

MIRJANA JANKOVIĆ

## PROMET GASOVA I SOLI U GROŠNIČKOJ AKMULACIJI

Većina akumulacionih bazena, bez obzira kojeg su stupnja trofije, pokazuje preko godine sasvim karakterističan raspored gasova i soli. Usled stalnog izvlačenja vode iz jezera remeti se stagnantnost gornjih jezerskih slojeva, tako da se u leto termoklina ne formira iznad dubine sa koje se crpe voda. Kako su ispusti za vodu najčešće u blizini dna, to ne dolazi do stratifikacije jezerske vode, već su hemijski elementi manje ili više ravnomerno raspoređeni u čitavoj vodenoj masi (Thienemann 1911, cit. Wundsch 1942). Međutim, u onim akumulacijama čija se voda slabo koristi i gde je uticaj pritoka vrlo ograničen, vodena strujanja su toliko mala da ne izazivaju gotovo nikakva vertikalna pomeranja jezerskih slojeva. Zato se u njima i javlja, tokom zime i leta, termička i hemijska slojevitost vodene mase. Takvom tipu akumulacije pripada i Grošničko jezero, u kome je naročito jasno izražena stratifikacija rastvorenog kiseonika i ugljen dioksida.

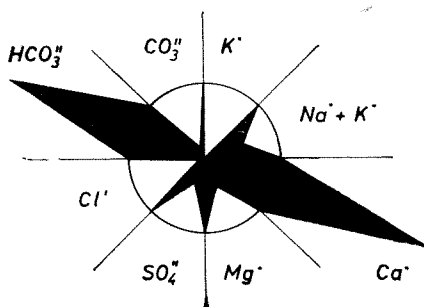
### METODIKA RADA

Hemijske analize vode Grošničkog jezera vršene su svakoga meseca u periodu april 1951 — novembar 1952. radi praćenja metabolizma rastvorenih gasova, pH i alkaliteta. Voda je zahvatana Fridingerovom bocom od 1 litra sa svaka 3 m na najdubljoj tački ispred brane. Da bi dobili predstavu o režimu gasova u toku stagnacione i cirkulacione periode na raznim delovima jezera analize su vršene na sva 3 profila u leto i jesen 1952. godine.

Određivanje sadržaja kiseonika vršeno je pomoću klasične Vinklerove metode sa bromiranjem po modifikaciji Alsterberga. Za analizu ugljene kiseline korišćena je Klut-ova metoda, dok je alkalitet određivan po Ohle-u, a pH po Clark-u. Utvrđivanje sezonskih promena u hemizmu trofogene zone Grošničkog jezera, na osnovu uzoraka vode iz površinskog sloja, obuhvatilo je jednu godinu, od jula 1951. do juna 1952. Ove totalne hemijske analize uradio je Ing. M. Zdravković, saradnik Instituta za ispitivanje materijala SRS u Beogradu.

## METABOLIZAM RASTVORENIH GASOVA I SOLI

U hemijskom pogledu voda Grošničkog jezera pripada Ca-bikarbonatnom tipu (Sl. 1). Oba ova jona dostižu vrlo velike vrednosti u toku go-



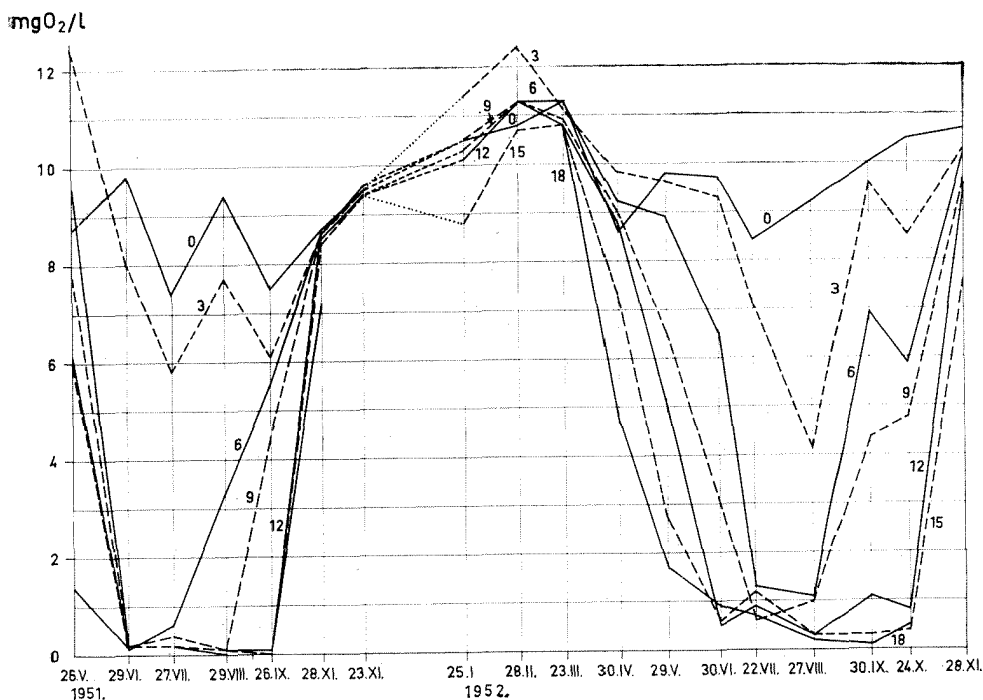
Slika 1. Hemijski tip vode Grošničkog jezera  
Fig. 1. Chemical type of water in the lake of Grošnica

dine, varirajući od 51,1—69,0 mg/l, odnosno od 146,4—244,0 mg/l. Sudeći po Oleovoj skali ovde je u pitanju voda bogata Ca, čije su glavne rezerve u bikarbonatima (Ohle 1934). Oni relativno malo premašuju sadržaj Ca-jona, što se potpuno poklapa sa standardom slatkih voda u svetu (Clarke 1924, cit. Stanković 1960, Rhode 1949). Izraženi u procentima od ukupne sume ekvivalenata,  $\text{HCO}_3^-$  su zastupljeni sa 5—13% više nego kalcijum. Od ostalih jona značajno mesto zauzima Mg, koji se ponekad, samo preko leta, javlja u manjim količinama od Na i K, dok se u jesenjim mesecima njihove vrednosti izjednačuju. Ipak, u najvećem delu godine sadržaj Mg je 2—3 puta veći od sadržaja natrijuma i kalijuma. U još manjim količinama sreću se sulfati; oni jedino u toku leta dostižu vrednost magnezijuma. Najmanje, međutim, ima hlorida. Prema tome, osnovna razlika između hemijskog sastava vode Grošničkog jezera i standardnog sastava slatkih voda sastoji se u daleko manjem prisustvu hlorida u Grošničkom jezeru, a u zimu i proleće još i smanjenom sadržaju Na i K.

## KISEONIK

Na dijagramu 2 i 3 prikazana je sezonska distribucija rastvorenog  $\text{O}_2$  u raznim jezerskim slojevima. Već na prvi pogled zapaža se određena periodičnost u rasporedu kiseonika tokom godine. U jesen se izobate najviše približavaju jedne drugima, kao posledica homotermnog stanja jezerske vode. Totalnim mešanjem vode površinski  $\text{O}_2$  se raspoređuje do najvećih dubina, tako da pred kraj cirkulacije svi slojevi imaju manjeviše isti sadržaj kiseonika. Homooksigenija Grošničkog jezera ne nastupa uvek u isto vreme, već je njena pojava vezana za meteorološke prilike

date godine. U 1951. primećena je krajem oktobra, dok se naredne godine javila tek početkom zime, pošto su u jesen duvali retki i relativno slabi vetrovi, koji su samo delimično izmešali jezersku vodu. Otuda su još novembarske analize pokazivale stratifikaciju  $O_2$ , doduše slabo izraženu. Sve do dubine od 6 m bilo je rastvoreno 10,66—10,21 mg/l  $O_2$ , a zatim je njegov sadržaj pao na 9 mg, izuzev najnižeg vodenog sloja, u kome je kon-

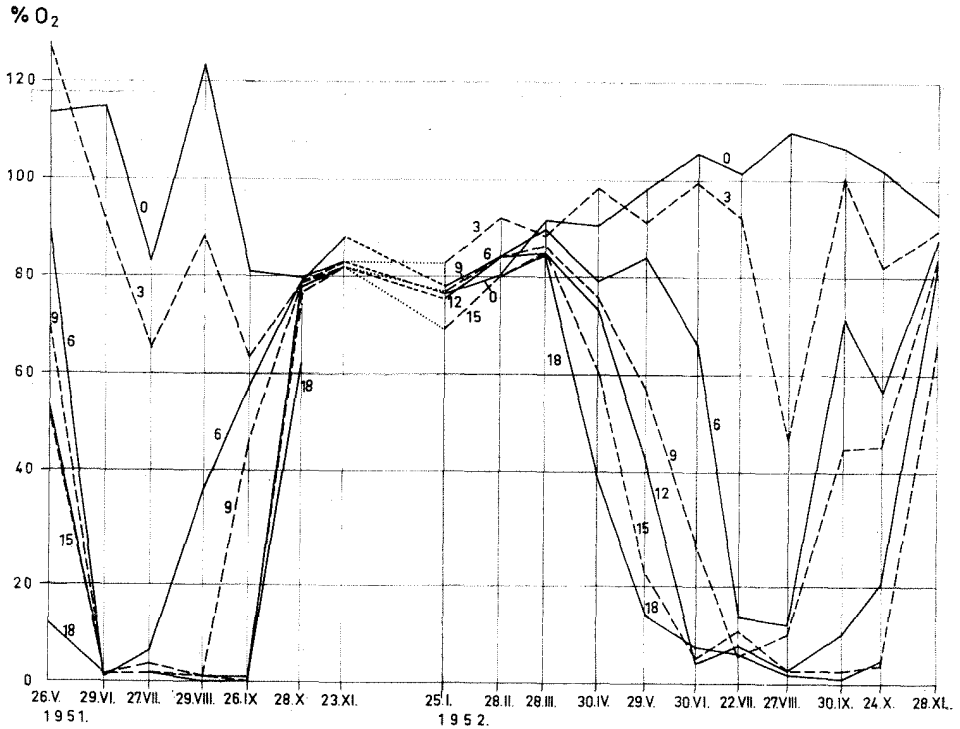


Slika 2. Sezonske promene u sadržaju rastvorenog kiseonika u toku 1951—1952 godine  
Fig. 2. Seasonal variations of the soluble  $O_2$  in the course of 1951 and 1952

statovano 7,70 mg/l. Prethodne jeseni javljaju se znatno manje razlike u vertikalnom rasporedu kiseonika; u oktobru su površinski slojevi imali 1,5 mg/l  $O_2$  više od dubinskih slojeva, dok je razlika između njih u novembru, kada je nastupila totalna homotermija, iznosila svega 0,1 mg/l.

Homooksigeno stanje zadržava se i preko zime, pa čak i za vreme ledenog pokrivača. U januaru 1952. godine, kada je bio formiran led na površini jezera, došlo je do izjednačavanja u sadržaju  $O_2$  u najvećem delu vodene mase. Nešto veći pad kiseonika javlja se tek iznad dna, uporedo sa najvećim termičkim gradijentom u tom sloju. (Tab. 1). Slabo izražena inverzna stratifikacija kiseonika u ovoj godini dovodi se pre svega u vezu sa relativno kratkim trajanjem ledenog pokrivača. Hemijske analize vr-

šene su posle 10 dana od zamrzavanja jezera, pa izolacija od atmosfere nije mogla da dođe do punog izražaja za tako kratko vreme. Osim toga, pred kraj januara zapaža se postepen porast nivoa jezera na račun unete vode preko Grošničke reke, koja zahvata površinske slojeve, s obzirom na temperaturu manju od 4°. Svakako da i ova voda ima izvesnog uticaja na vertikalnu distribuciju O<sub>2</sub> u datom momentu.



