

TERMIKA JEZIORA SŁAWSKIEGO

Badania termiki jezior, a w konsekwencji badania bilansu cieplnego wód powierzchniowych mają istotne znaczenie przy określaniu wpływu jezior na kształtowanie się klimatu w danym regionie. Jeziora bowiem w naszych szerokościach geograficznych łagodzą klimat — zmniejszają amplitudę temperatury mas powietrznych danej okolicy. Na wiosnę i na początku lata pobierają dużo ciepła z atmosfery, co powoduje przedłużanie się okresu wiosennego i obniża letnie temperatury powietrza. Zupełnie odmienne zjawisko obserwujemy jesienią, kiedy to jeziora powoli oddają nagromadzone ciepło otoczeniu. Badania nad Bajkałem wykazały, że w okresie zimowym ogrzewa ono okolicę średnio o 4°C , a w lecie oziębia o 6°C . Wpływ jeziora na klimat zależy jest od wielkości zbiornika (powierzchnia, pojemność misy jeziornej). Jezioro Sławskie o powierzchni 817 ha i pojemności 42,5 mil m^3 jest największym na terenie woj. zielonogórskiego. Jest też największym akwenem Pojezierza Sławskiego do którego zaliczamy także grupę jezior Przemęcko-Wieleńskich leżących już w woj. leszczyńskim.

Ustalony przez hydrologów podział jezior wg wielkości klasyfikuje Jezioro Sławskie w przedziale od 100 ha do 1000 i nazywa je średnim. Jezior w tym przedziale jest w Polsce 545, a jezior dużych >1000 ha jest 34. Widzimy więc, że Jezioro Sławskie jest blisko granicznej wartości jezior dużych i wobec tego wywiera znaczny wpływ na klimat okolic Sławy. Dlatego celowym jest prowadzenie badań nad termiką tego jeziora.

Temperatura wody każdego jeziora jest jedną z najważniejszych cech fizycznych, która reguluje procesy biologiczne i chemiczne w środowisku wodnym. W zależności od temperatury zmienia się natężenie procesów biologicznych, szybszy lub powolniejszy rozwój organizmów. Od temperatury zależy rozpuszczalność soli mineralnych. W wyniku powyższych zależności z termiką związana jest czystość i jakość wody.

Mimo ważności zagadnienia należy stwierdzić iż występuje małe za-

interesowanie hydrologów termiką jezior. Przy czym jeśli już interesowano się temperaturą wody w jeziorach dotyczyło to głównie warstw powierzchniowych i związane było z badaniami biologicznymi. Termika wód głębinowych, z uwagi na brak dobrych przyrządów pomiarowych wykonywana była sporadycznie. Nigdy nie były to badania ciągłe, a tylko ekspedycyjne. Badania ciągłe istnieć mogły tylko w wypadku funkcjonowania limnologicznych stacji badawczych. Dlatego literatura omawiająca stosunki termiczne wód jeziornych jest nieliczna.

Na uwagę zasługują prace Kondrackiego (7), Olszewskiego (12), Patalasa (14). Warto dodać, że na Ziemi Lubuskiej niemalże pionierskie badania w tej dziedzinie prowadził Krajniak (6), a od 1970 r., w związku z podjęciem kompleksowych badań stanu czystości jezior przez Laboratorium Badania Wód i Ścieków PWRN w Zielonej Górze wykonywano także pomiary temperatury wód powierzchniowych i wgłębnych na licznych jeziorach tego regionu — Mendaluk (10).

Systematyczne badania nad temperaturą wód powierzchniowych jezior podjęto w Polsce w 1960 r. w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym (obecnie Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej), gdzie na 19 jeziorach założono posterunki pomiarowe. Na posterunkach tych prowadzono obserwacje 1 raz na dobę o godz. 7.00 na gł. 40 cm. a wyniki pomiarów publikowane są w rocznikach hydrologicznych PIHM (obecnie IMGW). Wprawdzie obecnie na jeziorach czynnych jest 120 posterunków — Pasławski (13), ale są to głównie posterunki wodowskazowe, a zakres ich pracy ogranicza się do prowadzenia systematycznych obserwacji nad wahaniami stanów wody. Nadal więc zainteresowania termiką jezior są małe. Godzi się jednak przypomnieć iż w 1968 r. powstała w PIHM w rejonie Konina* — Stacja Badania Wód Podgrzanych (już nieczynna), która zajęła się badaniem problemu zrzutu gorących wód z elektrowni Pątnów do pobliskich jezior. Obecnie działają na Niziu Polskim 3 stacje, które prowadzą systematyczne pomiary termiki wód powierzchniowych i głębinowych na wybranych jeziorach:

- 1) Borucino — (Instytut Geografii Uniwersytetu Gdańskiego)
— Pojezierze Kaszubskie
- 2) Mikołajki — (IMGW) — Kraina Wielkich Jezior
- 3) Radzyń — (IMGW) — Pojezierze Sławskie

* Konin — po opracowaniu problemu stacja została zlikwidowana

1. Metoda badawcza

Jeziro Sławskie, wysunięte daleko na południe, leży na granicy zasięgu zlodowacenia bałtyckiego. To spowodowało iż dość wcześnie podjęto tu badania hydrologiczne przez PIHM. Pod koniec lat 50-tych zainstalowano posterunek wodowskazowy z pomiarem temperatury wody oraz zorganizowano posterunek ewaporometryczny — brzegowy i pływający. W roku 1970 podjęła pracę nowo zbudowana Stacja Badawcza Parowania w Radzynie. Zadaniem Stacji jest prowadzenie badań nad ważnym elementem bilansu wodnego jakim jest parowanie. Podjęto też badania nad dynamiką obiegu wody w zlewni Jeziora Sławskiego (200 km²) organizując zlewnię reprezentatywną. Zainteresowano się też termiką jezior. Najpierw prowadzono pomiary na Jeziorze Sławskim, w następnych latach rozszerzone je na inne jeziora Pojezierza Sławskiego, Od 1977 r. podjęto także systematyczne pomiary na Jeziorze Trześńńwskim k/Łagowa.

