

POMANJKANJE KISIKA
V PUTICKOVEM JEZERU PLANINSKE JAME

(Z 1 SLIKO IN 2 DIAGRAMOMA)

THE OXYGEN DEFICIT IN PUTICK LAKE OF
PLANINSKA JAMA

(WITH 1 FIGURE AND 2 DIAGRAMS)

LILI ISTENIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 13. APRILA 1978

VSEBINA

Izvleček — Abstract	334 (4)
Uvod	335 (5)
Metode dela	336 (6)
Rezultati in razpravljanje	336 (6)
Povzetek	346 (16)
The Oxygen Deficit in Putick Lake of Planinska jama (Summary)	349 (19)
Literatura	352 (22)

Izvleček

UDK 551.444.4:551.491.41 (497.12-14)

Istenič, Lili: Pomanjkanje kisika v Putickovem jezeru Planinske jame. Acta carsologica 8, 330—352, Ljubljana, 1978, lit. 18.

Pomanjkanje kisika v Putickovem jezeru je reden pojav v obdobjih nizkih vod. Dejansko pomanjkanje kisika dosega v skrajnih pogojih 80 procentov in se v vertikalnem profilu enakomerno razširja. Poraba kisika vode ni v korelaciji z množino organskih snovi, temveč je posledica živahne presnove alohtonega, pretežno anorganskega materiala.

Mineralizacijska aktivnost vode je pogojena s kraško cirkulacijo in hidrokemizmom in je višja v globinskih odtokih prenikle vode kot v ponikalnicah. V prenikli vodi, ki zastaja, se aktivnost zviša še zaradi procesov, vezanih na jamsko ilovico.

Abstract

UDC 551.444.4:551.491.41 (497.12-4)

Istenič, Lili: The Oxygen Deficit in Putick Lake of Planinska jama. Acta carsologica 8, 331—352, Ljubljana, 1978, Lit. 18.

The oxygen deficit in Putick Lake is regular appearance in the period of low waters. Actual oxygen deficit reaches in extreme conditions 80 per cents and is proportionately extended in vertical profile. Oxygen water uptake is not correlated to the quantity of organic matters but is resulting from vivid transformation of allochthonous, mostly anorganic materials.

Mineralisation water activity is conditioned by karst circulation and hydrochemistry and is higher in deep outflow of seepage water than in sinking rivers. In caught seepage water the activity increases because of processes connected with cave loam.

Naslov — Address:

Dr. Lili Istenič

VTOZD za biologijo in Inštitut za biologijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani
Aškerčeva 12, p. p. 141

61001 Ljubljana, Jugoslavija

UVOD

Delovna podmena, da ima mirna jamska voda značaj monimolimnija mero-miktičnih jezer (Istenič 1971), je omogočila razširjenje vrednotenja bioloških posebnosti močerila (*Proteus anguinus* Laur.) prek ozko omejenega odnosa zakrnelih oči in depigmentacije z odsotnostjo svetlobe in relativno nizko konstantno temperaturo tudi na presnovo živali in kemizem jamske vode. Velika odpornost živali na hipoksijo v poskusu in izmerjen 75 procentni deficit kisika v Putickovem jezeru na koncu Rakovega rokava Planinske jame sta podprla začrtano smer ekoloških raziskav pri močerilu, obenem pa zahtevala preverjanje najbolj kritičnih parametrov, med katerimi je oksigeniranost vode na prvem mestu.

Predvidevanje nizkih koncentracij kisika v jamskih vodah je v nasprotju s splošno znanimi limnološkimi spoznanji in bistveno različnimi trofičnimi razmerami v površinskih in podzemeljskih vodnih zbirališčih. V površinskih vodah je pomanjkanje kisika pretežno posledica velikih količin razpadajoče organske snovi; v jezerih je zato hipolimnični deficit znak za eutrofnost in v sodobni limnološki praksi je deoksigeniranost tudi signal za sekundarno organsko obremenjene oziroma onesnažene vode. V jamah pa je stopnja trofije nizka, saj je zaradi stalne teme primarna produkcija na račun fotosinteze izključena, naseljenost s heterotrofnimi organizmi redka, in glavni vir organske snovi je od zunaj naplavljeni material ob visokih vodostajih.

Upoštevanje nizke trofije v podzemeljskih vodnih zbirališčih je skrenilo iskanje pogojev, ki bi lahko vplivali na evolucijo jamskih živali. Sklepanje starejših ekološko orientiranih speleologov na znižano oksigeniranost v jamskih biotopih (Jeanne 1943) ni bilo dokazano, in na osnovi kasnejših meritev koncentracije kisika na terenu velja splošno, da so jamske vode dobro oksigenirane (Poulson 1964). Kot pomemben dejavnik, ki vpliva na vrsto prilagoditev pri troglobiontih v pomenu »energetskega varčevanja« pa se poudarja pičla hrana. Meritve kisika v nekaterih naših podzemskih vodnih sistemih, ki jih naseljuje močeril, so bile omejene na predele ponikalnic in so tudi dale vrednosti blizu nasičenosti (Aljančič 1969; Sket 1970).

Pri našem sklepanju o ekoloških pogojih v globljih predelih prenikajoče kraške vode smo izhajali iz manj preučenih in zato tudi splošno malo poznanih primerov v površinskih vodah, ko lahko nastopa deficit kisika tudi v zelo sterilnih jezerih in potreba po kisiku vode ni v korelaciji z endogeno organsko produkcijo (Hutchinson 1967). Potrditev predvidene hipoksije na terenu in splošna fiziognomija lokalitete, ki izključuje vpliv sekundarne organske produkcije, sta nas vodila v nadaljnje raziskave.

Lokaliteta je vključena v speleološko problematičen predel Rakovega rokava. Raztekanje vod v Rakovem rokavu Planinske jame je predmet številnih

razprav (v novejšem času npr. Michler 1955; Savnik 1960; Gams 1966), in se je ponovno pojavilo kot praktično vprašanje v zvezi s trasiranjem avtoceste Vrhnika - Postojna in pri študiju vodnih virov za preskrbo Postojne (Elaborat Inštituta za raziskovanje krasa SAZU in Geodetskega zavoda 1970). V končnem predelu Rakovega rokava se po dosedanjih izsledkih mešajo prenikle javorniške vode in ponorna voda Raka. Skrivnostno jezero (v naši predhodni razpravi imenovano jezero II) predstavlja sistem zaključnega sifona javorniške vode, Putickovo jezero (v naši predhodni raziskavi imenovano jezero I) pa ujeta vodo. Zaradi nepopolno preučenega raztekanja vod v tem delu pa ni ugotovljeno, katera je zadnja voda, ki zastaja v Putickovem jezeru. Nerešena problematika je povezana s težko dostopnostjo, saj že pri srednjih vodostajih preprečujejo dostop zapirachi v kanalu.

V razdobju od leta 1970 do 1977 smo izkoristili skoraj vse možnosti za dostop v ta predel in skušali ugotoviti, ali je pomanjkanje kisika v vodi reden pojav, in dobiti vsaj nekaj podatkov o specifičnih razmerah, ki so za to odgovorne.

METODE DELA

Vzorčevanje v Putickovem jezeru je obsegalo tri mesta: obalo (T_2), sredino jezera na površini (T_3) in globino pri dnu približno 2,5 m (T_4). Vodo iz kanala smo zajemali na koncu Pisanega kanala (T_1), vodo iz sifona pa v Skrivnostnem jezeru (T_5) (slika 1).