Slika 3. Sezonske promene u procentualnoj zasićenosti O<sub>2</sub> u toku 1951—1952 godine  
Fig. 3. Seasonal variations of O<sub>2</sub> saturation per cent in the course of 1951 and 1952

I u relativno plitkom jezeru Clear u Mičigenu takođe se zapaža skoro uniformni raspored sadržaja O<sub>2</sub> u svim dubinama u prvim danima ledenog pokrivača. Međutim, dužim trajanjem ledene kore na površini jezero sve više se smanjuje prisustvo kiseonika u većim dubinama, tako da se pred kraj zimske stagnacije javlja najveći gradijent između površinske i dubinske vode (Greenbank 1945). Sličan tok pokazuje i jezero Mendota, u Viskonzinu, s tim što ovde O<sub>2</sub> teži da opada uglavnom na dnu ne menjajući istovetan raspored u gornjoj polovini jezera. Iznad samog dna dolazi u ovom jezeru do velike redukcije u kiseoniku, dostižući pred kraj stagnacione periode vrednost od svega 1—2 mg/l (Berge and Juday 1911, cit. Hutchinson 1957). Naprotiv, najniži jezerski sloj Grošnič-

Tablica 1. Vertikalni raspored rastvorenog O<sub>2</sub> u toku 1951 i 1952 godine (u mg/l).Vertical distribution of soluble O<sub>2</sub> in the course of 1951 and 1952 (in mg/l).

		1951											1952										
m		26.V	29.VI	27.VII	29.VIII	26.IX	28.X	23.XI	25.I	28.II	28.III	30.IV	29.V	30.VI	22.VII	27.VIII	30.IX	24.X	28.XI				
0		3,71	9,80	7,42	9,41	7,51	3,69	9,52	10,51	10,81	11,29	8,63	9,81	9,73	8,41	9,24	10,01	10,54	10,66				
3		12,43	7,99	5,82	7,95	6,12	8,63	9,45	11,40	12,40	11,06	9,78	9,57	9,34	7,09	4,11	9,60	8,52	10,29				
6		9,61	0,10	0,57	3,30	5,49	8,62	9,61	10,55	11,35	11,31	9,17	2,90	6,46	1,33	1,07	6,94	5,91	10,21				
9		7,92	0,19	0,41	0,08	4,49	8,62	9,39	10,33	11,31	10,92	9,00	6,46	2,96	0,60	1,02	4,45	4,80	9,69				
12		6,17	0,24	0,39	0,09	0,06	3,53	9,42	10,10	11,26	10,79	3,76	5,04	0,51	0,90	0,29	1,12	0,80	9,62				
15		6,00	0,20	0,21	0,06	0,04	8,38		8,85	10,68	10,82	7,28	2,74	0,58	1,25	0,26	0,28	0,39	7,70				
17								9,67															
18		1,42	0,16	0,19	0,01	0,00	7,18		10,68	10,84	4,71	1,75	0,87	0,74	0,22	0,12	0,47						

kog jezera sadrži pod ledom prilično veliku količinu  $O_2$ , kao što je i Bombovna konstatovala u akumulaciji Gočalkovice (B o m b o v n a 1962). U poljskoj akumulaciji zabeleženo je zasićenje kiseonikom od 60%, i to pred kraj zimske stagnacije, a u našoj od 66%, mada bi se ovde kasnije svakako moglo očekivati znatno manje zasićenje. Daleko je veće smanjenje  $O_2$  zabeleženo u češkoj akumulaciji Viru. Tu je u moćnom vodenom sloju iznad dna (35 m) sadržaj kiseonika opao u toku zimske stagnacije za blizu 50% (Z e l i n k a 1960). Još je izrazitiji kiseonični deficit u vodojaži Jordan, gde je debeo ledeni pokrivač onemogućio rastvaranje kiseonika iz atmosfere i njegovo veće produkovanje od strane fitoplanktona, zbog čega je zasićenje ovim gasom donjih vodenih slojeva iznosilo svega 38% (M i t t i s k a and collab. 1962).

Po otapanju leda površinski slojevi su opet izloženi mešanju pod dejstvom pojačanih vetrova, usled čega sva vodena masa ima isti sadržaj  $O_2$ . Prolećna homooksigenija traje sve do naglijeg porasta temperature vazduha. Pod uticajem jače i duže sunčeve insolacije brže se zagrevaju površinski slojevi, povećava se fotosintetička delatnost zelenih algi i raste produkcija kiseonika. Već u mesecu aprilu otpočinje hemijsko stratifikovanje jezerske vode, koje se u početku ispoljava u naglom smanjenju sadržaja  $O_2$  u sloju vode iznad dna, debelom od 5 m, dok kasnije na kiseoničnu krivu vrlo mnogo utiče i sve veća aktivnost autotrofnih organizama. Povećana temperatura čitave jezerske vode u proleće omogućava intenzivnije biohemijske procese iznad dna, a sa tim i povećanu potrošnju raspoloživog kiseonika. Otuda se samo u toku jednog meseca njegova količina smanjuje za više od 50%, sa 10,84 mg/l u martu na 4,71 mg/l u aprilu. Daljim porastom temperature vode u letnjim mesecima stratifikacija kiseonika je sve izrazitija. Tada je u gornjim jezerskim slojevima, u kojima se produkuje organska materija, najveći sadržaj  $O_2$ , a zatim njegova količina progresivno opada prema dubini. Ovaj klinograđni tip vertikalne kiseonične krive zastupljen je, sa malim izuzetkom, u toku čitave letnje stagnacije, varirajući povremeno jedino u jasnijem izdvajanju epilimnetičke zone, upoređo sa istim promenama i u temperaturnoj krivoj. Samo u jednom slučaju, u maju 1951, zabeležena je pozitivna heterograđna kiseonična kriva; maksimum kiseonika javlja se u metalimnionu (12,43 mg/l), dok je iznad dna rastvoreno 1,42 mg/l  $O_2$ . Ovakav raspored  $O_2$  svakako je uslovljen naglim porastom temperature vode i masovnijim razvojem fitoplanktona, što je prouzrokovalo intenzivniju produkciju  $O_2$ , čak iznad tačke zasićenja (127 %).

Letnja stagnacija se manifestuje kiseoničnim prezasićenjem u površinskom sloju. Retko se dešava da i neki niži jezerski sloj dostiže tačku zasićenja, kao što je na primer zabeleženo u 2 maha na 3 m dubine. U slučaju lošeg vremena ne dolazi do veće produkcije  $O_2$  ni na samoj površini vode i tada je stepen zasićenja daleko ispod 100% (ponekad do 80%).

Treba istaći da je površinska voda slabo prezasićena kiseonikom, od 101,4—114,6%. U 1951. godini kraći je period sa sadržajem  $O_2$  iznad tačke zasićenja (maj—avgust), dok se narednog leta on proteže daleko u jesen, od juna do oktobra ,beležeći, međutim, znatno manje vrednosti (101,4—

Tablica 2. Zasićenost kiseonikom vode Grošničkog jezera u toku 1951 i 1952 godine (u ‰).

O<sub>2</sub> saturation of water in the lake of Grošnica in the course of 1951 and 1952 (‰).

		1951												1952													
m		26. V	29. VI	27. VII	29. VIII	26. IX	28. X	23. XI	25. I	28. II	28. III	30. IV	29. V	30. VI	22. VII	27. VIII	30. IX	24. X	28. XI	0	3	6	9	12	15	17	18
		113,5	114,6	83,0	123,4	81,2	79,7	83,1	76,4	80,3	91,6	90,3	97,9	105,3	101,4	109,9	106,7	102,1	93,2	113,5	127,0	90,0	71,0	54,5	52,7		
		90,6	90,6	65,0	88,3	63,3	78,8	83,1	84,5	92,3	88,4	98,3	91,1	99,7	92,4	46,8	100,4	82,1	89,7	90,0	90,0	1,0	1,8	1,8	1,8	1,8	12,3
		1,0	1,0	6,4	35,6	56,9	78,8	84,0	77,8	84,0	89,8	79,0	84,2	66,3	13,9	12,1	71,4	56,3	67,8	1,0	1,0	1,0	3,8	3,7	1,8	1,8	1,8
		1,8	1,8	3,8	1,0	46,2	78,7	82,2	76,7	84,0	86,4	75,7	56,7	28,0	5,4	10,0	45,1	45,5	83,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
		1,8	1,8	1,8	1,0	1,0	77,8	82,4	75,5	84,2	85,2	73,1	42,2	4,1	7,9	2,8	10,1	7,5	82,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
		1,8	1,8	0,9	0,0	0,0	76,8		65,9	79,7	85,1	60,4	22,6	5,0	10,6	2,7	2,7	3,8	66,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
								84,9																			
		12,3	1,8	1,8	0,0	0,0	62,1		79,5	84,8	38,9	14,2	7,4	6,2	1,8	0,9	4,7			12,3	12,3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

109,9%). Maksimalna vrednost javlja se u razdoblju juli—avgust, znači poklapa se sa periodom najintenzivnije produkcije organske materije. Jasno je, prema tome, da je prezasićenje kiseonikom gornjeg sloja u toku letnjih meseci biogeno uslovljen. Analiza gustine planktonskih algi pokazuje da one najveće numeričke vrednosti zaista postižu u drugoj polovini leta. (Tabl. 2.)

Prema literaturnim podacima postoji u mnogim jezerima znatno veći raspon u sadržaju površinskog  $O_2$ . Ispitivanja u severoistočnim jezerima Viskonzina pokazuju da površinski sloj vode dostiže i 146% zasićenosti (J u d a y and B i r g e 1932), dok u japanskim jezerima različitog stupnja trofije Jošimura nalazi čak do 194% (Y o s h i m o u r a 1938). Međutim, brojni podaci iz akumulacionih bazena svedoče o neuporedivo nižim vrednostima od gore navedenih. Dosta je čest slučaj da u toku leta površinski kiseonik nikada ne pređe tačku zasićenja (H a r r i s and S i l v e y 1940, K u b i č e k 1956, D i m i t r o v 1957) ili da se višak kiseonika javi samo povremeno, kao na primer u Vlasinskom jezeru (M i l o v a n o v i ć i Ž i v k o v i ć 1956), poljskim akumulacijama Porabka (S m a g o w i c z 1963) i Gočalkovice (B o m b o w n a 1962), u rezervoaru Atwood (W r i g h t 1954) i Bridgeport (H a r r i s and S i l v e y 1940) u Americi i još nekim drugim (N a j d e n o v 1964, M i t t i s k a and collab. 1962). Ređe su akumulacije u kojima je cela letnja stagnacija obeležena visokom produkcijom  $O_2$ . Takvu situaciju našao je Penak u relativno plitkim, od 3 do 12 m, rezervoarima Kolorada, gde se prezasićenje u kiseoniku javlja od proleća do kraja leta, dostižući maksimalnu vrednost od 267% (P e n n a k 1949). U češkoj akumulaciji Slapy prezasićenje površinskih slojeva kiseonikom ograničeno je na kraći vremenski period (V—VII), ali je procenat vrlo visok, od 119—237% (F i a l a 1962).

