

MIRJANA JANKOVIĆ

TERMIČKI REŽIM GROŠNIČKE AKUMULACIJE

UVOD

Još je Tineman (Thienemann 1911, cit. Haempel und Stundl 1943) primetio da je u baražnim jezerima koja koriste vodnu snagu položaj ispusta od presudnog značaja za temperaturu vode. Kada se voda izvlači iznad dna, što je najčešći slučaj, kontaktni sloj neprestano otiče, a na njegovo mesto se spuštaju gornji slojevi koji su preko zime nešto hladniji od dubinske vode, a u leto pak znatno topliji. Zbog toga se u ovakvim bazenima ne javlja vertikalni raspored temperature karakterističan za prirodna jezera, što im daje posebno obeležje. Međutim, Grošnička akumulacija ne služi u energetske svrhe i isticanje vode je veoma ograničeno, pa se stoga u njoj formiraju takvi termički odnosi, na osnovu kojih se ona može uporediti sa jezerima nastalim pod prirodnim putem.

Ovakav termički režim konstatovan je prilikom višegodišnjih ispitivanja, koja su vršena svakoga meseca u periodu 1950—1952. godine.

METODIKA RADA

Temperatura vode merena je dubinskim termometrom na svaka 2 m u vertikalnoj seriji. Pored horizontalnog rasporeda dužinom jezera, praćena je takođe i distribucija toplote po njegovoj širini. Za to su korišćena merenja sa 3 do 5 tačaka raspoređenih po najdubljem poprečnom profilu. U toku ispitivanja posmatrana je brzina zagrevanja i hlađenja jezerske vode na osnovu temperaturnih promena u toku nekoliko uzastopnih dana u svakom mesecu, počev od juna do oktobra 1951 godine. Ove analize vršene su uvek u 12 h na najdubljoj tački prvog profila. Na istom mestu je praćeno i kolebanje temperature u svim vodenim slojevima u toku 24 h.

METEOROLOŠKI PODACI

Glavne odlike makroklimе Grošničkog jezera date su na dijagramu 1. Za grafičko prikazivanje meteoroloških prilika upotrebljen je hidrotermni dijagram po Valteru (Walter 1957) u kombinaciji sa klimogramom Ivanova (Ivanov 1958). Ovim načinom prikazivanja uzete su u obzir gotovo sve meteorološke veličine, jer se pored padavina i temperature, koje su prema Valteru osnovne karakteristike klime jednog mesta, uzima u obzir i isparljivost kao široko kompleksni klimatski elemenat (Ivanov 1958). Sem toga, ovim dijagramom izražava se i stepen vlažnosti ispitivanog područja u vidu koeficijenta vlažnosti (K), kao relativne vrednosti, ili ravnoteže vlažnosti (B), kao apsolutne veličine. Bliže objašnjenje za pojedine oznake koje su unete u dijagram biće date u legendi.

TEMPERATURA VAZDUHA

Sudeći po srednjim godišnjim temperaturama vazduha ne postoje gotovo nikakve razlike između pojedinih godina u kojima su vršena ispitivanja. One se javljaju tek kada se uzmu u obzir sezonska kolebanja (Tabl. 1 i 2). Na osnovu ovih podataka naročito se ističe 1950. godina, u kojoj je srednja godišnja amplituda $26,3^{\circ}$, a apsolutna $57,2^{\circ}$. Najveća amplituda u ovoj godini uslovljena je relativno hladnom zimom ($1,2^{\circ}$) i toplim letom ($22,1^{\circ}$) u odnosu na ostale godine (Tabl. 3). Jedino je u njoj srednja mesečna temperatura vazduha u zimu spala ispod 0° i u januaru dostigla vrednost od $-2,9^{\circ}$, dok je srednja minimalna temperatura u ovom mesecu iznosila čak -7° . I pored toga, ukupan broj dana sa mrazovima (66) manji je nego u 1952. godini (81), a prolećni i jesenji mrazovi su slabiji u poređenju sa ostalim godinama (Tabl. 4).

Izrazito blagom zimom odlikuje se 1951. godina. Srednja zimska temperatura vazduha od $4,8^{\circ}$, pri čemu je najniža srednja minimalna iznosila svega $-0,04^{\circ}$, nije bila dovoljna da se na površini jezera formira ledeni pokrivač. Zato je u ovoj zimi izostala inverzna stratifikacija jezerske vode. Relativno topla zima s jedne strane i blago leto s druge uslovlili su u ovoj godini mala temperaturna kolebanja, o čemu svedoči i godišnja amplituda od $17,4^{\circ}$. Naročito su slabo izražena kolebanja u letnjem periodu, kada su razlike između srednjih mesečnih temperatura jedva oko $1,5^{\circ}$.

Prema mnogim termičkim osobinama, srednjoj letnjoj i zimskoj temperaturi i godišnjoj amplitudi, 1952. godina se nalazi na sredini između prethodne dve. Inače, ona se karakteriše najhladnijim prolećem i najtoplom jeseni u poređenju sa ostalim godinama. Relativno hladna zima ($2,1^{\circ}$) trajala je dosta dugo, tako da su još i u martu bili česti i jaki mrazovi, koji su uslovlili srednju minimalnu temperaturu od svega $-1,7^{\circ}$. Već u aprilu vazduh se naglo zagreva i u odnosu na prethodni mesec dostiže temperaturni gradijent od preko 9° . Ovako nagli skok u temperaturi vazduha odrazio se na relativno rano uspostavljanje letnje stratifikacije jezerske vode, koja je osim toga zahvaljujući toplom oktobru, razrušena tek u idućem mesecu.

Tablica 1. Maksimalna i minimalna srednja mesečna temperatura vazduha.
Maximale und minimale monatliche Mittellufttemperatur.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	pres. god.
maksimalna													
1950	1,55	8,55	12,06	18,79	22,79	26,56	29,90	30,01	24,55	16,64	10,75	9,81	17,66
1951	6,92	9,46	12,78	16,79	22,00	24,51	25,80	27,50	24,34	14,17	13,73	7,04	17,08
1952	5,52	4,99	10,25	19,94	19,62	24,74	29,13	31,82	24,47	16,90	10,78	6,55	17,06
minimalna													
1950	-6,98	-2,10	1,69	7,59	10,26	12,42	15,18	13,98	11,64	4,03	2,79	2,88	6,20
1951	-0,04	1,08	2,73	5,38	10,18	13,06	13,46	13,78	10,74	5,38	4,20	-1,34	6,56
1952	-2,23	-1,47	-1,69	5,65	8,45	12,38	13,22	14,69	11,19	7,18	2,14	0,39	5,87

Tablica 2. Apsolutna maksimalna i minimalna temperatura vazduha.
Absolute maximale und minimale Lufttemperatur.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godisnja
maksimalna													
1950	11,9	16,5	19,4	28,8	32,3	33,6	38,5	37,0	34,5	23,2	18,2	17,6	38,5
1951	12,6	14,9	21,6	23,4	31,2	32,0	32,7	36,2	30,1	20,2	21,1	12,8	36,2
1952	14,7	13,0	30,1	25,7	29,1	33,7	34,7	37,2	33,3	27,3	20,1	19,2	37,2
minimalna													
1950	-17,4	-18,7	-4,3	-0,3	2,2	5,6	9,2	8,7	5,6	-4,5	-2,3	-4,3	-18,7
1951	-6,6	-5,3	-4,9	-1,3	6,4	8,5	8,5	8,9	1,4	-2,5	-1,5	-7,5	-7,5
1952	-9,1	-8,5	-11,0	-0,3	0,0	6,5	7,2	6,6	5,3	1,4	-4,9	-7,3	-11,0

Tablica 3. *Srednja temperatura vazduha godišnjih doba.*
Mittellufttemperatur der Jahreszeiten.

	proleće	leto	jesen	zima	leto/zima
1950	12,2	22,1	11,4	1,2	20,9
1951	11,7	19,7	11,8	4,8	14,9
1952	10,7	21,8	12,0	2,1	19,7

Tablica 4. *Broj dana sa minimalnom temperaturom < 0°C*
Zahl der Tagen mit der minimalen Temperatur < 0°C.