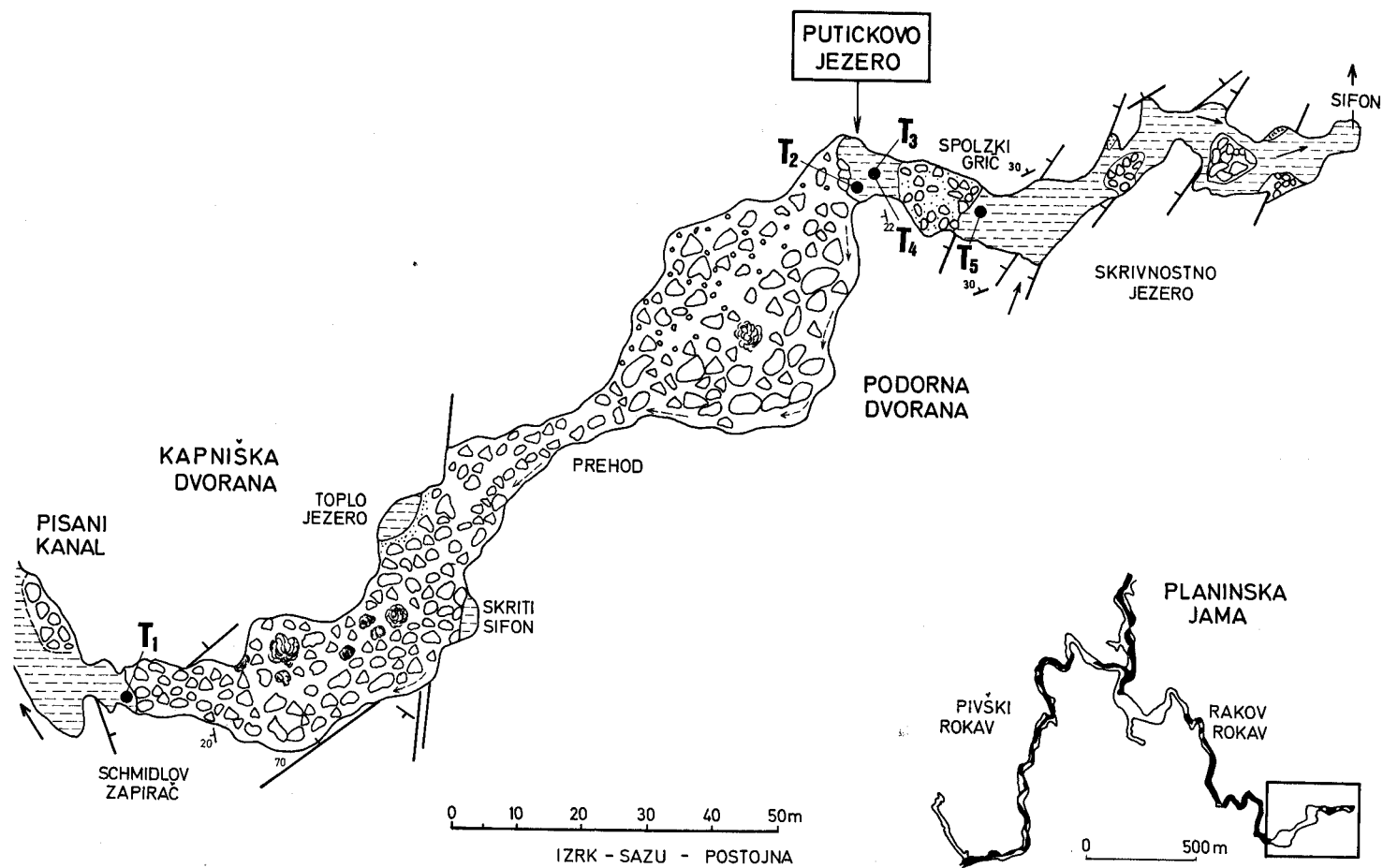
Kisik smo določali z Winklerjevo metodo, celokupno trdoto in Ca-trdoto kompleksometrično, pH s PHM 28 Radiometer Copenhagen. Biokemijsko potrebo po kisiku smo določali na vzorcih, ki so bili pet dni v jami, zato veljajo vrednosti za BPK₅ pri 10° C. Kemijsko potrebo po kisiku (KPK) smo določali s permanganatno metodo, CO₂ v zraku pa z Drägerjevim aparatom za analizo plinov.

Mikroelemente v vodi in sedimentih so določali na Odseku za jedrsko kemijo IJŠ z metodo destruktivne nevtronske aktivacije.

REZULTATI IN RAZPRAVLJANJE

Deoksigeniranost vode v Putickovem jezeru, ki je bila ugotovljena leta 1970, je bila potrjena v izredno sušnih obdobjih leta 1971, 1973 in 1977 (diagram 1, tabela 1). Znižanje koncentracije kisika v devetih tednih leta 1971, v treh tednih leta 1973 in v dveh tednih v letu 1977 dokazuje, da je oksidacija zelo visoka in, da se nizka oksigeniranost vode razširja enakomerno v vsem vertikalnem profilu. Poleg kisika je tudi trdota ob koncu stagnacije zelo izenačena v globini in površini jezera. Podatki iz leta 1973 za celokupno in Ca-trdoto kažejo, da je prva narasla za eno enoto v površinskem in globinskem sloju vode, Ca-trdota pa se je ustalila na srednji vrednosti med prvotno višjo koncentracijo v globini in nižjo na površini. To pomeni, da so za zvišanje trdote v stagnaciji odgovorne druge soli kot kalcijeve, kar je najbolj očitno v globinskem sloju vode.

Enakomerna razporeditev nizkih koncentracij kisika in zvišane trdote v vertikalnem profilu presenetljivo podpirata podobnost raziskane vode z moni-



Sl. 1 Planinska jama z mesti vzorčevanja
Fig. 1. Planinska jama with sampling places

molimnijem meromiktičnih jezer. Razlika pa je v tem, da gladina Putickovega jezera ne meji na trofogeni sloj vode temveč na zrak nasičen z vlago. Deficit kisika je dosegel okoli 80 procentov in že pri prvih ekskurzijah se nam je vsiljevala razlaga, da je relativno deoksigeniran tudi zračni prostor nad jezerom. Žal še nismo mogli izmeriti koncentracije kisika v zraku; visoke koncentracije CO₂, ki presegajo 10 kratne vrednosti zunanjšega zraka, to razlago podpirajo.

Meritve v obdobjih stagnacije so v jezeru potrdile tudi posebnost v zvezi s temperaturo: ponovno je imela voda Putickovega jezera za 2–3° C višjo temperaturo kot voda v končnem sifonu. Temperaturna razlika je prevelika, da bi jo lahko primerjali s temperaturno inverzijo, ki označuje meromiktična jezera, in bolj govori za to, da doteka v jezero ob določenih vodostajih poleg vode iz sifona še kakšen površinski tok. S tem bi se lahko nakazovala možnost, da površinski tok prinaša v jezero večje množine organizmov, ki pri razkrajanju porabljajo kisik. Čeprav že splošni izgled vode, predvsem pa odloženih sedimentov, ne kaže nikakršnih znakov, ki spremljajo razgradnjo odmrlih organizmov, smo skušali to preveriti z določitvijo fosforja in dušika (tabela 2). Vrednosti za fosfate so nizke in tudi precej nižje kot v Pivškem rokavu Planinske jame (Istenič in Kosta, neobjavljeno), kar govori proti možnosti, da bi bil naplavljeni organski material odgovoren za tako visoko porabo kisika. Tudi dušik je bil določen v spojinah in množinah, ki ustrezajo podatkom o izvirih in talnih vodah nepoluiranih področij (Ruttner 1957).

Nadalje smo skušali pojasniti pogoje, ki vodijo v deoksigenacijo. Obdobja nizkih vod nismo sledili le na konicah ampak od začetka, in smo obiske ponavljali v rednih presledkih do kritičnega dviga vodostaja. Poleg ugodnih razmer poleti smo izkoristili tudi zimsko obdobje nizkih vod. V času od 19. februarja do 11. marca 1975 smo sledili razmere, ki so v Rakovem rokavu najmanj opisane, saj so bili zapirachi manj kot en meter nad vodno gladino. Putickovo jezero ni bilo ločeno od sifona in najnižji strop je bil na severovzhodni strani jezera, kjer so na steni značilne črne, rebraste inkrustacije. Raven jezera je padala do 1. marca, nato pa naraščala. Vzorcevali smo vsakih pet dni in analize dopolnili še z meritvami BPK₅ in z enkratno določitvijo mikroelementov v vodi in sedimentih (diagram 2, tabela 3). Voda površine jezera na sredini in ob obali je imela podobne vrednosti za kisik in je kazala samo neznaten padec oksigeniranosti 1. marca. Voda iz globine pa je izkazovala po dveh tednih znatno zmanjšanje koncentracije kisika, pri čemer je oksigeniranost padala počasneje, ko je raven jezera naraščala. Biokemijska potreba po kisiku vode jezera je v tem obdobju na površini sredine jezera enakomerno naraščala, ob obali je bila precej enakomerna, v globini pa so relativno visoke vrednosti za BPK₅ tudi najbolj nihale. Voda Kanala je imela svoj režim tako v oksigeniranosti kot tudi