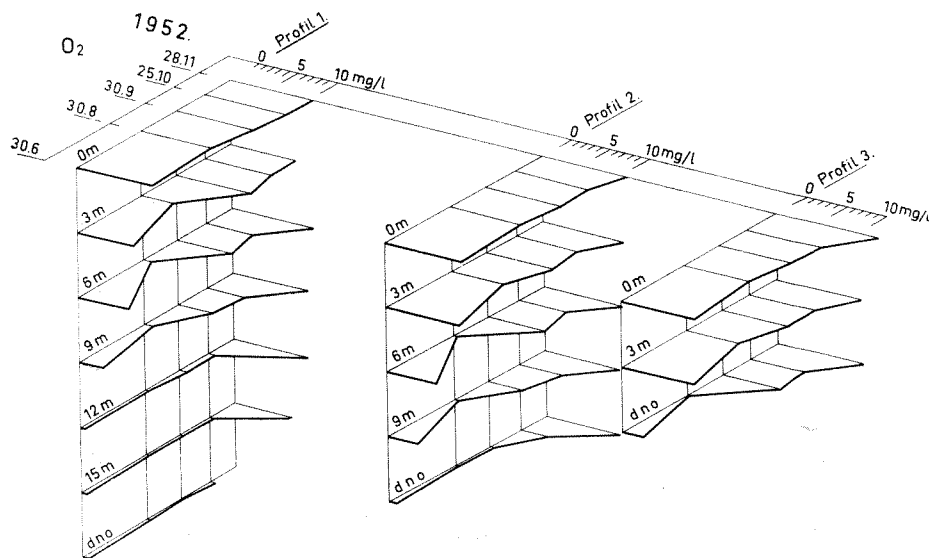
Nasuprot gornjim jezerskim slojevima, u kojima produkcija  $O_2$  znatno premaša njegovu potrošnju, donja trofolitička zona je u periodu letnje stratifikacije siromašna kiseonikom. Počev od sloja termičkog skoka sadržaj  $O_2$  naglo opada prema dubini, održavajući se zatim manje-više na istom nivou. Najmanja količina kiseonika javlja se dakle, u hipolimnionu, ali ako on nije dovoljno jasno izražen može se naći iznad samoga dna i to obično na početku i pred kraj letnje stagnacije. Redukcija kiseonika u donjim jezerskim slojevima otpočinje već u aprilu i proteže se sve do kraja oktobra, nakon koga dolazi do potpunog raslojavanja vodene mase. Ovaj hipolimnetički kiseonični deficit javlja se kao posledica trošenja  $O_2$  na oksidaciju organske materije i respiratorne procese biljnih i životinjskih organizama. U početku je potrošnja kiseonika slabija, a sa nastupanjem leta je sve intenzivnija, uporedo sa sve intenzivnijim procesima dekompozicije. Istim tempom smanjuje se i sadržaj  $O_2$ , tako da već od juna dolazi do gotovo totalne deoksigenacije hipolimnetičke vode. Od tog vremena pa sve do septembra, ponekad čak i do kraja oktobra, rastvoreni  $O_2$  ne prelazi vrednost od 0,87% mg/l, spuštajući se povremeno čak i do analitičke nule.

Veći kiseonični deficit konstatovan je u 1951. i njime je tada zahvaćena znatno veća zapremina donje jezerske vode nego u 1952. godini. U



procentima zasićenosti hipolimnetički  $O_2$  varira od 0—6,4‰ u prvoj godini, a u drugoj od 0,9—10,6‰. Vrlo je važno istaći da je polovina jezerske vode (45‰) imala svega 0,5 mg/l  $O_2$  u toku juna i jula 1951. godine, a narednog meseca još i manje (0,1 mg/l), mada je on tada konstatovan u 27‰ od zapremine bazena. Međutim, u 1952. godini najčešće je 14‰ od vodene mase pokazivalo veliki aktuelni deficit u  $O_2$ , od 9,80—10,84 mg/l. Jedino su u julu osiromašeni kiseonikom još neki slojevi, što je iznosilo ukupno 27‰ od celokupne jezerske zapremine. Prema tome, u 1951. godini je došlo do gotovo totalne deoksigenacije cele hipolimnetičke zone, dok je iduće godine toga bio pošteđen gornji hipolimnion.

Sličan je slučaj i sa Vlasinskim jezerom, u kome je za vreme ispitivanja zabeležena, u dužem ili kraćem razdoblju, vrlo mala aktuelna zasićenost  $O_2$  u slojevima dubljim od 9 m, što odgovara zoni hipolimniona (Milovanović i Živković 1956). Uopšte se može reći da je u akumulacionim bazenima čest slučaj velikog kiseoničnog deficita u dubinskim vodenim slojevima, naročito odmah posle formiranja jezera, kada je vrlo intenzivno raspadanje potopljene kopnene vegetacije (Harris and Silvey 1940, Stundl 1941, Haempel und Stundl



Slika 4. Horizontalni raspored  $O_2$  po uzdužnom profilu u toku letnje stagnacije i jesenje cirkulacije

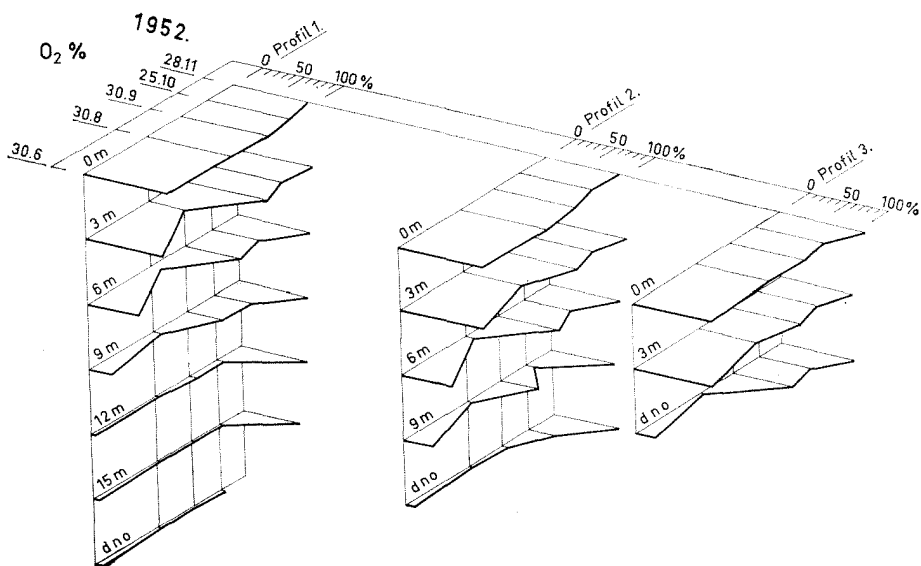
Fig. 4. Horizontal distribution of  $O_2$  ao the longitudinal profile during summer stagnation and autumnal circulation

1943, Lyman 1944, Baranov 1954, Dimitrov 1957, Zelinka 1960, Roll und Zebb 1961, Mittiska and collab. 1962).

Gornja analiza izvršena je na osnovu podataka dobijenih sa najdublje tačke jezera, gde je sezonsko zoniranje vodene mase najizrazitije. Za upo-

ređenje kiseoničnog režima na raznim delovima jezera poslužiće rezultati analiza gasova u letnjem i jesenjem periodu 1951. godine na najdubljim tačkama sva tri profila (Sl. 4, 5).

Sudeći po prosečnoj količini kiseonika u celokupnoj jezerskoj vodi, najplići delovi jezera imaju najviše ovoga gasa. Analizirajući svaki mesec pojedinačno dobijamo često i preko 50% više kiseonika na profilu 3 u poređenju sa njegovom količinom ispred brane, dok se drugi profil u tom pogledu nalazi na sredini. Ovolika razlika u horizontalnom rasporedu  $O_2$  prouzrokovana je time, što je u jezerskim regionima sa većim dubinama jasno izdvojena hipolimnetička zona koja je u gotovo svim analiziranim mesecima bila vrlo osiromašena  $O_2$ , dok u isto vreme najplići profil obično leži u zoni epilimniona, bogatoj kiseonikom. Zato se mnogo re-



Slika 5. Zasićenost kiseonikom vode Grošničkog jezera po uzdužnom profilu u toku letnje stagnacije i jesenje cirkulacije

Fig. 5.  $O_2$  saturation of water in the lake of Grošnica at the longitudinal profile during summer stagnation and autumnal circulation

alnija slika dobija ako se na raznim tačkama jezera uporedi sadržaj  $O_2$  u vodenoj masi sve do najveće dubine trećeg profila. Tada konstatujemo da su variranja između profila neznatna (prof. 1 od 4,8—10,4mg/l; profil 2 od 5,4—10,5 mg/l; profil 3 od 5,0—11,0 mg/l), što znači da je kiseonični režim isti na čitavoj površini jezera. Ipak treba istaći da u površinskom sloju pomenute vodene mase postoje izvesna odstupanja u tom smislu, što se u vreme letnje stagnacije najmanje kiseonika produkuje na profilu 3, gde on samo u junu prelazi tačku zasićenja. U istom tom periodu je, me-

đutim, na jezerskim regionima sa srednjom, a naročito sa najvećom dubinom bilo konstatovano stalno prezasićenje kiseonikom.

Jezerski slojevi koji leže ispod maksimalne dubine trećeg profila, u ispitivanom periodu od 6 odnosno 9 m pa naniže, imaju znatno manji sadržaj O<sub>2</sub>. (Tab. 3). Naročito je velika razlika u slojevima bliže dnu, gde se vrednost kiseonika i na prvom i na drugom profilu spušta ispod 1 mg/l. U sloju iznad samoga dna količina O<sub>2</sub> varira u razdoblju juni—oktobar od 0,12—0,87 mg/l u prvom slučaju, a u drugom u većim granicama, od 0,27—3,51 mg/l; odgovarajuće procentualne vrednosti su 1,8—4,7‰, odnosno 2,5—33,2‰. I na najplićem profilu je jednom, u avgustu, konstatovan nagli pad O<sub>2</sub> u najdubljem sloju vode (0,08 mg/l ili 0,9‰). Verovatno da bi se tako niska vrednost kiseonika javila i u julu, s obzirom da je i tada bila vrlo visoka temperatura vode. Na taj način, voda koja obliva jezersko dno najduže je sa neznatnom količinom O<sub>2</sub> na profilu blizu brane, dok se taj period sve više skraćuje u pravcu najplićeg dela jezera. Usled manjih dubina na drugom i trećem profilu površinski kiseonik će ranije dospeti do najdubljih slojeva, što znači da će se kiseonički deficit iznad dna javiti u većem ili manjem broju letnjih meseci već prema datoj dubini samoga jezera. Konkretno, niske vrednosti O<sub>2</sub> iznad dna izostaju na srednjim jezerskim dubinama u mesecu oktobru, a u gornjem delu jezera čak i u septembru. U stvari nagao pad kiseonika u nekom mesecu javlja se u istom sloju na svim profilima: u junu i septembru konstatovan je na profilu 1 i 2 počev od 12 m, u avgustu na sva tri profila ispod 9 m, a u oktobru samo na prvom profilu opet niže od 12 m. Ovo ukazuje da na horizontalnu distribuciju rastvorenog O<sub>2</sub> ne utiče oblik jezerskoga dna, već je u tome odlučujuća dubina na kojoj leži odgovarajući vodeni sloj, bez obzira koliko je on udaljen od dna na pojedinim delovima jezera. U svetlosti toga postaje razumljivo što u periodu ranije stratifikacije nije najdublji sloj vode na čitavom jezeru uvek jako siromašan kiseonikom, već samo onda kada je osiromašena donja vodena masa počev od sloja koji odgovara poslednjoj izobati najplićih delova jezera (Tab. 4). Međutim, u akumulaciji Cherokee (Tenesi) je u dubinskoj vodi utvrđen drukčiji raspored kiseonika po uzdužnom profilu. Lyman je tu našao da u plićim delovima jezera O<sub>2</sub> iščezava u čitavom hipolimnionu, dok se u dubljim regionima još uvek nalazi u gornjem hipolimnionu i dostiže progresivno veću koncentraciju na svakoj tački bliže brani (Lyman 1944).

