

Kakvoća voda u Dalmaciji (The Quality of Water Resources in Dalmatia)

Nives Štambuk-Giljanović, Tina Dumanić, Milica Ledić, Mirjana Poljak, Ana Spomenka Bakavić

Odjel za ispitivanje voda

Služba za zdravstvenu ekologiju

Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije

Sažetak

Cilj rada je istražiti posebne značajke i svojstva najvažnijih voda u Dalmaciji za deset godina (1996.-2005.), na 42 mjerne postaje, prema standardima za pitke vode.

Rad prikazuje kemijski sastav vodâ, podjelu vodâ i koncentraciju soli. Razine bakterijskoga onečišćenja prikazane su s ukupnim koliformnim bakterijama (NVB coli/100 mL). Značajke vodâ izražene su koeficijentima koji jesu omjeri između sastojaka vode. Izračunani su omjer Ca/Mg, omjer SO₄/Cl i K1, K2 za bikarbonatnu tvrdoću. Natrij je izračunan iz razlike koeficijenata K1 (odnos zbroja klorida, sulfata i karbonatne tvrdoće) i K2 (odnos nekarbonatne i karbonatne tvrdoće) i karbonatne tvrdoće.

Krške vode u Dalmaciji su umjereno tvrde, omjer SO₄/Cl je 0,38-1,6, nekorozivne su (K1 manji od 0,2) nisu osobito mineralizirane (<500 mg/L minerala). Sulfatne vode su općenito tvrde, omjer SO₄/Cl je veći od 1,6, K1 je 0,2-0,65. Kloridne vode su dosta tvrde i tvrde, osobito na estuarijima, omjer SO₄/Cl je manji od 0,38 a K1 je veći od 0,65. Od sve ispitanе 42 vode, 74% ih je svrstano u hipotenzivne (<10 mg Na/L), 12% u normotenzivne (od 11 do 20 mg Na/L) i 14% u hipertenzivne (>20 mg Na/L). Vode smo podijelili tako što smo koncentraciju natrija povezivali projektivno s razinom arterijskoga tlaka, znajući da povećana koncentracija natrija povećava krvni tlak.

Podzemne vode i izvorske vode u Dalmaciji manje su zagađene od površinskih voda. Većina tih voda ima geometrijsku srednju vrijednost NVB coli <150/100 mL u 24 od 42 istraživane mjerne postaje. Najveće bakterijsko onečišćenje nađeno je na devet postaja, gdje je NVB coli >1000/100 mL a umjereno je onečišćenje nađeno na devet mjernih postaja, gdje je NVB coli između 150 i 1000/100 mL vode.

Fizikalni i kemijski pokazatelji kakvoće za veliki broj vodâ u Dalmaciji su ispod propisanih međunarodnih granica za pitke vode.

Ključne riječi: podzemna voda, izvorska voda, površinska voda, podjela voda, kakvoća voda, Dalmacija

Abstract

The purpose of this paper was to monitor and record the specific characteristics and properties of most of the important water resources in Dalmatia for a period of 10 years (1996-2005) for 42 sampling sites according to established standards for drinking water. The paper presents a detailed account of their chemical content, the classification and the concentration of salts. The bacteriological pollution levels are indicated by the total coliform bacterial levels (MPN coli/100 mL). The water characteristics are expressed by coefficients, which represent the ratios between water ingredients. The Ca/Mg ratio, SO₄/Cl ratio and K1, K2 for bicarbonate hardness were calculated.

The sodium concentrations were calculated from the difference between coefficient K1 (the ratio between the chlorides and sulfates sum and the carbonate hardness) and K2 (the ratio between non-carbonate and carbonate hardness) and carbonate hardness.

Karst waters in Dalmatia are moderately hard, the SO₄/Cl ratio is 0,38-1,6, non-corrosive (K1 lower than 0,2) and not significantly mineralised (<500 mg/L minerals). Sulphate waters are generally hard, the SO₄/Cl ratio is higher than 1,6, K1 is 0,2-0,65. Marine waters are quite hard or hard, particularly at the river estuaries, the SO₄/Cl ratio is lower than 0,38 and K1 is higher than 0,65.

Of 42 waters 74% were grouped into hypotensive waters (<10 mg Na/L) 12% into normotensive (from 11 to 20 mg Na/L) and 14% into hypertensive (> 20 mg Na/L) by relating the sodium concentration projectively, with the notion of arterial pressure knowing that an increased sodium concentration in blood increases the blood pressure.

The groundwater and springs in Dalmatia are less polluted than surface waters. A majority of these have a geometric average value of MPN coli <150/100 mL of water observed in 24 of 42 locations studied. The highest bacteriological pollution was found in nine locations where MPN coli >1000/100 mL and moderate pollution was found in nine locations where MPN coli is between 150 and 1000/100 mL of water. The physical and chemical parameters determined for the most sources in Dalmatia are safe below the international permissible limits.

Key words: groundwaters, spring waters, surface waters, water classification, water quality, Dalmatia

1. Uvod

Dalmacija pripada krškomu području, u kojemu ima mnogo oborina, ali ona ipak nema dovoljno vode, jer ona ponire i najviše otječe podzemno.

Tu podzemnu vodu svrstavamo u pukotinske vode, koje su prema vodokemijskim i zdravstvenim značajkama, slične površinskoj vodi. Podzemne se vode zamućuju, pa ih treba pročistiti, ako se zahvaćaju za vodoopskrbni sustav. Umjereno su tvrde, a u podzemlju teku razmjerno brzo.