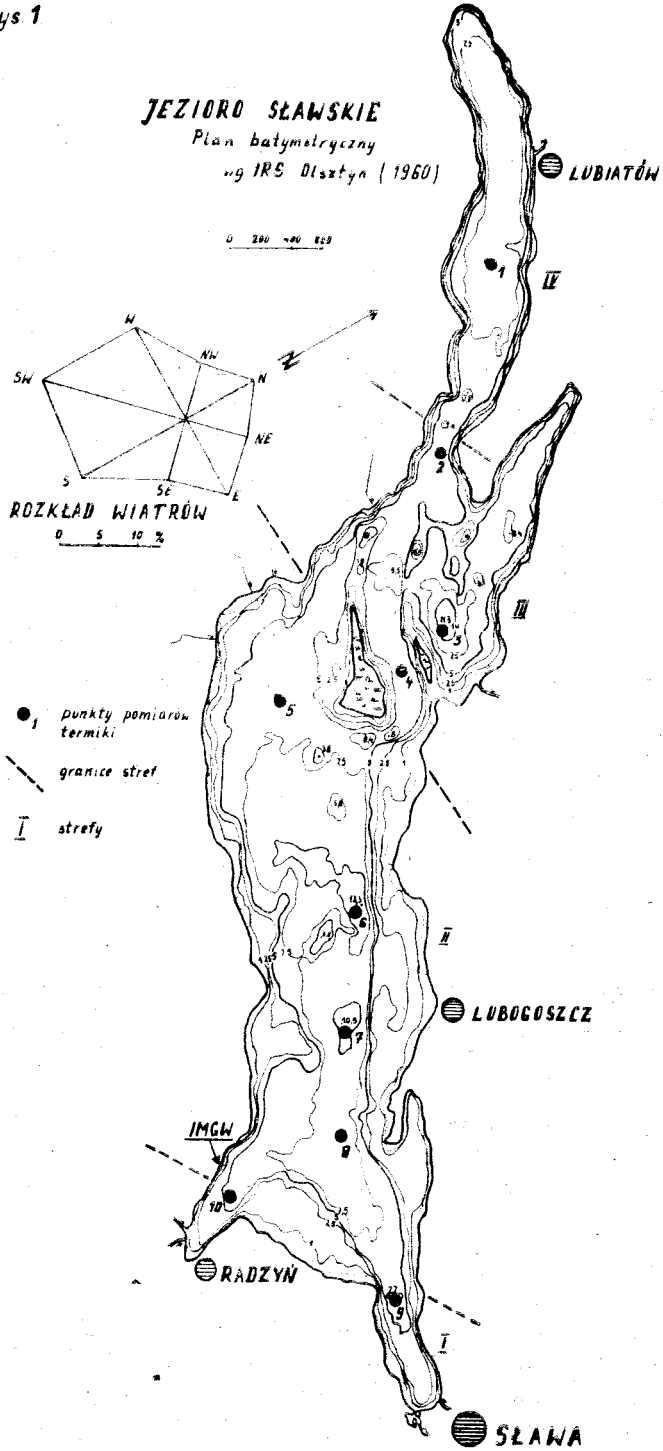
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad termiką Jeziora Sławskiego w okresie 1972—1977 (okres 6 lat). W okresie tym prowadzono codzienne pomiary temperatury wód powierzchniowych w strefie przybrzeżnej, poza zasięgiem roślinności wynurzonej. Pomiary te wykonywano o godz. 7.00 przez cały rok. W celu poznania termiki wód głębinowych wyznaczono na jeziorze 10 punktów w których 1 raz w miesiącu (III dekada) wykonywano pomiary od powierzchni do dna. Dzięki czemu poznano w 10 profilach pionowy rozkład temperatury. Pozwoliło to jednocześnie uchwycić przestrzenne zależności w rozkładzie temperatury wody w tym dużym akwenie. W okresach zimowych prowadzono obserwacje i pomiary zjawisk lodowych, a w ciągu całego roku pomiary przezroczystości.

Do badań używano następujących przyrządów pomiarowych — termometr wodny rtęciowy, termometr termistorowy i krążek Secchiego.

2. Charakterystyka morfometrii Jeziora Sławskiego

Pojezierze Sławskie wydzielone zostało w podziale fizyczno-geograficznym Polski stosunkowo niedawno — Bartkowski (1), Kondracki, Ostrowski (8). Przy czym Bartkowski zalicza je do Pojezierza Lubuskiego, natomiast Kondracki, Ostrowski do Pojezierza Leszczyńskiego. Morfologiczne granice Pojezierza są dość wyraźne. Na północy jest to pocięta kanałami Dolina Obry, na południu strefa moren czołowych zlodowacenia bałtyckiego. Pojezierze Sławskie stanowi wyraźną depresję, na której brzegach usytuowane są formy strefy margi-

Rys. 1



nalnej — moreny, wydmy, sandry. Dno depresji zalegają jeziora, które występują tu w 2 grupach,

- 1 — grupa jezior Przemęcko-Wieleńskich na północy
- 2 — grupa jezior Sławskich na południu.

Jezioro Sławskie jest największe, a jego parametry morfometryczne są następujące:

TABELA 1

DANE MORFOMETRYCZNE JEZIORA SŁAWSKIEGO
wg IRS — Olsztyn 1960 r.

Powierzchnia km ²	Długość km	Szerokość max. (km)	Szerokość śred. (km)	Długość lini brzeg km	Głębokość max. (m)	Głębokość średnia (m)	Objętość mil m ³	Roślinność wyrzozona
8,17	9,2	1,6	0,886	24,6	12,3	5,2	42,46	6%

Analiza morfometrii (Rys. 1) wykazuje iż misa jeziorna jest szeroka i płytka. Ma to duże znaczenie dla miksji (mieszanie) wód jeziora, a w konsekwencji decyduje o reżimie termicznym. Brzegi są niskie, obramowane lasami. Osł główna rynny jeziornej skierowana jest na NW-SE. Linia brzegowa dobrze rozwinięta. Na planie jeziora wyraźnie wykształcone są zatoki (5), wyspy (4) i półwyspy. Wyraźnie wykształcone jest płoś czyli śródzieżerze. Rozległe śródzieżerze nie tworzy jednolitej misy. Spotykane są liczne głęboczki o małej powierzchni, oraz rozczłonkowane pływaczki. Nachylenie stoków misy jest zróżnicowane. W północnej strefie brzegowej występują kilkumetrowe strome stoki, od południa misa jeziorna ma stoki łagodne. W środkowej części jeziora grupują się wyspy. Razem jest ich 4, o łącznej powierzchni 10,6 ha. Przy czym jedna z nich jest duża o powierzchni 9 ha, reszta jest znacznie mniejsza. Wyspy rozdzielają śródzieżerze na oddzielne enklawy tworząc zatoki i odgałęzienia. Dalej w kierunku NW następuje wyraźne zwężenie jeziora. Misa ma tu charakter typowej rynny, stoki są strome w strefie brzegowej, dno płaskie bez głęboczków i pływaczki. Brzegi są wysokie, porośnięte lasem.

Widzimy więc, że stosunki batymetryczne oraz morfologia pozwalają wydzielić Na Jeziorze Sławskim kilka stref

- I — strefa zatok przybrzeżnych w rejonie SE
- II — śródzieżerze
- III — strefa wysp i zatok
- IV — strefa zwężonej rynny w rejonie NW (Rynna Lubiatowska)

W strefach tych występują znaczne różnice wpływu wiatru na mieszanie się wód jeziornych, co z kolei wpływa na temperaturę tych wód w pionie i poziomie. Wykres róży wiatrów wskazuje iż przewagę mają wiatry z kierunków SW, S i W, poza tym są to też wiatry o największych prędkościach. Będą więc one w decydujący sposób wpływać na mieszanie się wód.

TABELA 2

KIERUNKI I ŚREDNIE PRĘDKOŚCI WIATRÓW
wg IMGW — Radzyń

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
Częstotliwość %	10	8	12	8	16	20	14	8	5
Średnia prędkość m/s	3,1	3,2	2,9	2,8	2,9	3,3	3,3	3,3	

Z wydzielonych wyżej stref śródziejerze będzie najbardziej wystawione na wpływ wiatru. Z uwagi na jego powierzchnię silnie oddziaływać będą na tą strefę wiatry z wszystkich kierunków. Na śródziejerzu jest możliwość powstania rozbiegu fal do 7 km długości (przy kierunkach W, E). Pozostałe strefy są już w mniejszym stopniu narażone na działalność wiatru.