Svakako da je horizontalna distribucija O<sub>2</sub>, naročito u donjim jezerskim slojevima, od posebnog interesa za materijalni promet Grošničkog jezera, pošto količina ovoga gasa u kontaktnoj vodi reguliše jonsku razmenu između mulja i vode. U prisustvu O<sub>2</sub> od samo nekoliko miligrama stvara se na površini mulja oksidaciona mikrozona koja usled velike absorptivne moći drži regenerisane soli, oslobođene u mulju, i sprečava njihovu difuziju u jezersku vodu. Međutim, kada sadržaj kiseonika padne na 0,5 mg/l ili niže oksidaciono-redukциони potencijal dostiže kritičnu vrednost i tada redukциони procesi zamenjuju oksidacione. U mulju se redukuju do tada nerastvorljive oksidovane soli, gubi se dakle oksidaciona ba-



rijera i oslobođeni joni nesmetano prelaze u hipolimnion (Mortimer 1941/1942).

Polazeći od ovih konstatacija može se zaključiti da na najvećem delu Grošničkog jezera ne dolazi preko leta do obrazovanja oksidacione mikrozone, tako da je ovde u relativno dugom periodu (4—5 meseci) omogućeno prelaženje rastvorenih supstanci iz mulja u vodu. Na taj način, regenerisane hranjive soli ponovo se vraćaju u vodu i turbulentnim strujama dalje prenose u trofogenu zonu, gde ih autotrofni organizmi koriste za stvaranje nove organske materije. Međutim, na najplićem delu jezera redukcionni uslovi vladaju u uskom vremenskom razmaku, najviše do 2 meseca, što pokazuje da se ovde slabije koriste soli koje se oslobađaju u mulju pri mineralizaciji uginule organske materije. S druge strane, na ograničenijem prostoru jezerskoga dna vladaju preko leta povoljni respiratorni uslovi za dato naselje, dok je pretežan deo podloge sa nepovoljnim kiseoničnim režimom u to vreme, pošto se u relativno moćnom sloju dubinske vode (od 6—12 m) sreće znatno manje od 2 mg/l O<sub>2</sub>, što inače predstavlja donju granicu za normalan život beskičmenjaka dna (Ohle 1952).

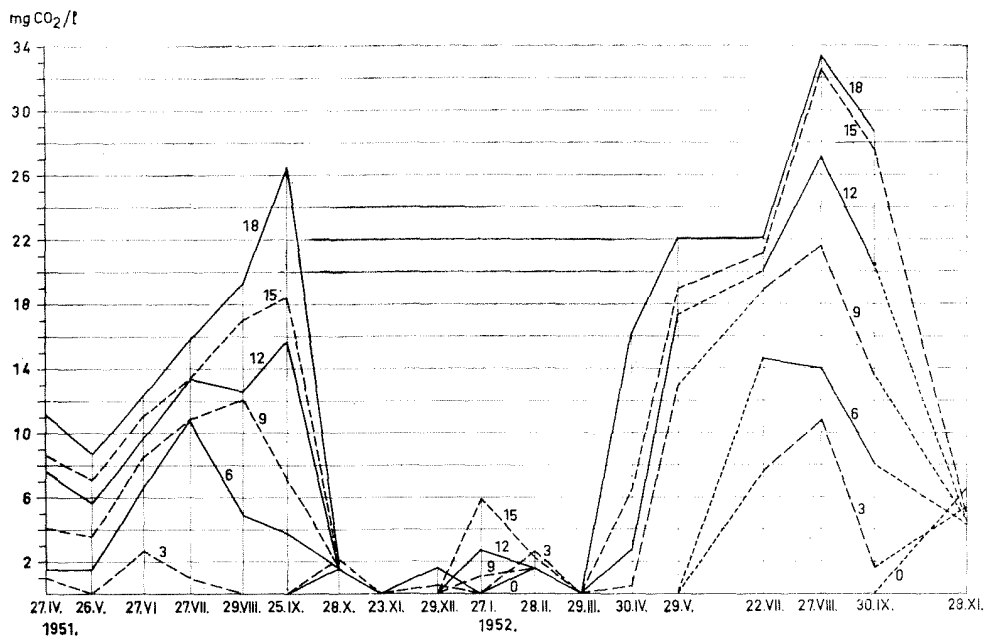
### UGLJENA KISELINA

Sadržaj CO<sub>2</sub> vrlo mnogo varira u vodi Grošničkog jezera, i to kako u toku sezona tako isto i u raznim godinama. On se javlja od analitičke nule pa sve do 33,2 mg/l. Veće vrednosti postignute su u 1952. godini, kada je uopšte u jezeru bio znatno intenzivniji materijalni promet. U površinskim slojevima najčešće je potpuno utrošen slobodan CO<sub>2</sub>, tako da se tu javljaju samo suspendovani monokarbonati a jedino preko zime i u kasnu jesen ostaje još izvesna količina neiskorišćenog ugljen dioksida. Naprotiv, najveća količina CO<sub>2</sub> u trofolitičkoj zoni, gde se on upravo produkuje, vezana je za tople mesece, dok se minimalne vrednosti javljaju preko zime.

Slično rastvorenom O<sub>2</sub> i slobodan CO<sub>2</sub> pokazuje jasan sezonski periodicitet (Sl. 6). Za vreme cirkulacionih perioda čitava vodena masa sadrži manje-više istu količinu CO<sub>2</sub>. U jesen se zapaža veće prisustvo ovoga gasa nego u proleće. Tako je u oktobru 1951. godine varirao od 1,6—2,2 mg/l, a pred kraj jeseni iduće godine čak od 3,8—6,5 mg/l. Svakako da je u to vreme još uvek trajala mineralizacija sveže uginulih planktonskih organizama i oslobađanje CO<sub>2</sub> koji je ostao neiskorišćen zbog smanjene potrošnje u fotosintezi. Međutim, u periodu totalne prolećnje cirkulacije, u martu, zapaža se u svim slojevima, osim najnižeg, određena količina monokarbonata (3,6—5,4 mg/l), što ukazuje na već povećanu aktivnost planktonskih algi u stvaranju organskih supstanci i pored još uvek relativno niske temperature vode (oko 6° C). Masovnije razviće diatomeja u ovom mesecu nije imalo na raspolaganju agresivnog CO<sub>2</sub>, a i slobodan ugljen dioksid se javio u vrlo maloj količini, tako da su za pokriće svoje fotosintetičke delatnosti ove alge koristile i bikarbonatni CO<sub>2</sub>, oslobađajući pri

tome monokarbonata. I u mnogim severnonemačkim jezerima eutrofnog tipa prolećnja cirkulacija se takođe karakteriše prisustvom karbonata u čitavoj vodenoj masi, ali u jesen ne dolazi do njihovog izdvajanja (O h l e 1934).

I za vreme zimske cirkulacije  $\text{CO}_2$  je gotovo uniformno raspoređen čitavom dubinom jezera (Sl. 7). Ali kada se na površini vode formira le-



Slika 6. Sezonske promene u sadržaju  $\text{CO}_2$  u toku godine

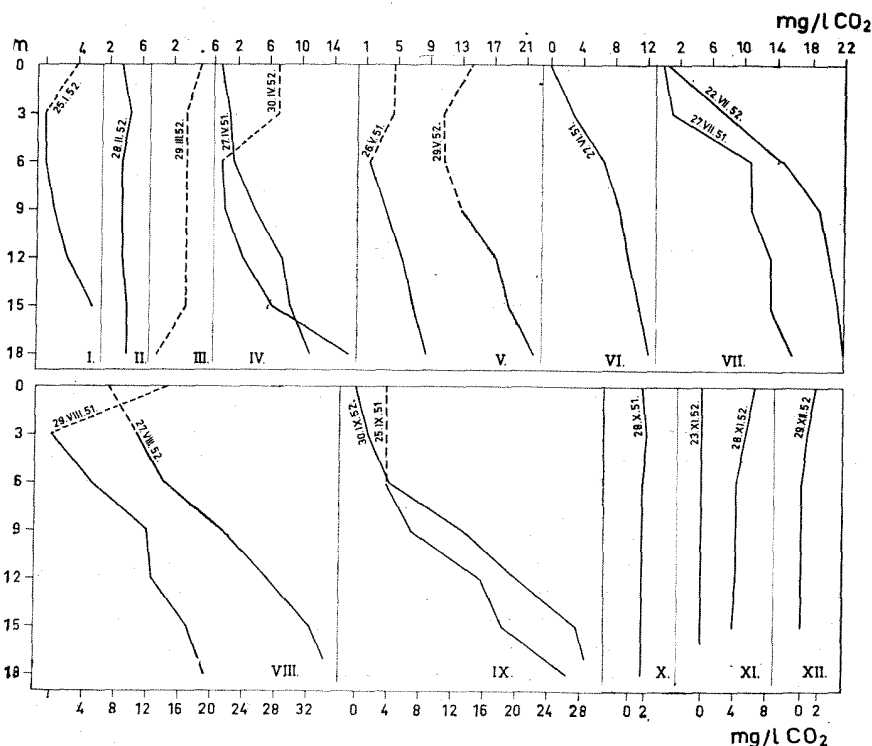
Fig. 6. Seasonal variations of the  $\text{CO}_2$  content in the course of 1951 and 1952.

deni pokrivač dolazi do stratifikacije ovoga gasa. Vertikalna kriva pokazuje sledeći raspored: u površinskom sloju su zastupljeni karbonati, niže se javljaju samo bikarbonati, a tek od 9 m progresivno raste  $\text{CO}_2$  i iznad dna dostiže vrednost od 5,9 mg/l. Ovakva distribucija  $\text{CO}_2$  pokazuje da se i pod ledom odigravaju fotosintetički procesi, pri čemu se u nedostatku dovoljne količine  $\text{CO}_2$  troše njegove zalihe iz bikarbonata. To potvrđuje i znatno manje prisustvo površinskog  $\text{HCO}_3^-$  u poređenju sa njegovim sadržajem iznad dna. Na osnovu ove razlike dobijamo da je u fotosintezi razloženo 0,29 mvl  $\text{HCO}_3^-$ , što od ukupnog alkaliteta iznosi 70%.

Da se organska materija stvara i pod ledenim pokrivačem utvrđeno je i u drugim jezerima. Kao eklatantan primer za to može da posluži gasni režim preko zime u jednoj plitkoj akumulaciji Kolorada (Gaynor). Zahvaljujući gustoj planktonskoj populaciji i ledu bez stalnog snežnog pokri-

vača postignuta je ovde preko zime prezasićenost O<sub>2</sub> čak do 267<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, dok se s druge strane tokom cele godine javlja »negativna vrednost« CO<sub>2</sub>, od -10,1 do -38,5 mg/l (P e n n a k 1949).

Neka ispitivanja na transmisiji svetlosti kroz led različitog kvaliteta i debljine potvrđuju mogućnost aktivnosti zelenih biljaka pod ledenim pokrivačem. Izgleda da je količina sunčeve radijacije koja prodre kroz srednje providan led čak i od 45—60 cm debljine dovoljna da podmiri potrebe fotosinteze, ali u slučaju da je led prekriven snegom svetlost se redukuje ispod kompenzacione tačke (G r e e n b a n k 1945).



Slika 7. Vertikalna distribucija CO<sub>2</sub> u toku godine

Fig. 7. Vertical distribution of CO<sub>2</sub> in the course of the year

Letnja stagnacija je obeležena jasnom stratifikacijom CO<sub>2</sub>. Usled stvaranja organske materije u gornjim vodenim slojevima povećava se potrošnja raspoloživog CO<sub>2</sub> i naglo smanjuje njegova količina. Naprotiv, vodena masa ispod trofogene zone obogaćuje se ovim gasom na račun organskog raspadanja i disimilacije živih organizama. Otuda je vertikalna kriva CO<sub>2</sub>, slično kiseoničnoj, klinogradnog tipa ali u obrnutom smislu.