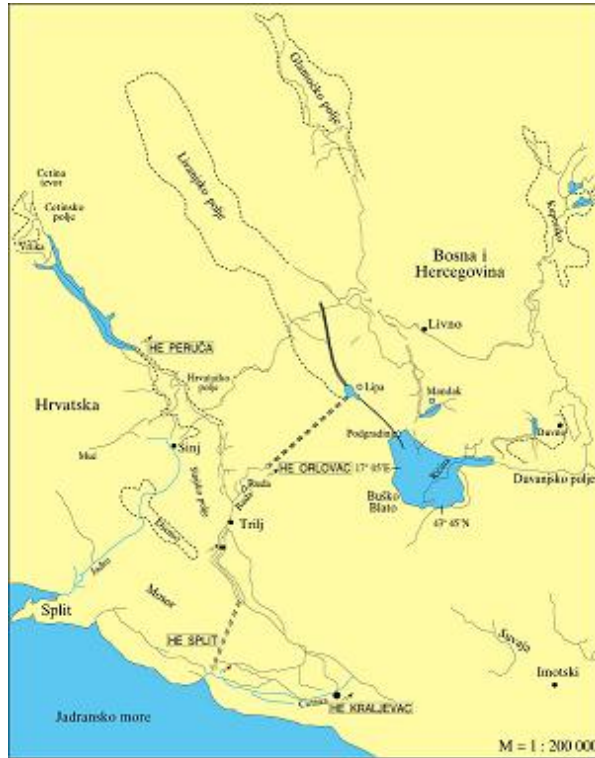
Podzemne su i površinske vode u Dalmaciji razmjerno sačuvane u svojim prirodnim značajkama, budući da se najviše stanovništva i industrije nalazi, uz obalu.

Vode se u Dalmaciji mogu zagađiti zbog propusnosti tla i zbog slabe mogućnosti samopročišćivanja u podzemlju. Opasnost

od zagađenja fekalnim mikroorganizmima i proizvodima biološke razgradnje, je najneposrednija a kloriranjem vode može se uspješno spriječiti [1].

Činjenica da vode u Dalmaciji nisu znatnije zagađene omogućuje da se za podmirenje povećavajućih potreba u vodoopskrbi iskoriste velike rijeke i akumulacije s neiscrpnom količinom vode [2]. Veliki je napredak u vodoopskrbi Srednje Dalmacije napravljen onda kada je za vodoopskrbu zahvaćena voda Cetine za omiški, brački, hvarski i makarski vodovod kraj Gata i Zadvarja. Zbog tih se dvaju vodozahvata prati kakvoća vode Buška Blata, najveće akumulacije u Europi, površine 55 km², obujma 790 x 106 m³, a duboka je 5 m.

Akumulacija se koristi za HE Orlovac, pa je važno pratiti stupanj trofije akumulacije Buška Blata, zbog mogućih utjecaja povećanih koncentracija dušika i fosfora, koje povremeno mogu nastati u akumulaciji. Ti čimbenici mogu uzrokovati pojavu alga na vodovodnim vodovima, u postupku pročišćavanja vode, koja služi za vodoopskrbu [3]. (Slika 1.)



Slika 1. Hidroenergetski sustav rijeke Cetine

Krške vode su najčešće kalcijsko-hidrogenkarbonatne. Međusobno se razlikuju prema količini otopljenih soli, prema sadržaju sulfata, klorida, magnezija, natrija i otopljenoga ugljikova dioksida.

U mnogim krškim vodama ima više klorida, što je posljedica utjecaja mora i to ili zbog izravnoga miješanja morske vode s riječnom vodom ili zbog miješanja mora s podzemnim tokovima. U tim vodama, osim povećanoga klorida, povećava se i sulfat, natrij i magnezij. Ocjena kakvoće vode treba pri postojanju mnogo podataka o kakvoći prikupljenim sustavnim praćenjem voda.

Na temelju trajnoga istraživanja voda Dalmacije provedena je brojčana ocjena, pomoću tzv. indeksa kakvoće, koji skupinu varijabli dovodi na zajedničku ljestvicu raspona od 0-100 bodova i sažimlje ih u jedan jedini broj. Tako se promjene kakvoće mogu izraziti na razaznatljiv brojevni način [4,5,6].

Prema rezultatima istraživanja voda Dalmacije, za deset godina (1996.-2005.), prikazanih u ovom radu, može se promatrati mnoge zakonitosti u kemijskom sastavu i klasificirati vode prema kemijskom sastavu i bakteriološkom zagađenju. Zdravstvene i vodosposodarstvene ustanove životno žele upoznati značajke voda u Dalmaciji i očuvati njihovu kakvoću, pa se istraživanjima vodâ u Dalmaciji posvećuje sve veća pozornost.

2. Metode

U ovom su radu uzorci vodâ u Dalmaciji uzimani jedanput mjesečno, na 42 mjerne postaje. Fizikalno-kemijska i bakteriološka ispitivanja obavljena su prema američkim standardnim metodama [7].

Rezultati kemijskih analiza voda izraženi su u mg/L.

Pri proučavanju nekih značajka voda, primjerice za određivanje genetskoga podrijetla, za dokazivanje miješanja ispitivane vode s drugim vodama (npr. morem), radi utvrđivanja izvorišta voda i za različite druge svrhe, koriste se različiti koeficijenti [8,9].

1. Omjer Ca/Mg

Ovaj omjer pokazuje utjecaj morske vode na slatku vodu. To je često osobito ako se vode nalaze blizu mora. Taj je odnos u morskoj vodi stalan i je 0,2, što znači da u morskoj vodi ima pet puta više magnezija nego kalcija. U slatkoj vodi taj se odnos mijenja od 3-5. Manji omjer pokazuje utjecaj morske vode.

2. Omjer SO₄/Cl

Ovaj se omjer u kopnenim vodama veoma mijenja, a u morskoj je vodi stalan (0,1). To znači da u morskoj vodi ima oko 10 puta više klorida nego sulfata; kopnena voda obično ima više sulfata nego klorida. Budući da je taj omjer u nekim vodama u prirodi dosta stalan i svojstven Buljan [10] je predložio klasifikaciju voda prema tom omjeru, i to na četiri tipa:

kišnički, kloridni, sulfatni i petrolejski. U svojoj je klasifikaciji Buljan obuhvatio veoma različite vode, odnosno vode različitoga stupnja mineralizacije. U dalmatinskim je vodama nađeno da se taj omjer u nekim tipovima voda [4], izračunan iz srednjih godišnjih vrijednosti, kreće u sljedećim rasponima: kloridni – 0,10 do 0,38; kišnički – 0,38 do 1,6; sulfatni – više od 1,6.

