

Izet AVDAGIĆ¹
Stanka FILIPOVIĆ²
Ana MIŠUROVIĆ³

SKADARSKO JEZERO KAO IZVORIŠTE ZA SNABDIJEVANJE VODOM ZA PIĆE

Zaliv Raduš, u kome se nalazi potopljeno kraško vrelo, odabran je kao varijantno rješenje za snabdijevanje vodom Crnogorskog primorja. Potopljeno vrelo Raduš sa svojim nepoznatim kvantitativno-kvalitativnim karakteristikama i vode Skadarskog jezera na istom lokalitetu uključene su u sistematsko istraživanje tokom hidrološke godine. Za ispitivanja je instalirana monitorska istraživačka stanica na kojoj su kontinuirano registrovani odabrani parametri režima voda. Pri karakterističnim hidrološkim situacijama vršena su detaljna ispitivanja kvaliteta voda. Izdašnost izvorišta se kreće od 0,07 do 90 m³/s, a kvalitet voda od I do II klase.

Uvod

U okviru izrade investiciono-tehničke dokumentacije Regionalnog vodovoda Crnogorskog primorja obavljena su detaljna kompleksna sinhronizirana ispitivanja i mjerenja fizikalno-hemijskog, bakteriološkog, hidrobiološkog, hidrološkog i hidrodinamičkog karaktera voda zaliva Raduš u Skadarskom jezeru (sl.1).

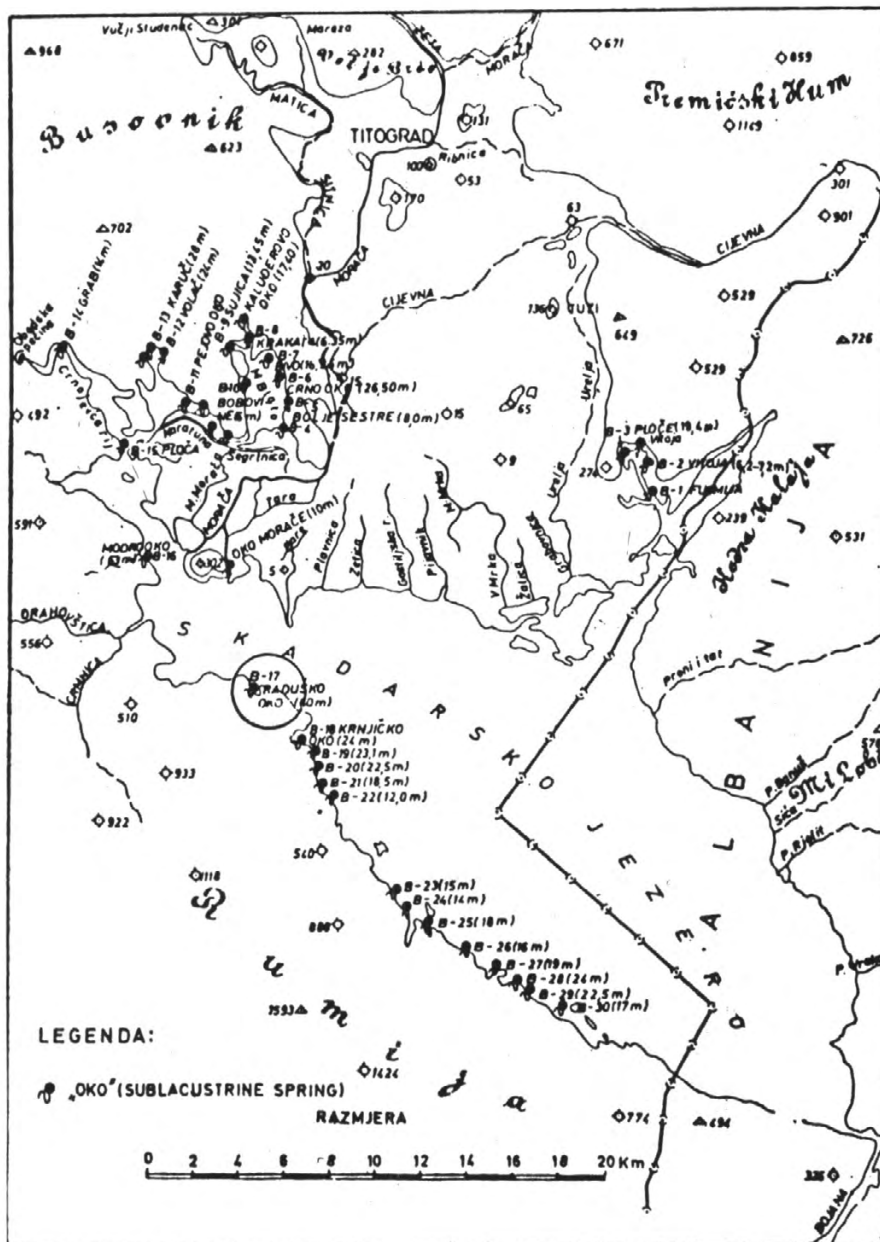
Ciljevi ovih istraživanja bili su:

- utvrđivanje izdašnosti i kvantitativnog režima potopljenog vrela Raduš,
- bliže utvrđivanje stanja i promjene kvaliteta vode vrela Raduš i Skadarskog jezera u uticajnoj zoni na vrelo Raduš, u svrhu dobivanja elemenata za procjenu kvaliteta vode koja će se vjerovatno zahvatiti u raznim odnosima količine voda iz vrela Raduš i Skadarskog jezera, kao i radi dobivanja saznanja o uslovima kondicioni-

1) Prof. dr Izet Avdagić, Građevinski fakultet, Sarajevo

2) Stanka Filipović, Univerzitet „Veljko Vlahović“, Medicinski institut, Titograd

3) Ana Mišurović, Medicinski zavod, Zavod za zdravstvenu zaštitu, Titograd



Sl. 1. Šire područje Skadarskog jezera
Fig. 1 Broader area of the Skadarsko Lake

ranja te vode koja treba da odgovara standardima dobre vode za piće,

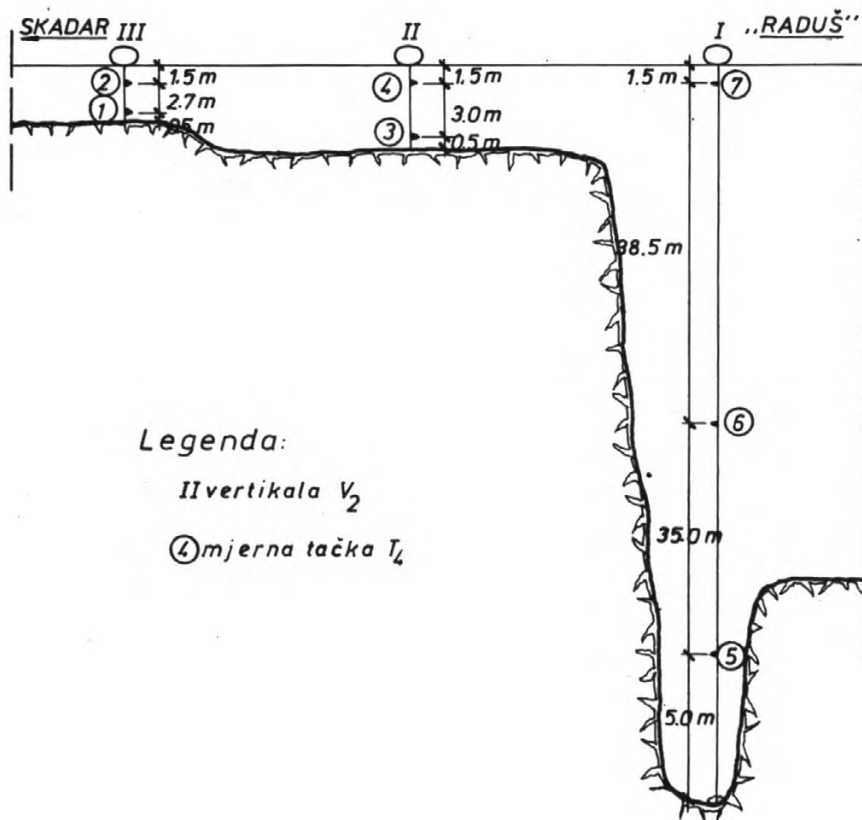
– utvrđivanje uslova za najpovoljniji način zahvatanja vode na mjestu vrela Raduš,

– postavljanje koncepta za pilot istraživanja pojedinih procesa ili procesa kondicioniranja u cjelini, zavisno od nalaza prethodnih laboratorijskih istraživanja,

– dobivanje elemenata za propisivanje zaštitnih mjera na području neposrednog zahvata vode.