Diagram 1. Oksigeniranost in trdota vode pri skrajno nizkem vodostaju
T₁ — — — — Kanal; T₂ — — — — P. jezero obala; T₃ — — — — P. jezero sredina površina; T₄ — — — — P. jezero sredina globina; T₅ — — — — sifon; ○ celokupna trdota; + Ca-trdota

Diagram 1. Oxygen content and water hardness at extremely low water table
T₁ — — — — Channel; T₂ — — — — Putick Lake, bank; T₃ — — — — Putick Lake, center on the surface; T₄ — — — — Putick Lake, center in the depth; T₅ — — — — siphon; ○ total hardness; + Ca hardness

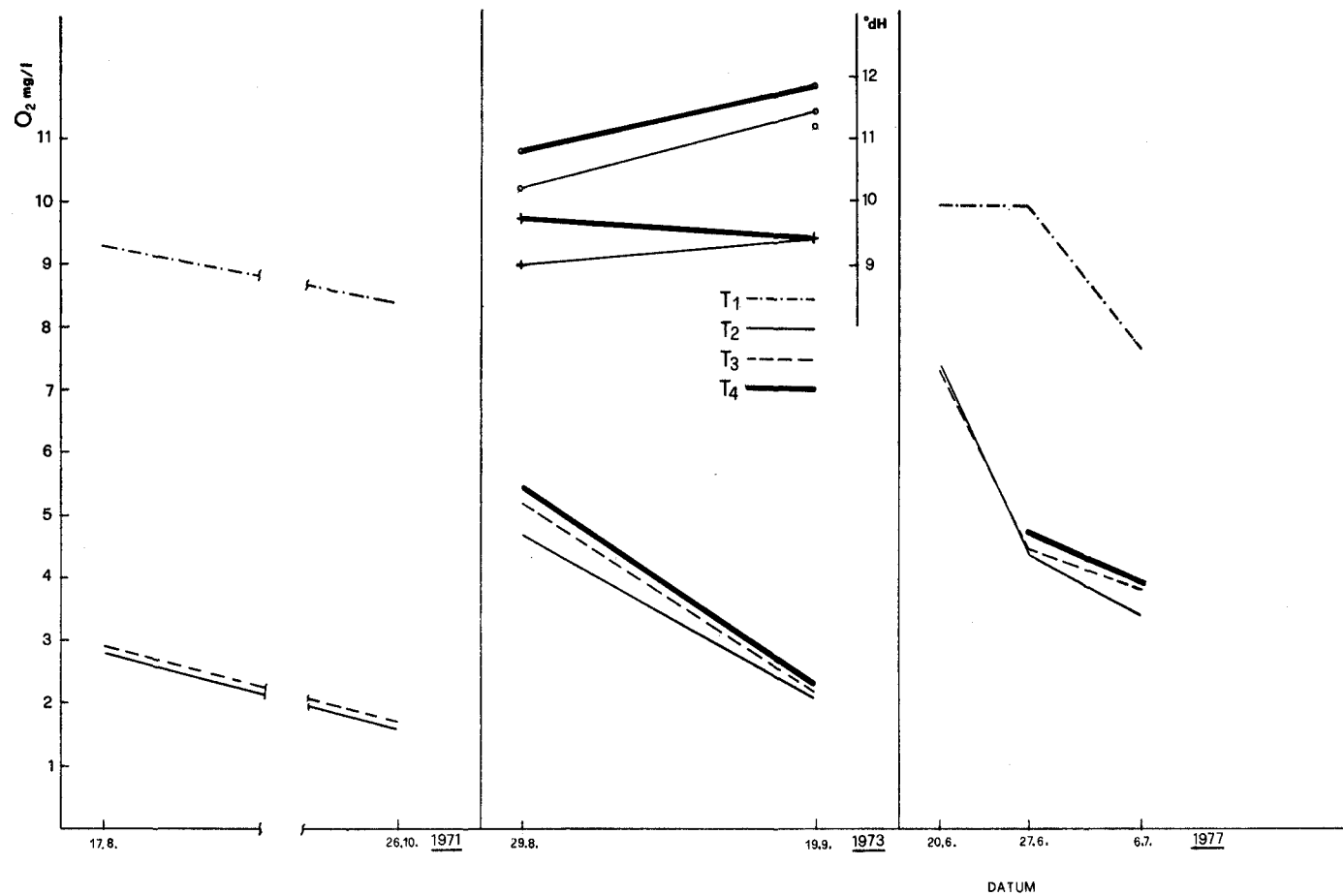


Diagram 1

Tabela 1. Rezultati analize vzorcev iz različnih mest
Table 1. The results of samples analyses from different points

Lokal.	Datum	O ₂ mg/l	BPK ₅ 10° C BOD ₅ 10° C mg O ₂ /l	KPK COD	Trdota v °dH		pH	Voda — Water °C	Zrak — Air	
					total.	Ca			°C	% CO ₂
					Hardness					
T ₁	17. 8. 71	9,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	26. 10. 71	8,4	—	—	—	—	—	—	—	—
	19. 2. 75	9,9	0,3	—	10,6	9,0	7,4	8,4	8,4	0,25
	24. 2. 75	10,2	0,3	—	11,2	9,1	7,4	8,5	8,6	0,10
	1. 3. 75	10,4	0,3	—	9,8	8,8	8,2	8,5	8,6	0,08
	6. 3. 75	10,5	0,8	—	10,2	9,0	7,6	8,5	9,4	0,14
	2. 9. 75	9,8	1,0	—	10,8	9,8	7,6	8,7	11,7	> 0,30
	12. 9. 75	9,5	0,5	—	11,1	9,5	7,6	8,6	11,8	> 0,30
	26. 9. 75	7,4	0,2	0,65	10,9	9,7	7,6	9,5	10,2	—
	1. 10. 75	8,1	0,7	0,98	13,9	9,8	8,0	9,4	11,5	—
	6. 10. 75	8,9	0,4	0,38	11,3	10,6	7,8	9,6	11,8	—
	11. 10. 75	8,2	0,5	1,28	10,6	8,8	7,8	9,7	11,4	—
	6. 2. 76	10,4	—	—	11,5	9,2	—	8,4	11,2	—
	20. 6. 77	9,9	—	—	—	—	—	8,6	11,0	—
	27. 6. 77	9,9	—	—	9,8	9,0	7,7	8,4	9,9	—
6. 7. 77	7,7	0,5	—	10,4	9,6	7,4	8,7	10,7	—	
T ₂	17. 8. 71	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—
	26. 10. 71	1,6	—	—	—	—	—	11,6	12,2	0,38
	29. 8. 73	4,7	—	—	10,2	9,0	8,2	12,1	—	—
	19. 9. 73	2,1	0,5	—	11,4	9,4	8,3	11,6	—	—
	19. 2. 75	10,1	0,3	—	—	—	—	8,2	—	0,20
	24. 2. 75	9,8	0,6	—	11,2	9,9	7,5	8,2	9,4	0,25
	1. 3. 75	9,6	0,5	—	11,0	9,6	7,7	8,1	8,9	0,20
	6. 3. 75	10,0	0,4	—	10,2	8,6	7,6	8,3	9,5	0,19
	2. 9. 75	7,4	0,8	—	10,5	7,9	7,8	14,5	13,8	0,40
	12. 9. 75	7,1	0,7	—	11,4	9,6	7,7	12,0	13,1	0,30
	26. 9. 75	8,6	1,4	0,68	12,3	9,7	7,7	11,2	12,7	—
	1. 10. 75	8,1	0,2	0,33	13,1	8,3	7,7	11,4	13,0	—
	6. 10. 75	8,1	0,4	0,50	11,9	9,9	7,8	11,6	13,7	—
	11. 10. 75	7,5	0,2	0,43	10,5	8,9	7,8	11,5	12,8	—
	6. 2. 76	10,6	—	—	13,4	9,5	—	6,2	8,8	—
	20. 6. 77	7,4	—	—	9,8	8,3	7,6	11,2	11,8	—
	27. 6. 77	4,4	—	—	10,1	8,2	7,7	11,0	12,0	—
	6. 7. 77	3,4	0,6	—	11,1	8,7	7,6	10,9	12,2	—
T ₃	17. 8. 71	2,9	—	—	—	—	—	—	—	—
	26. 10. 71	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—
	29. 8. 73	5,2	—	—	—	—	—	12,1	—	—
	19. 9. 73	2,2	0,2	—	11,2	9,4	8,3	—	—	—
	19. 2. 75	10,0	0,0	—	10,6	9,0	7,6	8,2	—	—
	24. 2. 75	9,7	0,1	—	11,2	9,9	7,4	8,2	—	—