3. Voda optimalnoga sastava bez agresivnih svojstava ima razmjerno malo otopljenoga CO₂, ne sadržava agresivni CO₂, a odnos zbroja sulfata i klorida prema alkalitetu odnosno bikarbonatnomu ionu, manji je od 1:5. U vodi, koja ima više sulfata i klorida, taj će odnos biti poremećen a voda će više ili manje pokazivati agresivna svojstva. Također su i neke vode alkaliteta ispod 50 mg CaCO₃/L mnogo agresivnije od tvrdih voda, jer je taj odnos veoma nepovoljan i jer je gotovo sav CO₂ agresivan.

U ovomu je radu koeficijent korozivnosti K1 izračunan prema Larsonu i Scoldu [11].

$K1 = (SO_4 + Cl)/\text{karbonatna tvrdća}$

Omjer nekarbonatne i karbonatne tvrdoće izražen je kao koeficijent K2 [12,6].

Prema koeficijentu K1 vode su razvrstane u tri skupine: (a) nekorozivne sa K1 manjim od 0,2; (b) malo korozivne, K1 od 0,2 do 0,65; (c) korozivne i veoma korozivne s K1 većim od 0,65.

Natrij se izračunava iz razlike koeficijenata prema formuli:

$Na \text{ (mg/L)} = (K1 - K2) \times (2 \text{ HCO}_3) \times M(Na)$, gdje je M(Na) 23 g/mol.

Predmnijevajući utjecaj natrija u krvi na povišenje krvnoga tlaka, prema istom načelu natrijevih sadržaja u vodi za piće, vode smo podijelili na hipotenzivne, od 0-10 mg Na/L, normotenzivne, od 11-20 mg Na/L, i na hipertenzivne, više od 20 mg Na/L.

Mnoge vode, koje se koriste za vodoopskrbu, povremeno imaju više od propisane količine natrija (20 mg Na/L), u normotenzivnoj vodi za piće odnosno imaju više od 20 mg Na/L [13,14].

4. Rezultati



Slika 2. Mjerne postaje voda u Dalmaciji: 12 Zrmanja - Muškovci, 13 Zrmanja - Obrovac, 15 Gustirna, 22 Golubinka - izvor, 23 Vlačina, 25 Bokanjac, 26 Biba - izvor, 27 Kakma - izvor, 31 Krka - izvor, 32 Krka - Knin, 33 Krka - Skradinski vodopad, 34 Jaruga - izvor, 35 Torak, 36 Kovča, 41 Pečina - Knin, 43 Banovača - Otavice, 44 Orovača - Kanjani, 45 Točak - Gradac, 51 Jadro - izvor, 52 Jadro, 53 Žrnovnica - izvor, 61 Cetina - izvor, 62 Cetina - Trilj, 63 Cetina - Gata, 64 Cetina - Zadvarje, 66 Mala Ruda, 67 Velika Ruda, 68 Kosinac - izvor, 71 Neretva - Ada - Metković, 76 Neretva - Duvrat, 72 Neretva - Opuzen, 81 Očuša - izvor, 82 Modro Oko - izvor, 83 Klokun - izvor, 85 Butina - izvor, 91 Ombla - izvor, 92 Ljuta - izvor, 94 Gorica - Plat, 101 Opačac - Vrljika - izvor, 102 Utopišće - izvor, 103 Jezerine - izvor, 104 Duboka Draga - izvor.

Mjesta ispitivanja vodâ u Dalmaciji svrstana su u 10 područja (slika 2), koja su označena od 10-100. Postaje u tim područjima prikazane su jedinicama od 1 do 9. Rezultati kemijskih i mikrobioloških istraživanja prikazani su u tablicama 1 do 6, kao srednje desetgodišnje koncentracije (1996.-2005.). Rezultati su izraženi u mg/L. Tablice donose sljedeće pokazatelje kakvoće: pH, temperatura, CO₂, KMnO₄, otopljeni kisik, % zasićenja kisikom, utrošak KMnO₄, amonijak, nitrit, isparni ostatak, klorid, sulfat, alkalitet, ukupna tvrdoća, Ca, Mg, Na, ukupni broj bakterija u 1 ml, ukupni koliformi/100 ml i fekalni koliformi/100 mL. Srednje koncentracije pokazatelja kakvoće uspoređene su s dopuštenim graničnim koncentracijama Svjetske zdravstvene organizacije za pitke vode [15].

Srednja temperatura, u izvorskim, podzemnim i površinskim vodama bila je od 10oC do 16oC; zasićenje kisikom bilo je veliko na svim mjernim postajama.

Prema koncentraciji prikazanoj u statističkoj klasifikaciji europskoga gospodarskoga povjerenstva Ujedinjenih naroda (UN/ECE), koji je prikazan u Dobrisovoj procjeni [16], otopljeni kisik je oko 10 mg O₂/L. Kisik je na svim postajama bio u skladu s tim propisima. Od 42 ispitane vode 16% voda prelazilo je tu vrijednost.

Prema UN/ECE propisu, čiste vode imaju BPK5 2 mg O₂/L i manje.

Na svim su postajama vrijednosti BPK5 bile 36% veće od 2 mg O₂/L. Male razlike postoje u srednjim koncentracijama hranjivih tvari (amonijak, nitriti) između mjernih postaja. Najveća dopuštena koncentracija natrija u pitkoj vodi [13] je 20 mg/L. Sedamdeset četiri % ispitanih voda svrstava se u hipotenzivne (<10 mg Na/L), 12% u normotenzivne (od 11-20 mg Na/L) i 14% u hipertenzivne vode (>20 mg Na/L).

Sadržaj bikarbonata u dalmatinskim vodama je stalan. To se objašnjava što se sadržaj otopljenoga CO₂ malo mijenja a vode sadržavaju razmjerno malo otopljenoga ugljikova dioksida.