Metod rada

Za ispitivanje karakteristika voda jezera i vrela na lokalitetu Raduš instalirana je istraživačka stanica na kojoj su vršena sistemska automatska mjerenja nivoa vode, padavine, temperatura vode i vazduha, provodnosti, pH i mutnoće, kao i povremena detaljna ispitivanja hemijskog i hidrobiološkog kvaliteta vode. Mjerenja su vršena na tri vertikale u 7 tačaka koje su prikazane na sl. 2.



Sl. 2. Skica dispozicije vertikala sa mjernim mjestima
Fig. 2 Arrangement of verticals and data points

Istraživanja su započeta u martu mjesecu 1983. godine, a završena su u aprilu 1984. godine.

Na vrelu Raduš do sada nisu vršena mjerenja izdašnosti vrela. Za određivanje proticaja primjenjen je parametarski pristup. Mjerenjima izdašnosti vrela i padavina na slivu u periodu od jedne hidrološke godine, definirane su veze padavine–izdašnost, brzina reakcije vrela na padavine i proticaji vrela, te veza ovih veličina sa odgovarajućim veličinama na profilu sličnih fizičko-geografskih karakteristika sa dovoljno dugim nizom opažanja, koji bi bio osnova za potrebne ekstrapolacije. U tu svrhu odabrani su rijeka Orahovštica – VS Orahovo, potok Godinje na kome su uspostavljena osmatranja u toku istraživanja i MS Titograd. Za simulaciju karakteristika sliva kao sistema, korišten je Snyder-ov model jediničnog hidrograma.

Do zamućenja zaliva i izvora može doći pri nailasku velikih voda i pri malim vodama uslijed jačeg vjetra i valovanja. Za rješenje ove problematike izrađen je hidraulični pilot-model koji je koncipiran tako da se ove pojave ispituju, te da se daju prijedlozi tehničkih mjera u smislu optimalnog rada vodozahvata. Promjene hidrodinamičke slike strujanja u zavisnosti od trenutne izdašnosti vrela (Q_0), vode koja se zahvata (Q_z) i visinskog položaja vodozahvata, analizirane su za 5 varijanti.

Za fizičko-hemijska, sanitarno-biološka i hidrobiološka ispitivanja uzorci voda sa istraživačkog prostora zahvatani su automatski i fridingerovom bocom sa svih tačaka. Na terenu su određivani i fiksirani rastvoreni gasovi, temperatura, alkalitet, konduktivitet, pH-vrijednost, amonijak, nitriti, rastvoreni kiseonik, fenoli, ukupni i rastvoreni mikroelementi i ekstrahovani organski mikrozagadivači. Određivanja organskih mikrozagadivača izvršena su na instrumentima VMA Beograd, ZZZ Srbije – Beograd i ZZZ u Puli kao i ZZZ u Mariboru. Analize svih parametara vršene su prema „američkim standardnim metodama” za vode.

Karakteristike istražnog prostora i mjerenja

KARAKTERISTIKE VODA SLIVA SKADARSKOG JEZERA

Skadarsko jezero nalazi se na jugoslovensko-albanskoj granici, između $42^{\circ}03'$ i $42^{\circ}21'$ sjeverne geografske širine i $19^{\circ}03'$ istočne geografske dužine, smješteno u karstnom regionu Dinarida. Jezero je okruženo paleozojskim, mezozojskim i tercijarnim stijenama, pretežno krečnjačkim i dolomitnim. Veličina neposrednog sliva područja jezera na teritoriji Crne Gore je oko 4.460 km^2 , a na teritoriji NR Albanije oko 1.030 km^2 . Ovo područje ima srednju godišnju visinu padavina od 2.238 mm . Pod određenim hidrološkim uslovima, neposredno slivno područje se uvećava vodama iz slivova rijeka Drima i Bojane i najveće pritoke Jezera Morače. Vodom ga obogaćuju i mnogobrojni stalni i povremeni karstni izvori, posebno tzv. oka. Dna svih „oka” su ispod nivoa mora, a u zalivu Raduš dno se nalazi na dubini od 80 m .

Svojim položajem Jezero predstavlja sabirni bazen sliva koji ga okružuje. U osnovnim konturama vodno ogledalo je eliptičnog oblika, sa glavnim osnovnim usmjerenjem u pravcu sjeverozapad–jugostok, u dužini od oko 26 km i poprečnim u dužini od oko 12 km. Dubina vode kreće se od 1–9 m, zavisno od hidrološke situacije. Promjena nivoa Jezera od svega 1 cm/dan uzrokuje promjenu zapremine Jezera od $3,95\text{--}5,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dan}$ što je adekvatno protoku od oko $46\text{--}61 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vodostaji Skadarskog jezera variraju u dosta širokim granicama. Ekstremne osmotrene vrijednosti bile su $H_{\min} = 4,57 \text{ m n.m.}$, $H_{\max} = 9,82 \text{ m n.m.}$, tako da površina Jezera varira između 395 km^2 u minimumu do 530 km^2 u maksimumu. Odgovarajuće zapremine vode u Jezeru u ovim stanjima iznose $V_{\min} = 1,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, $V_{\max} = 4,25 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Površina Jezera pri prosječnom vodostaju od $H_{sr} = 6,59 \text{ m n.m.}$ iznosi oko 475 km^2 .

U ukupnom bilansu dotoka vode u Skadarsko jezero, Morača je najznačajnija. Njen sliv je procijenjen na oko 3.200 km^2 .

Prema provedenim proračunima bilans Jezera ima slijedeće elemente:

a) Ulaz u Jezero	Q (m ³ /s)
1. r. Morača – VS Titograd	170
2. r. Cijevna – VS Trgaj	26
3. neposredni sliv Morače	4
4. neposredni sliv Jezera	130
b) Izlaz iz Jezera	
1. Isticanje iz jezera Bojanom	309
2. Isparavanje	21

Ovakvo bogatstvo voda uslovalo je snažni urbani i industrijski razvoj slivnog područja Jezera koji nije bio praćen adekvatnim sanitarno-tehničkim mjerama. Zbog toga i industrija svojim otpadnim vodama zagađuje kako rijeke tako i tokove podzemnih voda u slivnom području, do alarmantnog stepena (Popović, 1975; Filipović, 1976; Žunjić, 1976; Radulović 1977).

Zagađivanje ovog područja počinje puštanjem u rad Industrije „Obod” i Željezare „Boris Kidrič”. Nastavlja se izgradnjom industrijskih objekata u dolinama rijeke Zete, Morače i Rijeke Crnojevića, kao i izgradnjom gradskih kanalizacionih sistema u naseljima duž ovih vodotoka (tabela 1).

S obzirom na raspored zagađivača površinskih voda u slivnom području Jezera najveći broj industrijskih preduzeća je iz metalne, prehrambene i tekstilne industrije.

