %.

Prema tome, voda je pre svega simbol biološkog života.

Voda je uslov života na našoj planeti i samim tim najdragoceniji prirodni resurs. Jedna stara poslovica kaže: „Tamo gde je voda, tamo je život“. Ona čini do 90 % mase biljaka, oko 75 % mase životinja i ulazi u sastav čovekovog tela sa oko 65 %. Stalnim mešanjem i preraspodeljivanjem voda učestvuje u svim životnim procesima koji se događaju u čovekovom organizmu i utiče na zdravlje i normalnu aktivnost ljudi. Njena uloga naročito je značajna u sledećim procesima:

- voda prenosi hranljive materije do ćelija,
- vrši razmenu materija,
- učestvuje u stvaranju krvi, limfe, plazme i tkivne tečnosti,
- ulazi u sastav pojedinih organa,
- odstranjuje štetne produkte iz organizma koji se oslobađaju preko bubrega, pluća, žlezda i creva,
- omogućuje varenje hrane,
- učestvuje u svim hemijskim i fermentacijskim procesima,
- isparavanjem i izlučivanjem preko kože i disajnih organa učestvuje u termoregulaciji,
- ima ulogu rastvarača svih materija koje se nalaze u krvi.

Da bi se održalo normalno funkcionisanje organizma, bilans vode u čovekovom telu ne sme da se naruši. Bilans se utvrđuje prema dnevnim potrebama za vodom, koje zavise od prirodnih, pre svega klimatskih uslova i aktivnosti pojedinca. Tako one u umerenom klimatskom pojasu pri uobičajenoj fizičkoj aktivnosti iznose od 2,5 do 3 L. Ukoliko dnevno pomanjkanje vode iznosi 1,5 L dolazi do početne dehidratacije organizma, a neunošenjem 4,2 L za 2 do 4 dana prouzrokuje se dehidratacija, dok manjak od 5 do 10 L dovodi do jake dehidratacije sa psihičkim poremećajima.

Pošto voda obezbeđuje život, najstarije ljudske civilizacije nastajale su pored vode – u dolinama velikih reka. One su im obezbeđivale vodu za piće i hranu, bilo neposredno preko ribolova ili posredno kroz poljoprivrednu proizvodnju. Ljudi starog veka shvatili su vrednost vode i njenu moć. Oni su je obožavali i verovali u boga voda. S druge strane, nestašica vode je bila jedan od glavnih faktora pada starih civilizacija, kao što su Ur u Mesopotamiji i Mohenjodaro u slivu Inda. U početku voda je uslovljavala razmeštaj stanovništva, a kasnije, kada u sve većem obimu postaje faktor proizvodnje, uslovljava nastanak lučkih, trgovačkih i industrijskih gradova. Tako se najveći gradovi na svetu nalaze na morskim obalama (Sao Paolo, Šangaj, Buenos Aires, Tokio, Njujork, Džakarta) i na obalama velikih reka (Peking, Pariz, Kairo, Moskva, Delhi, Kalkuta) ili obalama jezera (Čikago, Toronto).

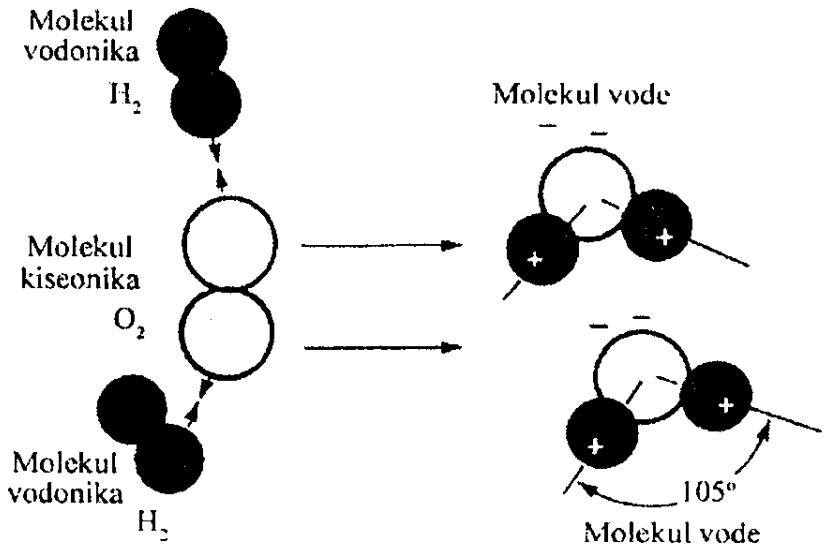
Voda je ne samo najvažniji uslov postojanja biosfere, nego i posredno utiče na njenu egzistenciju. Tu se pre svega misli na veliku ulogu Svetskog mora u formiranju klime na Zemlji, održavanju stabilnosti gasnog sastava atmosfere i prirodnom prečišćavanju životne sredine. Zato se s pravom kaže: „Mrtav okean – mrtva planeta“.

Kao najvažniji element u sferama minerala i biologije, voda je takođe značajan vektor života i ljudske aktivnosti. Na primer, upotreba vode u svetu, računajući domaćinstva, industriju i poljoprivredu, ukupno iznosi impresivnih 250 m^3 godišnje po osobi. Osim toga, dispariteti su enormni: od 100 m^3 za zemlje u razvoju do 1 500 m^3 u SAD. Prema tome, potrebe za vodom neprekidno rastu.

Ovo nameće imperativ da vodu treba zaštititi. Ona mora biti tretirana, bilo da se radi o proizvodnji za opštu potrošnju, ili za posebne industrijske namene, ili o ograničavanju ispuštanja ili zagađivanja okoline.

1.2. MOLEKUL VODE

Filozofska misao da je osnovni faktor čovečanstva čovek, može se parafrazirati u: osnovni faktor vode je njen molekul. Ovaj molekul se može jednostavno opisati kao jednakokraki trougao sa uglom od 105º između dva atoma i negativnim naelektrisanjem dva njegova pola. Ako bi njihove veze bile isključivo kovalentne, taj ugao bi bio 90º. Molekul vode ima električni moment koji se odražava na njegove fizičke i električne karakteristike.
Formula vode se može prema tome jednostavno napisati kao H_2O. Ova formula govori samo o njenoj kompoziciji i molekularnoj masi, ali ne može objasniti njeno karakteristično svojstvo koje proističe iz neuobičajenog molekularnog rasporeda (slika 1.1). Dva atoma vodonika smeštena pod međusobnim uglom od 105º nasuprot atomu kiseonika, čine molekul vode asimetričnim, koji je pozitivno naelektrisan na strani vodonika i negativno na strani kiseonika. Sa tog aspekta, za vodu se kaže da je dipolarna. Ovo dovodi do udruživanja molekula, tj. vodonik jednog molekula privlači kiseonik susednog molekula.