Pokazatelji kakvoće	12 Zrmarja Muškovi	13 Zrmarja ispod Obrovca	22 Vlačina	23 G dubinka	25 Bokanjac podzemna voda	26 Biba izvor	27 Kakma izvor	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	13	13	16,6	14,5	14,9	13,6	14,3	10
pH	7,8	7,9	7,6	7,2	7,2	7,3	7,2	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	6	5	9	23	12	7	2	12
Otopljeni kisik, mg O ₂ /L, %	12;110	12;110	11,97	10,98	8,4,84	8,4;82	8,5;84	>2
BPK ₅ , mgO ₂ /L	1,4	2,4	3	1,3	1,8	2,3	3	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	8,4	11	11,6	9	8	6,8	11	
NH ₃ -N, mg/L	0	0	0,006	0	0	0	0	0,5
NO ₂ -N, mg/L	0	0	003	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	218	511	293	746	426	404	334	1000
Cl, mg/L	9	171	68	191	27	17	20	25
SO ₄ , mg/L	13	60	35	73	24	29	20	400
HCO ₃ -CaCO ₃ , mg/L	184	186	147	330	362	338	259	
Tvrdoća CaCO ₃ , mg/L	200	270	200	428	440	367	294	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	148	164	157,5	309	310	285	231,5	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	52	106	42,5	119	130	82	62,5	
Na, mg/L	4,6	101,2	14,5	113,9	16,1	11	4,4	
Ukupni broj bakterija/mL	160	2270	1200	240	10	530	270	
Ukupni koliformi/100 mL	280	5600	500	250	0	1000	200	
Fekalni koliformi/100 mL	140	3750	200	175	0	850	40	

Tablica 1.

Pokazatelji kakvoće	31 Krka Krčić	32 Krka ispod Knina	33 Krka ispod Skradi- nskog Buka	34 Jaruga ispod Skradi- nskog buka	35 Torak	36 Kovča	37 Jandrić Dubrava	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	10,6	12	14,2	13,3	14,4	13,8	14,7	10
pH	7,6	7,2	7,8	7,5	7,4	7,3	7	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	9	9	8	17	17	102	98	12
Otopljeni kisik, mgO ₂ /L, %	12,4;109	11;100	11,7;102	10,5;101	11,2;110	9,8;95	8,6;85	>2
BPK ₅ , mgO ₂ /L	1,6	2,8	1,7	1,8	1,3	1,7	1,9	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	7	9,5	7,5	6,7	8,8	3,8	5,6	
NH ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0,5
NO ₂ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	222	261	293	309	293	406	422	1000
Cl, mg/L	12	10	15	10	10	40	21,2	25
SO ₄ , mg/L	19	44	52	47	33	28	18,4	400
HCO ₃ -CaCO ₃ , mg/L	186	188	195	220	222	288	352	
Tvrdoća CaCO ₃ , mg/L	214	241	272	268	267	327	375	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	157	177	207	212,5	159	235,5	2,87	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	57	64	65	55,5	10,3	91,5	89	
Na, mg/L	3,9	3,2	0	6,9	3,7	21,1	11,5	
Ukupni broj bakterija/mL	85	1450	130	24	65	15	14	
Ukupni koliformi/100 mL	32	17000	180	40	90	15	0	
Fekalni koliformi/100 mL	24	13600	115	20	13	14	0	

Tablica 2.

Neke vode na zadarskomu i šibenskomu području (tablice 1 i 2) sadržavaju velike koncentracije otopljenoga ugljikova dioksida ali bikarbonat je veći nego na drugim mjernim postajama. Kloridi i sulfati više variraju od bikarbonata.

Pokazatelji kakvoće	41 Pečina Knin izvor	43 Banovača Otavice	44 Orlovača Karjari	45 Točak Gradac	51 Jadro izvor	52 Jadro ušće	53 Žrnovnica izvor	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	11,5	11,9	11	12,5	12,6	10,4	13	10
pH	7,6	7,3	7,4	7,3	7,5	7,9	7,7	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	8	13	11	18	8	6	7	12
Otopljeni kisik, mgO ₂ /L, %	12;108	9,1;92	11,3;88	84;109	12;110	12;113	12;105	>2
BPK ₅ , mgO ₂ /L	1,7	1,2	1,1	0,9	1,03	1,9	1,5	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	5,9	7	7,6	6,2	6,4	7,8	6,7	
NH ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0,5
NO ₂ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	258	315	284	365	225	254	205	1000
Cl, mg/L	10	12	12	14	13	24	15	25
SO ₄ , mg/L	43	33	30	24	17	20	17	400
HCO ₃ -CaCO ₃ , mg/L	195	254	241	317	189	201	179	
Tvrdoća CaCO ₃ , mg/L	232	289	271	343	213	228	205	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	166	245	225	226	169,5	162,5	159	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	69	44	46	77	43,5	65,5	46	
Na, mg/L	8,5	7,6	7,8	2,3	1,9	4,3	2	
Ukupni broj bakterija/mL	300	344	67	200	213	1060	200	
Ukupni koliformi/100 mL	150	300	72	55	150	2800	170	
Fekalni koliformi/100 mL	60	120	20	30	80	2000	70	

Tablica 3.

Pokazatelji kakvoće	61 Vukovića vrilo	62 Cetina ispod Trilja	63 Cetina Gata	64 Cetina Zadvarje	66 Mala Ruda	67 Velika Ruda	68 Kosinac izvor	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	10	12	12	13	10,7	12,2	12	10
pH	7,5	7,6	7,6	7,7	7,6	7,7	7,5	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	8	6	6	5	10	11	6,4	12
Otopljeni kisik, mgO ₂ /L, %	11;108	11;104	11;104	11;02	11,3;102	11,9;11	11,6;104	>2
BPK ₅ , mgO ₂ /L	2	2,6	2,5	1,8	1,4	1,6	1,4	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	6	8	9	8	4,7	5,3	6,8	
NH ₃ -N, mg/L	0	0,05	0	0	0	0	0	0,5
NO ₂ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	214	230	236	215	230	216	196	1000
Cl, mg/L	11	16	16	16	10	11	12,3	25
SO ₄ , mg/L	10	29	24	23	22	23	12	400
HCO ₃ -CaCO ₃ , mg/L	181	181	176	168	174	170	179	
Čvrdoća CaCO ₃ , mg/L	200	211	207	200	206	203	196,5	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	150	166	162,5	153,5	163,5	158	157,2	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	50	45	44,5	46,5	42,5	45	34,3	
Na, mg/L	3,7	10,4	7,6	6,7	2,3	2,5	5,9	
Ukupni broj bakterija/mL	50	300	240	34	30	35	80	
Ukupni koliformi/100 mL	130	230	75	100	40	50	190	
Fekalni koliformi/100 mL	75	115	25	33	40	21	114	

Tablica 4.