3. Analiza termiki jeziora

A) Wody powierzchniowe

Pojezierze Sławskie leżące w środkowo-zachodniej Polsce cechuje się dużą łagodnością klimatu. Zimy nie należą tu do ostrych, lata z kolei nie są upalne. Wg klimatologów (Gumiński [5]) przez omawiany region przechodzi granica dzielnic rolniczo-klimatycznych: środkowej i zachodniej (lubuskiej). Inni (Prawdzic i Koźmiński [16]) zaliczają ten obszar do Krainy X „Pas pradolin południowych” i charakteryzują go następującymi parametrami:

TABELA 3

WAŻNIEJSZE DANE KLIMATYCZNE
wg K. Prawdzic, Cz. Koźmiński

Średnia temp. roczna °C	Średnia temp. V—VIII °C	Data początku zimy t. śred. <0°C	Długość zimy w dniach	Opady mm
8,2—8,3	15,9—16,1	23—24.XII	65—71	490—550

W analizowanym okresie średnia temperatura powietrza na Stacji Badawczej w Radzynie była następująca:

TABELA 4

ŚREDNIE TEMPERATURY POWIETRZA (°C)
wg IMGW — Radzyń

Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1972	-4,1	1,3	4,8	8,1	12,7	16,5	19,9	16,7	10,9	6,3	5,2	-0,4	8,2
1973	-0,9	2,3	4,4	5,4	12,9	16,7	18,3	17,7	13,9	7,1	2,8	-0,4	6,4
1974	1,7	2,7	5,2	7,7	11,6	14,8	16,1	18,1	13,6	6,4	4,5	4,5	8,9
1975	4,4	-0,3	3,7	7,0	13,5	16,4	19,4	19,0	16,5	8,0	2,7	1,8	9,3
1976	0,0	-1,5	0,3	6,9	12,8	16,6	19,3	15,9	12,8	8,5	5,4	-0,9	8,0
1977	0,5	1,6	6,0	6,1	12,8	17,6	16,8	16,6	11,8	9,3	5,9	1,2	8,8
średnia 1972—1977	0,3	1,0	4,1	6,9	12,7	16,4	18,3	17,3	13,2	7,6	4,4	1,0	8,6

Średnia roczna wynosiła $8,6^{\circ}\text{C}$. W styczniu średnia wahała się od $+4,4^{\circ}\text{C}$ (75 r.) do $-4,1^{\circ}\text{C}$ (72 r.), a średnia stycznia z wielolecia $0,3^{\circ}\text{C}$. W lipcu maximum $19,9^{\circ}\text{C}$ (72 r.) do minimum $16,1^{\circ}\text{C}$ (74 r.). Średnia lipca z wielolecia $18,3^{\circ}\text{C}$.

Dane powyższe o temperaturę powietrza są ważne, gdyż wpływają one bezpośrednio na temperaturę wód powierzchniowych.

Średnie temperatury wody na głębokości 0,4 m kształtowały się następująco: (tabela 5):

Granicą jest tutaj 0°C . Najniższe temperatury, poniżej 1°C wystąpiły w styczniu ($0,8^{\circ}\text{C}$, $0,5^{\circ}\text{C}$) oraz grudniu ($0,6^{\circ}\text{C}$). Te niskie temperatury związane są zawsze ze zlodzeniem jeziora. Głównie dotyczy to okresu powstawania zlodzenia. Charakterystyczne, że temperatura wody w czasie zlodzenia rośnie. W badanych okresie zlodzenie było bardzo zróżnicowane pod względem czasu i intensywności. Jednak zjawisko wzrostu temperatury wody powierzchniowej występuje nawet w przypadku długiego okresu zlodzenia. Zjawisko to i proces kształtowania termiki jeziora w okresie zimowym można podzielić na okresy — Grzesz (4).

- 1 — okres zimowego ochładzania od momentu wystąpienia maksymalnej gęstości (temp. wody 4°C) do chwili powstania pokrywy lodowej. Jest to okres najniższych temperatur wód powierzchniowych i głębinowych czyli minimum pojemności cieplnej jeziora.
- 2 — okres zimowego nagrzewania, rozpoczyna się z chwilą powstania pokrywy lodowej. Występuje tu zjawisko uwalniania się z osadów dennych ciepła, a także występuje ogrzewanie wierzchniej warstwy wody pod lodem wskutek insolacji słonecznej po zaniku śniegu na lodzie.

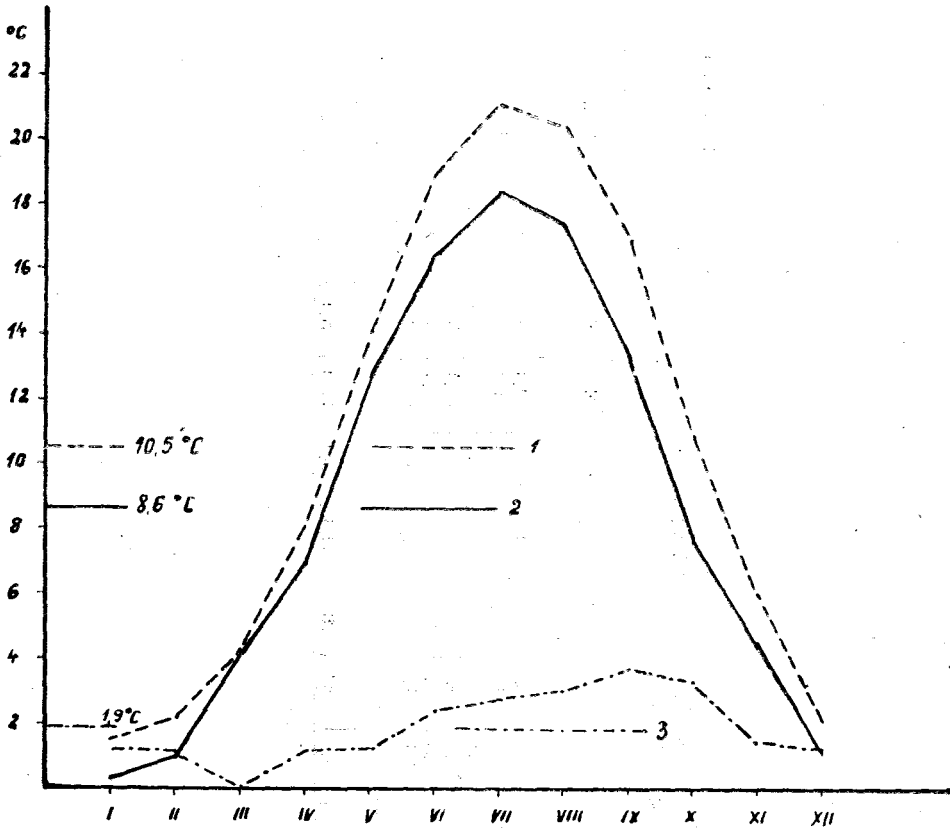
Temperatury maksymalne występują w lipcu, średnia wieloletnia $21,0^{\circ}\text{C}$, i tu regułą jest iż III dekada jest okresem najwyższych temperatur. Chociaż w 1974 r. max wystąpiło w czerwcu, ale wyższe było od temperatury lipca tylko o $0,2^{\circ}\text{C}$. Maxima letnie, inaczej roczne, kształtowały się od $19,8^{\circ}\text{C}$ do $22,2^{\circ}\text{C}$. Przy czym te wyższe występują zawsze w lipcu. Jeśli występuje wyjątek od tej reguły wtedy maximum jest znacznie niższe. Główną przyczyną tego zjawiska jest istotny związek między temperaturą powietrza i temperaturą wody powierzchniowej w jeziorze. Te odchylenia maximum występują wtedy gdy analogiczna sytuacja występuje w rozkładzie temperatury powietrza. Średnia roczna temperatura wód powierzchniowych jeziora Sławskiego wynosi $10,5^{\circ}\text{C}$. Różnica więc między temp. powietrza i wody wynosi $1,9^{\circ}\text{C}$. O tyle woda jest cieplejsza.