Slika 1.1. Udruživanje dvoatomnih molekula vodonika i kiseonika daje molekul vode po polarnom principu

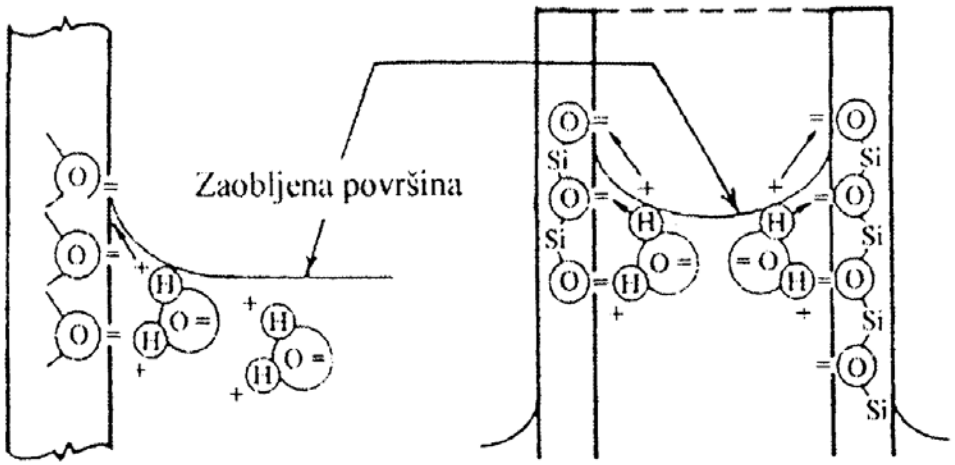
Udruživanje molekula nastalo kao rezultat sila privlačenja različito naelektrisanih atoma naziva se *vezivanje vodonika.*
Jedna od posledica vezivanja vodonika je da molekuli H_2O ne mogu napustiti osnovnu vodenu masu bez savladavanja intermolekularnih sila privlačenja. Energija potrebna za raskidanje vezanog vodonika i oslobađanje molekula H_2O u oblik pare je mnogo veća nego sve ostale hemijske komponente zajedno. Zahvaljujući ovoj činjenici, vodena para poseduje veliku energiju i predstavlja koristan medijum za prenos energije za funkcionisanje industrijskih postrojenja, zgrada, stanova i slično.

Voda se mnogo više koristi za zagrevanje i hlađenje nego za druge namene. Osim toga, za svako povišenje temperature, voda absorbuje ili odaje više toplote, tj. ima veći toplotni kapacitet nego mnoge supstance, tako da predstavlja vrlo efikasan medijum za prenos toplote.
Upotreba vode u zamrznutom obliku je vrlo retka u poređenju sa drugim tečnostima.Vezani vodonik proizvodi kristale koji izazivaju širenje leda u odnosu na prirodnu zapreminu tečnosti, tako da je njegova gustina manja od tečne faze u kojoj led pliva. Ukoliko ovo ne bi bio slučaj, jezera bi se zamrzavala odozdo na gore, pa život u njima kao što je poznato ne bi bio moguć.
Tabela 1.1 daje uporedne vrednosti tačke ključanja i drugih toplotnih vrednosti vode sa sličnim molekulima, kao što je vodoniksulfid, i sa različitim sastavima u tečnoj fazi na sobnoj temperaturi.

Tabela 1.1 Termičke karakteristike vode i sličnih smesa

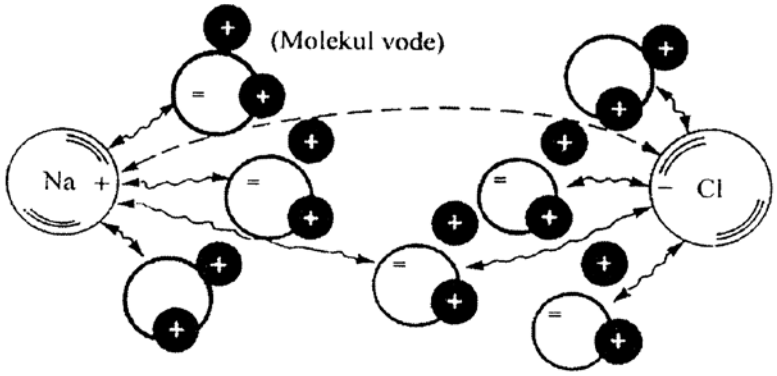
Supstanca	Specifični toplotni kapacitet	Tačka mržnjenja, ºC	Tačka ključanja, ºC	Latentna toplota isparavanja, kJ⁄g
Voda H_2O	1,00	0	100	2 261
Vodonik sulfid H_2S	-	-83	-62	552
Metanol CH_3OH	0,57	-98	65	1 101
Etanol C_2H_5OH	0,54	-117	79	854
Benzin C_8H_{15} (opšta formula)	0,39	6	80	394

Zbog neobične strukture molekula vode, ona se u prirodi javlja u sva tri agregatna stanja, čvrstom kao led, tečnom kao voda i gasovitom kao para. Isti slučaj je i kod ostalih smesa navedenih u tabeli 1.1.
Pored svojih neuobičajenih toplotnih svojstava, voda ima i fizičke karakteristike sasvim različite od drugih tečnosti. Njen visok površinski napon je lako pokazati preko eksperimenta „plivanja“ igle na površini vode u čaši.
Ovako visok površinski napon prouzrokovan vezivanjem vodonika takođe izaziva podizanje vode u kapilarnoj cevi (slika 1.2). Neke tečnosti, za razliku od vode, ne kvase staklenu površinu. One fomiraju obrnuto zaobljenu površinu. Navedene pojave se u stručnoj literaturi mogu naći još i pod nazivom „meniskus“ koji potiče iz Grčkog jezika što znači „polumesec“.
Zahvaljujući pomenutim kapilarnim dejstvima obezbeđena je cirkulacija vode kroz korenje i tkiva, što održava u životu čitav biljni i životinjski svet.



Slika 1.2. Zaobljen oblik (levo) kada se atomi vodonika podižu naviše uz okvašene oksidne površine u odnosu na nivo vode u staklenoj cevi. Crtež desno pokazuje kako vodonik vezan vodom u kapilarnoj staklenoj cevi izaziva podizanje vode u njoj iznad okolnog stvarnog nivoa vode.

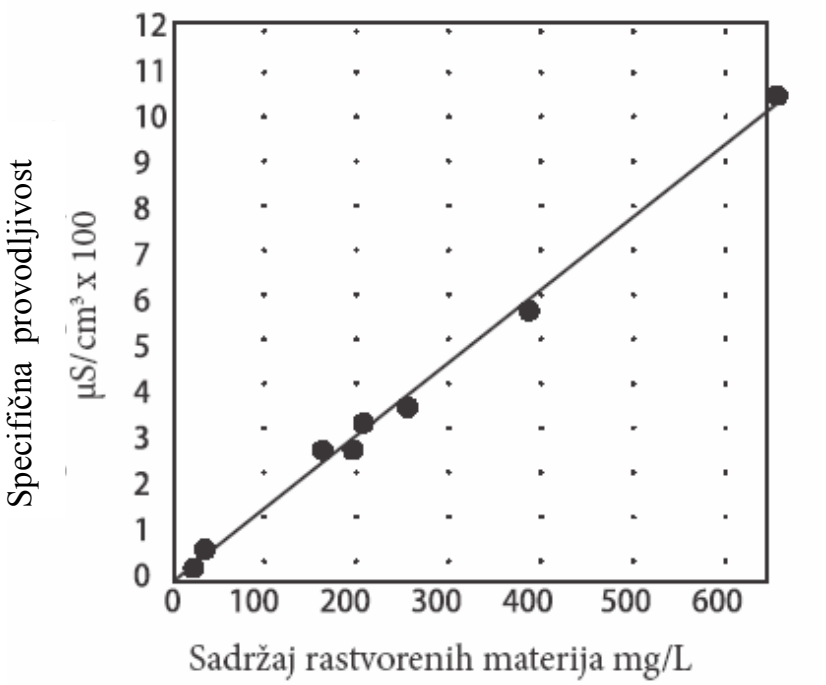
Voda se često smatra i univerzalnim rastvaračem. Molekuli vode u kontaktu sa kristalima orijentišu ih u neutralizaciju sila privlačenja između jona u kristalnoj strukturi. Slobodni joni su tada hidratizovani preko molekula vode, kao što se vidi na slici 1.3, zaštićeni od rekristalizacije i eventualnog ponovnog vezivanja. Ovakve karakteristike voda ima zahvaljujući relativno visokoj dielektričnoj konstanti