U površinskom sloju vode dolazi do potpunog utroška slobodnog CO<sub>2</sub>, a češće i do pojave njegovih »negativnih vrednosti«. To se dovodi u vezu sa aktivnijim fotosintetičkim procesima, kada alge u nedostatku slobodnog CO<sub>2</sub> koriste vezan iz bikarbonata, pri čemu se izdvaja CO<sub>3</sub>. Za vreme najintenzivnije fotosinteze dolazi do obrazovanja najveće količine karbonata. Maksimalna vrednost od preko 14 mg/l postignuta je u avgustu 1951. i maju 1952. godine. Nije redak slučaj da su i niži slojevi epilimniona sa »negativnim vrednostima« CO<sub>2</sub> i da se to dešava već na početku i pred kraj stagnacione periode. U tim krajnjim slučajevima izgleda da pojava monokarbonata nije uvek odraz visine produkovanja organske materije, već i rezultat zalihe slobodnog CO<sub>2</sub> koja biljkama stoji na raspolaganje. Tako je krajem aprila 1952. godine konstatovano 7,2 CO<sub>3</sub> u čitavom epilimnionu, mada u isto vreme nije zapažen veći porast sadržaja O<sub>2</sub> u odnosu na raniji mesec. S druge strane, maja prethodne godine epilimnion je imao manju količinu karbonata (4,5 mg/l), ali je bio prezasićen kiseonikom. Svakako da je pojava CO<sub>3</sub> u ovim slučajevima bila uslovljena različitim agensima. Pošto je u martu 1952. godine nastupila totalna prolećnja cirkulacija, koja se karakterisala prisustvom karbonata gotovo čitavom dubinom jezera, to kasnije nije bila potrebna naročito velika aktivnost biljaka da još nešto malo poveća sadržaj CO<sub>3</sub>. Međutim, kod drugog primera je svakako u pitanju intenzivnija fotosintetička delatnost fitoplanktona, u kojoj je najpre iskorišćen postojeći CO<sub>2</sub>, a tek kasnije je došlo do biogenog izdvajanja karbonata.

Za razliku od gornjih jezerskih slojeva, u kojima je retko kada konstatovano prisustvo slobodnog CO<sub>2</sub>, donja vodena masa ima znatne količine ovoga gasa. On se uvek javlja u hipolimnetičkoj zoni ali se može u manjim količinama naći i u donjem metalimnionu. Već na početku stagnacione periode, kada je termoklina vrlo visoko postavljena, otpočinje oslobađanje CO<sub>2</sub> u dubljim slojevima vode dostižući iznad dna vrednost od 11,2—16,2 mg/l. Sa postepenim zagrevanjem hipolimniona u toku leta i intenzivnijim procesima organske dekompozicije povećava se i sadržaj CO<sub>2</sub>. U tom periodu njegova količina varira od 0,5—33,2 mg/l. Najveća vrednost zabeležena je u avgustu obe godine, i to ne samo iznad dna, već i u čitavoj hipolimnetičkoj zoni (od 12,1—19,3 mg/l u 1951. i 21,6—33,2 mg/l u narednoj godini). I u ostalim toplim mesecima 1952. dolazi do veće produkcije CO<sub>2</sub>. Svakako da je to uslovljeno bržim tempom taloženja uginulih organizama na dno i njihovim raspadanjem, bez obzira što je dubinska voda imala tada u proseku nešto nižu temperaturu nego u prethodnoj godini.

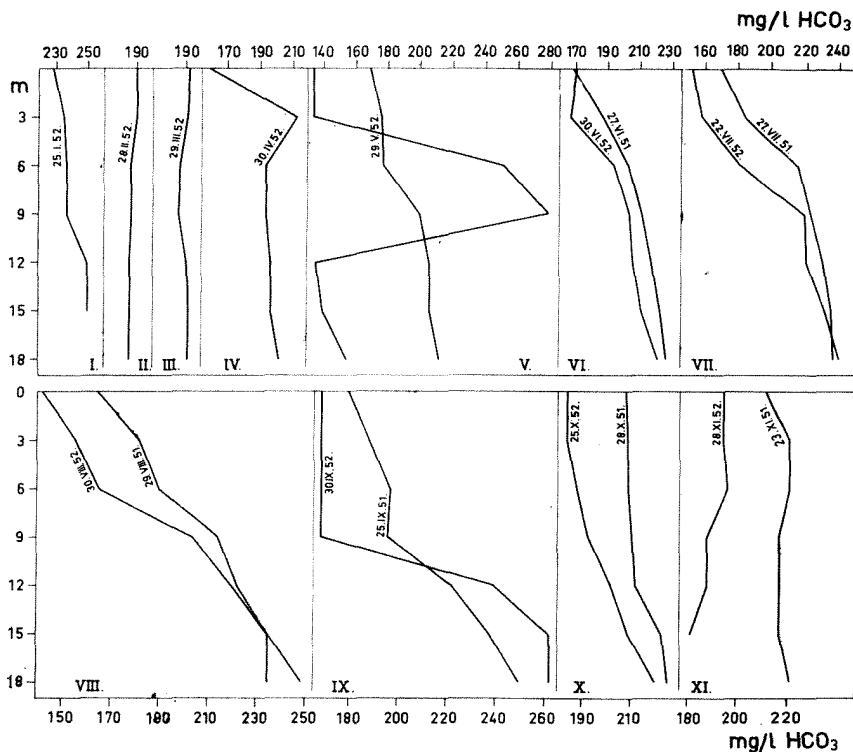
Velika količina CO<sub>2</sub> u hipolimnionu Grošničkog jezera ukazuje na njegovu akumulaciju preko leta, što je inače karakteristično za jezera sa visokom organskom produkcijom. Pošto stanje ugljen dioksida daje predstavu o količini stvorene i mineralizovane organske materije, njegovo nagomilavanje u hipolimnionu može da posluži kao indikator za organsku produkciju trofogene zone (O h l e 1934). Međutim, ovaj zaključak ne bi mogao u potpunosti da se primeni na Grošničko jezero, u kome najveći deo organskih materija u mulju vode alohtono poreklo. U ovom slučaju



produkovani  $\text{CO}_2$  ne potiče isključivo od sedimentisane materije stvorene u samom jezeru, pa stoga ni ne može tačno da odražava visinu njegove organske produkcije.

### BIKARBONATI

Voda Grošničkog jezera se odlikuje velikom količinom bikarbonata (Sl. 8). Oni u toku dvogodišnjih ispitivanja variraju od 128,1 do 271,4 mg/l.



Slika 8. Vertikalna distribucija  $\text{HCO}_3$  u toku godine.

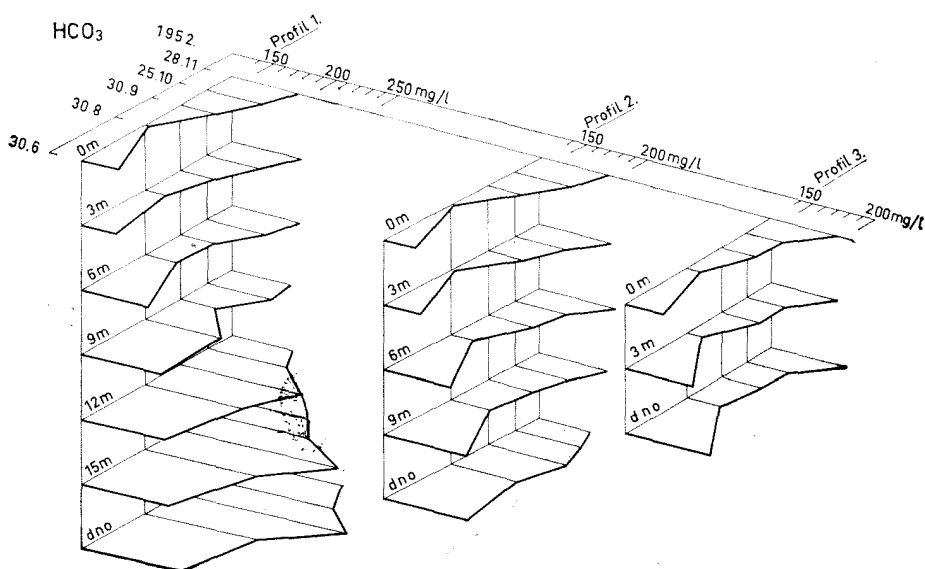
Fig. 8. Vertical distribution of  $\text{HCO}_3$  in the course of the year

Ovolika količina  $\text{HCO}_3$  ukazuje na veoma povoljne uslove za fotosintetičku delatnost autotrofnih organizama, pošto u ovoj vodi ne pretil opasnost od pomanjkanja  $\text{CO}_2$  zbog njegovih neiscrpnih zaliha u bikarbonatima. Zato je prema Minderu poluvezani ugljen dioksid najvažniji izvor bogatstva u Čiriškom jezeru (M i n d e r 1923).

Hladan period godine karakteriše se najvećom količinom  $\text{HCO}_3$ . U to vreme njegov sadržaj je gotovo isti u čitavoj vodenoj masi. Jedino se u

januaru, pod ledenim pokrivačem, zapaža nešto veća akumulacija bikarbonata u dubinskim slojevima, što se dovodi u vezu sa biogenim izdvajanjem  $\text{CO}_2$  na površini jezera i njegovim rastvaranjem iznad dna u prisustvu agresivnog  $\text{CO}_2$ .

Međutim, u periodu letnje stagnacije, uporedo sa povećanjem asimilacije fitoplanktona, smanjuje se i količina  $\text{HCO}_3^-$  u površinskim slojevima (Sl. 9). Tada se javlja minimum bikarbonata i iznosi 128,1—197,6 mg/l u 1951, odnosno 154,3—217,1 mg/l u 1952. godini. Zbog pojave karbonata u gornjoj jezerskoj vodi sadržaj  $\text{HCO}_3^-$  se ne poklapa uvek sa vrednošću za ukupni alkalitet. Stalnim izvlačenjem  $\text{CO}_2$  iz bikarbonata u procesima



Slika 9. Horizontalni raspored  $\text{HCO}_3^-$  po uzdužnom profilu u toku letnje stagnacije i jesenje cirkulacije

Fig. 9. Horizontal distribution of  $\text{HCO}_3^-$  at the longitudinal profile during summer stagnation and autumnal circulation

fotosinteze neprestano opada njihova količina na površini. Iz istih razloga je, naprotiv, u hipolimnionu povećano prisustvo  $\text{HCO}_3^-$ . On ovde varira od 202,5—271,4 mg/l. Ovakav raspored bikarbonata pokazuje da u Grošničkom jezeru dolazi preko leta do njegove jasne stratifikacije, pri čemu se na površini javljaju znatno manje vrednosti, a prema dnu se progresivno povećavaju. Hipolimnetičko  $\text{HCO}_3^-$ , izraženo u procentima po metru dubine, jasno odražava intenzitet stvaranja organske supstance kroz biogeno taloženje monokarbonata u hipolimnionu iz gornjih jezerskih slojeva, gde ih slobodan  $\text{CO}_2$  rastvara u bikarbonate. U hipolimnionu Grošničkog jezera zabeleženo je veliko nagomilavanje  $\text{HCO}_3^-$ . Ono je sve izrazitije tokom letnje stagnacije i dostiže veću prosečnu vrednost u 1951.



godini, 0,98% prema 0,66 % u 1952. (Tab. 5). Ole je u jezerima severne Nemačke otkrio zavisnost između trofije jezera i stratifikacije  $\text{HCO}_3$  ističući da sadržaj bikarbonata u hipolimnionu eutrofnih jezera raste od 0,23—1,00% i više na svaki metar dubine (O h l e 1934). Prema tome, prosečno povećanje  $\text{HCO}_3/\text{m}$  u Grošničkom jezeru, koje u toku svih ispitivanja iznosi 0,78%, pokazuje da se ovo jezero nalazi na visokom stupnju trofije.