Interesującym jest porównanie średnich temperatur powietrza i wody. Przedstawiono to na wykresie (Rys. 2). Krzywe przebiegu roczne-

Tabela 5

ŚREDNIE TEMPERATURY WODY (°C) GŁĘBOKOŚĆ 0,4 m
wg IMGW — Radzyń

Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII	Rok
1972	1,0	1,5	4,0	8,8	13,6	18,3	22,0	20,3	16,0	9,8	6,4	1,8	10,3
1973	0,8	2,4	3,9	7,2	13,0	19,0	21,5	21,0	17,3	11,0	4,3	0,6	10,2
1974	1,2	2,9	4,0	9,5	13,9	17,5	18,5	20,5	17,7	10,2	5,4	4,1	10,4
1975	3,9	2,5	4,7	7,5	15,6	19,2	22,0	21,8	18,6	11,9	5,4	2,4	11,3
1976	1,6	1,1	2,7	8,2	13,3	18,4	22,2	19,3	16,1	11,6	6,6	2,1	10,3
1977	0,5	2,0	5,5	6,6	14,0	19,8	19,6	19,0	15,8	11,0	7,4	2,4	10,3
Średnia 1972—1977	1,5	2,1	4,1	8,0	13,9	18,7	21,0	20,3	16,9	10,9	5,9	2,2	10,5



Rys. 2.

*Średnie temperatury: 1 - wody powierzchniowej
2 - powietrza 3 - różnica*

go temperatur są zgodne. W tych samych miesiącach występują minima (I) i maxima (VII). Charakterystyczne jest jednak iż wykres temperatury wody znajduje się zawsze powyżej linii wykresu temperatury powietrza. Woda jest zawsze cieplejsza niż powietrze. Problem ten analizowany był przez Kowalską (9). Wymieniona autorka temperatury średnie z Jeziora Sławskiego porównywała ze średnimi temperaturami powietrza z Zielonej Góry. Z uwagi na odległość stacji meteorologicznej od zbiornika (około 40 km) wyniki Kowalskiej są nieporównywalne z obecnymi. Średnia temperatura wody Jeziora Sławskiego tylko w marcu równa jest średniej temperaturze powietrza ($4,1^{\circ}\text{C}$), później z każdym miesiącem różnica między tymi temperaturami wzrasta i najwyższa jest we wrześniu ($3,7^{\circ}\text{C}$), następnie obniża się i w okresie zimowym utrzymuje się na poziomie $1-1,5^{\circ}\text{C}$.

TABELA 6

ZESTAWIENIE ŚREDNICH TEMPERATUR (°C) Z OKRESU 1972—1977

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Powietrze	0,3	1,0	4,1	6,9	12,7	16,4	18,3	17,3	13,2	7,6	4,4	1,0	8,6
Woda (0,4 m)	1,5	2,1	4,1	8,0	13,9	18,7	21,0	20,3	16,9	10,9	5,9	2,2	10,5
R	1,2	1,1	0,0	1,1	1,2	2,3	2,7	3,0	3,7	3,3	1,5	1,2	1,9
Jezioro	1,6	2,9	5,4	9,4	14,8	18,8	20,2	19,4	15,4	8,3	4,1	3,0	10,3

R — różnica między temperaturą wody (0,4 m) i powietrza

Taki jest przebieg różnicy średniej wieloletniej ($1,9^{\circ}\text{C}$), w poszczególnych latach różnice te były bardziej zmienne. W okresie zimowym spotykamy różnicę ujemną ($-1,2^{\circ}\text{C}$ —III. 74 r.). Najwyższe wartości różnic wyniosły $+5,1^{\circ}\text{C}$ w I i IX 72 r. W przypadku stycznia związane to było z bardzo mroźnym miesiącem, gdy temperatura wody nie zeszła poniżej zera.

Przedstawiony związek temperatur powietrza i wody jest charakterystyczny dla Jeziora Sławskiego. Przy czym interesujące jest to zrównanie temperatur w marcu, a nawet przypadki ujemnych różnic. Otóż związane to jest z okresem przelomowym w termice jeziora — ustąpieniem zlodzenia. Topnienie lodu pochłania duże ilości ciepła, a ochłodzona woda powstała ze stopionego lodu wymaga czasu na ogrzanie. W Jeziorze Sławskim to ogrzanie następuje szybko z uwagi na płytkość zbiornika. Zaobserwowano iż zrównanie temperatur lub ujemne różnice występują w miesiącu po stopieniu lodu.

Przykładem ilustrującym problem jest rozkład różnic w 1976 r. kiedy to minimum wynosiło $0,5^{\circ}\text{C}$ i wystąpiło w maju. Było to wynikiem wyjątkowo długiego zalegania pokrywy lodowej, której zanik wystąpił dopiero w ostatnim dniu kwietnia. Ciekawym zjawiskiem jest też maksimum różnicy we wrześniu i wysoki wskaźnik w październiku. Wskazuje to na dużą akumulację ciepła w zbiorniku i jego dużą bezwładność. Gdy temperatura powietrza dość szybko spada (koniec lata — początek jesieni) jezioro wolno oddaje ciepło i stąd te duże różnice. W listopadzie te różnice maleją i utrzymują się na poziomie zimowym.

Temperatury z listopada służą natomiast do wyznaczenia termicznego wskaźnika głębokości — T wg. Kowalskiej (9). Iloraz tych wartości charakteryzuje stosunki głębokościowe w jeziorze. Wskaźnik

TABELA 7

TERMICZNY WSKAŹNIK GŁĘBOKOŚCI (τ)

Wzór A. Kowalskiej

$$\frac{\text{Średnia temperatura wody XI}}{\text{Średnia temperatura powietrza XI}} = \tau$$

dla Jeziora Sławskiego

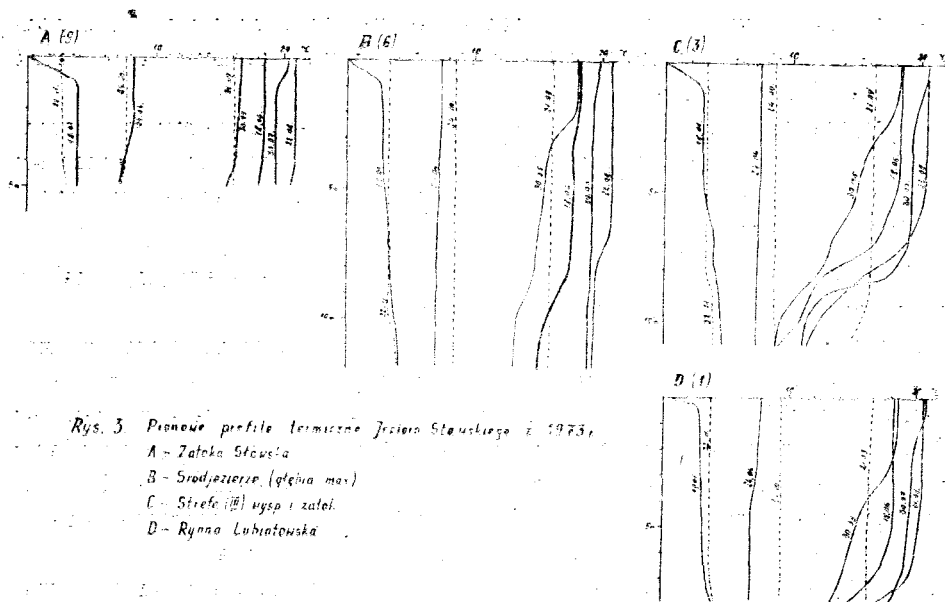
$$\frac{5,9}{4,4} = 1,34$$

ten dla Jeziora Sławskiego wynosi 1,34 i charakteryzuje jezioro płytkie o średniej głębokości kilkumetrowej.

B. Termika wód głębinowych

Pomiary termiki wód głębinowych wykonywano termometrem termistorowym w 10 pionach. Piony rozmieszczone były w charakterystycznych miejscach (zatoke, głębie) w taki sposób że dawały obraz termiki w całym jeziorze. W sumie w ciągu roku wykonywano około 1 tysiąca pomiarów punktowych.

W niniejszej pracy termikę wód głębinowych omówiono na przykładzie 1973 roku. Rysunki (3A—D) przedstawiają rozkład temperatury wo-



Rys. 3. Pionowe profile termiczne Jeziora Śląskiego z 1973.