Na osnovu fondovskih podataka napravljen je grubi uvid u red veličine tereta zagađenja koji rijeka Morača unosi u Skadarsko jezero. Ova ispitivanja, koja su bila jednokratna, omogućila su da se indirektnim putem, procijeni teret zagađenja, određivanjem tereta zagađenja u samom vodotoku – prijemniku otpadnih voda. Kako se od indikatora zagađenja, čije vrijednosti se mogu iskazati u obliku

Red. br.	Naziv rijeke	I n d u s t r i j a	Mjesto	Količina
1.	Zeta	Željezara "B.Kidrić"	Nikšić	preko 1000 l/s
2.	Zeta	Ind.piva "Trebjesa"	Nikšić	" 2162 m ³ /dan
3.	Zeta	PTK mljekara	Nikšić	" 370 m ³ /dan
4.	Zeta	Farma svinja	Spuz	" 233 "
5.	Morača	Hemijska čistiona	Titograd	" 200 "
6.	Morača	Mljekoprodukt	Titograd	" 300 "
7.	Morača	"Centarkoža"	Titograd	" 80 "
8.	Morača	TITEKS	Titograd	" 2500 "
9.	Morača	Ind.maš. "R.Dakić"	Titograd	" 12 m ³ /čas
10.	Morača	Komb.aluminijuma	Titograd	" 2800 "
11.	R.Crnojevića	Fabrika ribe	R.Crnojevića	" 200 m ³ /dan
12.	R.Crnojevića	Fabrika "Obod" sa ostalom industrijom	Cetinje	" 1220 "
13.	Zeta	Komunalne otpadne vode	Nikšić	340 l/s
14.	Zeta	"	Danilovgrad	50 l/s
15.	Morača	"	Titograd	750 l/s
16.	R.Crnojevića	"	Cetinje	75 l/s

Tabela 1. Otpadne vode u slivu Skadarskog jezera
Tables 1. Waste waters in the Skadarsko Lake catchment area

pronosa tereta zagađenja raspolaže sa BPK₅, te je ona i odabrana za proračun.

$$T = Q (c_{\text{BPK}_5}^n - c_{\text{BPK}_5}^u) \Delta t \text{ [g/dan]}$$

gdje je:

T – unešeni teret zagađenja (g/dan)

Q = 12 m³/s – proticaj u vodotoku na profilu Titograd

$c_{\text{BPK}_5}^n = 6 \text{ mgO}_2/\text{l}$ – koncentracija BPK₅ u vodotoku nizvodno
poslije potpunog miješanja otpadnih voda

$c_{\text{BPK}_5}^u = 1 \text{ mgO}_2/\text{l}$ – koncentracija BPK₅ u vodotoku uzvodno
prije ušća r. Zete

$\Delta t = 86400$ – broj sekundi u danu

$$T = 12000 \cdot (6-1) \cdot 10^{-3} \cdot 86400 = 5184000 \text{ g/dan} \cong 5200 \text{ kg/dan}$$

Ako se za proračun tereta zagađenja po stanovniku na dan usvoji vrijednost od 54 g/dan tada dobiveni teret zagađenja, izražen u vidu ekvivalentnog broja stanovnika, iznosi:

$$\text{BPK}_5 = 5200 \cdot 10^3 / 54 = 96300 = 100.000 \text{ EBS}$$

Jasno, ovaj rezultat daje samo uvid u red veličine tereta zagađenja organskim supstancama, zbog čega izračunati teret zaga-

Oznaka	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	Temperatura voda °C	pH vrijednost	Nitrati N mg/l	Nitriti N mg/l	Amonijak N mg/l	Hloridi Cl mg/l	Sulfati SO ₄ mg/l	Utrošak KMnO ₄ mg/l	Alkalitet ml/l 0,1M HCl	Ukupna tvrdća °dH	Hidrokarbonati HCO ₃ mg/l	μS/cm (25°C)	Kiseonik otmah O ₂ mg/l	BPK ₅ - O ₂ mg/l	Ostatak isparenja filtr.vode mg/l	Suspen.mat. mg/l	Kalcijum Ca mg/l	Magnezijum Mg mg/l	Natrijum Na mg/l	Kalijum K mg/l	Fenoli μg/l	
1																						
Rijeka Morača	13,2	8,03	0,42	0,001	0,00	6,3	10,6	6,5	25,6	8,0	156,4	227	11,9	2,6	147	5,2	43,8	6,5	1,8	0,5	2,7	
Crnojevića Rijeka	12,6	7,99	0,74	0,001	0,00	7,1	9,1	5,5	29,6	9,0	181,3	275	10,7	2,8	179	3,1	47,8	10,1	2,7	0,6	1,5	
Sublaksus.oka	14,2	7,83	0,22	0,000	0,00	4,5	8,9	4,2	28,8	8,0	175,8	251	11,4	1,4	177	-	48,6	8,5	1,3	0,4	0,0	
Skadarsko jezero	17,7	7,92	0,40	0,000	0,00	6,3	6,3	6,4	26,7	8,1	162,8	246	10,5	1,6	169	3,3	43,2	8,8	2,3	0,5	0,8	

Tabela 2: Srednje vrijednosti fizičko hemijskih osobina vode glavnih pritoka, sublaksuskih oka i Skadarskog jezera

Tables 2: Mean values of physical and chemical properties of water from the main tributaries, sublaksusrine spring and the Skadarsko Lake

đenja treba smatrati kao vjerovatnu donju granicu ukupnog tereta.

Ovakvo stanje potvrđuju i sanitarno-biološka ispitivanja kojim je nađeno da su u vodi Skadarskog jezera i njegovih glavnih pritoka prisutni indikatori fekalnog zagađenja sa stalno prisutnim koliformnim bakterijama, čiji je broj iznosio i do 150.000 u litru vode.

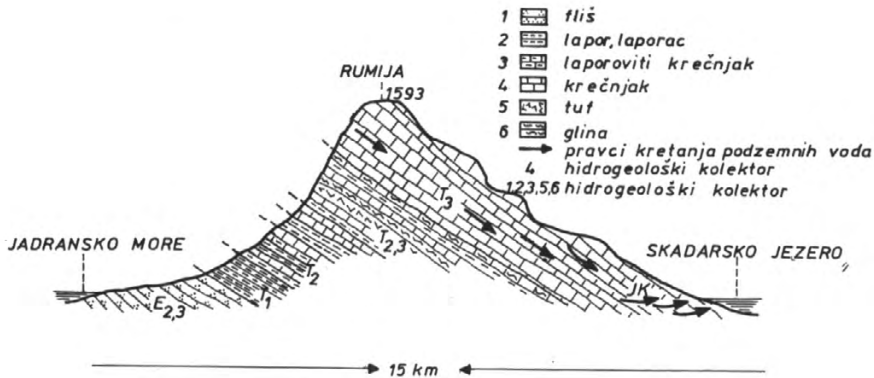
No i pored ovog treba istaći da su na osnovu većine fizičko-hemijskih pokazatelja vode sliva Skadarskog jezera i samog Jezera još uvijek zadovoljavajućeg kvaliteta u odnosu na postojeće zakonske propise.

Svi ostali ispitivani pokazatelji ukazuju na veliku sličnost fizičko-hemijskih osobina voda sliva (tabela 2), ne samo pritoka i jezera, već i oka po obodu Jezera.

Njihova opšta karakteristika je da pripadaju kalcijum-bikarbonatnom tipu voda, sa slabo izraženim alkalnim karakterom i relativno niskim sadržajem rastvorenih soli.