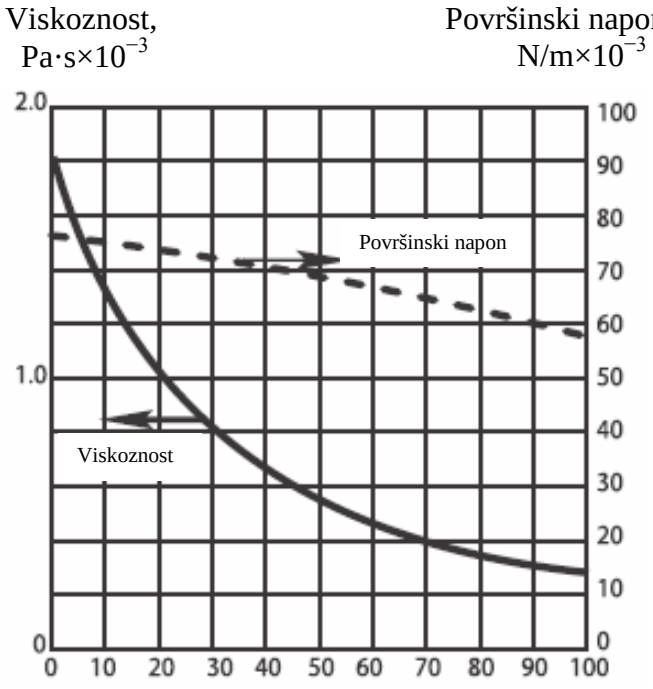
Slika 1.3. Orijentacija molekula vode teži da drži jone razjedinjene taložeći ih na taj način iz rastvora. Ovo objašnjava sposobnost vode kao rastvarača.

Voda jonizuje sasvim neznatno, produkujući samo 10^{-7} mola vodonika i 10^{-7} mola jona hidroksida po litru, tako da se svrstava u izolatore – ne može da provodi struju. Soli, kao

i drugi jonizujući materijali koji se rastvaraju u vodi, povećavaju njenu elektro provodljivost. Provodljivost vode u njenom prirodnom obliku omogućuje merenje sadržaja rastvorenih minerala u njoj (slika 1.4).
Drugi važan fenomen, koji se dešava u vodenim rastvorima a odnosi se na sadržaj rastvorenih materija, je osmotski pritisak. Ako su dva razblažena rastvora razdvojena membranom, voda će prolaziti iz blažeg rastvora ka rastvoru veće koncentracije. Ovo je veoma bitan proces za kontrolu funkcionisanja svih živih ćelija. Zaštita hrane usoljavanjem zasnovana je upravo na ovom fenomenu. So stvara jak rastvor, razbijajući ćelije organizama koji bi mogli da izazovu zagađivanje hrane, tako što voda iz hrane stalno izlazi u težnji da razblaži okolni slani rastvor. U specijalno konstruisanim membranskim baterijama, osmotski protok vode kroz membranu ka rastvoru veće koncentracije može biti i povratan (reverzibilan) uz primenu dovoljno visokog pritiska.
Ovaj proces „reversne osmoze“ je jedan od praktičnih postupaka desalinizacije vode.
I na kraju, viskoznost je takođe veoma bitna karakteristika vode prilikom njene obrade i upotrebe. Ona je merilo unutrašnjeg trenja, tj. trenja jednog sloja molekula koji se kreću preko drugog. Ako temperatura vode raste, unutrašnje trenje opada. Zahvaljujući temperaturskim efektima, rastvorene soli i gasovi se rasprostiru brže kroz topliju vodu, hemijska obrada se ubrzava, a fizički procesi taloženja i degazacije postaju efikasniji.



Slika 1.4. Sadržaj rastvorenih materija u vodi se može proceniti iz njihove specifične provodljivosti. Za većinu vodovodnih sistema faktor konverzije je 1,55 µS po miligramu rastvorenih čestica po litru rastvora. Za ostale vrste vode, kao što su otpadna i vrela voda, faktor konverzije se mora određivati za svaku situaciju posebno.
Uticaj temperature na viskoznost vode prikazan je na slici 1.5.



Slika 1.5. Opadanje površinskog napona i viskoznosti pri zagrevanju vode

1.3. VODNI RESURSI NA NAŠOJ PLANETI

Zemlju nazivaju „plavom planetom“ jer je 70,8 % njene površine pod vodom. Još od njenog nastanka voda je u neprekidnom kretanju na površini Zemlje. Dobro poznate struje kao što su Golfska (*Gulf*) i Hamboltova (*Humboldt*) struja, prouzrokovane Koriolisovim (*Coriolis*) ubrzanjem, neprekidno cirkulišu u morima, regulišući tako klimu u pojedinim područjima, što obezbeđuje ishranu značajnog dela svetske populacije koja se oslanja na ribolov. Tamo gde je prekinuto kopnenim preprekama more, protiveći se da bude potpuno zaustavljeno, uzvraća isparavanjem i kondenzovanjem vode u obliku padavina, napadajući tako kopnenu barikadu. Ovakvo stalno isparavanje i kondenzovanje čini tzv. *hidrološki krug.*

Da bi se moglo govoriti o bilo kakvom razmatranju raspoloživih količina vode na Zemlji, potrebno je sagledati ukupne potencijale ovog resursa na našoj Planeti. Zbog toga je veoma važno raspolagati sledećim podacima o svim vodnim resursima u različitim oblicima. Ukupna količina vode na planeti Zemlji se procenjuje na oko 1 400 000 000 km^3, od čega 1 365 000 000 km^3, ili 97,5 %, otpada na globalne slane vode, dok preostalih 35 000 000 km^3, odnosno svega 2,5 %, čine globalne rezerve slatke vode. Ova količina je raspodeljena na 24 043 000 km^3 polarnog leda i glečera, 10 522 000 km^3 podzemnih voda, 342 000 hemijski vezane i permanentno zaleđene vode i 93 000 km^3 jezerske i rečne vode. Ovim ciframa treba dodati i oko 500 000 km^3/god. obnovljivih količina vode u obliku padavina (kiša, sneg i grad), od čega 387 000 km^3/god. padne na površine okeana, a 113 000 km^3/god.

na kopnene delove Planete. Veći deo kopnenih padavina (71 000 km^3/god.) odlazi na ponovnu evaporaciju, a manji (41 000 km^3/god.) ide u površinske i podzemne vode. Od ove poslednje cifre je samo oko 12 000 km^3/god., ili 0,8 %, raspoloživo za ljudsku upotrebu, dok se čak 24 000 km^3/god. izgubi u obliku poplavnih i tranzitnih voda, a oko 5 000 km^3/god. padne daleko od ljudskih staništa.

Mineralizovana voda okeana, reka i voda iz zemljišta predstavlja rastvor hemijskih jedinjenja. Međutim, čestice koje isparavaju ne sadrže te primese i pri kondenzaciji vodene pare obrazuju se padavine slatke, zapravo destilovane vode. Prema tome, kruženje vode je glavni oslađivač vode, pri čemu se ona obnavlja ne samo u kvantitativnom nego i u kvalitativnom smislu. Resursi slatke vode, dakle ne sadrže nikakve primese koje bi ograničavale korišćenje vode. Gledano tako, sadašnji vodni resursi u celini zadovoljavaju potrebe, ne ulazeći u postojeća sezonska, godišnja i višegodišnja kolebanja, koja se odražavaju na korišćenje vode.

Ako se ima u vidu da su količine vode na našoj Planeti raspoložive za ljudsku upotrebu danas prostorno neravnomerno raspodeljene između 150 država i preko 7 milijardi stanovnika, evidentno je da će sa aktuelnim trendom rasta svetske populacije od blizu 3% godišnje, što znači da se broj stanovnika poveća svake godine za oko 90 miliona, ovaj resurs uskoro biti ugrožen i to najpre u zemljama tzv. Trećeg Sveta, gde je natalitet najveći.