- A - Zatoka Ślawska
- B - Środojezioro (głębina morska)
- C - Strefa [II] wysp i zatok
- D - Rychno Lubintowska

dy od powierzchni do dna w ciągu całego roku w 4 wybranych profilach. Profile te reprezentują każdą strefę jeziora wcześniej już wydzieloną w opisie morfometrycznym.

Strefę I — zatoki przybrzeżne reprezentuje profil 9. Jest to punkt w Zatoce Śląskiej około 700 m od brzegów jeziora w rejonie Ślawy (ujście Czernicy). Zatoka jest płytka, toń wody okolona jest szerokim pasmem trzciniowisk. Głębokość profilu wynosi 5 m. Wykresy temperatur nie wykazują żadnej stratyfikacji. Jedynie w okresie zimowym, wyraźnie w warstwie przypowierzchniowej zaznacza się uwarstwienie odwrotne. Związane to jest z pokrywą lodową. Brak wpływu wiatru i ochłodzenie od lodu warstwy przypowierzchniowej powoduje stratyfikację. Taka sytuacja występuje krótko — około 2 miesięcy. Poza tym okresem cały rok spotykamy wyrównanie temperatur od powierzchni do dna. Mamy więc zjawisko homotermii. Ta część jeziora podlega więc

silnym ruchom cyrkulacyjnym. Występuje tutaj silny wpływ wiatru, które to zjawisko nosi nazwę tachymiksji — Olszewski (12). Spotykamy tu tylko jedną warstwę termiczną, doskonale wymieszaną — epilimnion

W 1933 roku Findenegg (za Wiszniewskim 18) wyróżnił 3 stopnie statyczności jezior:

- 1 — jeziora meromiktyczne — duża statyczność, nawet w okresie cyrkulacji jesiennej i wiosennej nie cała masa wody ulega przemieszaniu.
- 2 — jeziora holomiktyczne — ulegają całkowitemu przemieszaniu podczas cyrkulacji wiosennej i jesiennej, jednak zachowują wyraźną stratyfikację letnią.
- 3 — jeziora polimiktyczne — ulegają podczas lata wielokrotnemu przemieszaniu w całej masie wody. Stratyfikacja zatem letnia może się utrzymywać tylko przez krótkie okresy czasu a warstwy przydenne są przegrzane.

Według powyższego podziału I strefę Jeziora Sławskiego czyli zatoki przybrzeżne zaliczymy do typu polimiktycznego.

II strefę — śródzieżerze reprezentuje profil 6. Jest to głębina maksymalna jeziora (12,3 m). Ta część jeziora wystawiona jest na silny wpływ wiatru i to ze wszystkich kierunków. Rozbiegi fal osiągają tu długość kilku kilometrów. Analiza wykresów termiki wykazuje silną cyrkulację wody w ciągu całego roku. Krążenie obejmuje całą warstwę wody. Mamy więc zjawisko tachymiksji. Zimą utrzymuje się odwrotna stratyfikacja, wiosną spotykamy długi okres homotermii. Późną wiosną i latem zaznacza się proste uwarstwienie termiczne i występują początki stratyfikacji. Tworzą się wtedy 3 warstwy — epilimnion, o wyrównanej temperaturze, metalimnion w którym temperatura szybko spada wraz z głębokością i hypolimnion w którym masy wody są chłodniejsze i wyrównane do dna. Przykładem jest tu rozkład temperatury w dniach 30.05 i 18.06. Przy czym interesujący jest wykres z maja gdzie spotykamy 2 warstwy metalimnionu, czyli 2 skoki termiczne. Właściwym jest tutaj dolny. Skok termiczny górny, występujący w warstwach przypowierzchniowych związany jest głównie z dłuższym okresem słonecznej i bezwietrznej pogody. Skok ten burzony jest całkowicie przy silniejszym wietrze (4m/s).

W omawianym profilu mamy więc głęboki epilimnion i zaczątki stratyfikacji termicznej, pezy czym termoklina (linia skoku termicznego) jest skośna. Ta lekko zaznaczona stratyfikacja zanika w środku lata i następuje wyrównanie temperatur czyli całkowita homotermia. Śródzieżerze jest więc polimiktyczne.

Strefę wysp i zatok (III) reprezentuje profil 3 — najbardziej interesujący, występują tu bowiem największe różnice w termice wód głębinowych.

W styczniu w czasie stagnacji zimowej (okres zlodzenia) występuje uwarstwienie odwrotne z wyraźną zmiennością temperatury ku dołowi. Wiosną występuje w tym profilu i w całym jeziorze homotermia, by następnie rozwinąć się późną wiosną i latem w wyraźną stratyfikację termiczną prostą. W maju jeszcze nie zaobserwowano wyraźnego podziału na strefy termiczne, ale już w środku czerwca dobrze jest wykształcony skok termiczny. Epilimnion sięga do 7 metrów, a metalimnion jest jeszcze głębszy. Przez lipiec nastąpiło dalsze wykształcenie się termokliny, zbliżonej do poziomu. Na 1 m obserwujemy spadek temperatury o około 6°C (między 8 a 9 m głębokości). Nastąpiło też pogłębienie się do 8 m epilimnionu, metalimnion uległ spłyceniu i wyraźnie zaznaczyła się strefa hypolimnionu. Porównanie wykresu temperatur z dnia 30.07 w profilu 3 z profilem 6 wykazuje różnice statyczności. W profilu 6 była już zupełna homotermia.

W omawianym profilu cyrkulacja jesienna wystąpiła we wrześniu do głębokości 9 m. Poniżej zaznacza się jeszcze mała stratyfikacja.

Powyższe wywody wskazują, iż III strefa charakteryzuje się dość dużą statycznością. Wody przydenne są mieszane, ale stopień oddziaływania wiatru nie jest tu duży. Występuje tu więc zjawisko eumiksji. Ta część jeziora wykazuje cechy holomityczne.

Punkt 1 znajduje się w Rynnie Lubiatońskiej. Analiza wykresów wykazuje duże podobieństwa do termiki w p. 3. Podobieństwo to szczególnie występuje w okresie stagnacji letniej. Z uwagi jednak na fakt, iż punkt ten ma tylko 8 m głębokości nie ma możliwości wykształcenia się 3 stref termicznych. Należy przyjąć iż ten rejon jeziora charakteryzuje się eumiksją i wykazuje pewne cechy jezior holomiktycznych.

Na podstawie przedstawionych wywodów widzimy iż problem statyczności lub miksji wód Jeziora Sławskiego jest złożony. Czynnikiem mającym największy wpływ na to zjawisko jest wiatr. Z kolei wpływ wiatru zależny jest od powierzchni, kształtu i głębokości masy jeziornej, rodzaju brzegów oraz ukierunkowania najdłuższej osi jeziora w stosunku do przeważających kierunków wiatru. Wiele więc jest czynników od których zależy termika wód głębinowych jeziora.

Jak już wyżej przedstawiono na podstawie analizy morfometrii dokonano podziału jeziora na 4 strefy, wśród których wyróżniono 2 typy statyczności:

- 1 — część południowo-wschodnia jeziora czyli zatoki przybrzeżne i śródziejzrze charakteryzuje się bardzo małą statycznością wód, wpływ

wiatru jest tu bardzo silny (tachymiksja), występuje częste mieszanie wody od powierzchni do dna. Brak stratyfikacji letniej. Ta część jeziora jest polimiktyczna.

- 2 -- część północno-zachodnia czyli rejon wysp i zatok oraz Rynna Lubiatowska jest bardziej statyczna. Wpływ wiatru jest tutaj ograniczony (eumiksja). Latem wyraźnie zaznacza się stratyfikacja. Ta część jeziora jest holomiktyczna.