ZALIV I VRELO RADUŠ

Područje Radušskog zaliva izgrađuju jako karstificirani krečnjaci jurske starosti, sa generalnim padom slojeva prema Skadarskom jezeru (sl.3). Na zapadnom boku ovim krečnjacima nalaze se



Sl. 3. Shematski profil Jadransko more – Skadarsko jezero
Fig. 3 Diagrammatic Adriatic Sea-Skadar Lake profile

dolomiti i megalodonski krečnjaci. Litološke karakteristike, strukture, registrovani rasjedi i orografija bili su osnov za određivanje vododjelnice za vode Radušskog zaliva. Prema ovim elementima određena je površina sliva od 25,7 km², a prema hidrološkim proračunima od 24,2 km². Zaliv ima prosječnu dubinu od 4,5 m pri vo-

dostaju od 6,60 m n.m., dok se dubina izvorske zone kreće između 40 i 60 m. Maksimalne dubine u vrelu iznose oko 80 m. Pojave vode u izvorskoj zoni su u pukotinama. Voda se javlja i u plićim pukotinama zaliva, ali obično samo pri vrlo velikim vodama. Voda se kreće najvjerovatnije duž registrovane rasjedne linije a javlja se na njenom nailasku na zonu izolatora ili zonu vrlo slabe provodnosti. Pad, debljina slojeva i velika karstifikacija uslovljavaju, pri velikim padavinama, spiranje tla na površini i brzi transport vode do samog vrela, a kratko vrijeme zadržavanja vode u podzemlju praktično isključuje mogućnost samoprečišćavanja. Analiza pojave velikih voda i sukcesivno uključivanje pojedinih pukotinskih sistema u zavisnosti od porasta vodostaja odnosno doticaja ukazuju da se na Radušu ne javljaju tečenja pod pritiskom.

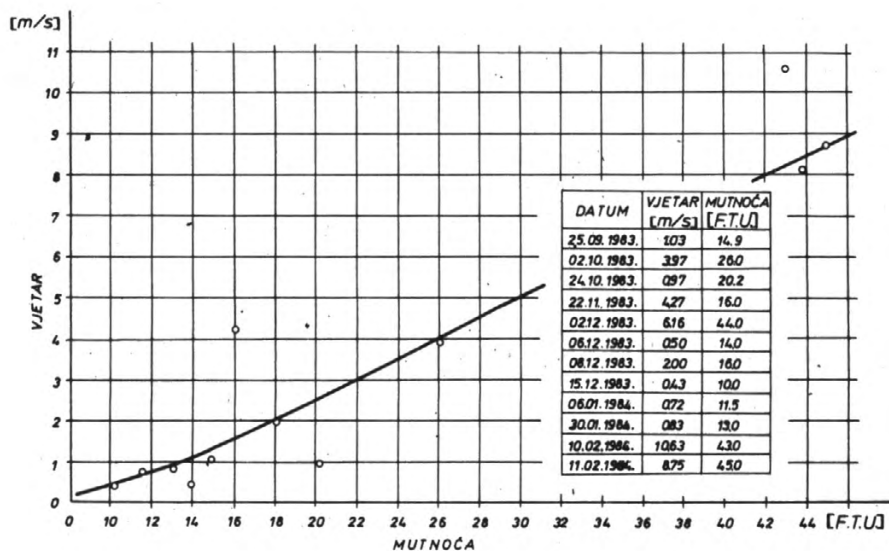
Mikroklimatska mjerenja

Za određivanje zavisnosti između klimatskih odlika regiona, geološke građe i karakteristika voda, obrađeni su podaci o vjetrovima, temperaturi vazduha i padavinama.

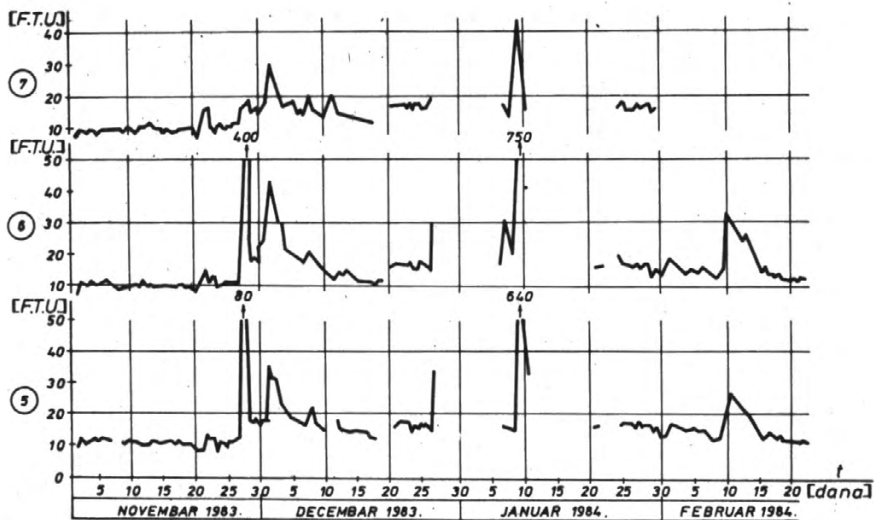
Na stanici postavljenoj na Radušu u periodu osmatranja od početka septembra 1983. godine do kraja februara 1984. godine izmjerena je najveća brzina vjetra dana 10.02.1984. godine od 106 m/s. Srednje mjesečne vrijednosti vjetrova su od 1-2 m/s. Praćenjem istovremenog registrovanja jačine vjetra na stanici Raduš i zamućenja u zalivu Raduš, konstatovano je da do zamućenja na vrelu dolazi već kod vjetra jačine od 3,0 m/s, dok se veća zamućenja (koja odgovaraju mutnoći 34 FTU jedinica) javljaju sa vjetrom jačine od 6 m/s (sl. 4). Vjetrovi u slivu Skadarskog jezera od sjevernog pravca, kao i od istoka, su jaki, suvi i hladni, a duvaju tokom jeseni, zime i proljeća. Sličnih odlika su vjetrovi iz sjeverozapadnog pravca. Vjetrovi iz južnog pravca povećavaju temperaturu i relativnu vlažnost vazduha i donose kiše. Najčešće duvaju u oktobru, novembru i aprilu.

Na osnovu podataka o temperaturi vazduha sa stanice Titograd, apsolutni maksimum zabilježen je 14.08.1940. god. od 41,2°C, a apsolutni minimum 14.01.1940. god. od -15,5°C.

Količine padavina u oblasti Skadarskog jezera jako su uplivisane reljefom zemljišta, tako da se na veoma malim horizontalnim rastojanjima od svega 15-20 km javljaju razlike u srednjim godišnjim količinama padavina i preko 1000 mm. Do obilnih padavina u svim regionima južne Crne Gore dolazi u periodu oktobar - mart. U ovom periodu godine padne preko 70% padavina od ukupne godišnje količine. Maksimalna dnevna količina padavina u istražnom periodu registrovana je 10. januara 1984. godine od 135 mm.



Sl. 4. Zavisnost mutnoće vode od brzine vjetra na Radušu
Fig. 4 Dependence of water turbidity on the wind velocity at Radušu



Sl. 5. Mutnoća u vremenu na vertikali 1 za mjerna mjesta 5, 6 i 7
Fig. 5 Turbidaty in time on vertical 1 for data points 5, 6 and 7

Karakteristični proticaji

Na osnovu mjernih podataka i linije odnosa proticaja na vrelu Raduš i rijeci Orahovšnici karakteristični minimalni proticaji vrela Raduš iznose u m^3/s :

$$Q_{\min 1/2} = 0,120, Q_{\min 1/100} = 0,040,$$

$$Q_{\min 1/20} = 0,060, Q_{\min 1/10} = 0,070$$

gdje je $Q_{\min 1/20}$ minimalni proticaj sa povratnim periodom javljanja jednom u 20 godina.