### REAKCIJA VODE

S obzirom na relativno malu količinu  $\text{CO}_2$  u gornjoj vodenoj masi i na velike vrednosti za alkalitet, reakcija vode se nikada ne spušta ispod tačke neutralnosti. Ona ovde varira u granicama 7,4—8,2. Preko leta, kada je jezero stratifikovano i kada je hipolimnion bogat ugljenom kiselinom, pH se naglo smanjuje prema dubini, ali se i tada zadržava iznad granice neutralnosti. Stratifikacija pH je naročito jasno izražena kada se u površinskim slojevima javlja znatna količina monokarbonata, kao na primer u avgustu 1951. godine. Tada je razlika u reakciji između površinske i dubinske vode iznosila 0,7, dok je bila daleko manja u prisustvu male količine  $\text{CO}_2$ . U periodu prolećne i jesenje cirkulacije pH se izjednačuje na svim dubinama, dostižući niže vrednosti, od 7,5—7,6.

### SEZONSKA FLUKTUACIJA RASTVORENIH SOLI

Sudeći po ukupnoj količini elektrolita, koja u toku godine varira od 200—248 mg/l, Grošničko jezero se nalazi na granici niskog i srednjeg stupnja mineralizacije. Količina rastvorenih soli najveća je preko zime (230—248 mg/l), a već od proleća, kada otpočinju intenzivniji životni procesi, njihov sadržaj polako opada i minimum dostiže pred kraj leta (avgust — septembar).

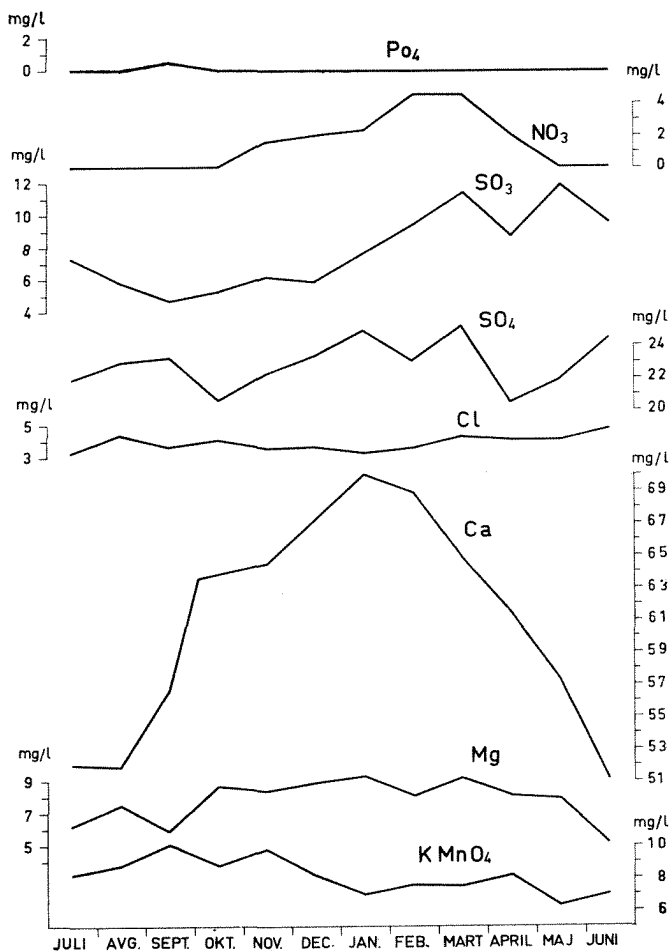
I pored dovoljne količine ukupnih soli, upravo one koje su najvažnije za život producenata organske materije zastupljene su minimalno.

Od posebnog je interesa sadržaj fosfata, pošto su oni prisutni u najmanjim količinama od svih biogenih soli, pa se stoga javljaju kao ograničavajući faktor u produkciji fitoplanktona. U trofogenoj zoni Grošničkog jezera  $\text{PO}_4$  su odsutni gotovo cele godine. Jedino se pred kraj letnje stagnacije sreću u tragovima, a u septembru čak dostižu vrednost od 0,50 mg/l (sl. 10).

Ciklus fosfora ovoga jezera pokazuje da porast u sadržaju  $\text{PO}_4$  nije uslovljen redukcijom gustine planktona, niti je njihov pad izazvan maksimalnom produkcijom planktonskih algi. Slično je konstatovano i u tekstaškim akumulacijama, ali je u njima sadržaj  $\text{PO}_4$  vrlo veliki, varira od 0,20—0,92 mg/l (Harris and Silvey 1940).

Međutim, u većini veštačkih i prirodnih jezera fluktuacija fosfata preko godine je u skladu sa razvićem zelenih algi. U toplom periodu go-

dine, kada je razviće ovih organizama intenzivnije, povećana je potrošnja  $PO_4$ , dok se preko zime ili u rano proleće javlja maksimum ovih soli u vezi sa slabom aktivnošću fitoplanktona. U eutrofnim vodama fosfati mogu potpuno da iščeznu iz epilimniona za vreme glavne vegetacione periode i tada predstavljaju materiju u minimumu (Gessner 1935).



Slika 10. Sezonske promene u rastvorenim solima  
 Fig. 10. Seasonal variation of soluble salts

Takva pojava zabeležena je u češkoj akumulaciji Slapy, u kojoj se inače fosfati javljaju u relativno znatnim količinama, od 0,08—0,20 mg/l (Fiala 1962). Isti je slučaj sa Ciriškim jezerom (Minder 1939) i jednim plitkim jezerom u Japanu, Takasaka (Yoshimura 1932), u čijim

je gornjim vodenim slojevima sasvim iscrpljen sadržaj  $PO_4$  za vreme letnje stagnacije.

Međutim, Berdž i Džudi (Birge and Juday 1928) su u nekim jezerima Viskonzina utvrdili nesmanjeno prisustvo fosfata u trofogenoj zoni uprkos visokoj produkciji fitoplanktona preko leta. To isto navode Hempl i Štundl (Haempel und Stundl 1943) za Frainer akumulaciju, u kojoj fosfati nikada potpuno ne iščezavaju, već se uvek nalaze u minimalnim količinama i pored pojave vodenog cveta u leto i jesen. Cimljanska vodojaža ima takođe znatnu količinu fosfata u periodu intenzivnog razvića fitoplanktona varirajući od 0,030—0,500 mg/l (Baranov 1954).

Gotovo permanentno odsustvo  $PO_4$  u epilimnionu Grošničkog jezera trebalo bi da prouzrokuje krajnje nisku produkciju fitoplanktona. To, međutim, ipak nije slučaj. Pitanje se onda postavlja šta je uzrok tako malim količinama fosfata u najvećem delu godine i odakle ih planktonske alge crpe za svoju reprodukciju. Jedno je potpuno jasno da je produkcija  $PO_4$  u ovom jezeru znatno manja od njene potrošnje. Verovatno da su ovde njihove zalihe neznatne, pa ih brzo utroši svaki iole povećan razvoj fitoplanktona.

Ne bi se moglo reći, bar na prvi pogled, da je pedološka podloga slivnog područja Grošničkog jezera nepodesna za veće prisustvo fosfor-nih soli. Oko 40% od okolnog terena predstavljaju obradive površine, a ostalo je pod šumom i livadama. Baranov je ogledima utvrdio da voda Cimljanske vodojaže ispira najviše mineralnog fosfora iz šumske podloge, 0,500—0,780 mg/l iz 10 gr. zemlje, a najmanje iz livadskog zemljišta (0,220—0,366 mg/l). Pašnjaci takođe odaju relativno veliku količinu P, od 0,130—4,500 mg/l (Baranov 1954). Šteta što u tom pogledu ne postoje podaci i za njive, pošto je to skoro najzastupljenija kategorija zemljišta na slivnom području Grošničkog jezera. Međutim, opravdana je pretpostavka da na obrađenim poljima, na kojima se primenjuju razne agrotehničke mere, treba da ima više fosfora nego na livadama, pa možda i pašnjacima, ali sve to zavisi od samog tipa zemljišta.

Teren oko Grošničkog jezera pripada skeletnom zemljištu koje je vrlo siromašno fosforom (sadrži lakopristupačnog  $P_2O_5$  ispod 1 mg/100 gr zemlje), što znači da se predstavlja slab izvor fosfor-nih soli za samo jezero. Prema tome, izgleda da se jedino može očekivati nešto veće ispiranje ovih soli iz okolnih šuma, posebno bukovih, koje su u tom pogledu znatno pogodnije od hrastovih. Bukovo lišće sadrži samo četrnaesti deo tanina i boja od hrastovog lišća, koje se zbog velikog sadržaja ovih materija lagano raspada, za 3/4 godine svega 8—10%, te na taj način sporo regeneriše hranljive soli (Haupt 1933). Od 43% slivnog područja Grošničkog jezera koje je pod šumom veći deo obrazuju bukove sastojine. Upravo sa tog relativno velikog prostora uglavnom se i spiraju fosforne soli u Grošničko jezero, te se ne mogu očekivati baš tako male količine.

S druge strane, izvesna količina fosfora oslobađa se takođe mineralizacijom planktonskih organizama i nanetih organskih ostataka, ali ona mora biti relativno mala, s obzirom da je stepen mineralizacije organske

materije u mulju ovoga jezera nizak, o čemu svedoči velika vrednost odnosa C/N. Sve ovo navodi na zaključak da priliv fosfornih soli u Grošničko jezero nije tako mali, ali da postoje neki agensi koji njihove zalihe permanetno smanjuju.

Poznato je da se u epilimnionu nekih jezera javljaju fosfati u tako malim količinama da se analitički ne mogu utvrditi. U tom slučaju oni su adsorbovani za organske koloide, tako da više nisu dostupni fitoplanktonu (Gessner 1935, Ohle 1935). Međutim, u vodama bogatim Ca biljke koriste i adsorbovane  $PO_4$ , pošto je tada veza labilna, ali se i dalje njihove količine ne mogu potpuno utvrditi hemijskim putem (Ohle 1935). Izgleda da je isti slučaj i u Grošničkom jezeru. Totalno odsustvo fosfata, čak i preko zime, verovatno je uslovljeno upravo njegovim vezivanjem za organske koloide, ali ih zbog prisustva velike količine Ca planktonske alge nesmetano asimilišu, pa ipak ne dolazi do preterano niske produkcije fitoplanktona. Relativno velike vrednosti za gubitak pri žarenju, koje se kreću u granicama 68—94 mg/l, od čega mali deo otpada na rastvorene organske materije, svedoči o znatnom prisustvu organskih koloida, tako da su uslovi za veću adsorpciju fosfata zadovoljeni. To što su oni konstatovani preko leta, kada je njihova potrošnja intenzivna, dovodi se u vezu sa povećanom produkcijom ovih soli u samom jezeru. Nizak redoks potencijal u hipolimnionu, uslovljen gotovo totalnim odsustvom  $O_2$ , redukuje uz pomoć  $CO_2$  ferihidroksid u rastvoran ferobikarbonat. Pri ovoj reakciji oslobađaju se fosfati dotada adsorbovani od strane ferikompleksa i prenose do trofogene zone (Einsele 1936, Mortimer 1941/42, Ohle 1953). Na taj način, u razdoblju avgust — oktobar produkcija fosfata premaša njegovu potrošnju.

U pogledu prisustva nitrata situacija je znatno bolja. To ima veliki ekološki značaj, s obzirom da je azot, naročito njegove neorganske soli, jedan od najznačajnijih elemenata u sastavu protoplazme živih bića. Zato se sadržaj i azotnih jedinjenja smatra za ograničavajući faktor planktonske produkcije.