	I	II	III	IV	X	XI	XII	god.
1950	26	14	7	1	4	6	8	66
1951	16	8	5	1	7	7	19	63
1952	23	19	18	1		7	13	81

ATMOSFERSKI TALOZI

U pogledu količine taloga i njihovog sezonskog rasporeda zapažaju se izrazite razlike između sve tri ispitane godine. Sa 716 mm godišnjih padavina 1951. se može označiti kao prosečna, dok je predhodna godina bila sušna, pošto je u njoj palo svega 574 mm, a u 1952. nešto više od proseka (749 mm). Prema tome, prva i poslednja godina predstavljaju ekstremne slučajeve, sudeći prema godišnjoj sumi padavina, ali se veoma mnogo približavaju po načinu sezonskog variranja.

Sličnost između njih ispoljava se pre svega u količini taloga koji padne preko leta i jeseni, a isto tako i u debljini snežnog pokrivača (Tabl. 5 i 6).

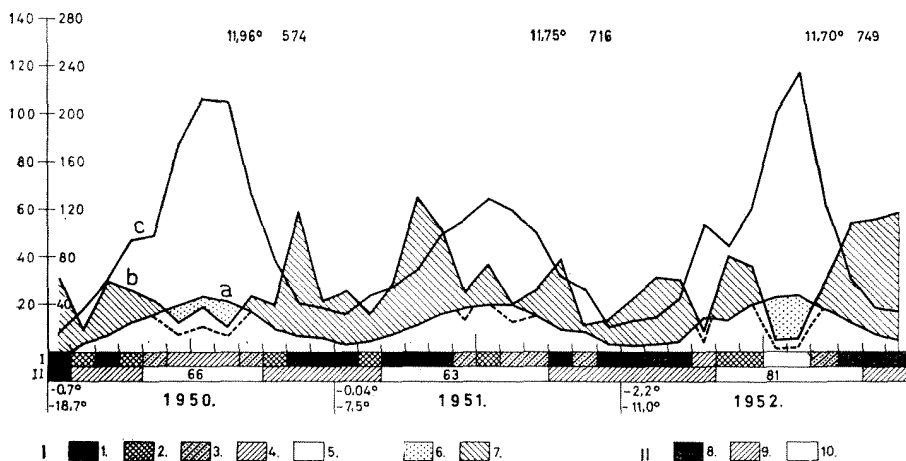
Tablica 5. *Procenat padavina po sezonama.*
Niederschlagsprozent nach den Jahreszeiten.

	proleće	leto	jesen	zima
1950	27	15	36	22
1951	41	22	21	16
1952	21	11	38	30

Tablica 6. Debljina snežnog pokrivača u cm.
Dicke ser Schneedecke im cm.

	I	II	III	IV	XI	XII	god.
1950	42,0	3,0	5,0		4	7,0	61,0
1951	10,5	6,0	9,5			6,5	32,5
1952	60,0	75,5	12,5	1,5		19,0	168,5

Obe godine se ističu izrazito slabim kišama u letnjim periodama, na šta ukazuje mali letnji procenat taloga, svega 15% u 1950. i 11% u 1952. godini. Zato u to vreme nije dostignuta ravnoteža vlažnosti i isparljivost daleko premaša količinu padavina (Sl. 1). To se najviše zapaža u julu ili avgustu, koji su u stvari najsuvlji meseci u ovim godinama. Međutim, i pored činjenice da su oba leta sušna, detaljnija analiza pokazuje izvesne razlike među njima. Na osnovu koeficijenta vlažnosti vidi se da je 1950.



Slika 1. Variranje srednje temperature vazduha (a), padavina (b) i isparljivosti (c) na području Grošničkog jezera. I. oznake za stepen vlažnosti odnosno suše: 1. vlažan 2. umereno vlažan 3. nedovoljno vlažan 4. polusušan 5. sušan period, po Ivanovu; 6. sušan 7. vlažan period, po Walteru. II. oznake za temperaturu: 8. period sa srednjim dnevnim minimumom ispod 0°C. 9. sa apsolutnim minimumom ispod 0°C 10. bez temperature ispod 0°C.

Abb. 1. Veränderung der Mittellufttemperatur (a), Niederschläge (b) und Verdunstung (c) im Gebiete des Grošnicasees. I. Merkmale für die Feuchtigkeitstufe bzw. Dürre: 1. feucht 2. mässig feucht 3. ungenügend feucht 4. hald dürr 5. dürr, nach Ivanov; 6. dürr 7. feucht, nach Walter. II. Merkmale für die Temperatur: 8. Period mit der mittleren Tagesminimum unten 0°C 9. mit der absoluten Minimum unten 0°C 10. ohne der Temperatur unten 0°C.

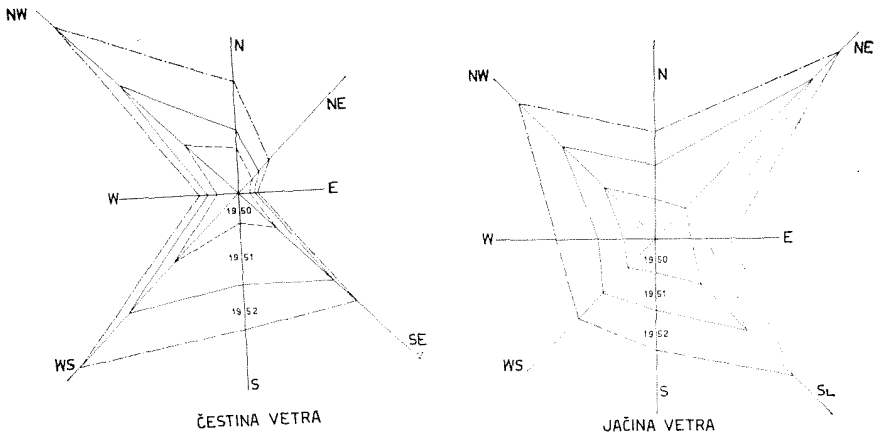
imala mnogo duži sušni period, 3—5 meseci, ali je stepen suše bio mnogo manji nego u 1952. godini, koja se odlikovala kratkom i vrlo jakom sušom.

Za razliku od letnjih meseci, u jesen padaju najčešće kiše pa je ovo godišnje doba najbogatije vodenim talozima. Blizu 40% od ukupnih padavina skoncentrisano je na jesenje mesece, naročito na oktobar i novembar. Zbog smanjenja isparljivosti u to vreme obično se javlja višak vlage, usled čega su tada i koeficijenti vlažnosti veoma veliki. Ovo pokazuje da se posle sušnog javlja vlažni period, koji se u 1952. godini nastavlja u vidu skokovitog prelaza, dok se u 1950. vlaga postepeno povećava.

Prema tipu rasporeda taloga 1951. se izdvaja od ostale dve godine. U njoj nisu zabeležene izrazite suše preko leta, ali je ipak izuzev jula bilo nedovoljno vlažnosti u ostalim letnjim mesecima. U stvari vlažni period se protezao preko čitave godine sa nešto većom amplitudom u proleće i jesen. Jake prolećnje kiše, naročito u aprilu, omogućile su da jezero, i pored tankog snežnog pokrivača, dostigne kotu preliva za relativno kratko vreme, iako je prethodne godine imalo ekstremno nizak vodostaj. Najmanje taloga palo je preko zime, mada je najsuvlji mesec novembar. Zbog toga je jedino u ovoj godini nivo jezera opadao sve do kraja godine, i pored činjenice da obično raste već pred kraj jeseni.