Voda na izvoru Jadra, Žrnovnice i Cetine (tablice 3 i 4) dosta je ujednačena kemijska asastava. U Butini kraj Vrgorca sadržaj se sulfata veoma mijenja, a sadržaj bikarbonata i klorida je ujednačen (tablica 5).

Pokazatelji kakvoće	71 Neretva ada Metković	76 Neretva kraj Duvrata	72 Neretva blizu Opuzena	81 Očuča izvor	82 Modro Oklo	83 Klokun izvor	85 Butina izvor Vrgorac	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	13	12	13,5	14	13	13,1	15,3	10
pH	7,8	8	7,4	7,9	7,8	7,8	7,5	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	7	8	8	8	9	8	5	12
Otopljeni kisik, mg O ₂ /L, %	12,3;117	12,2;116	11,8;114	12,1;117	11,3;108	11,3;107	12,1;114	>2
BPK ₅ , mg O ₂ /L	1,8	1,9	2,4	1,6	1,5	1,5	2,6	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	7,7	8,2	8,8	7,1	7,4	7,9	10	
NH ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0,5
NO ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	285	429	653	266	288	262	335	1000
Cl ⁻ , mg/L	33	76	22,0	14	13	14	12	25
SO ₄ ²⁻ , mg/L	43	62	84	56	67	71	77	400
HCO ₃ ⁻ -CaCO ₃ , mg/L	175	178	177	176	176	180	206	
Tvrdoća CaCO ₃ , mg/L	222	250	288	233	249	242	300	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	161	164	164	196,5	183,5	203,5	228,5	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	61	86	124	36,5	65,5	38,5	71,5	
Na, mg/L	20,2	46,2	31,3	9,4	6,9	14,5	1,8	
Ukupni broj bakterija/mL	450	400	250	500	450	560	2350	
Ukupni koliformi/100 mL	6400	3700	4400	120	110	190	950	
Fekalni koliformi/100 mL	4160	2400	1980	60	50	38	160	

Tablica 5.

Voda Omble i Opačca također ima ujednačen kemijski sastav (tablica 6).

Pokazatelji kakvoće	91 Ombla Izvor	92 Ljuta izvor Konavle	94 Gonica Plat	101 Opačac Vrljika izvor	102 Utopišće izvor	103 Jezenine izvor	104 Duboka Draga izvor	Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) za vode za piće
Temperatura, °C	15,2	12	12	13,8	12,3	13,3	11,9	10
pH	7,8	7,8	7,8	8,1	7,7	7,7	7,8	6,5-8,5
CO ₂ , mg/L	9	5	10	9	6	6	6	12
Otopljeni kisik, mg O ₂ /L, %	11,1;108	12;110	10,8;104	11,4;116	11,5;106	11;104	11,8;109	>2
BPK ₅ , mg O ₂ /L	1,3	1,4	2,2	2,6	1,4	1,6	1,6	
KMnO ₄ , mg KMnO ₄ /L	6,3	6,7	7,6	7,8	5,8	8,5	5,8	
NH ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0,5
NO ₃ -N, mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Isparni ostatak, mg/L	252	168	212	252	272	234	220	1000
Cl ⁻ , mg/L	13	13	16	12	12	14	17,8	25
SO ₄ ²⁻ , mg/L	12	9,6	7	13	16,3	14,3	12,3	400
HCO ₃ ⁻ -CaCO ₃ , mg/L	188	157	171	194	223	206	204	
Tvrdoća CaCO ₃ , mg/L	219	181	200	229	242	222	222	500
Ca-CaCO ₃ , mg/L	172	135	140	175	186	171	191	
Mg-CaCO ₃ , mg/L	47	45	60	54	56	51	31	
Na, mg/L	3,0	2,07	3	0	7,1	8,5	10,1	
Ukupni broj bakterija/mL	7	460	50	280	360	940	380	
Ukupni koliformi/100 mL	15	400	30	60	210	600	240	
Fekalni koliformi/100 mL	10	130	15	25	130	240	120	

Tablica 6.