Ceo hladan period godine karakteriše se visokim vrednostima u sadržaju  $NO_3$ . Oni u periodu novembar—april variraju od 1,6—4,5 mg/l dostižući maksimum pred kraj zime i rano proleće (II—III), što je s jedne strane uslovljeno aktivnošću nitrificirajućih bakterija, a sa druge smanjenom biohemijskom potrošnjom. Već od proleća otpočinje asimilacija nitrata od strane fitoplanktona, koji njihove zalihe naročito intenzivno troši u toku letnje stagnacije i tada se oni mogu naći samo u tragovima ili se svode čak na analitičku nulu. Prema tome godišnji ciklus nitratnog azota u Grošničkom jezeru potpuno odgovara literaturnim podacima.

Ipak, u mnogim akumulacionim bazenima ne dolazi preko leta do totalnog osiromašenja epilimniona fosfatima, već se oni zadržavaju u minimalnim količinama (Stundl 1941, Haempel und Stundl 1940, Ganapati 1956). Ima čak slučajeva da sadržaj  $NO_3$  ostaje dosta visok i u momentu maksimalne biološke aktivnosti. Fiala je, na primer, utvrdio da u baražnom jezeru Slapy, koje inače u proleće beleži i do 6 mg/l nitratnog azota, minimalna količina ovih soli iznosi 0,9 mg/l (avgusta)

(Fiala 1962), dok se u Sedlice spušta do svega 0,5 mg/l iako je ovde maksimalna vrednost znatno manja, 2,4 mg/l u februaru 1956 (Vokouňová — Gerová 1958). Još veće vrednosti konstatovane su u Cimljanskoj vodojaži odmah po punjenju. Prema nalazima Baranova sadržaj nitrata preko leta ne spušta se ispod 0,20, pa čak i 0,30 mg/l, mada je 3 godine kasnije Guseva našla odsustvo nitrata u gornjim, plićim delovima bazena, dok je ispred brane bilo 0,20 mg/l (Guseva 1958). U distrofnim (Gessner 1934) i istočnopruskim šumskim jezerima (Karcher 1935) takođe utvrđeno da za vreme letnje stratifikacije ne iščekavaju fosfati potpuno iz epilimniona. Karhner ovu pojavu objašnjava bakterijskom oksidacijom  $\text{NH}_4$  — produkta raspadanja planktona u gornjim jezerskim slojevima, koja se u vodama sa alkalnom reakcijom i dovoljnom količinom kalcijuma odigrava takvom brzinom da se nitrati nikada ne iscrpljuju. S obzirom da do ovih procesa nije došlo u Grošničkom jezeru i pored pogodnog pH i bogatstva u Ca-jonima može se pretpostaviti da u epilimnionu nije bilo dovoljno amonijaka da nitrifikacijom obezbedi određeni minimum  $\text{NO}_3$  (0,1—0,03 mg/l) (Karcher 1935).

Ne raspoložemo analitičkim podacima o količini nitrata u trofolitičkoj zoni. Kako je, međutim, njihov dinamizam direktno zavistan od prisustva kiseonika, to će preko leta, kada u hipolimnionu Grošničkog jezera vladaju anaerobni uslovi, doći do redukcije  $\text{NO}_3$  koja će biti utoliko veća ukoliko duže traje stagnacioni period. Jesenja cirkulacija transportuje  $\text{O}_2$  do najvećih dubina i u svim jezerskim slojevima ravnomerno raspoređuje amonijak, akumuliran u hipolimnionu preko leta, tako da se njegovom oksidacijom opet povećavaju zalihe  $\text{NO}_3$ . Otuda od jeseni i počinje da raste sadržaj nitrnog azota u površinskim slojevima vode, s tim što jedan deo ovih soli dolazi i preko influenata, čiji je uticaj najveći pred kraj zime i rano proleće, upravo u vreme kada i pada maksimum nitrata u Grošničkom jezeru.

Suprotno  $\text{PO}_4$ , koji svojim odsustvom gotovo preko cele godine dovode u pitanje veću produkciju fitoplanktona i  $\text{NO}_3$ , čije su nedovoljne količine u periodu letnje stagnacije takođe presudne za bujniji razvoj planktonskih algi, soli silicijuma se u Grošničkom jezeru nikad ne javljaju ispod određenog minimuma. Sadržaj  $\text{SiO}_2$  varira od 3,7—9,4 mg/l, što pokazuje da su u ovom jezeru obezbeđeni potrebni uslovi za nesmetano razviće Diatomeae, s obzirom da ova so ulazi u sastav njihove ljuštore. Otuda krivulja toka sezonskih promena u silicijumu obično prati variranje produkcije diatomeja preko godine. Najmanje količine Si konstatovane su počev od druge polovine leta pa sve do zime, sa minimumom u septembru. Od januara raste sadržaj ovih soli i maksimum dostiže u periodu III—V, uz znatan pad u aprilu. Sličan raspored  $\text{SiO}_2$  našao je i Vostřčil 1955 godine u akumulaciji Kružberka (Vostřčil 1961), dok je prema Fijali najmanja količina u jezeru Slapy zabeležena početkom leta, tako da već od jula pa dalje kroz jesen njihov sadržaj sve više raste (Fiala 1962). Inače, obe ove vodojaže sadrže znatno manje silicijuma (3,5—6,0 i 2,4—7,7 mg/l) nego što je to konstatovano u Grošničkom jezeru, ali ga u akumulaciji Neisse ima još više, do 12 mg/l u toku leta (Wundsch 1940).



Možda bi takođe trebalo istaći i bogatstvo vode Grošničkog jezera u sulfatima (20,44—25,10 mg/l), koji prema Oleu igraju ulogu katalizatora u prometu materije vodenih bazena (O h l e 1953). Bakterijskom redukcijom  $SO_4$ , pri čemu kao donatori vodonika služe organske materije i molekularni  $H_2$ , stvara se sumpor vodonik koji mobilize adsorbovane  $PO_4$  stupajući u reakciju sa ferijedinjenjima. Ovi procesi uslovljavaju minimalni sadržaj  $O_2$  i obilne količine donatora H, pa se stoga intenzivno odigravaju u mulju i kontaktnoj vodi u periodu stagnacije. Oksidacijom sulfida, takođe bakterijskim putem,  $SO_4$  se ponovo regenerišu i oni sada deluju kao prenosioci  $O_2$  iz površinskih i dubinskih slojeva. Prema tome, po rečima Olea, sulfati predstavljaju važnu hranljivu materiju za zelene biljke: oni pri aerobnim uslovima služe kao donatori S, a u nedostatku kiseonika kao akceptori vodonika sulforedukujućim bakterijama (O h l e 1954).

### ZAKLJUČAK

1. U hemijskom pogledu voda Grošničkog jezera pripada Ca-bikarbonatnom tipu. Sudeći prema količini ovih jona u pitanju je voda bogata Ca, čije se glavne rezerve nalaze u bikarbonatima. Prisustvo ostalih hemijskih elemenata uglavnom odgovara standardnom sastavu slatkih voda u svetu, izuzev Cl, čiji je sadržaj uvek znatno manji, i Na i K, koji su slabije zastupljeni samo u zimskom i prolećnjem periodu.

2. I pored dovoljne ukupne količine soli (230—248 mg/l) upravo one koje su najznačajnije za život producenata organske materije javljaju se u malim količinama.

3. Fosfati su odsutni gotovo preko cele godine. Jedino se pred kraj letnje stagnacije javljaju u tragovima, a u septembru čak dostižu vrednost od 0,5 mg/l. Pedološka podloga nije tako siromašna u fosfornim solima, s obzirom da je oko 40% slivnog područja Grošničkog jezera pokriveno šumom, čije je zemljište vrlo bogato u fosfatima. Mala količina ovih soli u jezerskoj vodi izgleda da je posledica njihovog vezivanja za organske koloide, zbog čega i ne mogu potpuno da se utvrde hemijskim putem. Međutim,  $PO_4$  je u Grošničkom jezeru ipak dostupan biljkama, pošto je voda bogata Ca, koji uslovljava labilnu vezu između fosfata i organskih koloida.

4. Sadržaj nitrata je znatno veći. On varira od 0—4,5 mg/l, a maksimum dostiže pred kraj zime i rano proleće. U letnjim mesecima je potrošnja  $NO_3$  povećana i tada se oni mogu naći samo u tragovima ili se svode čak na analitičku nulu.

5. Soli silicijuma, međutim, nikada se ne javljaju ispod određenog minimuma. Njihova količina se kreće od 3,7—9,4 mg/l, dostižući maksimalne vrednosti u periodu III—V.

6. Rastvoreni gasovi pokazuju tokom godine periodičnost u rasporedu. U proleće i jesen turbulentno mešanje vodene mase dovodi do homooksigenije. Ovo stanje proteže se i na zimski period, pa čak i za vreme

ledenog pokrivača, kada se samo iznad dna javlja nešto veći pad kiseonika, dostižući 66% od punog zasićenja.

7. Hemijska stratifikacija otpočinje u aprilu. Tada je kiseonični gradijent između površinske i dubinske vode još relativno mali, ali se tokom leta sve jasnije izdvajaju dve zone, potpuno različite po sadržaju  $O_2$ . U gornjoj, trofogenoj zoni, u kojoj hlorofilne alge stvaraju organsku materiju, oslobađa se velika količina kiseonika, pa čak dolazi i do prezasićenja (101—115%). Nasuprot tome, u dubinskim slojevima se kiseonik intenzivno troši, tako da često nastupa potpuna deoksigenacija u čitavom hipolimnionu ili samo u njegovom donjem delu.

8. Raspored slobodnog  $CO_2$  pokazuje istu sezonsku ritmiku kao i kiseonik. I on je podjednako zastupljen u svim slojevima vode za vreme cirkulacionih perioda, ali se u proleće javljaju samo karbonati (0,30—5,40 mg/l), dok se u jesen sreće znatna količina slobodnog  $CO_2$  (3,8—6,5 mg/l). Odsustvo slobodnog ugljen dioksida u epilimnionu zabeleženo je takođe u toku letnje i zimske stagnacije, ali se prema dnu postepeno povećava sadržaj ovoga gasa dostižući najveće vrednosti iznad samoga mulja. Ovakav dubinski raspored  $CO_2$  bolje je izražen preko leta nego u toku zime zbog intenzivnijeg procesa fotosinteze i dekompozicije.

9. Bikarbonati su takođe stratifikovani u vodi Grošničkog jezera u toku letnje i zimske stagnacije. Najmanje vrednosti javljaju se u površinskim slojevima, dok se u dubinskim zapaža akumulacija  $HCO_3$  kao posledica biogenog izdvajanja  $CO_2$  u trofogenoj zoni i njegovog rastvaranja iznad dna u prisustvu agresivnog  $CO_2$ . Hipolimnetičko nagomilavanje  $HCO_3$ , izraženo po metru dubine, iznosi u ovom jezeru 0,66—0,98% i ukazuje na visok stupanj trofije Grošničkog jezera.

10. Reakcija vode se nikada ne spušta ispod tačke neutralnosti. Ona varira u granicama 7,4—8,2 s tim što je alkalna sredina konstatovana preko leta. U to vreme jasnije je izražena i stratifikacija pH.

## LITERATURA

Aleksandrova P. L., Kanigina V. A., Pobegajlo I. P. (1959): Rezultati biološkog i hemijskog isledovanja Magnitogorskovo vodohraniljišća. Tr. VI sovešč. po probl. biol. vnutr. vod.

Baranov V. I. (1954): Hidrohimijski režim Cimljanskovo vodohraniljišća 1952—1953 g. Izv. VNIOR, Tom 34.

Baranov V. I. (1961): Opiš biohidrohimijske klasifikacije vodohraniljišća evropejske časti SSSR. Izv. GosNIORH, Tom 50.