Pored porasta broja stanovnika veliki problem predstavlja i trend rasta urbanizacije, koja naročito posle 50. – tih godina prošlog veka postaje dominantan demografski trend. To se najbolje ilustruje podacima da je u 1950. godini u gradovima živelo oko 750 miliona ljudi, dok danas ta cifra iznosi čak oko 2,6 milijarde. Računato u procentima, oko 42 % svetske populacije danas živi u gradovima, a projekcijom trenda rasta stanovništva do 2050.godine taj procenat će iznositi čak 65 %.

Pritisak na urbana područja stvara velike probleme u vezi sa snabdevanjem vodom, kanalisanjem, energentima, snabdevanjem hranom, otpadom, transportom itd. Ovakva koncentracija velikih potreba zahteva veoma skupu infrastrukturu za njihovo servisiranje.

Trenutno su sa velikim problemima u snabdevanju vodom i osnovnom kanalisanju kao preduslovom za očuvanje zdravlja stanovništva suočeni veliki gradovi kao što su Meksiko Siti, Sao Paolo, Rio de Žaneiro, Bombaj i Kalkuta. To se posebno odnosi na Meksiko Siti čiji se broj stanovnika u poslednjih 30 godina povećao za čak 8 miliona.

Prema tome, sa rastom svetske populacije uporedo sa razvojem ljudske civilizacije u stalnom je porastu i korišćenje vodnih resursa. Voda se uzima iz reka, jezera, izvora i akvifera za navodnjavanje, domaću upotrebu, urbane i industrijske svrhe. U poslednjih 100 godina količine voda koje se uzimaju iz prirode su se povećale za više desetina puta. To je posledica povećane stope rasta potreba za vodom koja je u poslednje vreme oko 2,5 puta veća od stope rasta broja stanovnika.

Svake godine sa kopna u Svetsko more pritiče 47 000 km^3 vode (površinske 44 700 km^3 i podzemne 2 200 km^3). Pošto sada na Zemlji živi oko 7 milijardi ljudi to znači da na jednog stanovnika dolazi 6 700 m^3 vode godišnje. Očekuje se da će se svetska populacija do sredine XXI veka uvećati na 8-10 milijardi i tada će jedan stanovnik raspolagati sa približno 5 300 m^3/god. Ako su sadašnje potrebe za vodom jednog građanina, uzimajući u obzir sve oblike korišćenja, 500-600 m^3/god., odnosno 10 puta manje u odnosu na ono

čime će se raspolagati krajem XXI veka, onda bi čovečanstvo bez ikakvih problema bilo obezbeđeno sa vodom tokom narednog veka. Međutim, pitanje hoće li biti dovoljno vode i u budućnosti sve češće se postavlja jer je u lancu kruženja vode ipak poremećena kvalitativna karika.

Glavni izvori sveže slatke vode na Zemlji su jezera. Ona su od posebne važnosti u Severnoj Americi, gde Kanada i SAD dele Veliki jezerski bazen, za koji se smatra da predstavlja najveći rezervoar slatke vode na svetu. U Rusiji, Bajkalsko jezero, u Sibiru, sadrži od prilike istu količinu slatke vode kao ceo Veliki jezerski sistem, 23 000 km^3.

Jezero Bajkal je duboko oko 1 525 m, sa površinom od oko $2{,}8\times10^6$ ha, dok Velika jezera imaju znatno veću površinu, oko 24×10^6 ha, ali su relativno plitka. Velika jezera i Bajkalsko zajedno sadrže 40 % trenutno raspoložive svetske slatke vode. Pored toga, Kanada u svom severnom delu raspolaže brojnim manjim jezerima nastalim od glečera koja sadrže još oko 15 % trenutno raspoložive svetske slatke vode.

Od ostalih velikih jezera treba pomenuti Aralsko u Kazahstanu, svojevremeno četvrto po veličini jezera u svetu, kao i jezero Čad u Africi. Oba ova nekada velika jezera su nažalost u odumiranju, usled rapidno smanjenog dotoka vode. Dotok reka Sir Darja i Amu Darja koje se ulivaju u Aralsko jezero opao je na samo 6 %, a jezero je smanjilo svoju zapreminu na polovinu. Slično je i sa jezerom Čad koje je za poslednjih 30 godina smanjeno za tri četvrtine svoje prvobitne zapremine, zbog prevelikog zahvatanja vode iz njegovih pritoka.

Zahvatanje vode iz reka izgradnjom brana i akumulacija je toliko intenzivirano u poslednjih 50 godina da se sadašnja količina vode koja se u njima zadržava procenjuje na oko 6 000 km^3, što čini 15 % obnovljivih količina iz godišnjeg hidrološkog ciklusa.Tako na primer reka Kolorado u SAD, koja je u svom toku pregrađena sa deset velikih brana, navodnjava oko 800 000 ha poljoprivrednog zemljišta i zadovoljava potrebe za vodom više od 21 miliona ljudi, proizvodeći pritom skoro 12 milijardi kWh električne energije godišnje, više ne stiže do svog ušća. To je dovelo do ozbiljnog narušavanja biološkog sistema u zoni delte ove reke.

Slično je i sa rekom Nil koja znači život za Egipat, obezbeđujući vodu za 70 miliona ljudi i navodnjava 3 miliona hektara oranica. Pre izgradnje Asuanske brane do Sredozemnog mora je stizalo oko 32 milijarde m^3 vode ove reke od ukupno 85 milijardi m^3, ili oko 40 % prosečnog godišnjeg protoka. Po završetku brane ovaj protok je odmah pao na 6 milijardi m^3, da bi se kasnije sa povećanjem korišćenja vode dalje smanjivao i dostigao današnjih svega 1,8 milijardi m^3. U planu je dalje povećanje potrošnje ove vode u bitkama za proizvodnju hrane, tako da će se dotok reke Nil na njenom ušću svesti na svega 400 miliona m^3 godišnje, što predstavlja manje od 0,5 % prosečnog godišnjeg protoka. Ovakav trend je već narušio biološku ravnotežu u ovom sistemu.

Ovo nažalost nisu i jedini primeri prekomernog iskorišćavanja vodnih resursa. Već su pomenute reke Amu Darja i Sir Darja, a ništa bolja situacija nije ni sa rekama Gang u Indiji i Huang Hu (Žuta reka) u Kini. Ova poslednja od 1985. godine je jednim delom svog toka potpuno suva, a jedna je od dve najveće kineske reke. Kina je inače zemlja sa najvećim brojem brana i sa najvećim površinama koje navodnjava u svetu.