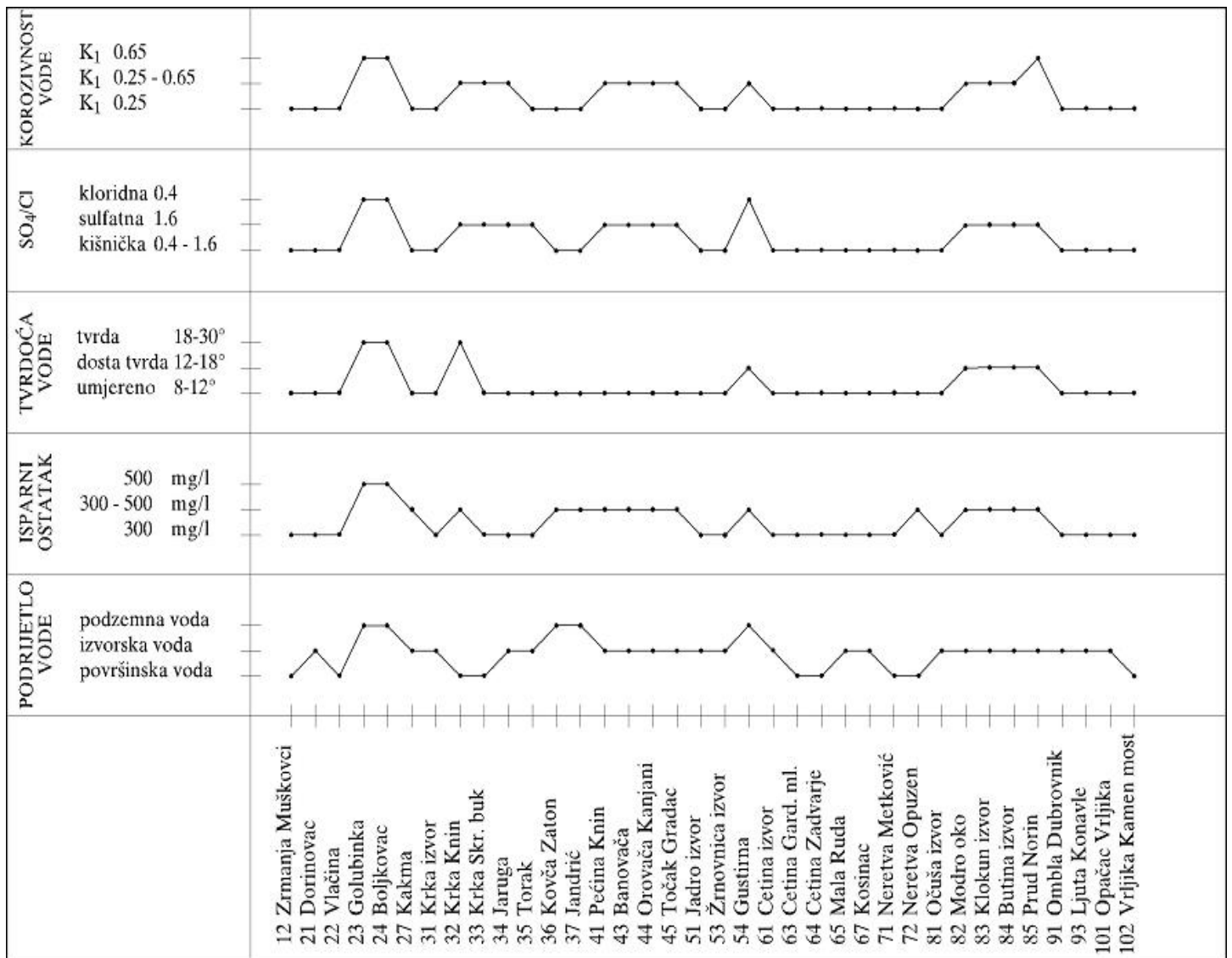
Veliki broj analiziranih uzoraka voda svrstava se u tipične krške vode (tablica 7).

Pokazatelji kakvoće	Prosjeak	Raspon
Isparni ostatak, mg/L	210	170-250
Ukupna tvrdoća, mg CaCO ₃ /L	205	180-215
Alkalitet, mg CaCO ₃ /L	180	157-195
Kloridi, mg/L	12	9-13
Sulfati, mg/L	13	10-30
SO ₄ /Cl ekv.	0,8	0,38-1,6
K ₁	0,16	<0,2
TIP vode	Kalcijsko-bikarbonatna voda	

Tablica 7.

Podzemne i površinske vode u kršu su umjereno tvrde, imaju malu nekarbonatnu tvrdoću. Sadržaj sulfata i klorida je mali, nemaju agresivnoga ugljikova dioksida i omjer Ca/Mg kreće se od 2,5 do 5.

Na temelju rezultata kemijskoga ispitivanja, podjela voda u Dalmaciji izvršena je prema podrijetlu, mineralizaciji odnosno isparnomu ostatku, tvrdoći, prema ekvivalentnomu omjeru SO₄/Cl, prema koeficijentu korozivnosti K₁ a donosi je slika 3.



Slika 3. Usporedba klasifikacija voda u Dalmaciji

Iz slike je razvidno da među različitim podjelama postoji uska veza. Tako su površinske vode malo mineralizirane, umjereno su tvrde, kišničkoga su tipa i nisu korozivne. Podzemne su vode više mineralizirane od površinskih voda, neke su kišničkoga tipa, ali su mnoge sulfatnoga ili kloridnoga tipa i korozivnije su od površinskih voda. Prema slici 3, koja prikazuje usporedbe klasifikacija, sulfatne i kloridne vode, uglavnom su dosta tvrde i tvrde, naročito u riječnim estuarijima. Nadalje, slika pokazuje da je kloridni tip voda veoma korozivan (K_1 veći od 0,65). Sulfatni tip vode je manje korozivan ($K_1=0,2-0,65$).

Raspon	Broj uzoraka	0	6000- 24000	Aritmetička srednja vrijednost	Geometrijska srednja vrijednost
Sredina razreda			15000		
Neretva Duvrat	14		4	6660	3790
Krka Knin	14		8	16900	3600
Neretva Ada	14		5	6357	3500
Zrmanja	6		2	5600	2600
Tm	14		4	5770	2630
Neretva Opuzen	14		5	4360	1920
Prunjak	14		3	2824	1530
Crepina	14		2	3640	1520
Jadro ušće	10		1	2862	1370
Vrlička ušće	13		1	1797	762
Vrlička	12		1	1427	307
Butina izvor	6			530	228
Zrmanja Žegar	6			182	150
Cetina Trilj	12			438	148
Ljuta Konavle izvor	6	1		396	128
Banovača-Otavice izvor	12			300	120
Zrmanja Muškovci	6			278	120
Žrnovnica izvor	12			168	94
Krka Skradinski buk	12			184	86
Klokun izvor	10	1		530	71
Orovača Kanjani izvor	12	3		72	67
Dorinovac izvor	6				
Jadro izvor	13			153	52
Očuša izvor	13	1		122	47
Opačac Vrlička izvor	12			64	46
Točak Velušić izvor	4			43	43
Modro Oko izvor	12			110	42
Vukovića Vrelo	12			130	36
Cetina Gata	13	1		78	36
Cetina Zadvarje	13	2		97	32
Ombla izvor	6	2		25	24
Krčića izvor	12	2		32	22
Točak Gradac izvor	12	2		54	15
Pećina Knin izvor	12	8		9	3

Tablica 8.

Vode se prema geometrijskoj srednjoj vrijednosti (GSV) NVB coli bakterija/100 mL (tablica 8), uzimajući u obzir nalazišta vodâ u prirodi, mogu podijeliti u tri skupine.