VAZDUŠNA STRUJANJA

Na području Grošničkog jezera duvaju relativno slabi vetrovi različitih pravaca čija je prosečna godišnja vrednost nešto preko 2 bofora. Najčešći su jugo- i severozapadni vetrovi, a najređi istočni. Međutim, osobine vetrova u pojedinim godinama znatno variraju (Sl. 2). Najveća amplituda fluktuacije javlja se u 1950, u kojoj su najređi i najslabiji vetrovi u januaru, svega 1,9 bofora, a već u idućem mesecu imaju maksi-



Slika 2. Prosečna godišnja čestina i jačina vetra kod Kragujevca.

Abb. 2. Durchschnittliche Jahreshäufigkeit- und Stärke des Windes bei Kragujevac.

malnu jačinu (3,3) uprkos činjenici da su tada znatno ređi nego u prva dva letnja meseca, koji su u stvari najvetrovitiji u ovoj godini (80 odnosno 78%). Suprotno tome, druga polovina leta u 1951. godini ima minimalne vrednosti vazdušnih strujanja, dok je njihova pojava i snaga maksimalna u zimskom periodu. Jaki vetrovi, koji su dostizali i 6—7 bofora preko zime, izmešali su celokupnu jezersku vodu i usloveli homotermiju, pošto je u ovoj godini usled blage zime izostala inverzna stratifikacija.

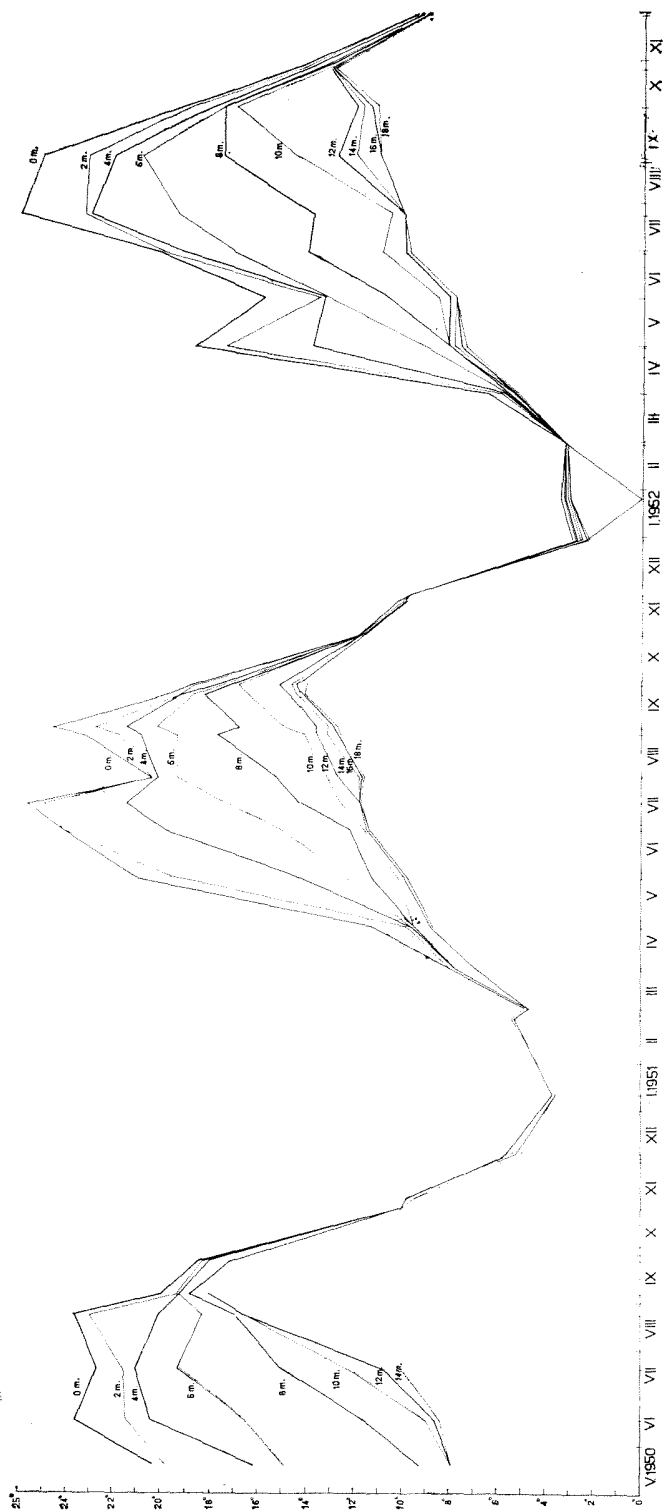
I u 1952. godini najjači vetrovi duvaju preko zime, sa maksimumom u januaru (3 bofora), a najčešći početkom proleća, i to u martu kada je bilo svega 36% tišina. Međutim, za razliku od prethodne godine najređi i najslabiji vetrovi javljaju se u novembru, mada su manje ili više i ostali meseci u drugoj polovini godine slabo vetroviti.

Za termičke osobine Grošničke akumulacije, od posebnog su interesa vazдушna strujanja u periodu letnje stagnacije, pošto od njih zavisi da li će se iznad hipolimniona formirati dve ili jedna termička zona. U mesecima u kojima je dejstvo vetrova dovoljno da savlada stabilitet površinskih slojeva i da mešanjem izazove homotermiju, javlja se tripartitna stratifikacija. Kao što će se iz kasnijeg izlaganja videti ovakvi toplotni odnosi karakteristični su za mesec juni u svim godinama, kao najvetrovitijem letnjem mesecu, dok u avgustu 1951. i 1952. godine vazдушna strujanja omogućuju jače zagrevanje površinskih slojeva i lagano transportovanje toplote u dubinu, zbog čega se iznad manje ili više kontaktnog i hladnog hipolimniona obrazuje heterotermna termička zona.

TERMIKA VODE

Toplotni ciklus Grošničkog jezera grafički je prikazan na dijagramu 3 i odnosi se na kompletne podatke iz dve uzastopne godine, koje se po termičkim osobinama vode znatno razlikuju. Prve godine je u jezeru izostala zimska stagnacija, dok je u drugoj jezerska voda prošla kroz sve temperaturne periode, što inače odgovara prosečnim toplotnim prilikama u ovoj akumulaciji. Nepotpuni podaci iz 1950. godine poslužile samo za komparaciju u kojoj meri mogu spoljašnji uslovi da utiču na toplotni budžet Grošničkog jezera, s obzirom na činjenicu da je temperatura vodenog bazena funkcija klime njegove okoline.

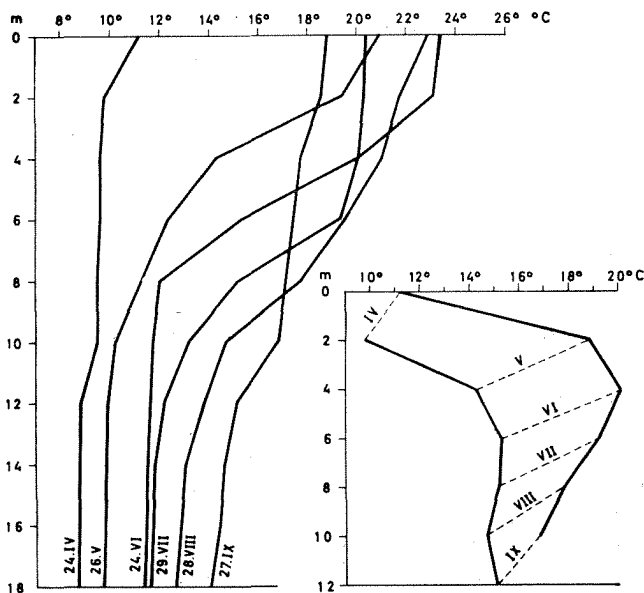
Početak 1951. godine karakteriše se totalnom zimskom cirkulacijom, sa temperaturom vode nešto ispod srednjih mesečnih temperatura vazduha (3,6° u 10 januaru i 5,4° u 27 februaru). Relativno blaga zima u ovoj godini nije omogućila formiranje ledenog pokrivača na površini bazena, ali se ipak u januaru jezero rashladilo ispod temperature najveće gustine vode. Usled čestih i povremeno jačih vetrova oba zimska meseca imaju homotermnu čitavu vodu masu, osim kontaktnog sloja koji je svega za 0,1° topliji, odnosno hladniji od gornje vode. Neznatno povećanje temperature vode iznad dna u mesecu januaru vreovatno je prouzrokovalo toplota oslobođena procesima truljenja u podlozi.