Prekomerno trošenje vode nije mimoišlo ni podzemne vode. Tako na primer u Severnoj Kineskoj Ravnici u okolini Pekinga i Tianjina nivo podzemnih voda opada u proseku 1 do 2 metra godišnje. Akvifer kod Pekinga koji je do 1950. godine bio na oko 5 m ispod površine terena opao je na čak 50 m u 1993. godini. Ovaj fenomen je zabeležen i u

Indiji. U mnogim njenim delovima je konstatovano drastično smanjivanje nivoa podzemnih voda od preko 30 metara u poslednjim decenijama, sa daljom tendencijom opadanja od oko 1m godišnje. Ove dve najmnogoljudnije zemlje u borbi za hranu i vodu iscrpljuju svoje izvore do granica koje se ne mogu nadoknaditi u skorijoj budućnosti.
U Libiji je grandioznim projektom dovođenja velikih količina podzemne vode iz fosilnih akvifera jugoistočnog dela zemlje u plodni i naseljeni severni deo zemlje, tzv. „Osmim svetskim čudom" načinjena strateška greška, jer će se teško obnovljive rezerve vode brzo potrošiti.
U Saudijskoj Arabiji se slična greška već potvrdila u praksi, gde su rezerve podzemne vode potrošene na proizvodnju hrane – žitarica, koje svojom cenom na svetskom tržištu nisu mogle nadoknaditi uložena sredstva i dragoceni prirodni resurs, za čije će obnavljanje biti potrebno preko hiljadu godina.
Ove pojave ne zaobilaze ni razvijene države Evrope i Amerike, gde se takođe mogu sresti primeri prekomerne eksploatacije raspoloživih količina voda. Prema zvaničnim podacima SAD su prva zemlja na Planeti koja je nekontrolisanom potrošnjom narušila razliku između raspoloživih prirodnih rezervi i utroška vode još daleke 1965. godine. Od tog datuma pa sve do danas ta se razlika permanentno povećava i pored brojnih mera koje se u toj zemlji preduzimaju za ublažavanje i sanaciju nastalih posledica. U Evropi se voda uveliko štedi tako da je danas dnevna potrošnja vode po stanovniku svedena na svega 150 L, dok je ne tako davno zvanično iznosila od 250 do 300 L, a u pojedinim razvijenijim zemljama čak i više. Naravno, ovo nije postignuto smanjenjem životnog standarda, već najviše zahvaljujući preseljenju dobrog dela industrijske proizvodnje u zemlje „trećeg sveta".
No i pored pomenutih, sada se već može slobodno reći zakasnelih, mera štednje vode u poslednjih dvadesetak godina došlo je do ozbiljnih posledica prekomernog trošenja vodnih resursa i to naravno u najrazvijenim delovima sveta. Najdrastičniji slučaj je sa rekom Kolorado, čija se voda kompletno potroši pre nego što ona stigne do svog ušća u Kalifornijskom zalivu, koja je donedavno snabdevala Los Anđeles i Kaliforniju vodom. Ova reka danas više nema vode za ova dva značajna potrošača na kraju svog toka. Posledice su toliko ozbiljne da je u Los Anđelelesu spas potražen u reciklaži otpadnih voda, dok se kalifornijske, zahvaljujući doskorašnjem navodnjavanju plodne, površine za proizvodnju hrane ubrzano pretvaraju u pustinju.
Drugi, ne manje ubedljiv primer zakasnele borbe za očuvanje vodnih resursa predstavlja drastična redukcija dobro poznate proizvodnje južnog voća *„Jaffa Gold"* u Izraelu koja je decenijama toj državi donosila značajan deo nacionalnog dohotka. Proizvodnja je smanjena u poslednjih dvadesetak godina kada je ustanovljeno da bi dalje trošenje domaćih vodnih resursa, pre svega iz reke Jordan, za zalivanje plantaža pomenutog voća sistemom „kap po kap" imalo dalekosežne posledice, a kada se pokušalo sa uvozom vode, pokazalo se da je to skuplje od dobiti ostvarene izvozom voća. Po svemu sudeći mere štednje vode su preduzete isuviše kasno, jer je nivo vode u Mrtvom moru opao čak za oko 50 m, a taj trend se i dalje ne zaustavlja, što će u krajnjem ishodu, prema procenama stručnjaka, dovesti do njegovog presušivanja već negde oko 2050. godine.
Oba navedena slučaja će sasvim sigurno usloviti značajne ekološke posledice, što će se odraziti na floru i faunu, a sve to će na kraju rezultovati promenom klime u tim delovima Planete.

Inače do klimatskih promena je već došlo u severozapadnom delu Evrope koje su direktna posledica promene toka Golfske struje koja više ne prolazi kroz Lamanš, što je Britanskim ostrvima i zemljama Beneluksa obezbeđivalo blage zime bez snežnih padavina i niskih temperatura. U ovim zemljama, gde je populacija nenaviknuta na sneg, led i velike hladnoće i gde infrastruktura takođe nije prilagođena novonastalim klimatskim uslovima, u poslednjoj deceniji gotovo svake godine u zimskim mesecima dolazi do kolapsa u saobraćaju i značajnih šteta u privredi izazvanih niskim temperaturama. Kao što je poznato, Golfska struja izvire ispod Meksičkog mora, gde je u aprilu 2010. godine došlo do velike havarije na jednoj od eksploatacionih naftnih bušotina British Petrol-a, posle čega je mesecima trajala borba oko sanacije tog kvara, dok je za sve to vreme sirova nafta pod velikim pritiskom nekontrolisano izvirala iz otvorene bušotine izazivajući pravu ekološku katastrofu u čitavom Meksičkom moru. Sanacija je samo delimično uspela budući da je dubina mora u tom delu preko 4.000m, tako da nafta i dalje izlazi na površinu vode i to će verovatno trajati sve dotle dok taj izvor ne presahne. Za sve to vreme najveći deo flore i faune će potpuno izumreti dok će jedan deo mutirati u neke nove nama zasada nepoznate vrste. U tako nastalim uslovima priroda je reagovala na svoj način izazivajući promenu toka Golfske struje. Ostaje da se vidi kakve će još negativne posledice prouzrokovati pomenuta promena toka ove za dobar deo Evrope blagodarne struje i da li će njeno razbijanje oko Grenlanda doneti neke nove nevolje možda na mnogo širem prostoru od severozapadnog dela Evrope.
Ovo svakako nisu jedini primeri katastrofa na našoj planeti izazvani ljudskom pohlepom za novcem kao i permanentnom težnjom velikih sila za geopolitičkom i vojnom dominacijom. Sasvim je sigurno da ih ima još mnogo, možda ne ovako krupnih razmera kao ova tri navedena, ali se o njima veoma malo ili uopšte ništa ne zna.

1.4. VODNI RESURSI U SRBIJI

1.4.1. Uvod

Uređenje, upotreba i korišćenje voda i vodotoka davnašnji je zadatak narodnog graditeljstva i tema vodoprivredne struke i nauke. Najstarije ljudske naseobine nalaze se po pravilu tamo gde ima vode što upućuje na zaključak da su voda i vodotok bili preduslov ljudskog razvoja. Uopšteno govoreći, voda je uslov i izvorište života.
Novija istorija o vodoprivrednim radovima na našim prostorima seže u 18. vek (iskopavanje kanala Begej iz 1728. godine) kada se organizuju privredne i stručne institucije koje se bave uređenjem vodotoka, zadomljavanjem ritskih područja, isušivanjem prostranih močvarnih zemljišta i sprečavanjem stihijskog delovanja voda. Iskustva o radovima u vodoprivredi koja potiču iz vremena Rimske imperije (prostor oko reka Tigar i Eufrat, srednjeg Nila, Rajne, Dunava, Tise, Dnjepra i Buga) zahvataju i naše prostore gde se stari Rim potvrdio kao veliki organizator u upravljanju vodama. U periodu hiljadugodišnje vladavine Rimske imperije javni radovi, vodovodi, regulacije reka i plovidbe vremenom su postali briga samog Rimskog cara (Imperatora). Slično isključivom pravu koje je Senat Rimske

imperije dao Imperatoru, da odlučuje o ratu i miru, dato je i pravo brige o vodama, što dovoljno govori o značaju vodoprivrede od vajkada.
Na našim prostorima, u Srbiji i bivšoj Jugoslaviji, razlikujemo tri bitna perioda razvoja: prvi period se odnosi na vreme pre Prvog svetskog rata, tj. na vreme pre 1918. godine, drugi na period od 1918. do 1945. godine i treći na period posle Drugog svetskog rata do danas.
U prvom pomenutom periodu pretežni deo Vojvodine je pripadao Austro-Ugarskoj, pa su na toj teritoriji važili zakoni te monarhije. U Srbiji iz vremena Miloša Obrenovića, odnosno delovima današnje Srbije koji su bili pod Turskom jurisdikcijom, poklanjalo se mnogo pažnje vodoprivredi ali su prilike i problematika, u odnosu na Vojvodinu, bile daleko drugačije.
U drugom od tri bitna perioda preuzeto je vodno zakonodavstvo koje je već postojalo za određene teritorije, tako da su u raznim delovima Srbije važili različiti zakoni. Pokušaji da se u tadašnjoj Kraljevini Srba, Hrvata i Slovenaca donese jedinstveno zakonodavstvo o vodoprivredi nisu naišli na podršku. U tom međuratnom periodu doneta su samo dva parcijalna zakona: Zakon o uređenju bujica (1930. godine) i Zakon o iskorišćavanju vodnih snaga (1931. godine).
Posle Drugog svetskog rata vodoprivreda se javlja kao nova značajna oblast i celovita delatnost koja uključuje aspekte korišćenja voda, zaštitu od voda i zaštitu voda od zagađivanja, ali u Srbiji samo u okviru resora poljoprivrede.
Ovaj kratki istorijski uvod o razvoju vodoprivrede dovoljno govori o svoj složenosti i uslovljenosti ove problematike.

