

## Zarys rozwoju badań termiki wód i pokrywy lodowej jezior w polskich Tatrach

*A general review of research into waters' thermal structure and lake ice cover in the Polish Tatra Mountains*

**MIROSŁAW SZUMNY**

Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski  
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60; mszumny@poczta.wp.pl

**Zarys treści.** W artykule przedstawiono zarys badań struktury termicznej i pokrywy lodowej jezior w polskich Tatrach w ciągu dwóch ostatnich wieków. Na podstawie wyselekcjonowanego materiału źródłowego prześledzono ewolucję poglądów różnych badaczy. Pozwoliło to na wyodrębnienie 5 okresów badań, o różnym nasileniu i jakości prowadzonych prac. W podsumowaniu artykułu autor stawia kilka pytań związanych z rozszerzeniem zakresu współczesnych badań o inne jeziora znajdujące się na północnych i południowych stokach Tatr, co byłoby korzystne dla analizy już uzyskanych wyników odnoszących się do termiki i zlodzenia wód Morskiego Oka.

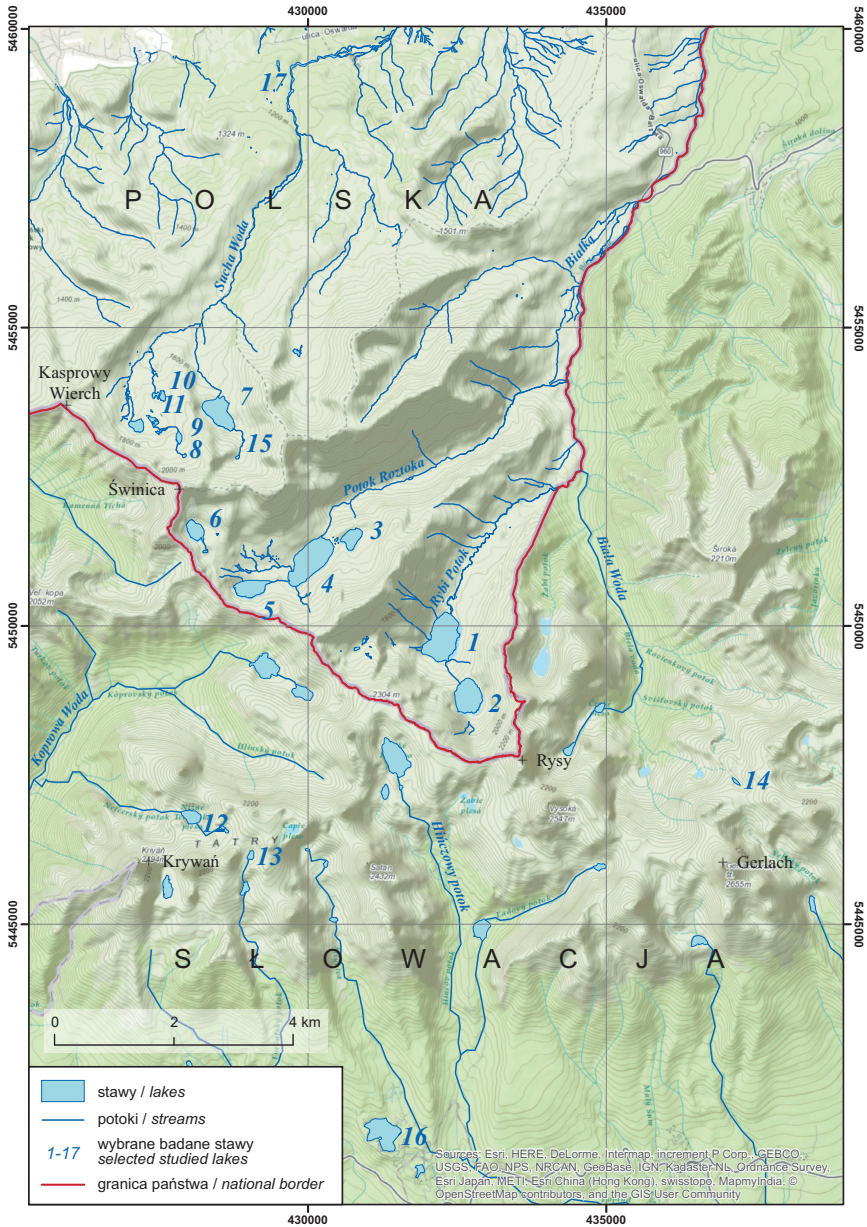
**Słowa kluczowe:** hydrologia, historia, góry wysokie, Karpaty, Europa Środkowo-Wschodnia.