Baranov V. I. (1961): Termički i hidrohimijski režim Gorkovskovo vodohraniljišća. Tr. inst. biol. vod., 4 (7).

Badrach J. (1955): Certain biological effects of thermocline shifts. Hydrobiologia, 7, 4.

Birge E. A. and Juday C. (1934): Particulate and dissolved organic matter in inland lakes. Ecol. monogr., 4.

Bombowna M. (1962): Sedimentieren von Sinkstoffen im Staubecken Goszalkowice. Acta hydrobiol., 4, 2.

Dimitrov M. (1957): Hidrološka i hidrobiološka karakteristika na jazovir »Al. Stambolijski«. Nauč. isledovat. inst. po ribar. i rib. promišljenost, 1.

Dzjuban P. V. i Dzjuban A. N. (1959): Nekatorije čerti hidrološkičkovo i hidrohimičkovo režima Cimljanskovo vodohraniljiška v malo vodnij 1954 g. Tr. inst. biol. vodohr., 1 (4).

Einsele W. (1936): Über die Beziehungen des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. Arch. Hydrobiol., 29, 4.

Einselel W. (1937): Physikalisch-chemische Betrachtung einiger Probleme des limnischen Mangan — und Eisenkreislaufs. Verh. int. Ver. Limnol., 8.

Einsele W. (1938): Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisen-Phosphat-System unter limnochemischen und limnogeologischen Gesichtspunkten. Arch. Hydrobiol., 33.

Fiala L. (1962): Chemické pomery v údolní nadrží Slapy v letech 1955—1958. Sb. vys. školy chem — technolog. v Praze, 6, 1.

Ganapati S. V. (1956): The limnology of two minor irrigation reservoirs near Madras. I. The Etrakupam reservoir. Hydrobiologia, 18, 3—4.

Gessner F. (1934): Nitrat und Phosphat im dystrophen Seen. Arch. Hydrobiol., 27.

Gessner F. (1935): Phosphat und Nitrat als Produktionsfaktoren der Gewässer. Verh. int. Ver. Limnol., 7.

Greenbank J. (1954): Limnological conditions in ice — covered lakes, especially as related to winter — kill of fish. Ecol. monogr., 15, 4.

Guseva K. A. (1958): Vlijanjije režima urovnja Ribinskovo vodohraniljiška na razvitije fitoplanktona. Tr. biol. st. »Borok«, 3.

Haempel O. and Stundl K. (1943): Fischereibiologische Untersuchungen an der Frainger Talsperre. Arch. Hydrobiol., 40, 2.

Halupa J. and Červenka R. (1958): Limnological study of the reservoir Sedlice near Želiv. I. Physical — chemical and chemical part. Sb. vys. školy chem — technolog. v Praze, 2, 2.

Hanušova L. (1962): Ein Beitrag zum Studium des Schwefelkreislaufs während der Sommerstagnation in der Talsperre Sedlice. Ibid, 6, 1.

Harris B. and Silvey G. (1940): Limnological investigation on Texas reservoir lakes. Ecol. monogr., 10, 1.

Hutchinson G. E. (1938): On the relation between the oxygen deficit and the productivity and typology of lakes. Int. Rev. Hydrobiol., 36.

Hutchinson G. E. (1957): A treatise on Limnology. Vol. 1.

Ivljev V. S. (1937): Materijali po izučenjiju balansa veščestva v ozere. Tr. limnol. st. v Kosine, 21.

Juday C. and Birge E. A. (1932): Dissolved oxygen and oxygen consumed in the lake waters of northeastern Wisconsin. Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett., 27.

Juday C., Birge E. A. and Meloche V. W. (1935): The carbon dioxide and hydrogen ion concentration of the lake waters of northeastern, Wisconsin. Ibid, 29, 1.

Juday C., Birge E. A. and Meloche V. W. (1938): Mineral content of the lake waters of northeastern Wisconsin. Ibid, 31.

Karcher F. H. (1939): Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt in ostpreussischen Waldseen. Arch. Hydrobiol., 35, 1.

Kirejeva S. (1955): Nekatorije danije o hidrohimiji Ribinskovo vodohraniljiška. Tr. biol. st. »Borok«, 2.

Kubiček F., Marvan P. and Zelinka M. (1958): K poznani bilogických pomeru vodorenske údolní nadržé u Fryštaku. Sb. vys. školy chem — technolog. v Praze, 2, 1.

Liebmann H. (1938): Biologie und Chemismus der Bleilochsperre. Arch. Hydrobiol., 33, 1.

Lyman E. (1944): Effects of a flood upon temperature and dissolved oxygen relationships in Cerokee reservoir, Tennessee. Ecol., 25.

Milovanović D. i Živković A. (1956): Limnološka ispitivanja baražnog jezera na Vlasini. Zb. rad. Inst. za ekol. i biogeogr., 7, 5.

Milovanović D. i Živković A. (1958): Novi prilog proučavanju planktonске produkcije u baražnom jezeru na Vlasini. Zb. rad. Biol. inst., 2, 7.

- Minder L. (1923): Über biogene Entkalkung im Zürichsee. Verh. int. Ver. Limnolog., 1.
- Minder L. (1929): Chemische Untersuchungen am Stausee Wäggitäl. Ibid, 4.
- Minder L. (1943): Neure Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt und die Eutrophie des Zürichsees. Arch. Hydrobiol., 40, 1.
- Mittiska J. and collab. (1962): An investigation of the Jordan reservoir, Bohemia. Sb. vys. školy chem — technolog. v Praze, 6, 1.
- Mortimer C. H. (1941/1942): The axchange of dissolved substances between mud and water in lakes. J. ecol., 29 i 30.
- Najdenov V. (1964): Plankton i dinamika na rkvodnite planktoni formi v jazovir »Batak«. Izv. Zool. inst. BAN, 15.
- Ohle W. (1934 a): Chemische und physikalische Untersuchungen norddeutscher Seen. Arch. Hydrobiol., 26.
- Ohle W. (1934 b): Über organische Stoffe in Binnenseen. Verh. int. Ver. Limnolog., 6.
- Ohle W. (1935): Organische Kolloide in ihrer Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. Naturwiss., 23.
- Ohle W. (1952): Die hypolimnetische Kohlendioxyd als productionsbiologischer Indikator. Arch. Hydrobiol., 46.
- Ohle W. (1953): Phosphor als Initialfaktor der Gewässereutrophierung. Vom Wasser, 20.
- Ohle W. (1954): Sulfat als »Katalysator« des limnischen Stoffkreislaufes. Ibid, 21.
- Ohle W. (1955): Ionenautausch der Gewässersedimente. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. de Marchi, Suppl. 8.
- Pennak R. W. (1949): Annual limnological cycles in same Colorado reservoir lakes. Ecol. monogr., 19, 3.
- Rohde W. (1949): The ionic composition of lake waters. Verh. int. Ver. Limnol., 10.
- Roll W. Ja., Zebb Ja. Ja. (1961): Der Stausee von Kachowka am Dnjepr. Verh. int. Ver. Limnol., 14.
- Thienemann A. (1928): Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. Binnengewässer, 4.
- Vokounova — Gerovova E. (1958): Die wichtigsten Stickstoff Formen und ihre Jahreszyklus im Wasser der Talsperre Sedlice in Böhmen. Arch. Hydrobiol., 54, 4.
- Vostrčil J. (1961): Hydrochemické pomory v udolni nadrže u Kružberku v roke 1955. Sb. vys. školy chem — technol. v Praze, 5, 1.
- Wright J. C. (1954): The hydrobiology of Atwood lake, a floodcontrol reservoir. Ecol., 35, 3.
- Wundsch H. H. (1942): Die Neisse Staubecken von Ottmachau O. S. in seiner Entwicklung zum Fischgewässer. Z. Fisch., 40.
- Yoshimura S. (1932): Seasonal variations in content of nitrogenous compounds and phosphate in the water of Takasuka Pond, Saitama, Japan. Arch. Hydrobiol., 24.
- Zelinka M. (1960): Vvoj biologických pomeri v udolni nadrži u Viru v prvých letach po napuštění. Sb. vys. školy chem — technolog. v Praze, 4, 1.

(Iz Instituta za biološka istraživanja SRS u Beogradu)

## Summary

MIRJANA JANKOVIĆ

## EXCHANGE OF GASES AND SALTS IN THE LAKE OF GROŠNICA

The paper deals with the results of the chemical study of the water accumulation in Grošnica, carried out monthly during the period 1951—1952.

In respect to chemistry, water of the lake of Grošnica belongs to the  $\text{CaHCO}_3$  type. According to the quantity of the mentioned ions the water is rich in Ca, the main quantities of which occur in bicarbonates. The presence of other chemical elements corresponds generally to the standard composition of fresh waters of the world, except that the amount of Cl is always lower, as well as the amount of Na and K in winter and spring.

Despite of the sufficient total quantity of salts (230—248 mg/l), those salts indispensable for the organic producers occur in small quantities.

Phosphates are wanting almost throughout the year. Only by the end of summer stagnation they occur in traces, amounting to 0,5 mg/l in September. Pedological ground is not so poor in phosphoric salts, for some 40 per cent of the drainage basin of the Lake of Grošnica is covered by forest which soil is very rich in phosphates. The small quantity of these salts in the lake water is presumably due to their bond with organic colloids which prevents their full detection by chemical means. Nevertheless,  $\text{PO}_4$  in the Lake of Grošnica is available to plants since the abundant Ca in water causes unstable bond between phosphates and organic colloids.

Nitrate content is considerably higher. It varies between 0 and 4,5 mg/l, reaching maximum by the end of winter and in early spring.  $\text{NO}_3$  consumption increases during summer and can be detected therefore only in traces or be reduced even to the analytical zero.

Meanwhile, Si salts never drop below certain minimum. Their quantity varies between 3,7 and 9,4 mg/l, reaching the maximum value in the period III—V.

Soluble gases show periodicity as regards their distribution in the course of the year. In spring and autumn the turbulency of the water mass results in homogeneity. The mentioned state is prolonged to the winter period and even to the period of freezing in which more important oxygen decrease takes place just above the bottom, showing 66 per cent of the absolute saturation.

Chemical stratification begins in April. Oxygen gradient between surface and bottom water is still relatively small at that time, but gradually, during summer, two zones with completely different  $\text{O}_2$  content become distinct. In the upper, trophogenic zone, large quantities of  $\text{O}_2$  are liberated causing sometimes oversaturation (101—115 per cent). On the contrary in the profound layers there is often complete desoxygenation all over hypolimnion or at least in its upper part.

Distribution of the free  $\text{CO}_2$  is also marked by the same seasonal rhythm like in the case of  $\text{O}_2$ . The former occurs also in all water layers during the periods of circulation, but in spring there is only  $\text{CO}_2$  (0,30—5,40 mg/l.) while in autumn considerable amounts of the free  $\text{CO}_2$  (3,8—6,5 mg/l.) can be found. Absence of the free  $\text{CO}_2$  in epilimnion was recorded also during summer and winter stagnation, but the content of the mentioned gas increases gradually towards bottom reaching highest values just above mud. Such vertical distribution of  $\text{CO}_2$  becomes more obvious in summer than in winter, as a result of more intensive photosynthetic and decomposing processes.

Bicarbonates are also stratified during summer and winter stagnations. Lowest values occur in surface water and there is evident accumulation of  $\text{HCO}_3$  like in bottom water layers. Hypolimnetic accumulation of  $\text{HCO}_3$  per meter of the depth amounts in the lake 0,66—0,98 per cent which is an indication of a high degree of its trophism.

Water reaction never drops below the point of neutrality. It varies inside limits of 7,4 and 8,2, but it should be noted that the alkalinity was established during summer. The pH stratification was also more clearly expressed at that time.

(Institut for biological research.)