Slika 3. Sezonske promene temperature vode Grošničkog jezera u periodu 1950—1952.
 Abb. 3. Saisonale Temperaturveränderungen des Grošničasees im Laufe 1950—1952.

Cirkulacioni period se proteže i na mesec mart, a delimično i april, s tom razlikom što u ovim mesecima znatno ređi i slabiji vetrovi nisu u stanju da izazovu turbulentna kretanja takve jačine koja bi izmešala celokupnu vodenu masu. Kao rezultat toga, između 10 i 12 m javljaju se dve zone međusobno jasno izdvojene temperaturnim gradijentom od oko $0,8^{\circ}$, unutar kojih su slojevi manje ili više jednako zagrejani (u martu $0,03^{\circ}/m$ u gornjim i $0,05^{\circ}/m$ u donjim slojevima, a u aprilu $0,04^{\circ}/m$, odnosno $0,02^{\circ}/m$.

Pred kraj aprila temperatura vazduha se naglo povećava i jače zagreva površinsku vodu, tako da se u to vreme zapaža prva naznaka letnje stratifikacije. Razlika između temperature površine ($11,2^{\circ}$) i izobate od 2 m ($9,8^{\circ}$) iznosi $1,4^{\circ}$, ali su ostali slojevi vode još uvek u turbulentnom mešanju. Tome svakako doprinosi nagao i veliki priliv hladne vode od otopljenog snega koja je snizila temperaturu jezerskoj vodi. Samo u toku od 13 dana nivo jezera se podigao za 4 m, odnosno akumulirano je $700.000 m^3$ vode, što iznosi blizu 40% od celokupne zapremine bazena.



Slika 4. Spuštanje termokline u toku letnje stagnacije 1951.

Abb. 4. Senkung der Thermocline im Laufe der Sommerstagnation 1951.

Sa nastupanjem leta voda se intenzivnije zagreva sve do 13 jula kada je dostignuta maksimalna godišnja temperatura ($25,6^{\circ}$). Zbog toga se temperaturne krivulje lepezasto razilaze počev od maja i za gornje slojeve se podižu prilično okomito, dok su za dubinsku vodu gotovo paralelne i nagnute znatno blaže. Ovo ukazuje na formiranje stagnacionog perioda, u

kome su jasno izdvojene zone sa različitim temperaturnim gradijentom. Gornja zona, koja najčešće počinje od same površine, karakteriše se vrlo velikim razlikama u temperaturi graničnih slojeva (od 2,08—0,7°/m) i manje ili više ravnomernim opadanjem toplote prema dubini. Uporedo sa progresivnim spuštanjem termokline, koja u aprilu leži između površine i izobate od 2 m, a svakog narednog meseca se pomera za dva metra niže, moćnost ovog heterotermnog metalimnetičkog sloja postepeno se povećava i sa nastupanjem cirkulacionog perioda potpuno iščezava (Sl. 4).

U izuzetnim prilikama izdvaja se u gornjem delu metalimniona tanak homotermni sloj, koji se može označiti kao termički epilimnion. Turbulentno mešanje izazvano vetrom ili hladne letnje kiše mogu da prouzrokuju izjednačenje u temperaturi površinskih slojeva najviše do 4 m dubine. To potvrđuju podaci za 26. juni i 29. juli kada je površinska toplota transportovana dublje ili se blago rashlađena površinska voda pomešala sa nižim slojevima stvarajući na taj način homotermni epilimnion. Razume se da ova turbulentna mešanja omogućavaju prodiranje samo neznatne količine toplote u najveće dubine jezera, zbog čega se ispod metalimniona formira hladan i više ili manje homotermni hipolimnion. Na početku letnje stagnacije hipolimnion zahvata deo jezera od 10 m naniže, ali progresivno zagrevanje površinskih slojeva pomera njegovu gornju granicu prema dubini, tako da u avgustu počinje tek od 14 m. Uporedo sa ovim procesom lagano se povećava temperatura najnižih slojeva i u kontaktnoj zoni varira preko leta od 9,7 do 14°.

Period jesenjeg hlađenja otpočinje već u septembru i u početku se manifestuje u smanjenju temperature jedino gornjih slojeva, do 6 m, dok se ispod ove dubine jezero i dalje zagreva. Praćeno jačim jesenjim vetrovima turbulentno mešanje je sve intenzivnije i zahvata sve veći deo jezera, da se najzad u oktobru čitava vodena masa izmeša. Nastupila je, dakle, jesenja cirkulacija koja u novembru dovodi do potpune homotermije od 9,7°.

Naglo zahlađenje početkom zime, a naročito u drugoj polovini decembra, prouzrokovalo je sniženje temperature vode u ovom mesecu, do 2,3°, i formiranje izotermne stratifikacije. Kontaktni sloj je od površinskog topliji za 0,6°, ali je ta razlika znatno veća u januaru (3,4°), kada se jezero zaledilo. Prema tome, za razliku od prethodne godine temperaturni period na početku 1952. karakteriše se zimskom stagnacijom.

Delimičan ledeni pokrivač formirao se još krajem decembra, ali je tek sredinom januara prekrpio čitavu površinu jezera. Debljina leda u to vreme iznosila je oko 8 cm, mada je kasnije bila nešto manja. Sunčevom insolacijom kroz led s jedne strane i odavanjem toplote iz podloge s druge izazvano je zagrevanje graničnih slojeva vode, pa su se gornji gušći i teži slojevi spuštali niže i prenosili toplotu na ostalu vodenu masu. Kao krajnji rezultat ovoga mešanja povećala se temperatura celokupne jezerske vode, tako da je u kontaktnom sloju, na primer, porasla za 0,5° u odnosu na prethodni mesec. Nije isključeno da je na temperaturu vode u periodu zimske stagnacije imao izvesnog uticaja i povećani doticaj u jezero, izazvan otapanjem snežnog pokrivača sa okolnih planina.

Sredinom februara led je potpuno iščezao i jezero se napunilo do kote preлива, no to nije za sobom povukio neke veće promene u temperaturi. Krivulja za ovaj mesec potpuno se poklapa sa januarskom krivuljom, izuzev vrednosti za površinski sloj. U ovom slučaju se, počev od površine pa sve do 10 m, javlja homotermna zona ispod koje su progresivno sve topliji slojevi.

Cirkulacioni period proteže se i na naredni mesec u kome je termički gradijent najveći između površine i izobate od 2 m ($0,5^{\circ}$), a u nižim slojevima je mešanje vode znatno intenzivnije, o čemu svedoči razlika od $0,04^{\circ}/\text{m}$. Sudeći po srednjoj temperaturi celokupne vodene mase u ovom mesecu ($5,6^{\circ}$) prolećnje zagrevanje jezera u 1952. godini teče sporije nego u 1951, s obzirom da je februarska temperatura iz 1951. ($5,4^{\circ}$) gotovo identična temperaturi koja je zabeležena jedan mesec kasnije u narednoj godini. Sličnost spoljašnjih faktora, srednjih mesečnih temperatura vazduha i osobina vetrova, uslovila je i sličnu temperaturu vode u oba meseca.