1. Bakterijski su najviše zagađene vode, kod kojih je GSV bakterija viša od 1000. To su uglavnom riječne vode, u koje se ispuštaju kućne otpadne vode ili površinske vode, koje se nalaze na poljodjelskim područjima, pa ih zagađuje okoliš: Krka kraj Knina, Zrmanja ispod Obrovca, voda donjega toka Neretve i ušće rijeke Jadra.

2. U skupinu bakterijski manje zagađenih voda, ubrajamo vode kod kojih je GSV coli bakterija od 150-1000/100 mL vode. U tu skupinu ubrajamo površinske riječne vode, koje nisu zagađene otpadnim vodama, vode gornjih tokova Zrmanje, Krke i Cetine, akumulacija Vlačina i druge. Njoj pripisujemo i neke izvorske vode, koje nemaju zaštitne pojaseve, a koje zagađuje okoliš, npr. izvor Prud kraj Metkovića i izvor Biba, kraj Biograda.

3. U skupinu bakterijski najmanje zagađenih voda ubrajamo vode kod kojih je GSV bakterija manja od 150 u 100 mL vode. Toj skupni pripada većina izvorskih voda u Dalmaciji i neki dijelovi rijeka. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (N. N. 182./2004.) u vodovodnoj vodi ne smije biti coli bakterija a u izvorskoj ili zdenačkoj vodi, koje se stalno ne kloriraju, ne smije biti više od 10 koliformnih bakterija u 100 mL.

Budući da sve vode u Dalmaciji imaju coli bakterije, te bi vode trebalo trajno klorirati osim vode u nakapnicama.

5. Raspava

Poznavanje kemijskoga sastava služi kao osnova za podjelu vodâ, za predviđanje sastava svih ostalih voda na nekomu području, za proučavanje podrijetla [17] i kretanje voda u prirodi, izučavanje ležišta rudnoga blaga itd. Kemijski sastav voda trebalo bi uvijek uzeti u obzir pri gradnji vodovodnih vodova i svih hidrotehničkih gradnja, pri korištenju vodâ u industriji, pri navodnjivanju i pri pročišćivanju vodâ. Može se koristiti u epidemiološkim studijama, gdje se bolest ljudi

može korelirati i objasniti kemijskim sastavom voda.

U Dalmaciji ima voda koje se razlikuju od izrazitih krških voda. To su vode koje imaju veliku koncentraciju ugljikova dioksida kao vode na zadarskomu i šibenskomu području. Neke vode na drniškomu području i blizu Sinja imaju mnogo sulfata. Na mnoge vode utječe more, na ušćima rijeka blizu mora, potom podzemne vode na otocima, vode u Ravnim Kotarima itd.

Da bi se mogli donijeti zaključci o značajkama i posebnostima nekih vodâ treba: sustavno ispitivati kemijski sastav nekih voda kroz dulje razdoblje, učestalo uzimajući uzorke, a dobivene podatke usustaviti, statistički obraditi i koristiti određene koeficijente, koji mnogo bolje omogućuju uočiti značajke vodâ nego pojedinačni rezultati. Na temelju dobivenih podataka, vode treba usustaviti odnosno podijeliti ih. Vode se u prirodi mogu podijeliti na različite načine: prema isparnomu ostatku odnosno prema stupnju mineralizacije, prema tvrdoći, prema kemijskomu sastavu odnosno prema prevladavajućim ionima, prema ekvivalentnomu omjeru SO_4/Cl i prema korozivnosti.

Podjela vodâ, prema stupnju mineralizacije [18], obuhvaća sve vode u prirodi i to slatke, do 1 g/kg mineralnih tvari, slankaste 1-25 g/kg mineralnih tvari, morsku vodu, s više od 25 g/kg mineralnih tvari.

Vode se najčešće dijele prema tvrdoći. Tvrdoća vode posljedica je mineralnoga sastava vode, pa se podjela vodâ, prema tvrdoći, može razmatrati zajedno s podjelom voda prema kemijskomu sastavu.

Ispitivane vode imaju tvrdoću prema Klutu [19]:

- veoma meke vode: 0-70 mg $CaCO_3/L$,

- meke vode: 70-145 mg $CaCO_3/L$,

- umjereno tvrde vode: 145-215 mg $CaCO_3/L$.

U našem radu Zrmanja, Jadro, Žrnovnica, Cetina, Mala Ruda, Velika Ruda, Kosinac, Ljuta i Plat svrstavaju se u umjereno tvrde vode.

Dosta tvrde vode: 215-320 mg $CaCO_3/L$.

U te se vode svrstavaju sljedeće vode: Zrmanja-Obrovac, Kakma, Krka Knin, Neretva Metković, Modro Oko, Klokun, Butina Ombla, Vrljika.

Tvrde vode: 320-530 mg $CaCO_3/L$.

U te vode se svrstavaju: Golubinka, Bokanjac, Biba, Kovča, Jandrič i sve rijeke blizu ušća.

Podjelu voda za piće na hipotenzivne (<10 mg/Na/L), normotenzivne (od 11 do 20 mg Na/L) i hipertenzivne (>20 mg Na/L) postavili smo tako što smo koncentraciju natrija povezivali projektivno s razinom arterijskoga tlaka, znajući da povećana koncentracija natrija u krvi povećava krvni tlak.

Ljudi koji boluju od hipertenzije trebali bi piti normotenzivnu ili, još bolje, hipotenzivnu vodu. Koncentracije natrija u vodi za piće treba longitudinalno ispitivati zajedno s povećanjem zdravstvenih podataka. Posebno je važno što će tako prikupljeni podatci omogućiti sustavno praćenje natrija u vodi za piće i omogućiti provedbu brzih preventivnih mjera za smanjenje koncentracija natrija, bilo reverznom osmozom ili zamjenom izvora vode za piće. Natrij treba uključiti u praćenje kakvoće vodâ, jer njegove razine mogu biti zanimljive onima koji propisuju dijete svojim bolesnicima.

Prema Uredbi o klasifikaciji vodâ [20], vode koje se svrstavaju u II. vrstu nemaju više od 5.000 koliformnih bakterija, u 100 mL vode. Iz tablice 8. vidi se da većina ispitivanih vodâ pripada skupini vodâ koje imaju više od 5.000 coli bakterija u 100 mL, što ih svrstava u III. skupinu vodâ.