Prosječni proticaj vrela iznosi: $Q_{\text{sr}} = 1,27 \text{ m}^3/\text{s}$

Određeni maksimalni proticaji iznose:

$$Q_{\max 1/100} = 90 \text{ m}^3/\text{s} \text{ i}$$

$$Q_{\max 1/10} = 54 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Hidrodinamička ispitivanja

Izdašnost vrela Raduš pri malim vodama je oko $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Razlika od minimuma i potrebe do $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ direktno će se zahvatiti iz Skadarskog jezera. Praktični interes je da zahvaćena voda bude što boljeg kvaliteta, tj. da se odgovarajućim zahvatom obezbijedi i u ekstremnim hidrološkim situacijama što kvalitetnija voda vrela i Jezera. U vrijeme stabilne termalne stratifikacije zona vrela (kasno proljeće, ljeto, jesen) hidrodinamički uslovi su takvi da inhibiraju vertikalno kretanje u odnosu na horizontalno. Zahvatni objekat tada povlači vodu iz sloja u zoni objekta. Fluid sadržan u tom sloju koncentrisan je u relativno uskoj zoni i horizontalno se kreće prema zahvatnoj građevini. Prema tome, kvalitet vode vodozahvata primarno će zavisi od kvaliteta vode na nivou zahvatne građevine. Kod određivanja dubine vodozahvata interes je bio da zahvaćeni sloj bude u hipolimnionu gdje temperatura blago pada sa porastom dubine. Ispitivanjima je određeno da je sa stanovišta kvaliteta najpovoljnija dubina za zahvatanje na 17 m.

Temperatura, boja, miris i ukus

Fizičko-hemijske osobine vode uslovljene su mnogim faktorima, koji utiču na hemijske reakcije. Te reakcije prvenstveno zavise od temperature, boje prozirnosti, redoks potencijala rastvorenog kiseonika, dok kiselo-bazne reakcije utiču na oblike viših, a vjerovatno i nižih hemijskih sastojaka. U tom smislu značajni su: pH vrijed-

nost, neorganski i organski C, N, P, Si, Ca, Mg, ukupna tvrdoća, ugljena kiselina i svi drugi faktori koji utiču, na primjer, na taloženje CaCO_3 ili drugih komponenti iz vode. Zato je uloženo truda da se izvrše određivanja svih nabrojanih pokazatelja.

Temperatura površinske vode Raduškog zaliva pokazuje ujednačene promjene kao odraz srednjih mjesečnih temperatura vazduha. Vrijednost temperature voda Raduškog zaliva (od T_1 – T_7) kretale su se kao srednje dnevne od $7,0^\circ\text{C}$ – 28°C . Temperatura površinske vode na tačkama (T_2 , T_4 i T_7) bila je najniža na T_7 i iznosila je $6,0^\circ\text{C}$ u decembru 1983. godine, a najviša 28°C na tački T_4 .

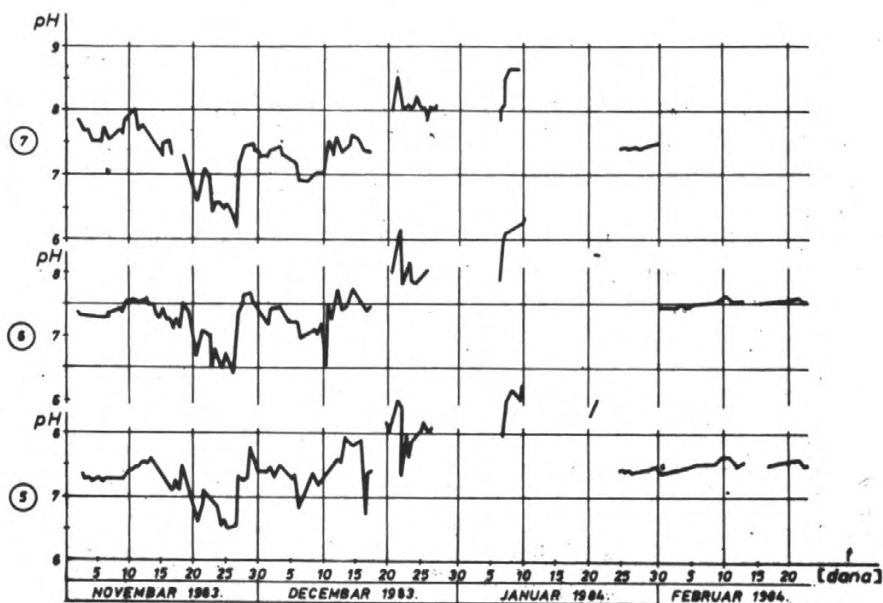
Temperatura vode u kontaktnoj zoni vrela Raduš (T_1 , T_3 , T_6 i T_5) bila je najniža na T_5 (dno vrela) i iznosila je $7,0^\circ\text{C}$, a najviša na vertikalima V_3 i iznosila je T_1 $25,8^\circ\text{C}$. Temperatura vode u vrelu bila je prosječno 4°C viša na površini (T_7) nego na dubinskim tačkama (T_5 i T_6), dok je razlika u temperaturama između dubinske (T_1 i T_3) i površinske jezerske vode (T_2 i T_4) iznosila oko 1°C .

Voda zaliva Raduš ima sivozelenu vidljivu boju na pučini, koja iznad vrela i drugih oka u zalivu prelazi iz sivozelene u modroplavu. Vrijednosti za stvarnu boju, izraženu u stepenima platino-kobaltne skale, bile su 5 i manje od 5.

Mutnoća je u tijesnoj vezi sa prozirnošću vode. Vrijednosti za prozirnost, mjerenje seki-diskom, bile su od 2– 2,5 m. Najveća prozirnost vode zaliva bila je u novembru 1983. godine na vertikalama V_2 i V_3 , kada je svjetlost dopirala skoro do samog dna. Vrijednosti za mutnoću, u osmatranom periodu izražene u FTU, odnosno NTU bile su od 6,2–750. Mutnoća je određivana i u stepenima silikatne skale. Razlika ekstremnih vrijednosti bila je velika; od ispod 0,5 do preko 1000, u periodu velikih voda, kada su dobivene vrijednosti za suspendovani nanos bile od 1 mg do 2,4 gr po litru vode.

pH i elektroprovodljivost vode

Praćeni su takođe monitorski i laboratorijski. Uzimajući u obzir dobijene vrijednosti sa svih tačaka Raduškog zaliva pH vrijednosti bile su u opsegu od 7,08 do 9,20.



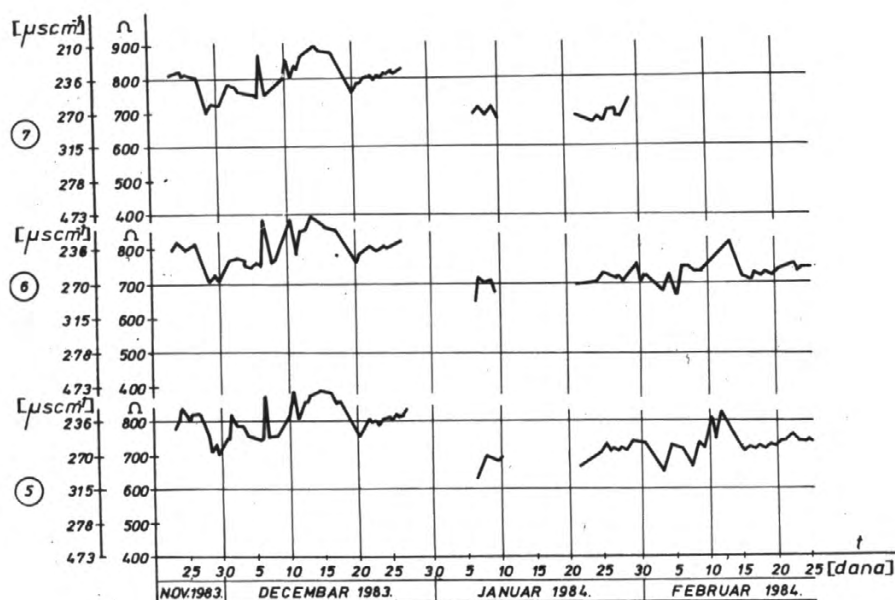
Sl. 6. pH vrijednost u vremenu na vertikali 1 za mjerna mjesta 5, 6 i 7
Fig. 6 pH values in time on vertical 1 for data points 5, 6 and 7