1.4.2. Specifični oticaj u Srbiji

Teritorija Srbije najvećim delom pripada Crnomorskom slivnom području (93 %), dok preostali deo pripada Jadranskom (5 %) i Egejskom slivu (2 %). Vodni resursi u Srbiji nisu u srazmeri sa površinom teritorije. Egejskom slivu pripada 4 % a Jadranskom slivu 12,5 % vodnog potencijala koji nastaje na teritoriji Srbije. Proučavanje vodnih resursa i režima voda i vodotoka koji pripadaju Crnomorskom slivu najznačajnije je pitanje vodnih resursa Republike, a to znači sagledavanje i proučavanje karakteristika režima voda reke Dunava.
Režim voda Dunava karakterišu vode njegovih pritoka. Najveći značaj za vodni režim Dunava u gornjem njegovom toku ima reka In (745 m^3/s) koja dvostruko povećava srednje vode Dunava (nizvodna stanica u Lincu beleži višegodišnji srednji proticaj od 1 500 m^3/s). Gornji tok Dunava sve do ulaska u našu zemlju, sa svog gornjeg sliva, ima srednji godišnji proticaj od 2 480 m^3/s (podaci hidrometeorološke stanice Bezdan). U srednjem toku značajno se povećava slivno područje Dunava dotokom prevashodno Drave (578 m^3/s), Tise (814 m^3/s) i Save (1 613 m^3/s), pa se tako srednji proticaj kod Pančeva povećava 2,2 puta. Od Pančeva do ušća Dunava u Crno more, donje slivno područje donosi još oko 1 000 m^3/s, pa ukupni slivni bazen Dunava iznosi 807 000 km^2, a prosečni godišnji proticaj 6 550 m^3/s.
Inače, režim voda Dunava se proučava još od VIII i VII veka pre nove ere. Egipćani, Persijanci i Grci zabeležili su istraživanja ušća Dunava na obalama Crnog mora. Drevni opisi Dunava mogu se naći kod Herodota, Ptolomeja i Latiusa (1514 – 1565. godine), a prva karta Dunava pojavljuje se 1640. godine u

Amsterdamu (*N. Fischer*). Hidrogeografska karta Dunava izrađena je 1835. godine u Ruskoj vojnoj akademiji.
Prva hidrološka ispitivanja i merenja, koja su do sada zabeležena, izvedena su u Austro-Ugarskoj na delu Beč – Budimpešta. U 1837. godini započeta su merenja na predelu Gvozdenih vrata. Na našem delu prva osmatranja i merenja javljaju se krajem 18. i početkom 19. veka inicirana tadašnjim poplavama zbog izlivanja Dunava i Tise.
Prva osmatranja nivoa vode izvršena su kod nas na desnoj obali u Petrovaradinu u 1819. godini. Kasnije, 1859. godine, nivo Dunava je osmatran kod Bezdana, Dalja, Vukovara, Bačke Palanke, Zemuna i Pančeva. Do Prvog svetskog rata bilo je 12 mernih mesta, a kasnije su organizovana savremenija i brojnija merenja.
Pritoke Dunava, naročito desne pritoke, značajne su kako u pogledu režima voda u malovodnom periodu tako i u pogledu uticaja velikih voda. Velike vode Dunava i pritoka sa teritorije naše zemlje više su izučavane da bi se savladale njihove loše posledice, dok su male vode samo konstatovane kao pojava ili nepogoda ali nisu rešavane (poboljšavane), što je danas sve veći problem, a biće još veći u budućnosti. Pored toga, kvalitet tih voda ima veliki značaj za vodoprivredu.
Opažanjima i analizama hidroloških podataka o pritokama Dunava koje imaju ušće na našoj teritoriji može se zaključiti da se proticaji pojavljuju vremenski i prostorno veoma neujednačeno. Na Dunavu uzvodno od ušća Save najveće vode pojavljuju se u junu, što je posledica dominantnog uticaja Drave, Tise i Save.
Nizvodno od Beograda najveće vode Morave su u martu, Begeja, Tamiša i Nere u aprilu. Najmanje količine vode u Dunavu se javljaju u januaru i u septembru. Na Savi su obično u avgustu a na Moravi u septembru, na Tisi u oktobru, a na Dravi i Begeju u januaru. Što se sezonskog rasporeda voda tiče, najveće vode javljaju se u proleće a najmanje u toku leta i jeseni.
Ukupne vodne resurse na teritoriji Srbije čine „sopstvene“ i „tranzitne“ vode koje u analizama i tretmanu treba odvojeno posmatrati. Sopstvene (unutrašnje) vode koje se slivaju sa naše teritorije vrlo su male u odnosu na tranzitne. Vode koje nastaju na teritoriji Srbije iznose 16,7 milijardi m^3 godišnje, a vode koje dotiču sa susednih područja iznose 172,2 milijardi m^3 godišnje, odnosno jedva 9% raspoloživih voda čine vode sa sopstvene teritorije. Ovo je posledica vrlo malog vodnog potencijala koji se meri tzv. specifičnim oticajem sliva izraženim u litrima u sekundi po kvadratnom kilometru ($L/s/km^2$). Specifični oticaj za Srbiju površine 88 361 km^2 u proseku iznosi svega 6,0 $L/s/km^2$. Ove činjenice su vrlo važne sa stanovišta teritorijalnog rasporeda voda kao i sa stanovišta korišćenja za određene namene.

1.4.3. Raspodela specifičnog oticaja na teritoriji Srbije

Raspodela specifičnog oticaja na teritoriji Srbije je veoma neravnomerna. Osim sliva Belog Drima i dela sliva Drine koji pripada teritoriji Srbije, gde su koeficijenti oticanja zadovoljavajući, na ostalim delovima pretežno se kreću od 2,3 do 3,0 $L/s/km^2$ (Vojvodina, Šumadija i Pomoravlje). Jugozapadni i zapadni delovi su bogatiji vodom nego centralni, istočni i severni. Preko ovih pokazatelja slivovi