Lokal.	Datum	O ₂ mg/l	BPK ₅ 10° C BOD ₅ 10° C mg O ₂ /l	KPK COD	Trdota v °dH		pH	Voda — Water °C	Zrak — Air	
					total.	Ca			°C	% CO ₂
					Hardness					
T ₄	1. 3. 75	9,5	0,2	—	11,0	9,0	7,9	8,1	—	—
	6. 3. 75	10,0	0,4	—	10,2	9,2	7,6	8,3	—	—
	2. 9. 75	7,1	—	—	11,2	9,3	7,8	14,5	—	—
	12. 9. 75	7,2	0,8	—	11,5	9,8	7,6	12,0	—	—
	26. 9. 75	7,7	0,8	0,35	10,7	8,9	7,7	11,4	—	—
	1. 10. 75	6,9	0,6	0,48	12,5	8,9	7,7	11,4	—	—
	6. 10. 75	7,1	0,5	0,48	11,4	10,1	7,7	11,4	—	—
	11. 10. 75	5,8	0,5	0,50	10,5	9,1	7,9	11,3	—	—
	6. 2. 76	10,3	—	—	12,0	9,3	—	6,2	8,8	—
	20. 6. 77	7,3	—	—	9,7	8,4	7,7	11,2	—	—
	27. 6. 77	4,5	—	—	10,1	8,6	7,7	11,1	—	—
	6. 7. 77	3,8	—	—	—	—	—	10,8	—	—
	29. 8. 73	5,4	—	—	10,8	9,7	—	—	—	—
	19. 9. 73	2,3	0,2	—	11,8	9,4	8,1	—	—	—
	24. 2. 75	9,3	0,9	—	11,2	9,0	7,5	—	—	—
	T ₅	1. 3. 75	7,8	0,0	—	10,8	9,6	7,9	—	—
6. 3. 75		7,0	0,5	—	10,4	9,4	7,5	—	—	—
2. 9. 75		7,4	1,0	—	11,1	9,1	7,7	—	—	—
12. 9. 75		8,3	0,4	—	11,7	9,5	7,7	—	—	—
26. 9. 75		7,2	1,4	0,98	11,3	8,7	7,7	—	—	—
1. 10. 75		6,4	0,7	0,55	13,4	9,3	7,7	—	—	—
6. 10. 75		5,4	0,3	0,38	11,6	9,7	7,7	—	—	—
11. 10. 75		4,7	0,7	0,58	10,9	9,0	7,8	—	—	—
6. 2. 76		9,8	—	—	11,6	9,5	—	—	—	—
27. 6. 77		4,7	—	—	10,0	8,1	7,4	—	—	—
6. 7. 77		3,9	0,3	—	10,2	8,6	7,7	—	—	—
26. 10. 71		8,8	—	—	—	—	—	9,0	11,7	—
19. 9. 73		9,6	0,7	—	10,2	—	8,1	9,1	—	—
26. 9. 75		9,9	0,6	0,90	12,7	9,5	7,6	8,6	—	—
1. 10. 75		9,7	0,5	0,60	12,9	8,8	7,6	8,7	12,6	—
6. 10. 75		10,2	0,5	0,43	10,5	10,0	7,9	8,6	—	—
11. 10. 75	10,2	0,6	0,53	10,2	8,6	7,7	8,5	—	0,35	
6. 2. 76	10,5	—	—	11,5	9,6	—	8,4	9,6	—	
6. 7. 77	10,4	0,7	—	10,1	9,2	7,6	8,4	10,5	—	

v biokemijski potrebi po kisiku: ob naraščanju koncentracije kisika v območju nasičenosti so bile vrednosti za BPK₅ relativno nizke in identične, dokler se nenadno niso močno zvišale.

Iz analize elementov v vodi Putickovega jezera in Kanala (tabela 3) so razvidne razlike v koncentracijah, ki tudi nakazujejo, da napaja oba predela voda iz različnega zaledja. V Kanalu so koncentracije fosforja in kovin, razen man-

Tabela 2. Nitrati, fosfati in železo v vodi ob skrajno nizkem vodostaju leta 1971

Table 2. Nitrates, phosphates, iron in the water at extremely low water table in the year 1971

26. 10. 1971	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
NO ₃ mg/l	3,10	3,10	3,40	2,70
NO ₂ mg/l	0,00	0,01	0,01	0,00
PO ₄ mg/l	0,06	0,07	0,07	0,07
Fe mg/l	0,15	0,08	0,08	0,15

gana, višje kot v jezeru, kar je posebno poudarjeno za Cu in Hg. Nasprotno razmeram v vodi so koncentracije ustreznih elementov v sedimentih jezera višje kot v sedimentih Kanala. Množina Mn je v sedimentih obeh lokalitet približno izenačena, kar je presenetljivo ob dejstvu, da ga vsebuje voda v jezeru precej

Tabela 3. Analiza elementov v vodi in sedimentih 1. 3. 1975

Table 3. Elements analysis in the water and in the sediments, March 1, 1975

Voda — Water	T ₂	T ₁	Sedimenti Sediments	Putickovo jezero — Putick Lake		Kanal Channel
				nižje na obali lower on the bank	višje na obali higher on the bank	
Ca trdota — hardness	9,13	8,88	vлага %	83,0	76,3	79,4
Mg trdota — hardness	1,07	1,01	P µg/g	1411,2	1100,0	829,4
celokupna trdota total hardness	10,20	9,89	P µg/g	1434,7	1113,7	892,4
CaO mg/l	91,3	88,8	CaO %	9,1	4,3	9,8
MgO mg/l	7,7	7,3	MgO %	4,4	4,5	4,7
Fe mg/l	0,06	0,09	Fe %	4,1	4,1	4,0
Mn µg/l	11,6	4,9	Mn µg/g	1458,2	1573,0	1178,6
Cu µg/l	1,7	20,0	Cu µg/g	15,9	37,6	27,9
Zn µg/l	10,3	26,0	Zn µg/g	154,0	200,5	136,7
As µg/l	—	0,29	As µg/g	19,6	18,5	18,4
Sb µg/l	—	0,14	Sb µg/g	1,3	1,0	1,1
Hg ng/l	30	85	Hg ng/g	173,0	170,0	134,0
PO ₄ mg/l	0,02	0,07	Cd µg/g	1,6	0,6	—

Diagram 2. Oksigeniranost vode pri nizkem vodostaju leta 1975

T₁ — — — — — Kanal; T₂ ————— P. jezero obala; T₃ — — — — — P. jezero sredina površina; T₄ ————— P. jezero sredina globina; T₅ — — — — — sifon

Diagram 2. Oxygen content at low water table in the year 1975

T₁ — — — — — Channel; T₂ ————— Putick Lake, bank; T₃ — — — — — Putick Lake, center on the surface; T₄ ————— Putick Lake, center in the depth; T₅ — — — — — siphon