Automatska mjerenja prikazana su na slici 6. Uočava se razlika između tačaka na površini i tačaka u kontaktnoj zoni Jezera i vrelu Raduš. Naime, površinske vode imaju veću pH vrijednost za oko 1 pH jedinicu u odnosu na dubinske tačke. Povećane pH vrijednosti zabilježene su u periodu malih voda, kada dolaze do izražaja znatna pH variranja čak i u toku dana. Ova pojava za površinsku vodu uglavnom se može objasniti biološkim aktivnostima. Elektroprovodljivost vode Raduškog zaliva izražena u $\mu\text{S}/\text{cm}$, koja je registrovana automatski, za osmatrani period iznosila je 218-722. Vrijednosti provodljivosti ispitivanih uzoraka u laboratoriji, koji su zahvatani mjesečno, sa svih tačaka iznosile su od 168-315 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Maksimum je zabilježen u tački T_6 (vrelo) u septembru mjesecu, kada je neznatno niža vrijednost zabilježena i na tački T_5 (dno vrela).

Uzrok pojave povećanih vrijednosti za pH i elektroprovodljivost na monitorskim uređajima u tačkama T_5 i T_6 vrela, trebalo bi detaljnijim istraživanjima ustanoviti.

Ostali fizičko-hemijski pokazatelji

Vrijednosti za ostale fizičko-hemijske pokazatelje date su kao prosječne u tabeli 3, po tačkama i vertikalama, zbog čega će se kratko diskutovati.



Sl. 7. Provodnost vode u vremenu na vertikali 1 za mjerna mjesta 5, 6 i 7
 Fig. 7 Water conductivity in time on vertical 1 for data points 5, 6 and 7

Rastvoreni kiseonik u vodi Raduškog zaliva imao je vrijednost od 5,3 – 13,4 mg/l. Važno je istaći da indeks zasićenosti kiseonikom u vodi ne pada ispod 42,3% u svim slojevima do dna. Sadržaj rastvorenog kiseonika u površinskoj vodi znatno je veći, mada u kontaktnoj zoni na vertikalama V_3 i V_5 indeks zasićenosti je iznad 62,2%. Alkalitet, služeći u vodi kao pufer, čini rezervoar ugljendioksida za fotosintezu, koji postaje važan izvor kada se CO_2 fotosintezom odstranjuje brže nego što se nadoknađuje uzimanjem iz vazduha (Stanković, 1961). Iz ovih razloga alkalitet u vodi jezera znatno se mijenja zavisno od sezone. Vrijednosti za alkalitet varirale su od 18,0 do 30,0. Vrijednosti za karbonate bile su od analitičke nule do 6 mg/l, a za bikarbonate iznosile od 109,8 do 183,0 mg/l. Nađene vrijednosti za kalcijum u vodi Raduškog zaliva bile su od 22,4–51,2 mgCa/l, a za magnezijum bile od 5,0–14,4. Ukupna tvrdoća iznosila je od 5,1–9,2°Dh. Najveća vrijednost zabilježena je na tački T_5 . Natrijum i kalijum nađeni su u svim ispitivanim uzorcima. Vrijednosti za natrijum bile su 1,82 – 2,92 mg/l. Maksimalna vrijednost nađena je na T_5 (vrelo). Inače variranja natrijuma najviše su izražena na tačkama T_5 i T_6 (1,86–2,92 mgNa/l). Hloridi su nađeni u opsegu od 4,0 – 7,5 na tačkama vertikale V_1 , dok je na ostalim tačkama zaliva sadržaj bio od 4,0–7,0 mg/l. Fluoridi su varirali od 0,02 – 0,08 mg/l. Sulfati su nađeni pri svim ispitivanjima, a vrijednosti su se mijenjale od 3,0–13,2 mg/l.

Zahvaljujući izobilju rastvorenog kiseonika u vodi Raduškog zaliva nije nađen H_2S iznad i na nivou od 0,01 mg/l. Sulfidi i sulfati

su određivani samo u 4 navrata na svim tačkama i nijesu nađeni na nivou detekcije.

Amonijak kao prvi i nitriti kao drugi dostupni azotni asimilativ postaju razgradnjom azotnih organskih supstanci pomoću enzima amonifikacionih bakterija u određenim ekološkim uslovima.

Amonijak kao slobodni nije nađen u svim terenskim ispitivanjima, dok su nitriti povremeno nalaženi u tragovima, odnosno od analitičke nule do 0,001 mgN/l. Iako su vrijednosti daleko ispod dozvoljenih, one su signifikantne. Nađene vrijednosti za nitrata bile su od 0,11–0,90 mgN/l. Vrijednosti za fosfate kretale su se od 0,001–0,032 mg P/l.

Vertikale Tačke	PROSJEČNE VRIJEDNOSTI PO TAČKAMA							PROSJEČNE VRIJEDNOSTI		
	V-3		V-2		V-1			PO VERTIKALAMA		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	V-3	V-2	V-1
Pokazatelj										
Temperatura vode °C	15,2	15,3	15,1	15,2	12,1	12,7	15,8	15,2	15,1	13,5
Miris	bez	bez	bez	bez	bez	bez	sa i bez	bez	bez	bez
Slobodni CO ₂ mg/l	1,9	1,9	0,9	0,6	3,4	4,8	1,2	1,9	0,7	3,1
Boja (°Pt-Co skale)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mutnoća (°silik.sk.)	22,2	9,6	14,4	11,4	20,4	27,0	18,9	16	13	22
pH-vrijednost	7,95	8,00	8,10	8,20	7,83	7,76	8,08	8,0	8,15	7,90
Amonijak slob. N mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitriti N mg/l	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Nitrati N mg/l	0,46	0,47	0,35	0,35	0,46	0,40	0,47	0,46	0,35	0,44
Fosfati - P mg/l	0,006	0,005	0,005	0,007	0,004	0,005	0,002	0,005	0,006	0,004
Fluoridi F mg/l	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04
Hloridi Cl mg/l	5,8	5,8	5,6	5,9	5,6	5,4	5,3	5,8	5,7	5,4
Utrošak KMnO ₄ mg/l	8,2	8,6	7,8	8,5	6,4	7,1	6,6	8,4	8,1	6,7
Gvoždje Fe mg/l	0,13	0,10	0,06	0,04	0,10	0,14	0,07	0,11	0,05	0,10
Mangan Mn mg/l	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Elektrop. µS/cm	220	225	227	226	261	256	231	222	226	249
Alkal. (M) 0,1M HCl ml/l	24,2	24,0	23,4	23,2	29,0	28,9	24,0	24,1	23,3	27,3
Sulfati SO ₄ mg/l	6,5	7,1	5,7	5,4	7,0	6,2	6,1	6,8	5,5	6,4
Bikarbon. HCO ₃ mg/l	147,7	146,1	143,0	141,3	176,9	176,1	146,4	146,9	142,1	166,5
Ukupna tvrdoća °Dh	7,1	7,0	7,2	7,0	8,4	8,2	7,3	7,0	7,1	8,0
Kiseonik odmah. O ₂ mg/l	9,7	9,5	9,2	9,0	7,2	7,0	9,4	9,5	9,1	7,7
BPK ₅ O ₂ mg/l/HPK O ₂ mg/l	1,5 2,0	1,1 2,1	1,1 1,6	1,2 1,6	0,5 0,9	1,0 1,5	1,3 1,7	1,3 2,0	1,1 1,6	0,9 1,4
Vodonik sulfid H ₂ S mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostat. ispar. mg/l	162,7	149,6	159,0	149,0	181,6	191,5	157,4	156,1	154,0	176,8
Gubitak žarenj. mg/l	63	60	53	47	53,9	69,4	38,0	61	50	54,0
Suspen.mat. mg/l	4,2	1,1	1,7	1,7	7,1	15,0	2,8	2,6	1,7	8,3
Kalcijum Ca mg/l	34,0	35,1	34,9	35,3	42,5	41,7	37,9	34,5	35,1	40,7
Magnez. Mg mg/l	9,2	9,0	5,8	9,0	10,0	10,2	8,5	9,1	9,4	9,6
Bakar Cu mg/l	0,011	0,005	0,011	0,003	0,004	0,005	0,002	0,002	0,007	0,003
Cink Zn mg/l	0,004	0,002	0,005	0,002	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,005
Olovo Pb mg/l	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Hrom Cr mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Kadmijum Cd mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
UV ekstinkcija (254 nm)	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,035	0,030	0,033
Fenoli mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Natrijum Na mg/l	2,33	2,00	2,24	2,24	2,32	2,24	2,16	2,20	2,24	2,24
Kalijum K mg/l	0,69	0,60	0,61	0,57	0,64	0,60	0,62	0,64	0,59	0,62
Zasićenost kiseonika % O ₂	93,9	94,1	90,7	88,8	66,2	59,0	92,5	94,0	89,7	72,6