Budući da sve vode u Dalmaciji imaju koliformnih bakterija, treba iz dezinficirati prije upuštanja u vodoopskrbni sustav.

6. Zaključak

1. Tipične krške vode u Dalmaciji su kalcijsko bikarbonatne vode, umjereno tvrde, a omjer SO_4/Cl je 0,38-1,6, nisu korozivne (K1 manji od 0,2), malo su mineralizirane (<500 mg/L). Sulfatne vode su umjereno tvrde, s omjerom SO_4/Cl većim od 1,6 i K1 od 0,2-0,65. Kloridne vode su dosta tvrde ili tvrde, naročito ušća rijekâ, omjer SO_4/Cl je manji od 0,38 i koeficijent K1 je veći od 0,65.

2. Na temelju koncentracija natrija i/ili kloridima određene korozivnosti vodâ valjalo bi proučavati stanje zdravlja kod ljudi koji piju vodu s različitim koncentracijama natrija (i/ili klorida) i epidemiološki korelirati patološka stanja poput arterijske hipotenzije ili hipertenzije s vodom unesenim natrijem; također i korelirati neka druga patološka stanja, poput npr. erozija ili vrieda želudca s kloridima uvjetovanom korozivnošću voda.

Podzemne vode u Dalmaciji su manje zagađene od površinskih vodâ. Većina vodâ ima geometrijsku srednju vrijednost ukupnih koliforma <150/100 mL u 24 vode od 42 ispitane. Najveće bakterijsko onečišćenje nađeno je na devet postaja, gdje je NVB coli >1000/100 ml, a umjereno zagađenje nađeno je na devet mjernih postaja, gdje su ukupni koliformi bili između 150 i 1000/100 mL vode.

Procjena kakvoće vodâ u Dalmaciji dobivena u ovoj studiji pokazuje da su vode u Dalmaciji razmjerno sačuvane sa svojim prirodnim značajkama, s fizičkim i kemijskim pokazateljima kakvoće, koji su ispod dopuštenih međunarodnih koncentracija za vode za piće.

Prema podjelama vodâ u Dalmaciji, koje se temelje na višegodišnjim rezultatima istraživanja, lako je odrediti tip vode i procijeniti njegovu kakvoću za vodoopskrbu. Također se može pratiti promjene kakvoće vode i zaštititi ih, razvijajući planove gospodarenja vodom za zaštitu poriječja vodâ.

Omjer SO_4/Cl koristi se za određivanje tipa vode, npr. kloridni, sulfatni ili kišnički, što je osobito važno za odabir vode za piće, pa tako i izbor vode postaje svrsishodniji.

Recenzirani članak

7. Literatura

[1] Štambuk-Giljanović N. Matoković B. Information subsystem of the chemical coefficients K1-K2 as the base for the study of the ecological factors that influence human health. J Med Syst 1999; 23(2):159-69.

[2] Štambuk-Giljanović N. Vode Dalmacije. Split/Zagreb: Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko-dalmatinske, Hrvatske vode, 1994.

- [3] Štambuk-Giljanović N, Dumanić T, Ledić M, Poljak M, Kristić A. Utjecaj akumulacije Buško Blato na donji tok Cetine. U: Zbornik radova Voda i javna vodoopskrba, Tučepi, 2001, 151-61.
- [4] Štambuk-Giljanović N. Water quality evaluation by index in Dalmatia. Water Res. 1999; 33(16):3423-40.
- [5] Štambuk-Giljanović N. Comparison of Dalmatian water evaluation indices. Water Environment Research 2003; 75(5):388-405.
- [6] Štambuk-Giljanović N. Vode Cetine i njezina poriječja. Split/Zagreb: Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko-dalmatinske, Hrvatske vode, 2002.
- [7] APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, DC, 1995.
- [8] Aljtvovski ME. Hidrogeološki priručnik, Beograd, Građevinska knjiga, 1973, 190-7.
- [9] Lebedev S, Dimitrijević N. Uvod u opću hidrohemiju sa praktikumom, Beograd, Rudarsko-metalurški fakultet, 1973, 146.
- [10] Buljan M. Nova geokemijska metoda za razlikovanje prirodnih voda, Croat Chem Acta 1962; 34:13-23.
- [11] Larson TS, Scold RW. Laboratory studies relating mineral quality of water to corrosion of steel and cast iron. Corrosion 1958; 16:285.
- [12] Štambuk-Giljanović N. Sodium levels in drinking water as an index to human health. Human and Ecological Risk Assessment 2001;7(6):757-64.
- [13] Tuthill RW, Calabrese EJ. Elevates Sodium Levels in the Public Drinking Water as a Contributor to Elevated Blood Pressure Levels in the Community. Arch. Environ. Health 1979; 34: 197-202.
- [14] EPA (U. S. Environmental Protection Agency). Drinking Water Regulations and Health Advisories, Environmental Protection Agency, Washington DC., 1996.
- [15] World Health Organization Guideline: Drinking Water Quality. Vol. 1, Recommendation, Geneva, 1993. 57 p.
- [16] Stanners D, Bourdeau P. (eds) Europe's Environment. The Dobbris Assessment Compiled Eurostat Together with other Organizations, 1995. 455 p.
- [17] Jürgen BH, Jülich W. Die Beschaffenheit des Rheins im Zeitraum 1994-1995. U: IAWR-Rheinbericht, Amsterdam.
- [18] Barclay RW, Nagle N, Terry K. Characterization of saline groundwater resource quality for aquatic biomass production: A statistical-based approach. Water Res. 1988; 22(3):373-479.
- [19] Rašić T. Desinfection of Drinking Water, Society of water technology. Beograd, 1975.
- [20] Official Bulletin of Croatia. Government Printing Office. Croatian Water Classification Act. No 77, Zagreb, 1998.

Kontakt:

izv. prof. dr. sc. Nives Štambuk-Giljanović, dipl. ing.
Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije
Vukovarska 46
21000 Split
tel.: 021/587-822
fax: 021/535-318
e mail: vode@zjz-split.htnet.hr