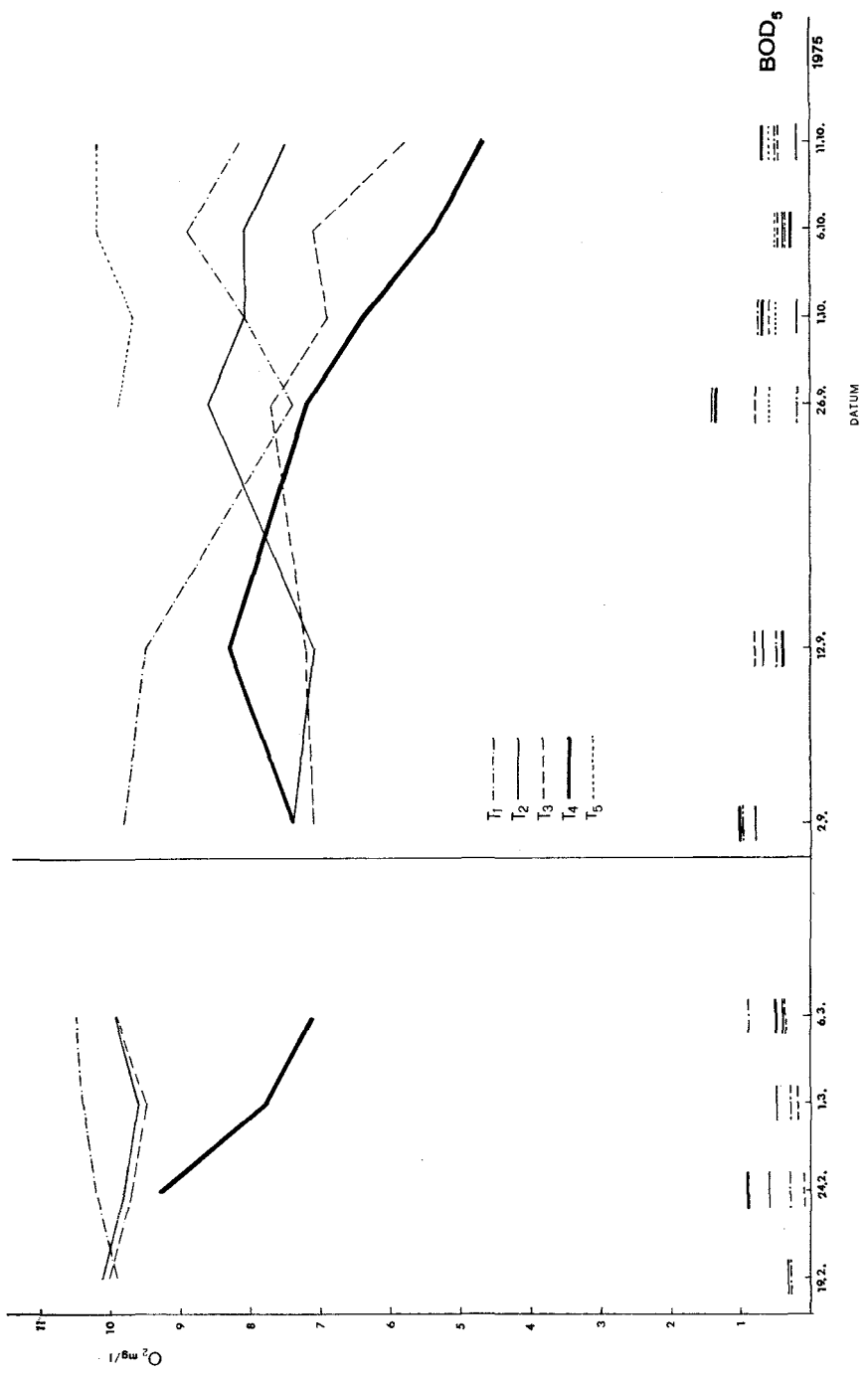


Diagram 2

več kot v kanalu. Razlaga za ta pojav je specifična sedimentacija Mn iz površine in nalaganje Mn oksidov na previsne stene, ki so v stiku z gladino jezera. Kemijska analiza črnih inkrustacij na kalcitnih žilah, ki prekrivajo previsno obalo Putickovega jezera, je pokazala 3,4 do 3,5 % MnO_2 in potrjuje omenjeno razlago. Primerjava analize vode Putickovega jezera iz tega obdobja z vrednostmi iz leta 1971 (tabela 2) kaže, da ima preplavljeno jezero manj fosfatov in železa, kot v stagnaciji.

Ponovno smo prišli do jezera jeseni 1975 in opravili šest obiskov. Vodostaj je bil nekoliko nižji kot pozimi in prehod do končnega sifona je bil odprt od 26. septembra do 11. oktobra. Koncentracija kisika v jezeru je bila ob začetku v vertikalnem profilu relativno enotna, nato pa so se pojavile razlike v površinski in globinski plasti vode (diagram 2). Kisikova krivulja vode iz globine kaže najprej dvig, nato pa upadanje koncentracije do približno 45 procentne nasičenosti. V vodi ob obali in na sredini jezera sta vrhova koncentracije kisika dosežena pri različnih vrednostih in v primerjavi z globinsko vodo 14 dni kasneje; upadanje koncentracije kisika je zato krajše in omejeno posebno ob obali na območje višje oksigeniranosti. Kisikova krivulja vode ob obali nakazuje šibek dotok, ki se izliva po površini jezera ob zahodni obali. V sifonu so se koncentracije gibale okoli nasičenosti, v kanalu pa so bila kolebanja znatna, in je voda dosegla najnižjo oksigeniranost 26. septembra. Meritve BPK₅ v jezeru kažejo najvišje absolutne vrednosti v vodi ob obali in iz globine 26. septembra in padec vrednosti po tem datumu, ko se je raven jezera dvigala. Najnižje vrednosti so bile tedaj določene ob obali. Voda iz sredine površine je imela srednje vrednosti, ki so se samo ob zaključku obdobja rahlo znižale. Biokemijska poraba kisika v sifonu je bila najbolj enakomerna in zelo podobna porabi kisika jezerske vode iz sredine površine. Primerjava podatkov za obe vodi v posameznih časovnih presledkih kaže, da so vrednosti za BPK₅ v jezeru višje v času, ko je bila gladina najnižja in enake, ko se je raven jezera dvigala. Gibanje BPK₅ v vodi kanala ni usklajeno s kisikovo krivuljo in dosega minimalne vrednosti ob najnižji oksigeniranosti ter srednje visoke vrednosti, ko koncentracija kisika v vodi tega predela narašča.

Zadnje obiske v Rakov rokav smo opravili junija 1977; v dveh tednih je oksigeniranost vode v Putickovem jezeru močno padala in nakazana je bila že izenačitev razmer v vertikalnem profilu (diagram 1). Kljub izredno dobrim izgledom, da bomo ekstremno hipoksične pogoje lahko preučevali še z dodatnimi meritvami — predvsem z določanjem kisika v zračnem prostoru — je nenadno deževje zaprlo dohod.

Pri sklepanju na procese, ki so odgovorni za visoko porabo kisika, se lahko opiramo na bolj raziskane razmere v globinski vodi površinskih jezer, saj obe vodi označujejo procesi končne razgradnje organskih snovi. Bistvena razlika med njima, ki je v trofogenem sloju, pa vpliva na naravo teh snovi in specifično dinamiko procesov mineralizacije. V površinskem jezeru izvirajo organske snovi iz njegovega trofogenega sloja in preidejo prve stopnje razgradnje v zgornjih slojih jezera; podzemeljske vode pa napaja organski material iz zunanosti in se razgrajuje med prenikanjem vode iz površja do podzemeljskih izvirov. Iz podatkov za koncentracijo kisika je razvidno, da oksigeniranost v stagnirajoči vodi hitro pada, pri čemer se zmanjšuje koncentracija najprej v globini, nato pa se razširja deficit do površine. To dokazuje, da so za pomanjkanje kisika

odgovorni oksidacijski procesi na meji med sedimenti in vodo ter poraba kisika v prosti vodi. Procesi na stiku sedimentov z vodo so v površinskih jezerih v glavnem znani in dokazano je, da se pri oksidaciji zgornje plasti blata sproščajo v vodo ioni, kar povečuje elektrolitsko prevodnost intersticialne vode v blatu (Ruttner 1956; Hutchinson 1967). Ti procesi so v jamskih sedimentih skrajno potencirani in dajejo jamski ilovici značaj odličnega ionskega izmenjevalca. Morfometrija Putickovega jezera, ki je označena z majhno prostornino pri relativno zelo veliki površini, močno podpira opisano, na profil vezano porabo kisika. Ob znižanju gladine jezera pride namočena ilovica v stik z atmosfero, ki je nasičena z vlago. V takšnih razmerah njena aktivnost verjetno ne usahne in lahko vpliva na znižanje oksigeniranosti tudi v zračnem prostoru.