Tabela 3. Hemijske analize voda Raduškog vrela i zaliva za period mart 1983 – april 1984.

Tables 3 Chemical analyses of the water from the Raduš spring and Raduš bay for period from March 1983 to April 1984

Učinićemo osvrt i na grupu makropokazatelja koji informišu o stepenu samoprečišćavanja voda i o njihovoj zagađenosti supstancama organskog porijekla. To su prvenstveno hemijska i biohemijska potrošnja kiseonika. U vodi Raduškog zaliva vrijednosti $KMnO_4$ bile su od 4,4–12,8 mg/l. Međutim, vrijednosti $KMnO_4$ koje su dobijene iz vode na tačkama T₅ i T₆ pri većim mutnoćama vode bile su povećane do 30 mg/l. Biohemijska potrošnja kiseonika kao mjera veličine razgradnje organske supstance u vodi pod dejstvom mikroorganizama iznosila je za vode Raduškog zaliva od 0,2–2,5 mgO₂/l. Podaci za HPK bihromatnom metodom, su relativno niski (od 0,6–3,2 mgO₂/l). U svim ispitivanjima voda određivana je i UV ekstinkcija (254 nm) čija su očitavanja bila od 0,01–0,065.

Značajna variranja vrijednosti većine određivanih pokazatelja kvaliteta, utvrđeni tragovi nitrita i fenola u vodi, te utvrđen sadržaj polihlorovodnih bifenila u nekim organizmima Skadarskog jezera (B o o k e, H., et al., 1977), ukazala su na potrebu ispitivanja voda u pogledu prisustva organskih mikrozagađivača. Ispitivanja su obuhvatila najmanje po 4 uzorka vode sa svake tačke u periodu istraživanja.

Vrijednosti za pokazatelje prisustva i samih organskih mikrozagađivača bile su u granicama koje slijede za:

Ukupni organski azot (TON)	0,00 – 0,02 mg/l
Ukupni organski ugljenik (TOC)	0,7 – 1,7 mg/l
Ukupne rastvorene supstance ekstratibilne u hloroformu (OCE)	0,012–0,071 mg/l
Huminske kiseline	0,25 – 1,70 mg/l
Policiklični aromatični ugljikovodici (PAH)	0,010–0,050 µg/l
Neidentifikovana alifatična jedinjenja (Gasno-krom., IR i GCMS analizirana)	2 – 8 µg/l
Organohlorni pesticidi	0,013–1,632 µg/l
Organofosforni pesticidi	nisu utvrđeni
Polihlorovani bifenili (PCB)	nisu utvrđeni
Trihalometani (THM)	1,2 – 7,0 µg/l
Fenolne supstance	0,5 – 6,0 µg/l
Deterdženti	2 – 25 µg/l

Vertikala	Tačka	Al	Si	Cu	Ba	Zn	Fe	Cr	Cd	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Ti
V ₃	T ₁	209,0	775	19,3	8	5,0	125,6	0,92	0,39	12,6	∅	8,3	4,3	31,5	19	∅
	Rastvorni	53,2	-	<1	-	0,1	44,6	0,1	<0,1	2,5	∅	1,3	1,0	-	-	-
Srednja vrijednost V ₃	T ₂	132,8	750	8,0	8	5,6	74,0	0,78	4,0	10,7	∅	<5	2,9	21,5	14	<5
	Rastvorni	56,0	-	<1	-	<1,0	32,6	-	<0,1	3,4	∅	<5	0,7	-	-	<5
V ₂	Ukupni	170,9	765	13,6	8	5,3	99,8	0,85	2,2	11,6	∅	6,5	3,6	26,5	16,5	<5
	T ₃	184,0	787	10,3	12	5,2	217,0	2,9	0,24	11,5	∅	8	3,0	21,5	10	∅
	Rastvorni	31,8	-	<1,0	-	-	48,6	<1,0	<0,1	<5,0	∅	-	0,9	-	-	-
	T ₄	119,3	677	8,94	12	<5,0	42,6	1,0	0,12	4,6	∅	6	1,46	13,5	10	<10
Srednja vrijednost V ₂	Rastvorni	41,6	-	3,0	-	-	28,6	<1,0	<0,1	1,0	∅	<5	0,9	-	<10	<10
	Ukupni	151,6	732	9,62	12	5,2	129,8	1,95	<0,17	8,0	∅	7	2,23	17,5	<10	10
V ₁	T ₅	119,0	897	462,6	77	33,8	361,0	7,88	2,3	28,0	-	9,6	3,6	44,0	16,9	5,2
	Rastvorni	60,0	620	22,2	35	24,8	48,0	1,4	2,1	17,6	1,0	5,2	1,9	13	<10	0,8
Srednja vrijednost V ₁	T ₆	151,4	735	20,6	50	31,0	97,4	7,8	0,65	16,0	-	10,8	3,3	26	10,8	9,5
	Rastvorni	64,0	590	2,8	16	20,8	45,0	<1,0	<1,0	14,1	7,0	<5	1,9	-	6,9	<5
MDK prema sl. listu SRCG br. 40/82	T ₇	106,7	735	6,6	45	24,1	80,2	1,2	0,33	12,2	-	9,6	2,9	17	10,5	5,3
	Rastvorni	34,8	570	<1,0	16	20,0	45	<1,0	<1,0	18,4	5,0	<5	1,9	-	<5	<5
Srednja vrijednost V ₁	Ukupni	125,7	789	163,2	57	29,6	212,8	2,8	1,1	18,7	6,0	10	3,3	29	12,7	6,3

Tablica 4. Prosječne vrijednosti ukupnih i rastvornih mikroelemenata u vodi Radušskog zaliva, AAS metodom u µg/l

Tables 4. Average values of total and dissolved microelements in the Raduš bay waters, using the aas method, IN µg/l

Ispitivanjima istih uzoraka vode obuhvaćena su i određivanja onih mikroelemenata, koji se mogu najčešće naći u otpadnim vodama industrija i koje obuhvataju zakonski propisi za pijaće vode. Prosječne vrijednosti ukupnih i rastvornih ($0,45\mu$) mikroelemenata po tačkama i vertikalama prikazane su u tabelama (4, 5) u kojima su prikazane i vrijednosti MDK.