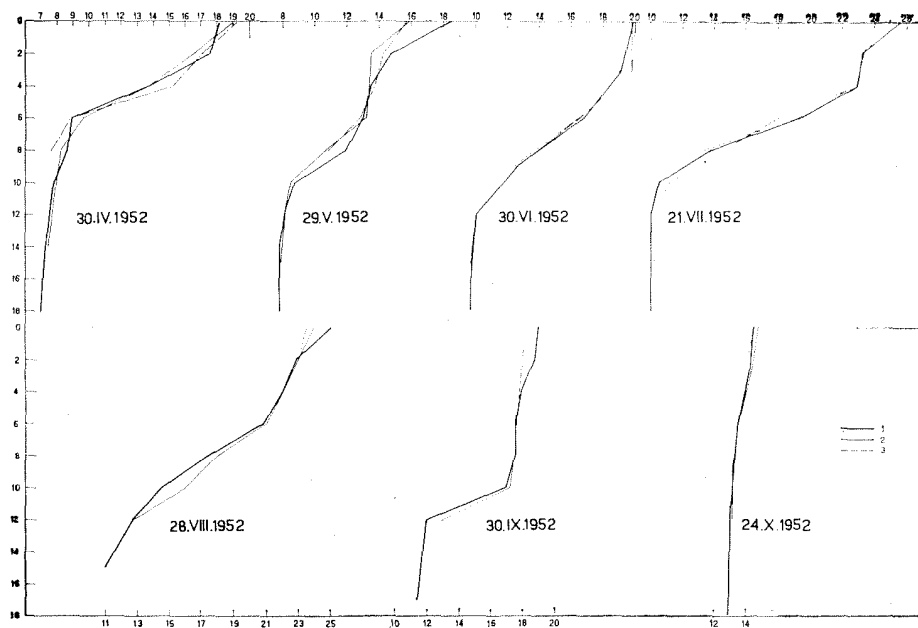
Međutim, za razliku od prethodne godine zagrevanje vode u aprilu veoma je naglo (na površini od $6,5$ na $13,6^{\circ}$) saglasno skokovitom prelazu u temperaturi vazduha (od $4,3$ na $13,4^{\circ}$). Počev od ovog meseca pa sve do septembra jezero je termički jasno stratifikovano na gornji heterotermni metalimnion i donji znatno hladniji hipolimnion. Kulminacija letnje stagnacije dostignuta je u mesecu julu, kada je temperaturni gradijent između površinske i kontaktne vode iznosio $15,6^{\circ}$. Otežan transport temperature u dubinu usled veće stabilnosti metalimniona i relativno rano uspostavljanje letnje stagnacije prouzrokovali su prilično hladan i u odnosu na 1951. godinu konstantniji hipolimnion, u kome je preko leta temperatura varirala od $7,8$ — 11° . Slične vrednosti zabeležene su i u periodu V—VII. 1950. godine, mada je temperatura celokupne vode bila u to vreme nešto veća.

Sa pojačanim duvanjem vetrova u jesen površinska temperatura se krajem septembra spustila do 19° , što označava početak jesenjeg hlađenja. Ipak se u ovom mesecu još uvek održava termička stratifikacija i temperaturni gradijent između 10 i 12 m dostiže veličinu od $4,9^{\circ}$. Kasnije su turbulentna mešanja vode sve izrazitija i transportovanje hladnih slojeva u dubinu sve intenzivnije, što najzad dovodi do homoternog stanja celokupne jezerske vode.

Gornje izlaganje odnosi se samo na temperaturu vode najdubljeg dela jezera pa se nameće pitanje da li je i u kom stepenu toplotni budžet isti i u ostalim jezerskim regionima. S obzirom da dubina akumulacije jako varira po uzdužnom profilu moglo bi se očekivati da će u njenom gornjem delu, usled male dubine, apsorbovana toplota lakše transportovati do samoga dna, što bi ovde prouzrokovalo različiti vertikalni raspored temperature.

Međutim, merenja na svakoj tački najdubljeg profila vršena u toku istoga dana ne pokazuju neke znatnije temperaturne razlike, kako u periodu zagrevanja tako isto i u vreme hlađenja jezera (Sl. 5). Za sve krivulje zajednički je opšti tok temperature, pošto konfiguracija dna ne

utiče na zoniranje vode. Jedino se u površinskom sloju uočavaju izvesna variranja. Ove razlike su samo privremenog karaktera i uslovljene su zagrevanjem ili hlađenjem vazduha za vreme temperaturnih merenja. Otuda će površina vode na ma kom profilu biti više ili manje zagrejana već prema tome da li su merenja vršena u pravcu profila ili suprotno od njega. U slučaju naglog pogoršanja vremena, kao što se dogodilo 29. maja 1952. godine usled iznenadne kiše, temperaturne promene mogu da se registruju i nešto dublje. Tako se na profilu 3 samo u roku od 1 h sloj



Slika 5. Temperaturne promene po uzdužnom profilu u toku stagnacione i cirkulacione periode: 1. profil 1, 2. profil 2, 3. profil 3.

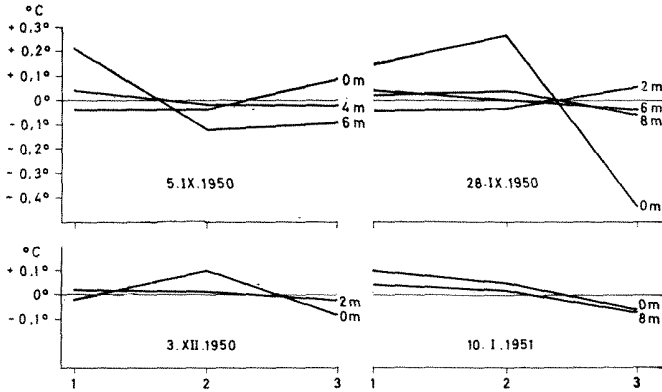
Abb. 5. Temperaturveränderungen auf dem Längsprofil im Laufe der Stagnations- und Zirkulationsperiode: 1. Profil 1, 2. Profil 2, 3. Profil 3.

na izobati od 2 m rashladio za blizu 1° , dok je na površini temperatura spala za $2,70$. Međutim, kasnije, prilikom merenja temperature na profilu 1, konstatovana je veća razlika na dubini od 2 m, koja je iznosila $1,7^{\circ}$.

Pored odstupanja u temperaturi površinskih slojeva, za vreme letnje stagnacije se primećuju i izvesne razlike u donjem metalimnionu i gornjem hipolimnionu. Na profilu 2 je u svim letnjim mesecima, izuzev juna, pomenuti sloj vode redovno topliji, ponekad za više od 1° , nego na drugim profilima. Šta je uzrok ovoj pojavi i koliko je ona karakteristična za Grošničko jezero ne bi se moglo za sada nešto bliže reći. Ipak se i pored ovih manjih variranja može zaključiti da je horizontalni raspored tem-

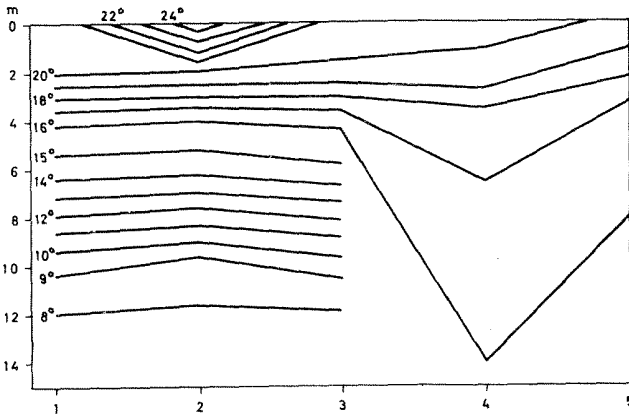
perature na ovom jezeru isti i da se stoga životni procesi u vodi odvijaju jednakim intenzitetom na ma kom njegovom delu.