Tabela 4. Poprečne vrednosti BPK₅ ob zimskem in poletnem nizkem vodostaju leta 1975
Table 4. Average values of BOD₅ at winter and at summer low water table in the year 1975

BPK ₅ BOD ₅	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
19. 2.— 6. 3.	0,42	0,45	0,18	0,47	—
2. 9.—11. 10.	0,50	0,62	0,64	0,75	—

Tabela 5. Poprečne vrednosti za BPK₅ in KPK ter njihovo razmerje ob koncu nizkega vodostaja leta 1975

Table 5. Average values for BOD₅ and COD and their ratio at the end of low water table in the year 1975

26. 9.—11. 10.	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
BOD ₅ —10° C	0,45	0,55	0,60	0,77	0,55
COD	0,82	0,49	0,45	0,62	0,62
BOD ₅ : COD	1 : 1,82	1 : 0,89	1 : 0,75	1 : 0,81	1 : 1,13

Informacije o presnovni aktivnosti preučevanih vod dajejo meritve BPK₅ in KPK. Metoda merjenja porabe kisika v določenem času (običajno po 5 dneh), v temi in pri določeni temperaturi (običajno pri 20° C) je ena najbolj uporabljanih za določanje obremenjenosti vode z organskimi snovmi. Vrednost metode za limnološke raziskave o stopnji mineralizacije v jezerih, neodvisno od njihove uvrstitve po trofični klasifikaciji, je preučeval Stangenberg (1959) in dokazal tudi, da filtriranje in dodajanje hranilnih soli močno zviša porabo kisika vode. Če upoštevamo pri naših meritvah korekcijski faktor za hitrost kemičnih reakcij pri višji temperaturi za 10° C, vrednosti za BPK₅ presegajo indekse za oligotrofna in nekatera mesotrofna jezera ter se močno približujejo objavljenim podatkom za porabo kisika, ki so jih take vode dosegle šele po poskusnih posegih. Razlike v aktivnosti podzemeljske vode iz posameznih preiskanih pre-

delov so razvidne iz poprečja vrednosti za dejansko porabo kisika v 5 dneh in iz vrednosti za potencialno oksidabilnost (tabeli 4 in 5). Razmerje BPK : KPK kaže, da je bila oksidacija, dosežena v petih dneh, v vzorcih iz sifona skoraj enaka oksidacijski moči permanganata; v vodi kanala je bila za manj kot polovico manjša, v Putickovem jezeru pa jo je celo presegala. Skoraj enake vrednosti za BPK₅ v sifonu in v vodi iz površine jezera govore za to, da je voda sifona zadnja, ki zastaja v jezeru; porast vrednosti za ta parameter v vodi iz globine jezera pa nakazuje aktiviranje presnove v zastajajoči, mirni vodi.

Učinek mehanične aktivacije — primerljiv s poskusno filtracijo — v vodi sifona in Kanala se ujema s predstavo o geostrukturnem kraškem hidrografskem sistemu in sistemu ponornic kot dveh osnovnih tipov kraškega pretakanja (Gams 1966). V vodi sifona je izražena mehanična aktivacija globinske prenikle vode, ki preide v zemlji in prepletu špranj, značilnem za geostrukturni **kraški sistem**, učinkovitejši filter kot ponikla voda v Kanalu. V zastajajoči prenikli vodi se aktivnost zviša še s sproščenimi ioni iz sedimentov in verjetno tudi z učinkovanjem mikroorganizmov. To se izraža v izredno veliki mineralizacijski sposobnosti vode v Putickovem jezeru. Nadaljnje raziskave bodo pokazale koliko so ti procesi čisto kemični in koliko so podprti biogeno prek mikroorganizmov. Opisane razmere v Putickovem jezeru in limnološka spoznanja o sedimentaciji mangana najboljše podpirajo aktualnost takih raziskav. Poleg čisto kemičnih procesov, ki spremljajo kroženje mangana v površinskih jezerih, se v novejšem času pripisuje pomembna vloga tudi bakterijam (Bloesch 1974; Hongve 1974). Mikrobiološke raziskave, ki so dale že opise glivnih oblog v Planinski jami (Megušar in Sket 1975), bi z usmeritvijo na kemotsintetske bakterije utegnile izpolniti vrzel v poznavanju možne autotrofne komponente.

Razen tega omogoča razlaga za različno aktivnost vode, usklajena s kraško hidrografijo, načrten izbor predelov za preverjanje splošne veljave ugotovljenih lastnosti podzemeljske vode. S tem se bo izpopolnilo poznavanje pogojev, v katerih živi močeril, in pojasnile neskladnosti med nekaterimi ugotovitvami. V naših raziskavah se je reakcija vode gibala v alkalnem območju in so vrednosti za pH nihale med 7,3 in 8,5; pri tem je imela najbolj alkalno reakcijo voda iz sifona in Putickovega jezera v času, ko je bil v jezeru dosežen največji deficit kisika. Čeprav alkalnost kraških vod ni presenetljiva, je v nasprotju z objavljenimi ugotovitvami, da niha pH med 6,2 in 6,4 v naravnih vodah, ki jih naseljuje močeril (Briegleb 1962; Grzimek 1970).

Orisane raziskave kažejo, da je presnovna dinamika v podzemeljskih vodah še slabo poznana in se zato življenjski pogoji jamskih živali zunaj naravnega okolja še ne morejo posnemati. Pri skrajnem endemitu, kot je to močeril, lahko predpostavljamo, da dolgotrajne laboratorijske gojitve močno vplivajo na reakcijske norme živali.

POVZETEK

Raziskave zajemajo končni del Rakovega rokava Planinske jame, kjer je bilo določeno v Putickovem jezeru 75 procentno pomanjkanje kisika. Ta podatek in v poskusu ugotovljena izredno velika resistenca močerila na hipoksične pogoje sta utrdila načrtano smer ekoloških raziskav pri močerilu (Istenič 1971), obenem pa vodila v preverjanje najbolj kritičnega abiotskega parametra, ki je

oksigeniranost vode. Ob limnoloških spoznanjih o vezanosti pomanjkanja kisika na visoko produktivnost je postalo sklepanje na nizko oksigeniranost trofično izredno revnih podzemeljskih biotopov celo nesprejemljivo. Tudi meritve koncentracije kisika v vodi so dale vrednosti blizu nasičenosti in v novejšem času velja na splošno, da so jamske vode dobro oksigenirane (Poulson 1963; Vandel 1964).

Opirajoč se na posebne in splošno manj znane razmere v nekaterih površinskih jezerih, kjer pomanjkanje kisika ni v korelaciji z endogeno organsko produkcijo (Hutchinson 1967), smo z zasledovanjem hidrokemičnih razmer v speleološko zelo zanimivem delu Planinske jame preverjali morebitno rednost pojavljanja hipoksičnih pogojev in iskali podatke o procesih, ki so za to odgovorni. Dolgotrajnost raziskav je povezana s težko dostopnostjo končnega dela Rakovega rokava, ki je dosegljiv samo pri izredno nizkem vodostaju.

Že opisane hipoksične razmere v Putickovem jezeru smo ugotovili zopet v skrajno sušnih obdobjih (diagr. 1); padanje koncentracij kisika v relativno kratkem času je bilo veliko in kaže na intenzivno porabo kisika. Ob koncu sušnih obdobj, ko je bilo pomanjkanje kisika maksimalno (do 80 procentov), se je deficit razširjal enakomerno od globine do površine. Pomanjkanje kisika v plasti vode, ki je v kontaktu z atmosfero, v kateri smo izmerili močno povečano koncentracijo CO_2 , nakazuje, da je relativno znižana koncentracija kisika tudi v zračnem prostoru nad jezerom. Zasledovanje termičnih razmer je potrdilo posebnost, da ima voda Putickovega jezera za 2 do 3° C višjo temperaturo kot bližnja voda sifona. Temperaturna razlika je prevelika, da bi jo pripisovali samo toploti sproščeni pri oksidaciji in je verjetno tudi povezana z rahlim dotokom površinske vode. Voda in sedimenti ne kažejo znakov za razpadanje organskega materiala; tudi določitve fosfatov in nitratov (tab. 2) govore proti temu, da bi bili organizmi, naplavljeni s površja, odgovorni za visoko porabo kisika.