triju metohijskih Bistrica (Pećke, Prizrenske i rekordne Dečanske) su najizdašniji u našoj Republici sa 24, 30 i 42,5 L/s/km^2.
Najsiromašniji su slivovi Belice 3 L/s/km^2, Gruže 4, Tamnave 5 i Kolubare i Južne Morave sa po 6 L/s/km^2. U izdašnije slivove spadaju Moravica i Veliki Rzav sa po 14 L/s/km^2, Studenica sa 16 i Gradac sa 19 L/s/km^2. Ako se tome doda da su navedene vrednosti proseci računati za period od godinu dana i da su sezonske oscilacije protoka veoma velike, zavisno od uticaja dva najvažnija klimatska faktora, temperature vazduha i količine padavina, situacija je još nepovoljnija. Kod reka centralnog i istočnog dela Srbije najveća količina vode otiče u periodu februar – maj (otapanje snega i prolećne kiše), dok su u letnjim mesecima, kada je voda najpotrebnija, proticaji veoma niski i nisu dovoljni za podmirivanje potreba stanovništva i privrede. Pojava srednje mesečnih malih voda sa verovatnoćom da se manje od takvih vrednosti ne pojave češće od jedanput u sto godina, iznose: na Drini kod Zvornika 60,3 m^3/s, na Savi kod Sremske Mitrovice 225,0 m^3/s, na Dunavu kod Pančeva 1 618,0 m^3/s, na Ibru kod Leposavića 2,1 m^3/s i na Drimu kod Vrbnice 13,0 m^3/s.
To znači da se poboljšanje režima malih voda može jedino ostvariti izgradnjom akumulacija ili kompenzacionih bazena na takvim rekama ili njihovim pritokama, kako zbog prikupljanja i očuvanja rezervi vode za periode malih proticaja a velikih potrošnji, tako i zbog zaštite priobalnih površina i naselja od poplava i erozije pri bujičarskim režimima proticaja.
Povećanja režima malih proticaja su procenjena na 6 m^3/s u slivu Južne Morave, 2 m^3/s u Nišavi, 6 m^3/s u Zapadnoj Moravi, 8 m^3/s u Ibru i 4 m^3/s u Crnom Timoku. Takvo povećanje proticaja malih voda u malovodnom periodu može se postići i sa već izgrađenih akumulacija, kao što su Ćelije na Rasini, Gruža na Gruži, Vrutci na Đetinji, Bovan na Moravici, Grlište na Grliškoj reci, Selova na Toplici, Barje na Veternici, Stubo Rovni na Jablanici, Prvonek na Banjštici i druge.
Takođe se pokazalo da su veoma potrebne akumulacije, koje još uvek nisu ni započete, kao što su Arilje na Velikom Rzavu, Studenica na Studenici, Gornjak na Mlavi, Semedraž na Dičini, Strmosten na Resavi, Zabrega na Crnici itd., kako bi se rešili ili bar ublažili problemi u snabdevanju vodom Kraljeva, Kragujevca, Ćuprije, Paraćina, Svilajnca, Velike Plane, Smederevske Palanke, Mladenovca, Topole, Požarevca i mnogih drugih gradova i regiona. Pored vodosnabdevanja, ove akumulacije bi imale veliku ulogu u oplemenjivanju vodotoka ispuštanjem većih količina vode od prirodnog proticaja u nizvodni tok te reke u malovodnom periodu, kao i saniranje zagađenja u istom tom periodu.
Na osnovu navedenih podataka, Srbija spada u najsiromašnija područja u Evropi kada je reč o raspoloživim vodnim resursima na našoj teritoriji. Specifična raspoloživost se meri količinom domaćih voda u m^3 po stanovniku godišnje. U Srbiji ona iznosi svega 1 600 m^3/stanovniku godišnje, dok se u zemljama bogatim vodom taj pokazatelj kreće oko 30 000 m^3/stanovniku godišnje. Treba imati u vidu da ove cifre predstavljaju prosečne vrednosti i da se stvarno stanje po pojedinim zonama Šumadije i Vojvodine spušta čak ispod 500 m^3/stanovniku godišnje, što je nekoliko puta manje od količina koje su neophodne za održavanje bilo kakvog razvoja ili uopšte daljeg boravka na tim područjima u uslovima koje nameće savremena civilizacija. To nedvosmisleno govori da je opstanak života u ovim

delovima Zemlje moguć jedino uz dovođenje vode iz regiona bogatijih ovim resursom ili uz korišćenje tzv. tranzitnih voda uz sve moguće rizike i visoka ulaganja koja zahtevaju ovakva rešenja. Treba reći da bez zahvatanja voda sa drugih teritorija, a to su reke Dunav, Sava, Tisa i Drina, uskoro neće moći da se zatvore vodoprivredni bilansi u našoj Republici.

1.4.4. Uticaj meteoroloških i klimatskih faktora

Srbiju su od 1837. godine, od kada se prate i mere količine padavina i vodostaji na rekama, pa do danas ciklično zahvatali sušni periodi. Tako je zabeleženo da je od 1856. do 1875. godine, što znači 19 uzastopnih godina, trajala velika suša. Zatim se to ponovilo od 1884. do 1909. godine, odnosno 25 godina suše, pa od 1921. do 1936. godine, ili 15 godina, i od 1946. do 1964. godine, tj. 18 uzastopnih sušnih godina. Najzad, sušni period koji je započeo 1982. godine traje sve do danas, 2022. godine, što znači da je dosadašnji rekord od 25 godina trajanja suše već odavno oboren, dostigavši cifru od čak 40 godina. Preostaje nam da se nadamo da ćemo najzad izaći iz do sada zabeleženog najdužeg sušnog perioda. Kao što se vidi, geografski položaj naše zemlje i klimatski uslovi nisu ni malo povoljni kada je reč o hidrološkoj i meteorološkoj situaciji. Iskazano brojkama, od ukupno 185 godina, koliko traje praćenje i merenje meteoroloških i hidroloških podataka, bilo je 117 sušnih i samo 68 kišnih godina. Ovaj odnos će se sasvim sigurno još više pogoršavati s obzirom na sve intenzivniju transformaciju energetskih resursa u toplotu koja, uz već poznato oštećenje ozonskog omotača, dovodi do globalnog zagrevanja Planete.

Slične dokaze o smenjivanju sušnih i kišnih perioda pruža i analiza sačinjena za tri reke u slivu Zapadne i Južne Morave, Đetinju, Rasinu i Moravicu (podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda) na kojima se respektivno nalaze akumulacije „Vrutci“, „Ćelije“ i „Bovan“ sa postrojenjima za prečišćavanje vode za piće kojom se snabdevaju Užice, Kruševac i Aleksinac. Minimalni srednji tridesetodnevni proticaj na Đetinji trajao je do 1965. godine i bio je izrazito nizak – oko 400 L/s, a zatim nastaje period većih malovodnih proticaja (između 700 i 1 600 L/s) i traje sve do 1982. godine. Posle toga se ponovo javlja osetno niži srednji mesečni proticaj od 400 L/s koji i danas traje. Iste tendencije zapažaju se i na dva druga vodotoka. U sušnom periodu na Rasini je proticaj vrlo nizak i iznosi oko 380 L/s, dok je na Moravici svega oko 150 L/s. Nažalost, o ovome često ni stručnjaci ne vode dovoljno računa.

Navedeni podaci više nego jasno obrazlažu ranije izrečenu konstataciju o siromaštvu Srbije vodom. Drugim rečima, uzimajući u obzir samo prirodne uslove i statističke podatke, ne možemo se nadati nikakvom poboljšanju hidrološke situacije kod nas.

Imajući u vidu da će se potrebe za vodom u Srbiji, i pored dva trenda koji deluju utešno ali nažalost imaju pogubni karakter, kao što su permanentni godišnji odliv stanovništva od zvanično oko 30 000 (nezvanično čak i 80 000) i gašenje industrije koje se doduše približilo svom limesu, dalje povećavati zahvaljujući sve većim sušama koje su pre svega prouzrokovane globalnim zagrevanjem Planete, s jedne strane i neracionalnom potrošnjom, s druge strane, može se samo dalje očekivati da će se raspoloživi specifični

oticaj naše Republike od 16 milijardi m^3/godišnje sve više ugrožavati. Evidentno je da je nestašica vode, koja je Planetu počela da zahvata još pre skoro 60 godina, ovog leta, 2022. godine kao nekakva zaraza stigla i u južne delove Evrope (Portugaliju, Španiju, Francusku, Italiju i Grčku). Postoji opravdana bojazan da u pomenutim područjima dođe do ogoljevanja delova većih površina zemljišta uzrokovanih dugotrajnim sušnim periodima i velikim požarima koji se po pravilu javljaju u tako nastalim uslovima. Naša zemlja nije u Mediteranskom području, ali nije ni mnogo daleko od njega, tako da je potrebno već sada preduzeti odgovarajuće mere kako bi se izbegle neprijatne posledice koje se realno mogu očekivati.