Sličan se zaključak nameće i prilikom analize temperature vode na poprečnim profilima. Detaljna merenja vertikalne serije temperature na 5, odnosno 3 mesta duž poprečnog profila ispred brane, koja su obuhva-



Slika 6. Odstupanje temperature gornjih vodenih slojeva od odgovarajuće srednje temperature.

Abb. 6. Temperaturabweichen der Oberflächenschichten von der entsprechenden Mitteltemperatur.



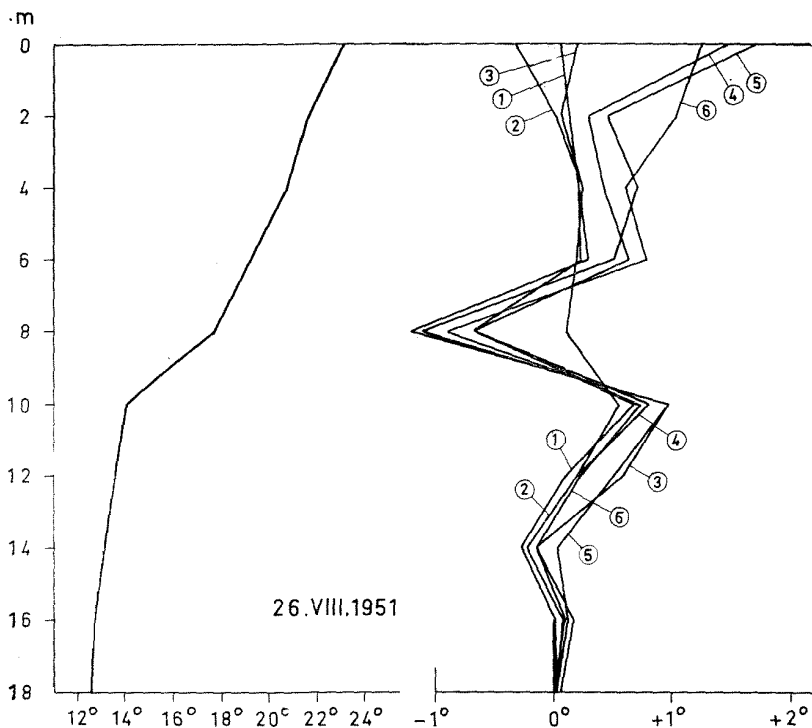
Slika 7. Položaj izoterme na profilu 1 u maju 1950.

Abb. 7. Isothermenlage auf dem Profil 1 im Mai 1950.

tila period od maja 1950. do januara 1951. godine, dakle i stagnacioni i cirkulacioni period, nisu pokazala neke bitnije razlike između obalskog regiona i regiona slobodne vode. Izuzev maja i juna u svim ostalim mesecima zapažaju se razlike od svega nekoliko desetih ili stotih delova od

stepena, koje su utoliko manje ukoliko se više približava cirkulacioni period. Za vreme jeseni i zime čitava vodena masa je ili potpuno jednako zagrejana ili odstupanja u temperaturi najviše iznose do 1/10 stepena.

Međutim, u ovim mesecima se zapaža posebna pravilnost u rasporedu temperature vode pojedinih delova obalskog regiona. Gotovo je stalna pojava da je voda na desnoj obali jezera jače zagrejana od srednje temperature datog vodenog sloja, a da je prema suprotnoj strani temperatura obično niža (Sl. 6). Nasuprot tome, za vreme letnje stagnacije voda je na levoj obali toplija, u najvećem broju slučajeva za svega 0,2—0,7°, dok je u početku leta ta razlika iznosila i nekoliko stepeni. Ona je naročito izrazita u maju, kada su vodeni slojevi na 6 i 8 m imali za 1—4° veću temperaturu od njihove prosečne (Sl. 7). Svakako da se ova pojava može dovesti u vezu sa prilivom vode iz Ostri potoka. Pošto se on uliva u neposrednoj blizini profila 1 to će ovde dublji slojevi obalskog regiona imati preko leta veću, a u jesen nižu temperaturu, zbog direktnog uticaja toplije, odnosno hladnije vode Ostri potoka u to vreme. Otuda je u periodu

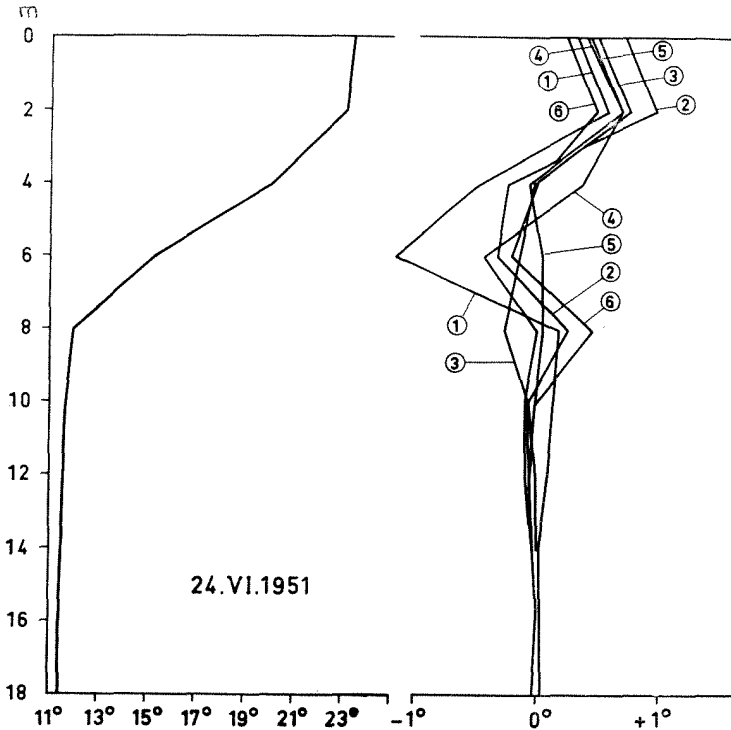


Slika 8. Temperaturne promene na profilu 1 u odnosu na 26. VIII. 1951: 1—27. VIII, 2—28. VIII, 3—29. VIII, 4—30. VIII, 5—31. VIII, 6—1. IX. 1951.

Abb. 8. Temperaturveränderungen auf dem Profil 1 im Verhältniss zu 26. VIII. 1951.

letnje stagnacije hipolimnion topliji na tom mestu od ostale vode duž poprečnog profila, dok je u periodu cirkulacije, naprotiv, nešto hladniji.