4. Pojemność cieplna jeziora

Znajomość rozkładu temperatury w 10 pionach pozwala obliczyć pojemność cieplną jeziora w dniu pomiaru i dynamikę przepływu ciepła przez jezioro w ciągu roku. Przy obliczaniu zawartości ciepła w całym jeziorze zastosowano metodę Kondrackiego (7)

$$C = \frac{h}{2}(P_n + P_{n+1}) \cdot t_{sr}$$

C = zawartość ciepła w caloriach

h = grubość warstwy wody między izobatami (n) i (n+1) w m.

P = powierzchnia izobaty w m²

t_{sr} = średnia temperatura warstwy w °C

$$\text{iloczyn } \frac{h}{2}(P_n + P_{n+1}) = V_1 \cdot V_2 \dots$$

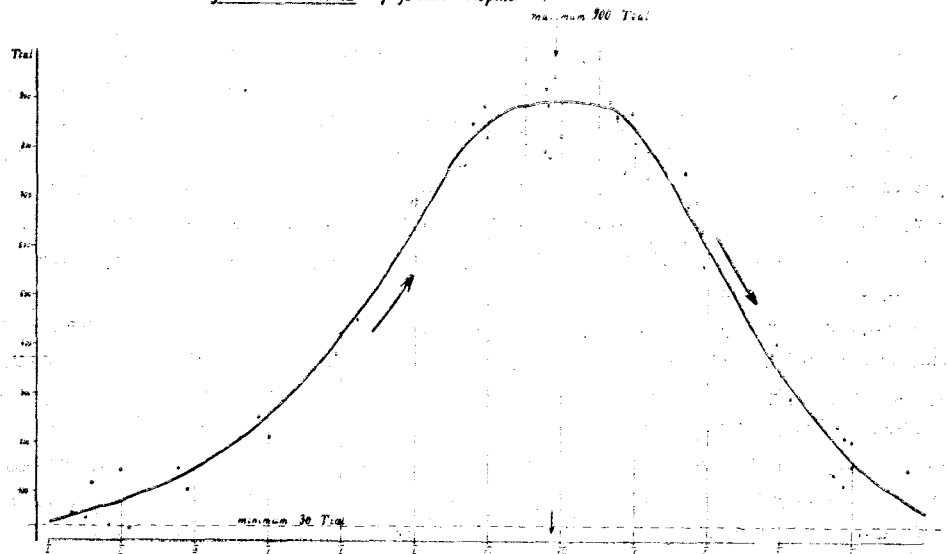
$$C = V_1 \cdot t_{sr} \cdot 3$$

$$C = V_1 \cdot t_{sr} + V_2 \cdot t_{sr} + \dots$$

Z krzywej batygraficznej obliczono pojemność 11 warstw od powierzchni do dna i dla każdej warstwy oddzielnie obliczono zawartość ciepła. Suma pojemności cieplnej wszystkich warstw daje pojemność cieplną jeziora. Iloraz pojemności cieplnej i objętości masy jeziornej określa średnią temperaturę jeziora w dniu pomiaru. Zestawienie średnich wieloletnich temperatur jeziora znajduje się w tabeli 6. Widać tu pewne zróżnicowanie między temperaturą wody powierzchniowej, a temperaturą całej masy wodnej jeziora. W I półroczu temperatura całego jeziora przewyższa temperaturę wód powierzchniowych. W II półroczu sytuacja jest odwrotna. Dynamikę energii cieplnej jeziora w ciągu roku przedstawiono na wykresie (Rys 4) który powstał na podstawie 6 — letniego okresu pomiarów.

Minimum pojemności cieplnej (stała cieplna jeziora) określono na

Rys. 4

JEZIORO SŁAWSKIE - pojemność ciepła

28 Tcal (teracaloria) ($3.02.76$ — zlodzenie) co odpowiada średniej temperaturze jeziora $0,66^{\circ}\text{C}$. Jest to minimalna zawartość ciepła stale zawarta w jeziorze, która nie bierze udziału w przepływie energii cieplnej przez jezioro w cyklu rocznym. Maximum akumulacji energii cieplnej wynosi 944 Tcal ($27.07.72$ r.) Odpowiada to temperaturze średniej całego jeziora $22,23^{\circ}\text{C}$. Różnica wieloletnia między minimum i maximum wynosi 916 Tcal. Jest to ta ilość energii cieplnej, która przepływa przez jezioro w ciągu roku. Na podstawie 6-letnich obserwacji określono średnie minimum na 30 Tcal ($30 \cdot 10^{12}$ cal) i średnie maximum na 900 Tcal ($900 \cdot 10^{12}$ cal).^{*} Zatem około 870 Tcal stanowi zapas ciepła, które z akumulowane w Jeziorze Ślowskim, w okresie jesieni oddawane jest atmosferze. Wielkość ta w istotny sposób wpływa na mikroklimat okolic Sławy czyniąc go łagodniejszym w stosunku do otaczających Pojezierze Ślowskie regionów.

Maximum pojemności cieplnej występuje w okresie 15.07—15.08, trwa więc około 1 miesiąca i jest przesunięte ku końcowi lata w stosunku do maksimum termicznego powietrza i wody. Widoczna też jest asymetria krzywej wykresu. Dotyczy to okresu wiosennego kiedy to dynamika przyrostu ciepła jest mała. Jak już w innym miejscu stwierdzono wiąże się to z wychłodzeniem jeziora w okresie ustępowania lodu.

^{*} 1 cal = $4,1868$ J (relacja kalorii i dżula)

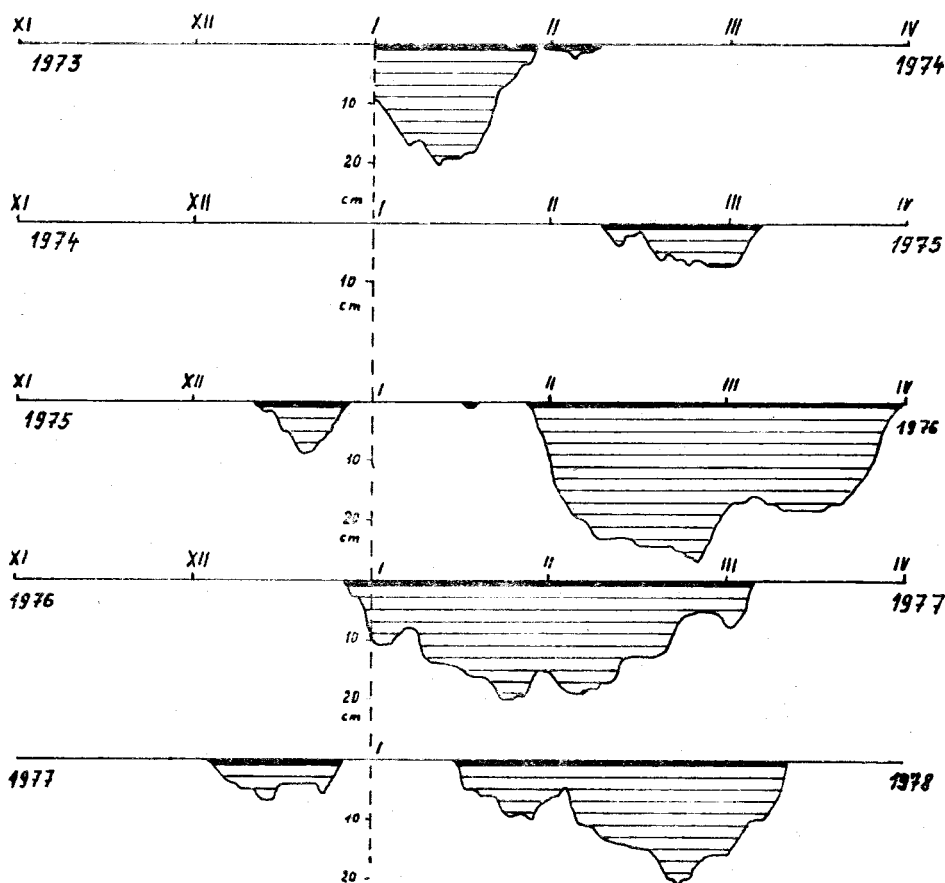
5. Zlodzenie

Zlodzenie jezior pozostaje w ścisłym związku z warunkami meteorologicznymi. Gwałtowne obniżanie się temperatury powietrza doprowadza późną jesienią do wychłodzenia wód jeziora i osiągnięcie przez całą masę wodną jeziora temperatury około 4°C . Od momentu homotermii jesiennej następuje dalsze ochładzania wody, ale już tylko powierzchniowej do 0°C i powstają wtedy warunki do utworzenia się lodu. Zlodzenie jeziora zmienia diametralnie dynamikę wymiany ciepłej między wodą a atmosferą.