Rešenja se neminovno moraju tražiti i u eksploatisanju tranzitnih voda čiji bruto potencijal iznosi 172 milijarde m^3/godišnje, od čega je zbog međunarodnih propisa diktiranih plovidbom i drugim zahtevima na našoj teritoriji iskoristivo samo oko 12 milijardi m^3/godišnje. To znači da se već danas moraju angažovati stručnjaci i prioritetno obezbeđivati sredstva za izgradnju postrojenja za prečišćavanje i kompleksnih regionalnih sistema za vodosnabdevanje, kako bi se predupredile opasne posledice koje sobom nose hronične nestašice pitke i tehničke vode. Trebalo bi hitno pristupiti realizaciji već izrađenih i od nadležnih institucija revidovanih i prihvaćenih projekata za što potpunije iskorišćenje domaćih, pre svega površinskih voda, kao i izradi projekata zahvatanja i prečišćavanja voda iz živog toka Save, Dunava, Drine i Tise, kao i njihovog transporta do najugroženijih područja Banata, Bačke, Šumadije i Velikog Pomoravlja. Mora se administrativnim merama sa nivoa Republike zaustaviti raubovanje prirodnog režima domaćih voda čija je granica racionalnog korišćenja prekoračena još početkom sedamdesetih godina prošlog veka. Ekstenzivnom eksploatacijom u poslednjih četrdesetak godina došlo je do ozbiljnih degradacija voda i vodotoka. Povećanjem potrošnje vode povećavao se i stepen zagađenja površinskih i podzemnih voda. Sve do 1991. godine u Srbiji nije bilo odgovarajuće zakonske regulative niti nadležne institucije koja bi se starala o korišćenju i upravljanju vodnim potencijalom, što je za posledicu imalo izgradnju nekih vodoprivrednih objekata na pogrešnim lokacijama uz izostanak očekivanih efekata. Danas nažalost nema finansijskih mogućnosti ni za izgradnju najneophodnijih akumulacija na pravim lokacijama definisanim od strane najstručnijih timova u Zemlji i verifikovanim od strane nadležnih institucija.

1.4.5. Snabdevanja stanovništva i industrije vodom

Ako se osvrnemo na istorijske podatke o organizovanom snabdevanju stanovništva vodom doći ćemo do zaključka da su prvi koraci na tom planu načinjeni upravo u područjima siromašnim vodom. Savremeno snabdevanje gradskih naselja vodom u Srbiji začeto je u Kragujevcu. Prve ideje o tome pojavljuju se u vreme kada je Kragujevac bio prestonica Srbije (od 1818. do 1841. godine). Tada je Knjaz Miloš razmišljao da u ovaj grad dovede vodu iz Ibra ili Zapadne Morave. Preseljenjem prestonice u Beograd, prekinuti su i pokušaji da se ovaj problem reši.

Potom je 1868.godine sud Opštine Kragujevac obrazovao prvi Odbor u Srbiji koji je imao zadatak da se stara o finansiranju i tehničkoj strani dovođenja zdrave vode za piće. Međutim, ovaj Odbor, kao ni kasnije obrazovani odbori i komisije,

nisu mnogo uradili jer je građanstvo teško moglo da prihvati da se plaća ono što je „bogom dano“ od prirode, kao što je izvorska voda. Tek mnogo godina kasnije, sa počecima industrijskog razvoja grada, odnosno zbog potreba Vojnotehničkog zavoda, 1901. godine počinje izgradnja prvog planskog vodovoda u Kragujevcu kaptažom izvora u Trmbasu udaljenom oko 4 km od grada. Kada je 1904. godine vodovod kapaciteta 3,2 L/s pušten u pogon, potrebe za vodom grada koji je tada imao oko 14 000 stanovnika nisu mogle ni izdaleka biti zadovoljene.
1909. godine izvedeno je prvo proširenje Trmbaskog vodovoda za još 0,4 L/s, što nije moglo da popravi situaciju, pa su dalja istraživanja radi povećanja kapaciteta nastavljena, uz prekid zbog Prvog svetskog rata, sve do 1927. godine. Te godine, pošto su prethodno iscrpljene sve mogućnosti iznalaženja novih količina izvorskih i podzemnih voda, doneta je odluka da se rešenje potraži u akumulisanju i prečišćavanju površinskih voda sa reke Grošnice. Projektna dokumentacija i istražni radovi su završeni za tri godine, a 1931. godine započeta je izgradnja kompletnog sistema koji je po ideji i objektima kao što su betonska lučna brana, postrojenje za prečišćavanje vode sa tehnologijom kakva se i danas još primenjuje u svetu, tunelskim dovodom vode i dr. predstavljao vrhunska dostignuća u tehnici u to vreme. Sistem je završen i pušten u rad 1937. godine i podmirivao je potrebe grada sve do 1950. godine. Nadgradnjom brane na Grošnici i povećanjem proizvodnog kapaciteta postrojenja za prečišćavanje vode produženo je uredno snabdevanje stanovništva i industrije vodom sve do početka 60.- ih godina.
Daljim industrijskim i privrednim razvojem grada, kao centra šireg područja, a time i prirastom stanovništva, veoma brzo su iscrpljene mogućnosti Grošničkog vodovoda, pa se krajem 60.- ih i početkom 70.- ih godina pribeglo dovođenju podzemne vode iz priobalja Velike Morave na potezu Batočine. Kada je taj sistem zajedno sa postrojenjem za prečišćavanje na Košutnjaku završen i pušten u rad 1975. godine, već tada je bilo jasno da će Kragujevac biti obezbeđen urednim snabdevanjem vodom tek samo nekoliko narednih godina (do 1977.godine) i da se odmah mora pristupiti traženju dugoročnog rešenja. Tako je došlo do izgradnje brane i akumulacije na reci Gruži kao i postrojenja za prečišćavanje kapaciteta $1{,}2 m^3/s$.
Danas Kragujevac nema većih problema sa snabdevanjem vodom, kada je reč o proizvodnom kapacitetu i potrebama potrošača. Međutim, zbog eutrofikacije (starenja) i relativno male dubine akumulacije došlo je do pogoršanja kvaliteta sirove vode, pa prvobitno projektovana i izvedena tehnologija na postrojenju za prečišćavanje Gruža nije bila dovoljna da bi otklonila neprijatan miris i ukus vode, koji su posledica anaerobnih procesa u akumulacionom jezeru (truljenje vegetacije bez prisustva kiseonika). Taj problem je tek nedavno rešen nadgradnjom postojeće tehnologije prečišćavanja vode.
Slično Kragujevcu su se razvijali i ostali sistemi za snabdevanje vodom u Srbiji, kao što su Vrutci-Užice, Ćelije-Kruševac, Bovan-Aleksinac, Grlište-Zaječar, Makiš-Beograd, Stubo-Rovni-Valjevo, Rzav-Arilje, Selova-Prokuplje, Barje-Leskovac, Prvonek-Vranje i drugi, koji su nastajali uporedo sa sistemom Gruža ili nešto kasnije.
Dominantan izvor snabdevanja vodom stanovništva i industrije kod nas još uvek predstavljaju podzemne vode. Međutim, već sada su raspoložive količine ovih voda