Sudeći prema stanju temperature vode u blizini uliva Ostri potoka mogla bi se pretpostaviti da je slična situacija i pri ušćima drugih rečica, iz čega bi proizišao zaključka da se u Grošničkom jezeru mogu naći mesta sa drukčijim toplotnim odnosima. Međutim, kako su to samo mali prostori u odnosu na celokupnu vodenu masu, a priticaj vode sa slivnog pod-



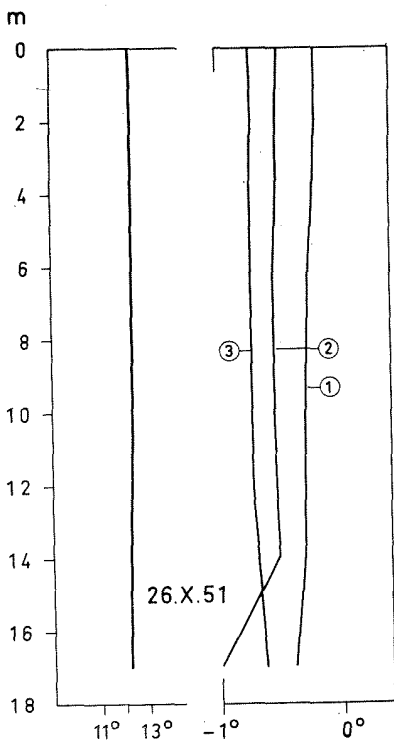
Slika 9. Temperaturne promene na profilu 1 u odnosu na 24. VI. 1951: 1 — 25. VI, 2 — 26. VI, 3 — 27. VI, 4 — 28. VI, 5 — 29. VI, 6 — 30. VI. 1951.

Abb. 9. Temperaturveränderungen auf dem Profil 1 im Verhältniss zu 24. VI. 1951.

ručja je najvećim delom godine vrlo ograničen, pa samim tim i njegovo dejstvo na jezersku vodu, to je opravdano gledište da je na čitavoj širini Grošničkog jezera toplotni budžet isti. Tome je svakako doprineo nedovoljno razvijen litoralni region, usled čega ne postoje plitki delovi litorala koji bi se od ostale jezerske vode brže zagrevali i hladili i time uslovlili različit raspored temperature u obalskom regionu i regionu slobodne vode.

Da bi utvrdili kojom se brzinom i u kom stepenu voda Grošničkog jezera zagreva i hladi, vršili smo u toku nekoliko uzastopnih dana tem-

peraturna merenja vertikalne serije na najdubljoj tački profila 1, uvek oko 12 h. Ova posmatranja su obuhvatila period od juna do oktobra 1951. godine. Merenja su pokazala da su temperaturna variranja u vremenskom razmaku od jednog dana uopšte vrlo mala, čak i u kulminaciji letnje stagnacije. Nešto su veće promene u površinskoj vodi, koja je pod direktnim uticajem sunčeve radijacije, ali je i tu amplituda maksimalno iznosila $1,27^\circ$. Ona je zabeležena između 29. i 30. avgusta, kada je temperatura vazduha bila visoka i jačina vetra od svega 1 bofora (Sl. 8). U najvećem broju slučajeva temperaturna amplituda je znatno manja



Slika 10. Temperaturne promene na profilu 1 u odnosu na 26. X. 1951: 1 — 27. X, 2 — 28. X, 3 — 29. X. 1951.

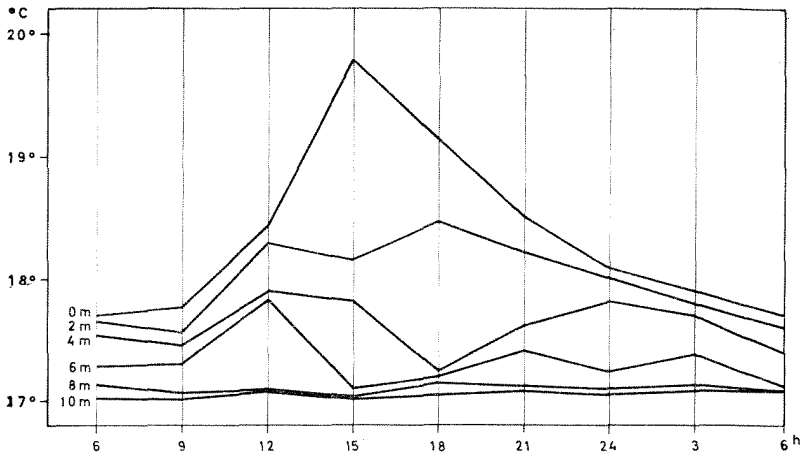
Abb. 10. Temperaturveränderungen auf dem Profil 1 im Verhältniss zu 26. X. 1951.

i kreće se od $0,51-0,21^\circ$, pri čemu su manje vrednosti vezane za period hlađenja jezera (Sl. 9 i 10). Sve ovo pokazuje da se voda Grošničkog jezera prilično sporo zagreva i hladi, čak i u površinskim slojevima, da ne govorimo o hipolimnetičkoj zoni, gde temperaturne razlike između nekoliko uzastopnih dana mogu najčešće da iznesu svega $0,1^\circ$.

Međutim, temperatura vode može u kraćem vremenskom razmaku više da varira nego iz dana u dan. To se lepo zapaža iz rezultata merenja temperature u toku 24h, koja su vršena krajem septembra 1950. i juna 1951. godine. U oba slučaja se direktan uticaj sunčeve radijacije odražava na temperaturi vode sve do 6 m dubine, mada je intenzitet njenog dejstva u jesen slabiji. Najveće promene se javljaju u površinskom sloju, koji se u toku dana naglo zagreva, a preko noći hladi. Tako je 26. IX 1950. godine, za vreme tihog i sunčanog dana, temperatura površinskog sloja porasla sa $17,7^\circ$ u 6h na $19,8^\circ$ u 15h, dakle za $2,1^\circ$. I na 2 m je zapažen porast temperature u istom periodu, samo što je on bio znatno manji i iznosio $0,83^\circ$. U 18h sunce je već potpuno zašlo, a počeo je da duva i jugoistočni vetar, pa je do 24h površinska temperatura spala za $1,72^\circ$ i idućeg dana u 6h dostigla istu vrednost kao i predhodnog jutra u isto vreme (Sl. 11).

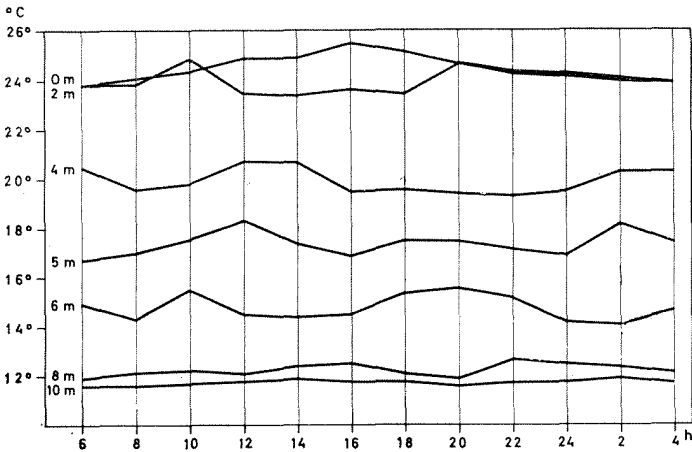
Sasvim analogni rezultati dobijeni su i 28/29. VI 1951. godine, pri merenjima temperature u još kraćim vremenskim razmacima (2 h) u toku 24 h. Toga dana se usled naoblačenog neba površinska voda slabo zagrevala sve do 10 h, što je omogućilo da se homotermni epilimnion duže zadrži. On je razrušen tek u podne, pošto se tada voda naglo zagrejala, i u

tom stanju je ostao sve do 20 h, kada je pod dejstvom jakog severozapadnog vetra ponovo formiran homotermni epilimnion (Sl. 12). Prema tome, i početkom leta je ritam zagrevanja i hlađenja gornjih slojeva vode u toku 24 h isti kao i u ranoj jeseni samo što je temperaturna amplituda različita, u vezi sa različitom jačinom sunčeve radijacije i različitim pravcem i jačinom vetra.



Slika 11. Temperaturne promene na najdubljoj tački profila 1 u toku 24h (26/27. IX. 1950).

Abb. 11. Temperaturveränderungen auf der tiefsten Punkt des Profils 1 im Laufe 24h (26/27. IX. 1950).



Slika 12. Temperaturne promene na najdubljoj tački profila 1 u toku 24h (28/29. VI. 1951).