Specifične razmere, ki vodijo v deoksigenacijo, smo preučevali leta 1975 (diagr. 2). Obdobja nizkih vodostajev smo sledili od njihovega začetka in ponavljali obiske v rednih razmakih vse do kritičnega dviga vodostaja. Poleg ugodnih razmer poleti smo izkoristili tudi zimsko obdobje, ko Putickovo jezero ni bilo ločeno od sifona. Analize vzorcev vode iz petih mest v Rakovem rokavu (sl. 1) smo dopolnili še s testiranjem BPK in KPK ter z določitvijo elementov v vodi in sedimentih Kanala in Putickovega jezera. Pozimi se je znižala koncentracija kisika samo v globini jezera. Pri tem so bile najvišje vrednosti za BPK in bolj strm padec kisika usklajene z nižanjem gladine jezera. V Kanalu sta bila najvišja oksigeniranost in najvišja vrednost za BPK doseženi v času naraščanja vode, kar kaže na povečano množino suspendiranih snovi ter močnejši tok ob dvigu vodostaja. Jeseni je bil vodostaj precej nižji kot pozimi. Deoksigenacija v jezeru je bila močnejše izražena in je dosegla v globinski vodi 45 procentov. Kisikova krivulja za vodo ob obali nakazuje šibak dotok, ki se razliva na zahodni strani jezera in ne vpliva na vodo iz sredine. V Kanalu so bila kolebanja oksigeniranosti znatna in zopet neusklajena z gibanjem kisika v Putickovem jezeru in sifonu. Iz analize elementov v vodi jezera in Kanala so razvidne razlike v koncentracijah, ki tudi nakazujejo, da napaja oba predela voda iz različnega zaledja. Določitve elementov v sedimentih pa kažejo, da je njihovo nabiranje v Putickovem jezeru intenzivnejše kot v Kanalu. Zanimivo

je obarjanje mangana iz površine in nalaganje manganovih oksidov na prevodne stene jezera v obliki rebraste, črne obloge.

Pri sklepanju na procese, ki so odgovorni za visoko porabo kisika, se lahko opiramo na boljše raziskane razmere v površinskih jezerih, ker obe vodi označujejo načelno enaki procesi končne razgradnje organske snovi. Bistvena razlika med njima, ki je v trofogenem sloju, vpliva na naravo snovi v razgradnji in na specifično dinamiko mineralizacije. V površinskem jezeru izvirajo organske snovi iz njegovega trofogenega sloja in preidejo prve stopnje razgradnje v zgornjih slojih jezera. Podzemeljske vode pa napaja organski material od zunaj in se razgrajuje med precejanjem vode iz površja do podzemeljskih izvirov.

Gibanje kisika v Putickovem jezeru dokazuje, da oksigeniranost v stagnirajoči vodi hitro pada, pri čemer se zmanjšuje koncentracija najprej v globini, nato pa se razširja do površine. To kaže, da so za pomanjkanje kisika odgovorni procesi na meji med vodo in sedimenti ter poraba kisika v prosti vodi. Procesni na stiku vode in sedimentov so v površinskih jezerih v glavnem preučeni in dokazano je, da se pri oksidaciji zgornje plasti sedimentov sproščajo ioni v vodo, kar poveča elektrolitsko prevodnost intersticijske vode v blatu (Ruttner 1956; Hutchinson 1967). Ti procesi so v jamskem okolju izredno potencirani in dajejo jamski ilovici značaj odličnega ionskega izmenjevalca. Pri morfometriji Putickovega jezera, ki je označena z majhnim volumnom in veliko površino, se opisana na profil vezana poraba kisika izraža zelo močno. Ob nižanju gladine jezera pridejo namočeni sedimenti v stik z atmosfero, ki je skoraj nasičena z vlago. V takšnih razmerah njihova aktivnost verjetno ne usahne in lahko vpliva na znižanje oksigeniranosti tudi zračnega prostora.

Presnovno aktivnost preučevanih vod smo testirali z meritvami BPK (tab. 4.) Ta metoda je ugodna tudi za raziskave stopnje mineralizacije v jezerih neodvisno od njihove uvrstitve po trofični klasifikaciji. Stangenberg (1959) je dokazal, da filtriranje in dodajanje hranilnih soli vodi, močno zviša njeno potrebo po kisiku. Če upoštevamo pri naših meritvah korekcijski faktor za hitrost kemičnih reakcij pri 10^0 višji temperaturi, vrednost za BPK presegajo indekse za oligotrofna in nekatera mesotrofna jezera ter se približujejo objavljenim podatkom, ki so jih take vode dosegle šele po poskusnih posegih. Razlike v aktivnosti podzemeljske vode iz posameznih predelov so razvidne iz poprečja vrednosti za dejansko porabo kisika in za potencialno oksidabilnost. Razmerje BPK : KPK kaže, da oksidira največ prisotnih snovi voda Putickovega jezera, malo manj voda iz sifona in znatno manj voda iz Kanala (tab. 5). Skoraj identične vrednosti za BPK v sifonu in površini jezera govore za to, da je voda sifona zadnja, ki zastaja v jezeru; porast vrednosti za oba parametra v vodi iz globine in obale jezera pa kaže na aktiviranje mineralizacije v zastajajoči, mirni vodi.

Učinek mehanične aktivacije v vodi sifona in Kanala se ujema s predstavami kraške hidrologije in njenih dveh temeljnih sistemov (Gams 1966). V vodi sifona je izražena mehanična aktivacija globinske prenikle vode, ki preide v zemlji in prepletu špranj, značilnem za geostrukturni kraški sistem, učinkovitejši filter kot ponikalna voda Kanala. V zastajajoči prenikli vodi se aktivnost zviša še z učinkovanjem ionov, sproščenih iz sedimentov, kar se izraža v relativno največji mineralizacijski sposobnosti vode v Putickovem jezeru. Nadaljnje raziskave bodo morale pokazati, v kakšni meri so ti procesi

čisto kemični in koliko so podprti biogeno preko mikroorganizmov. Poleg tega je razlaga, usklajena s kraško hidrografijo, lahko osnova za načrten izbor predelov za preverjanje splošne veljavnosti ugotovljenih lastnosti vode. S tem se bo razširilo poznavanje pogojev, v katerih živi močeril in pojasnile nekatere neskladnosti v različnih ugotovitvah avtorjev. Objavljeni podatki za reakcijo naravnih vod, ki jih naseljuje močeril (Briegleb 1962; Grzimek 1970), so v kislem območju; to je v nasprotju z našimi meritvami (pH 7,2 do 8,3) in tudi komaj združljivo s karbonatnim značajem vode na krasu.

Orisane raziskave kažejo, da je presnovna dinamika v podzemeljskih vodah še slabo poznana in se zato življenjski pogoji jamskih živali zunaj naravnega okolja še ne morejo posnemati. Pri skrajnem endemitu, kot je to močeril, lahko predpostavljamo, da dolgotrajne laboratorijske gojitve močno vplivajo na reakcijske norme živali.

Summary

THE OXYGEN DEFICIT IN PUTICK LAKE OF PLANINSKA JAMA

The research includes the final part of Rak Branch in Planinska jama where in Putick Lake 75 per cent oxygen deficit was established. This fact, and by experiment stated extremely high resistance of *Proteus* to hypoxic conditions, have confirmed the projected direction of ecological researches of *Proteus* (Istenič 1971). The same facts simultaneously guided into attestation of the most critical abiotic parameter, which is oxygen content in the water. Limnological knowledge about connection of oxygen deficit to high productivity gives the conclusion that low oxygen content of trophical extremely poor underground biotopes is unadmissible. Also the later measurements of oxygen concentration in the water gave the values near the saturation and in present time it is generally accepted that cave waters have high oxygen content (Poulson 1963, Vandel 1964).

According to special and generally less known conditions in some superficial lakes, where the oxygen deficit has no correlation with endogene organic production (Hutchinson 1967) we have pursued the hydrochemical conditions in speleologically very interesting part of Planinska jama to find out the eventual regular occurrence of hypoxic conditions. Additionally we have searched the facts about the processes responsible for them. The long-term researches are connected with difficult access to the final part of Rak Branch which can be reached only at extremely low waters.

Already described oxygen deficiency in Putick Lake have been stated again in extremely dry periods (Diagram 1); the lowering of oxygen concentrations was considerable in relatively short time indicating intensive oxygen uptake. At the end of dry periods when the oxygen deficit was maximal (up to 80 per cent), the deficit uniformly extended from the depth to the surface. Oxygen deficit in the water layer which is in contact with atmosphere and where greatly increased CO₂ concentration was measured, also indicated relatively lowered oxygen concentration in the air space above the lake.

The study of thermic conditions confirmed the particularity that the water of Putick Lake has from 2 to 3°C higher temperature than the water of nearby siphon. Temperature difference is too high to be attributed only to the heat production by

oxydation and is probably connected with small inflow of superficial water. The water and the sediments show no trace of decaying organic material. Also the determination of phosphates and nitrates (Table 3) indicates no possibilities that the organisms deposited from the surface could be responsible for high oxygen uptake.