Tačke	mg/l J	mg/l Br	$\mu\text{g/l}$				
			Sb	Sn	Bi	As	Co
T ₁	0,03	0,10	<1	<1	<1	<5	<10
T ₂	0,02	0,05	<1	<1	<1	<5	<10
T ₃	0,02	0,06	<1	<1	<1	<5	<10
T ₄	0,04	0,12	<1	<1	<1	<5	<10
T ₅	0,02	0,08	<1	<1	<1	<5	<10
T ₆	0,02	0,07	<1	<1	<1	<5	<10
T ₇	0,02	0,05	<1	<1	<1	<5	<10

Be, B i Ag nađeni su u svim serijama ispod granice detekcije.

Tabela 5. Ostali mikroelementi u vodi Raduškog zaliva
Tables 5 Other microelements in the Raduš bay water

Be, B i Ag nađeni su u svim serijama ispod granice detekcije.

Živa je određivana u svim ispitivanjima posebno, i njen sadržaj bio je ispod $1\mu\text{g/l}$.

Dobijene vrijednosti svih određivanih mikrozagadivača su u dozvoljenim granicama izuzimajući povremeno koncentracije fenolnih supstanci Al, Cu, Fe, Ni i utvrđeno prisustvo vanadjuma.

Zaključci

1. Strukturno tektonski odnosi u slivu usloveli su formiranje silaznog vrela sa malom aktivnom podzemnom akumulacijom voda. Posljedica ovakvih odnosa su veličine i trajanja karakterističnih proticaja. Velike vode se kreću oko $50\text{ m}^3/\text{s}$, prosječni proticaj je $1,27\text{ m}^3/\text{s}$, a minimalni sa povratnim periodom 1/20 godina iznosi $0,060\text{ m}^3/\text{s}$.

2. Hidrodinamička studija kretanja vode u prirodnim uslovima i uslovima zahvatanja voda iz Raduš-oka pokazala je da dubina vodozahvata treba da bude na 17 m. Ova dubina obezbjeđuje prosječno najpovoljniji kvalitet vode za predviđeni kapacitet zahvata od $1,5\text{ m}^3/\text{s}$. za sprečavanje direktnog uvlačenja mulja koji se u mutnoj struji kreće po dnu kod intenzivnog valovanja, potrebno je da vodozahvat bude udaljen od stijenki vrela najmanje 5–6 m. Najbolja za-

štita od zamućenja uslijed vjetra postiže se djelimičnim (ili potpunim) pregrađivanjem zone zaliva od Jezera.

3. Dobijene vrijednosti za fizičko-hemijske i hemijske pokazatelje osobina voda zaliva Raduš, uz izvjesna manja odstupanja, su ispod ili na nivou vrijednosti dopuštenih.

4. U prirodnim uslovima registrovana su pogoršanja kvaliteta na vrelu Raduš kao obavljenih ispitivanja pri pojavljenim velikim vodama neposredno poslije dužeg sušnog perioda. Pogoršanje kvaliteta je posljedica mehanizma rada vrela i uzimanja uzoraka: pri malim vodama u situacijama sa vjetrom dolazi do transporta i odlaganja jezerskog mulja u zoni i na dno vrela, a pri prvoj velikoj vodi do njegovog podizanja i izbacivanja iz vrela. Uzeti uzorci u takvoj situaciji sadržavali su povećane terete onih parametara koji su vezani za detritus i jezerski mulj. Ovo ujedno i objašnjava zabilježene planktonske kao i epifitsko-bentoske organizme na dubinama od 40 i 60 m vrela.

Utvrđeno prisustvo tragova specifičnih organskih mikrozagadivača, iako u dozvoljenim granicama, nesumnjivo ukazuju na antropogeni uticaj, a povremeno primjećene plivajuće materije na površini vode Radušskog zaliva posljedica su strujanja jezerske vode.

5. Na osnovu provedenih istraživanja smatra se da se uobičajenim kondicioniranjem vode, te dobro programiranim i izvedenim sanitarnim obezbjeđenjem izvorišne vode, postojeće osobine vode mogu korigovati i dovesti u stanje higijenske ispravnosti.

Literatura

1. Booke, E.H., Jacobi, Z.G., Inilof, M., Knežević B.: Note on Lake Skadar carp (*Cyprinus caprio*). I. Polymorphis isoenzimes II. Pharyngeal tooth formuly III. PCB and DDT Levels. SIL, XX Congress, Copenhagen, 7-14 Aug.

2. Filipović, S. (1975): Stanje vodotoka Zete i Morače na osnovu hemijskih ispitivanja. Glasnik Republičkog zavoda za zaštitu prirode i Prirodnačkog muzeja, Titograd, 8: 151-159.

3. Filipović, S. (1977): Prikaz stanja Zete i Morače na osnovu fizičko-hemijskih analiza, Glasnik Rep. Zavoda za zaštitu prirode - Prirodnačkog muzeja Titograd, (10): 121-127.

4. Filipović, S. (1981): Effects of pollution on Lake Skadar and its most important tributaries. The biota and Limnology of Lake Skadar. Biološki zavod Titograd i University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.

5. Filipović, S. (1983): Mikroelementi u vodama i nekim organizmima Skadarskog jezera i njegovih pritoka. Doktorska disertacija. Hemijski institut Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu - Beograd.

6. Kažić, D. (1978): Zaštita riba Skadarskog jezera od zagađenja. Zaštita čovjekove sredine u Crnoj Gori. Knjiga 4 (2), str. 73-83. CANU Titograd.

7. Petrović, G. (1983): Sadržaj metala u vertikalnom profilu i površinskim slojevima sedimenata Skadarskog jezera. CANU: Knjiga 9, *Skadarsko jezero*, Titograd.

8. Radulović, V. (1977): Hidrogeologija sliva Skadarskog jezera, Doktorska disertacija. Rudarsko geološko-metalurški fakultet Beograd-Bor, Beograd.

9. Vujošević, N., Filipović, S. (1983): Higijensko-epidemiološki značaj ispitivanja voda Skadarskog jezera i njegovih pritoka, Knjiga 9, *Skadarsko jezero*, CANU, Titograd.

10. Žunjić, K. (1978): Uticaj industrijskih i komunalnih otpadnih voda na slatkovodne ekosisteme Crne Gore, mjere zaštite i njihova efikasnost. Zaštita čovjekove okoline u Crnoj Gori. Knjiga 4 (2) CANU, Titograd.

11. Regulacija Skadarskog jezera, Drima i Bojane, Idejni projekat, Zavod za vodoprivredu, Sarajevo, 1981.

12. Standard method for the examination of Water and Wastewater. 1971. 13th. Edition, American Public Health Association. Washington. D.C. 20036.

Izet AVDAGIĆ
Stanka FILIPOVIĆ
Ana MIŠUROVIĆ

THE SKADARSKO LAKE AS A SPRING AREA FOR FUTURE DRINKING WATER SUPPLY

Summary

The Raduš Bay with its flooded karst spring has been chosen as an alternative solution for water supply of the Montenegro coast. Flooded spring Raduš with its unknown qualitative and quantitative properties, as well as waters of the Skadarsko Lake on the same location have been covered by a systematic investigation over one hydrologic year. The selected water regime parameters have been continuously recorded by the monitoring station installed for the purpose of this investigation. Detailed water quality study has been made for characteristic hydrological situations. The spring area yield ranges 0.07 to 90 m³/s, and water quality is of the first to second class.