Abb. 12. Temperaturveränderungen auf der tiefsten Punkt des Profils 1 im Laufe 24h (28/29. VI. 1951).

KRATAK REZIME

Makroklima Grošničkog jezera pokazuje izvesne specifičnosti u godinama u kojima su vršena ispitivanja. Na osnovu temperaturnih podataka 1950. se izdvaja po najvećoj srednjoj godišnjoj (26,3) i apsolutnoj (57,2°) amplitudi, što je posledica relativno hladne zime i toplog leta. Niske zimske temperature zabeležene su i u 1952. godini, koja se inače karakteriše najhladnijim prolećem i najtoplijom jeseni. Obe ove godine su različite i po količini taloga u letnjem i jesenjem periodu, kao i po debljini snežnog pokrivača, mada u pogledu godišnje sume padavina predstavljaju ekstremne slučajeve; dok je 1950. označena kao sušna, 1952. godina je, naprotiv, najvlažnija. I pored toga obe imaju malo taloga u letnjim mesecima, ali je u prvoj sušni period znatno duži i sa manjim stepenom suše nego u drugoj, koja se odlikuje kratkom i vrlo jakim sušom.

Međutim, u 1951. godini nisu zabeležene izrazite suše preko leta, već se vlažni period proteže preko čitave godine, sa nešto većom amplitudom u proleće i jesen. U pogledu termičkih uslova 1951. se karakteriše najmanjom srednjom godišnjom amplitudom (17,4°), kao rezultat hladnog leta i blage zime.

Toplotni ciklus Grošničkog jezera je obeležen, u opštim crtama, prolećnjom i jesenjom cirkulacijom, kada je sva vodena masa manje ili više podjednako zagrejana (na 6°, odnosno 9—12°), i letnjom i zimskom stagnacijom, u kojima se javlja vertikalno termičko zoniranje jezerske vode. Međutim, u 1951. godini, zbog izrazito blage zime, nije došlo do formiranja ledenog pokrivača na površini jezera, usled čega se cirkulacioni period proteže i na zimske mesece.

Letnja stagnacija otpočinje krajem proleća i traje do sredine jeseni, dostižući kulminaciju u julu. Zbog skokovitog povećanja temperature vazduha u 1952. godini došlo je do stratifikovanja jezerske vode već u aprilu. Prethodne godine je, međutim, nastupilo nešto kasnije, ali je i pored toga čitava vodena masa bila nešto toplija u odnosu na 1952. godinu. Najveće razlike postignute su u hipolimnionu, u kome je temperatura varirala od 10—14° u prvoj i 9—11° u drugoj godini.

U Goršničkom jezeru nisu utvrđene gotovo nikakve razlike u horizontalnom rasporedu temperature. Takođe se zapaža slabo variranje toplote i u funkciji vremena. Promene su najizrazitije u površinskom sloju, koji je pod direktnim uticajem sunčeve radijacije. Treba naglasiti da se ovi slojevi i brže zagrevaju i brže hlade u kraćem vremenskom razmaku nego u roku od 1—2 dana, kada razlika najčešće iznosi svega 0,5° ili čak i manje. Međutim, prodiranje toplote u dublje slojeve znatno je sporije pa je tu i temperaturna amplituda neznatna (0,1°).

LITERATURA

- Baranov V. I. (1961): Termičeskij i hidrohimičeskij režim Gorkovskovo vodohranilišča. Tr. instit. biol. vodohr., 4 (7).
- Dimitrov M. (1957): Hidrološki i hidrobiološki karakteristika na jazovir »Al. Stambolijski«. Nauč. isledovat. inst. po ribar. i rib. promiš., 1.
- Gurvič V. F. i Paviova V. M. (1954): K hidrobiologii Orto — Tokajskovo vodohraniljišča. Tr. probl. i temat. sovešč. ZIN AN SSSR, 7.
- Haempel O. und Stundl K. (1943): Fischereibiologische Untersuchungen an der Frainer 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 shem-technolog. v Praze, 2, 2.
- Ivanov B. V. (1958): Atmosfernoje uvlažnenije tropičeskij i sopredelnyh stran zemno šara. AN SSSR, Moskva.
- Janković J. M. (1959): Pojava mutnih struja u Grošničkoj akumulaciji i njihov značaj za produkcione procese jezera. Arh. biol. nauka, IX, 1—4.
- (1966): Dinamika brojnosti i biomase zooplanktona baražnog jezera kod Grošnice. Ekologija, 1, 1—2.
- (1962—1964): Proučavanje fitoplanktona baražnog jezera kod Grošnice. Zbornik radova Botaničke bašte, Tom II, 1—4.
- (1966): Ciklus razvića nekih Chironomidae iz Grošničkog jezera. Arhiv biol. nauka, 18, 2.
- Stanković S. (1944): Thermik des Ohridsees II. Verhalten der Schichtgrenzen. Arch. Hydrobiol., 40.
- Stanković S. et Hadžišić S. (1959): La thermique du lac d'Ohrid. Zb. rab. Hidrobiol. zav. Ohrid 1.
- Vivier F. (1956): Le lac d'Eguzon. Anal. stat. cen. hydrobiol. appl., 6.
- Walter H. (1957): Wie kan man den Klimatypus anschaulich darstellen? Umsehen in Wisc. u. Fechik., 24.
- Wundsch H. H. (1924): Die Neisse Staubecken von Ottmachau O. S. in seiner Entwicklung zum Fischgewässer. Zeit. Fisch., 40.

(Iz Instituta za biološka istraživanja SRS, Beograd)

Zusammenfassung

MIRJANA JANKOVIĆ

DER TERMISCHE ZYKLUS DES GROŠNICASEES

In vorliegender Arbeit sind Resultate der dreijährigen Temperaturuntersuchungen des Grošnicasees ausgelegt. In der Periode 1950—1952 wurden die vertikale und horizontale Wassertemperaturzonierung, wie auch die Temperaturänderungen im Laufe 24h beobachtet.

Es erwies sich dass der termische Zyklus des Grošnicasees durch die Frühlings- und Herbsteszirkulation gezeichnet ist, wann die ganze Wassermenge mehr oder weniger gleichartig erwärmt war (6° bzw. 9—12°), und durch die Sommer- und Winterstagnation, in den die vertikale Zonierung des Seeswassers erschienen war. Indessen, im Jahre 1952 war, infolge ausdrucksvolles milden Winter, keine Eisdecke formiert, deswegen die Zirkulationsperiode sich auch im Laufe der Wintermonaten verlängert hatte.

Sommerstagnation beginnt gegen das Frühlingsende und dauert bis an die Herbstesmitte, mit einer Kulmination im Juli. Infolge sprunghafter Vergrößerung der Lufttemperatur im Jahre 1952 erscheint die Stratification des Seeswassers schon im April. Voriges Jahr traf sie sich etwas später, aber trotzdem war die ganze Wassermenge etwas wärmer als im 1952. Die grössten Unterschiede sind in Hypolimnion anzutreffen, in der die Temperatur zwischen 10—14° im ersten und 9—11° im zweiten Jahre variiert hatte.

In horizontaler Temperaturverteilung sind fast keine Unterschiede konstatiert. Auch ist es bemerkt die kleine Temperaturfluktuation im Verlaufe der Zeit. Die Veränderungen sind ausdrückvollsten in der Oberflächenschichten, die sich in kürzerer Zeitspanne schneller erwärmen und auch schneller kühlen als im Laufe der 1—2 Tagen. Die Unterschiede sind dann am häufigsten nur 0,5° oder sogar weniger. Indessen das Wärmedringen ist durch tiefere Schichten bedeutend langsamer, deswegen da die Temperaturamplitude auch unbedeutend ist (0,1°C).

(Institut für biologische Untersuchungen, Beograd)