Najistotniejszy jest tutaj brak wpływu wiatru na mieszanie się wód. Krążenie wód pod lodem związane jest tylko z konwekcją ciepłą czyli cyrkulacją gęstościową. Ochłodzone wody pod lodem stają się cięższe i opadają w dół wypierając ku górze wody cieplejsze. Wziasie tego ruchu masy wody wymieniają energię ciepłą doprowadzając do całkowitego, wzajemnego wymieszania. Następuje okres stagnacji zimowej. Wydawałoby się że jest to okres martwoty jeziora (stagnacja — brak ruchu). Tymczasem krążenie nie ustaje. Zwolniony jest tylko rytm biologiczny i szybkość cyrkulacji. W okresie zlodzenia można zaobserwować iż przez uwalnianie się ciepła z osadów dennych, oraz wskutek przenikania promieni słonecznych przez lód następuje akumulacja ciepła w zbiorniku. Przykładem jest tu luty 1976 r. Wykonano wtedy pomiary termiki w dniach 3 i 27 lutego. Początek lutego to okres powstawania intensywnego zlodzenia (lód 18 cm) — 8 dzień powstawania lodu. Pojemność ciepła jeziora wyniosła w tym dniu 28 Tcal. W końcu lutego wykonano ponownie serię pomiarów. Od 3.II ciągle wzrastało zlodzenie z maximum 25 cm grubości lodu. W dniu pomiaru (27.II) grubość lodu wynosiła 17 cm, a pojemność ciepła jeziora wyniosła 102 Tcal. Średnia temperatura w jeziorze wzrosła z $0,66^{\circ}\text{C}$ do $2,41^{\circ}\text{C}$. Okres zimy i zlodzenia nie jest więc całkowitym zanikiem krążenia wód w jeziorze. Obniża się tylko intensywność cyrkulacji i wolniejsza staje się dynamika wymiany energii ciepłej.

Charakterystyczne okresy zlodzenia wybranych jezior spotykamy w kartograficznym i tabelarycznym ujęciu w Narodowym Atlasie Polski — Gołek (3). Dla Jeziora Sławskiego podano iż przeciętna data pojawiania się zjawisk lodowych to 14.XII, a zanikania 26.III. Czas trwania pokrywy lodowej wynosi 66 dni i jest to najkrótszy okres zlodzenia na jeziorach Polski.

Wykres zlodzenia Jeziora Sławskiego (Rys. 5.) w okresie 1974—1978 wykazuje dużą zmienność tego zjawiska w czasie i intensywności. W badanych sezonach zimowych okres zlodzenia trwał od 26 dni (74/75) do



Rys. 5. Złedzenie Jeziora Sławskiego

80 dni (75/76). Średni czas trwania pokrywy lodowej wyniósł 63 dni. Intensywność złedzenia wahała się od 7 cm w sezonie do 25 cm. Jezioro Sławskie charakteryzuje się też zjawiskiem powstania i po kilkunastu dniach zanikania pokrywy lodowej w grudniu i ponownym intensywnym pojawieniu się zjawisk lodowych w styczniu lub lutym.

Przeźroczystość

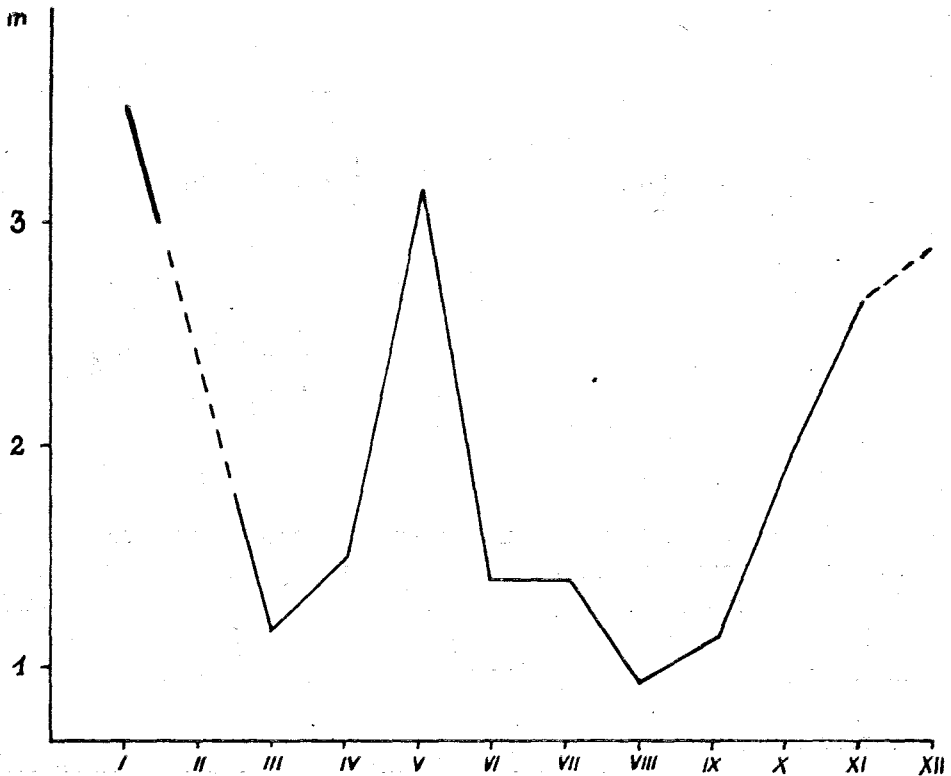
Jezioro Sławskie charakteryzuje się wysokim stopniem eutrofizacji. Oznaką tego symptomu są zakwity wody wywoływane masowym rozwojem glonów. Jest to efektem wzbogacania wód jeziornych w mineralne składniki pokarmowe, a regulatorem tego procesu jest temperatura wody. W czasie badań nad termiką jeziora zwrócono też uwagę na

przeźroczystość wody. Pomiary wykonywano krążkiem Secchiego. Wskaźnikiem przeźroczystości jest granica widzialności krążka. Stwierdzono duże zmiany w wielkości tego wskaźnika w ciągu roku.