Specific conditions leading to decrease of oxygen content were studied in the year 1975 (Diagram 2). The periods of low water tables were observed from their beginning and we repeated the visits in regular intervals up to the critical water level increase. Beside the favourable summer conditions we were able to make measurements also in the winter period when the Putick Lake was not separated from the siphon. The water samples analyses from five points in Rak Branch (Fig. 1) have been completed by BOD₅ and COD testing and by determination of elements in the water and in the mud of Channel and Putick Lake. In the winter the oxygen concentration diminished only in the depth of the lake. The highest values for BOD and steep decrease of oxygen were coordinated with lake level lowering. In the channel the highest oxygen content and the highest value for BOD were reached in the time of water increase showing augmented quantity of suspended material and faster flow during the water level increase. In the autumn the water table was evidently lower than during the winter. The decrease of oxygen content in the lake was more expressed and reached in deep water the value of 45 per cent.

Oxygen curve of the water near the bank proves small inflow, which was overflowed on the western side of the lake and did not influence the water in the center. In the Channel the oscillations of the oxygen content were considerable and again non-coordinated with oxygen distribution in Putick Lake and in siphon. From the elements analyses of the water of lake and channel the differences in concentration are evident, indicating that both regions are fed by waters from different hinterlands. The determination of elements in sediments prove that their accumulation in Putick Lake is more intensive than in the Channel. Interesting is the deposition of mangan oxides to overhang of the lake in rib-like, black coating.

Deciding for processes responsible for high oxygen uptake we can rely on better researched conditions in superficial lakes, because in principle both waters are marked by similar processes of final decomposition of organic matter. Essential difference between them, existing in trophogene layer, exercises and influence upon the nature of the matter in decomposition and upon the specific dynamics of mineralisation. In the superficial lake the organic matter takes origin from its trophogene layer and passes the first stages of decomposition in upper layers of the lake. The underground waters are fed by organic material from the outside and they decompose during the percolation of water from the surface to the underground springs.

The oxygen distribution in Putick Lake proves that oxygen content in stagnant water quickly decreases first in depth and later up to the surface. It shows that the processes on the mud-water interface and oxygen uptake in the free water are responsible for oxygen deficit. In superficial lakes the processes on the contact between water and sediments are in general researched and it is proved that by oxydation of upper layer of sediments the ions are released into the water, augmenting the electrolytic conductivity of interstitial water in the mud (Ruttner 1956, Hutchinson 1967).

These processes are extremely emphasized in cave environment and give to cave loam the properties of excellent ion exchanger. At morphometry of Putick Lake which is characterized by small volume and big surface, the described profile bound

oxygen uptake is very well expressed. At lake level lowering the wet cave loam contacts atmosphere which is almost saturated by humidity. Probably in such conditions their activity does not decrease and can influence the lowering of oxygen content even in the air space.

The metabolic activity of studied waters was tested by measurements of BOD (Table 4). This method is well suited also for research of mineralization degree in lakes without regard to their ranging in trophic classification. Stangenberg (1959) proved that filtration and adding of nutrient salts to water greatly increased its oxygen demand. Considering the correction factor for velocity of chemical reactions (we measured at 10° C) the values for BOD exceed the indexes for oligotrophic and for some mesotrophic lakes and approach the published data which such waters obtained after experimental interventions. The differences in activity of underground waters from different regions are evident from average values for real oxygen uptake and for potential oxydability. The rate BOD : COD shows that the oxygen uptake in water samples from siphon was nearly equal to the oxydation power of permanganate. In the samples from Channel the oxygen uptake was considerably smaller but in the Putic Lake it was even greater than the chemical oxygen demand. (Table 5). Almost identical values for BOD in the siphon and the lake surface water show that the siphon water is the last which remains in the lake; the rise of values for both parameters of the lake water indicates, however, that the mineralisation is activated in stagnant, calm water.

The effect of mechanical activation in siphon and in Channel water corresponds to karst hidrology notion and to its two basic systems: the geostructural karst system and the system of concentrated karst flow (Gams 1966). In the siphon water the mechanical activation of deep seepage water is expressed. It passes in soil and fissures net, characteristic for geostructural karst system, into more efficient filter as does the water in the channel. In stagnant seepage water the activity increases because of ions influence released from sediments, which is expressed in relatively the greatest mineralization capacity of water in Putick Lake. Further researches have to determine to which degree these processes are purely chemical or how much they are influenced by microorganisms. The explanation, coordinated with karst hydrography, can be a base for systematical choice of regions for certification of general validity of stated water properties. By such manner the knowledge of conditions in which *Proteus* lives will be enlarged and some incompatibilities of different statements of the authors will be explained. The published data (Briegleb 1962, Grzimek 1970) about the waters where *Proteus* lives indicate that the natural waters are acid (pH = 6,2—6,4) which is contrary to our measurements (pH = 7,2—8,3) and, moreover, difficult to be combined with carbonate properties of the waters in the karst.

Described research shows that the metabolic dynamic of underground waters is very much unknown and therefore the vital conditions of cave animals outside the natural milieu cannot be yet imitated. For the extreme endemite, as is *Proteus*, we can presume that long lasting laboratory breeding can greatly influence its reaction norms.

Acknowledgments

I am deeply indebted to acad. prof. dr. Andrej O. Župančič for his helpful and critical support. I wish to thank Institut Jožef Stefan and in particular prof. dr. L. Kosta and mgr. M. Dermelj for chemical analyses of microelements and the workers at Institut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna, for help in preparation and translation of manuscript. For the assistance in field and in laboratory I am much obliged to asist. A. Sojar and tech. asist. D. Musar. This work was supported by a research grant from Slovenian Research Council (RSS).

Literatura

- Aljančič, M. 1969: Contribution à la connaissance de l'écotopie du Protée. Actes du IV. Congres int. Speleol., 4—5, 11—14. Ljubljana.
- Bloesch, J. 1974: Sedimentation und Phosphorhaushalt im Vierwaldstättersee (Horwer Bucht) und im Rotsee. Schweizerische Z. Hydrol. 36 (1), 71—186. Basel.
- Briegleb, W. 1962: Zur Biologie und Ökologie des Grottenolms. Z. Morph. Ökol. Tiere 51, 271—334.
- Gams, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. Acta carsologica 4, 7—54. Ljubljana.
- Grzimek, B. 1970: Grzimeks Tierleben, 5. Lurche. Kindler Verl., Zürich.
- Habe, F. 1965: Les sources de la Ljubljana. Actes du IV. Congres int. Speleol., 1, 14—18. Ljubljana.
- (Hongve, D.) 1974: Hydrographical features of Nordbytjernet, a manganese — rich meromictic lake in SE Norway. Arch. Hydrobiol. 74 (2), 227—246. Stuttgart.
- Hutchinson, G. E. 1957: A treatise on limnology. John Wiley, New York.
- Geodetske meritve Rakovega rokava Planinske jame. Institut za raziskovanje krasa SAZU in Geodetski zavod SRS, 1970. Elaborat. Postojna.
- Istenič, L. 1971: Izhodišče za reševanje ekološke problematike človeške ribice *Proteus anguinus* Laur. 1768). Biol. vestnik 19, 125—130. Ljubljana.
- Jeannel, R. 1943: Les fossiles vivants des cavernes. Avenir de la Sci. Nov. Ser. 1.
- Megušar, F. in B. Sket 1973: On the nature of some organic covers on the cave-walls. Proc. VI. int. Congr. Speleol. 5, 159—161. Praga.
- Michler, I. 1955: Rakov rokav Planinske jame. Acta carsologica 1, 73—91. Ljubljana.
- Poulson, T. L. 1964: Animals in aquatic environments, animals in caves. In D. B. Dill (ed.) Handbook of Physiology, sect. 4, Adaptation to the environment. Wash. Ann. Physiol. Soc. 47, 749—771. Washington.
- Ruttner, F. 1952: Grundriss der Limnologie. Walter de Gruyter, Berlin.
- Savnik, R. 1960: Hidrografsko zaledje Planinskega polja. Geogr. vestnik 32, 213—221. Ljubljana.
- Sket, B. 1970: Predhodno poročilo o ekoloških raziskavah v sistemu kraške Ljubljane. Biol. vestnik 18, 79—87. Ljubljana.
- Stangerberg, M. 1959: Der biochemische Sauerstoffbedarf des Seewassers. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 11, 185—221. Pallanza.