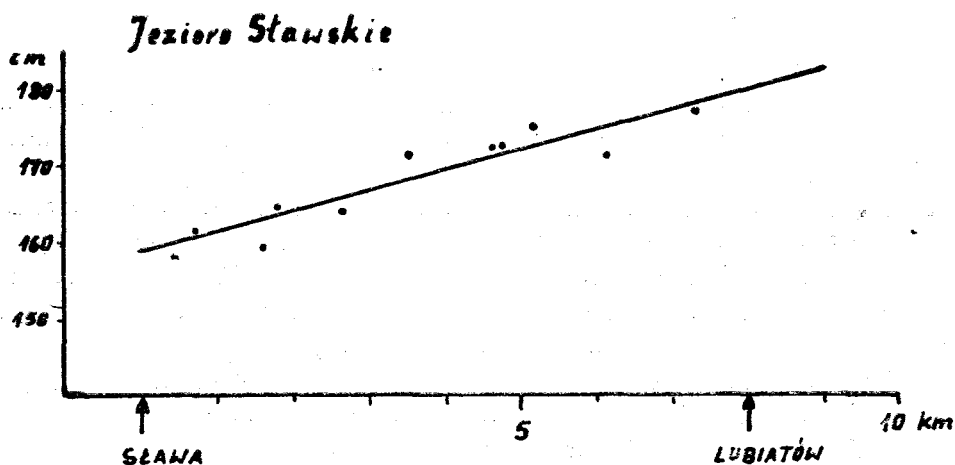
Na wykresie (Rys. 6) przedstawiono zmiany przeźroczystości Jeziora Sławskiego w 1975 r.

Największą przeźroczystość notowano w styczniu (352 cm), a najniższą w sierpniu (92 cm). Na wykresie widzimy wysoki wskaźnik przeźroczystości w maju, a niski w marcu i kwietniu. Zjawisko to nie znalazło potwierdzenia w innych latach. Zasadą jest, że w okresie jesieni i zimy przeźroczystość jeziora jest duża (około 300 cm). W okresie lata spada do 150—100 cm.

Zmienność przeźroczystości w ciągu roku zależna jest od zakwitów wody, a także jest wynikiem tachymiksji. Długie rozbiegi fal w czasie silnych wiatrów powodują uruchamianie osadów dennych co powoduje



Rys. 6. Przeźroczystość w roku 1975
Jezioro Sławskie



**Rys. 7. Przestrzenna zmienność
przeźroczystości – średnia 1975 r.**

duże zmętnienie wody i obniżenie przeźroczystości. Zaobserwowano wzrost wskaźnika przeźroczystości w miarę oddalania się od Śławy w kierunku Lubiatowa.

Rys. 7 przedstawia tę zależność. Przeźroczystość najmniejsza (162 cm) jest w rejonie Śławy. W pobliżu Czernica wrzuca do jeziora ścieki z miasteczka i odwadnia zlewnię użytkowaną intensywnie rolniczo o powierzchni około 60 km². Czernica wprowadza więc do jeziora dużo związków biogenych. Jednocześnie Zatoka Śląska jest bardzo płytka, a tu właśnie rozbiegi fal są najdłuższe, łatwo więc uruchamiane są osady dennie. W miarę oddalania się od zatoki przeźroczystość wzrasta. W 1975 r. w rejonie Lubiatowa wskaźnik ten miał wartość 177 cm. Przy czym warto dodać że rok 1975 charakteryzował się wyjątkowo małą przeźroczystością. W 1977 r. zaobserwowano maximum przeźroczystości, było to zimą 15.01. — 500 cm.

Wzrost przeźroczystości, czyli inaczej czystości wody w miarę oddalania się od Śławy (źródła zanieczyszczeń) świadczy także o tym, że jezioro potrafi samo się oczyszczać, że jest gigantycznym filtrem dla ścieków.

Fakt powyższy, iż ekosystem jeziora funkcjonuje i regeneruje zanieczyszczone ściekami wody nie powinien nas uspokajać, wręcz przeciwnie winien pobudzać do działania na rzecz ochrony wód tego pięknego, wielkiego jeziora, zwanego kiedyś „śląskim morzem”.

6. Wnioski końcowe

- 1) Na podstawie cech morfometrycznych wydzielono na Jeziorze Sławskim 4 strefy z których każda charakteryzuje się innym reżimem termicznym.
- 2) Średnie temperatury miesięczne wód powierzchniowych przewyższają średnie temperatury powietrza. Zrównanie tych temperatur następuje tylko w marcu. Największe różnice między tymi temperaturami występują we wrześniu ($3,7^{\circ}\text{C}$). Średnia roczna temperatura powietrza wynosi $8,6^{\circ}\text{C}$, wody powierzchniowej $10,5^{\circ}\text{C}$.
- 3) Średnie temperatury miesięczne masy wód całego jeziora są w I półroczu wyższe od temperatur wód powierzchniowych. W II półroczu (VII—XI) są niższe. Średnia roczna wynosi $10,3^{\circ}\text{C}$.
- 4) Część południowo-wschodnia jeziora (strefy I i II) charakteryzuje się tachymiksją i jest polimiktyczna.
Część północno-zachodnia (strefy III i IV) charakteryzuje się eumiksją i jest holomiktyczna.
- 5) Stała cieplna jeziora wynosi 30 Tcal, a ilość energii cieplnej która bierze udział w wymianie woda — atmosfera wynosi 870 Tcal w ciągu roku.
- 6) Okres zlodzenia trwa 63 dni i jest najkrótszym na jeziorach Polski.
- 7) Przeźroczystość wzrasta w jeziorze w kierunku NW.

LITERATURA

- BARTKOWSKI T. 1970 — „Wielkopolska i Środkowe Nadodrze”, PWN, Warszawa
- BOGUSŁAWSKI B. B. 1960 — „Ozerowiedeniye”, Izdat. Moskowkowo Uniwersiteta, Moskwa.
- GOŁEK J. 1974 — „Termika i zlodzenie wód”, Narodowy Atlas Polski, IG PAN.
- GRZEŚ M. 1974 — „Badania nad termiką i zlodzeniem jeziora Gopło”, Dokumentacja Geograficzna, z. 3, Warszawa.
- GUMIŃSKI R. 1948 — „Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce”, Przegląd Meteor. i Hydro., z. 1, Warszawa.
- KRAJNIAK J. 1976 — „Charakterystyka fizyczno-geograficzna jezior Pojezierza Lubuskiego”, Symposium Naukowe — Jeziora Ziemi Lubuskiej, Zielona Góra — Łagów.
- KONDRACKI J. 1952 — „Obserwacje nad termiką jeziora Niegocin na Stacji Naukowej PTG w Giżycku (1949—1951)”, Przegląd Geograficzny, t. 24, z. 3, Warszawa.
- KONDRACKI J. 1973 — „Regiony fizyczno-geograficzne”, Narodowy Atlas Polski, IG PAN.
- KOWALSKA A. 1972 — „Termika jezior północnej Polski”, Czasopismo Geograficzne, z. 4, Wrocław.

- MENDALUK J. 1976 — „Ocena stanu czystości jezior lubuskich”, Symposium Naukowe — Jeziora Ziemi Lubuskiej, Zielona Góra — Łagów.
- MIKULSKI J. St. 1974 — „Biologia wód śródlądowych”, PWN, W-wa.
- OLSZEWSKI P. 1959 — „Stopnie nasilenia wpływu wiatru na jeziora”, Zeszyty Naukowe WSR Olsztyn, z. 4.
- PASŁAWSKI Zb. 1978 — „Koncepcja organizacji limnologicznej sieci pomiarowo-obszernawcyjnej IMGW”, Gazeta Obserwatora, nr 7, W-wa.
- PATALAS K. 1960 — „Mieszanie wody jako wskaźnik określający intensywność krążenia materii w różnych morfologicznie jeziorach okolic Węgorzewa”, Roczniki Nauk Rolniczych, t. 77-B-1, W-wa.
- Plan batymetryczny Jeziora Sławskiego 1960 — IRS Olsztyn.
- PRAWDZIC K., KOŹMIŃSKI Cz. 1972 — „Agroklimat woj. zielonogórskiego”, Zielona Góra.
- STARMACH K., WRÓBEL S., PASTERNAK K. 1976 — „Hydrobiologia” PWN W-wa.
- WISZNIEWSKI J. 1953 — „Uwagi w sprawie typologii jezior polskich”, Polskie Archiwum Hydrobiologii, t. 1/14 W-wa.