### Wstęp

Prowadzone od ponad 200 lat badania dotyczące termiki wód i pokrywy lodowej jezior w Tatrach nie doczekały się całościowego i aktualnego opracowania. Niniejsza praca zawiera próbę prześledzenia ewolucji poglądów badaczy na temat zróżnicowania i kształtowania się termiki jezior tatrzańskich.

Zagadnienia związane z termiką wód jezior tatrzańskich i ich zlodzeniem pojawiły się w literaturze na początku XIX wieku. Etap wstępnych badań zakończył się wraz z rozpoczęciem w roku 1930 systematycznych pomiarów temperatury wody jezior przez wysokogórską stację naukową Uniwersytetu Jagiellońskiego w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Smoleński, 1932). Skok jakościowy w prowadzonych badaniach nastąpił w latach 1970. w wyniku zastosowania nowych metod i nowoczesnych urządzeń pomiarowych.

We współczesnej literaturze stosowany jest obecnie podział historycznych badań dotyczących jezior tatrzańskich zaproponowany przez A. Łajczaka (1982).



Ryc. 1. Lokalizacja badanych jezior tatrzańskich

Location of studied Tatra Mountains' lakes

1 – Morskie Oko, 2 – Czarny Staw pod Rysami, 3 – Przedni Staw, 4 – Wielki Staw, 5 – Czarny Staw Polski, 6 – Zadni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, 7 – Czarny Staw Gąsienicowy, 8 – Zadni Staw Gąsienicowy, 9 – Długi Staw Gąsienicowy, 10 – Dwoisty Staw, 11 – Kurtkowiec, 12 – Terjański Niżni, 13 – Furkotny Niżni i Wyżni, 14 – Zmarzły pod Polskim Grzebieniem, 15 – Zmarzły Staw Gąsienicowy, 16 – Szczyrbskie Jezioro, 17 – Toporowy Staw

Opracowanie własne / Author's own elaboration.

Opierał się on na ocenie jakości prowadzonych badań i ich nasileniu i obejmował cztery okresy do roku 1982. W niniejszym artykule proponuje się modyfikację okresu IV poprzez rozbitcie go na dwie części. Okres IV został ograniczony do roku 1975, ze względu na ukazanie się pracy *Teplota wód* (Pacl i Wit-Jóźwik, 1974), podsumowującej dotychczasowy stan badań nad jeziorami w Tatrach oraz rozwój metod pomiarowych w pierwszej połowie lat 1970. Wprowadzono okres V, obejmujący przedział od roku 1975 do 2015. Okres ten charakteryzuje wprowadzenie wykalibrowanych termometrów termistorowych (grupa termometrów oporowych), gradientowych sond temperaturowych (RTW 8), kamer termowizyjnych (Flir SC 660), miniaturowych termistorów zintegrowanych z rejestratorami danych, echosond ze zintegrowanym GPS oraz skanerem bocznym. Do opracowywania dużej ilości danych zaczęto wykorzystywać komputery z odpowiednimi programami do analizy statystycznej. Wprowadzono metody analizy zdjęć lotniczych i satelitarnych (termowizyjnych). Okres ten obejmuje czas znacznych zmian klimatycznych.

Przyjęto zatem 5 okresów o różnym nasileniu i jakości prowadzonych prac:

- 1 – XIX wiek (pierwsze pomiary),
- 2 – początek XX w. – I wojna światowa (badania problemowe),
- 3 – 20-lecie międzywojenne (początki prowadzenia systematycznych pomiarów),
- 4 – okres po II wojnie światowej do 1975 r. (kontynuacja badań),
- 5 – 1975-2015 (badania wpływu zmian klimatu na termikę jezior i zjawiska lodowe).

### Wiek XIX – pierwsze pomiary

Badania naukowe nad termiką jezior tatrzańskich zapoczątkował Stanisław Staszic swymi pomiarami głębokości i temperatury wód (powierzchniowych i wgłębnych) Czarnego Stawu pod Rysami i Morskiego Oka w lipcu 1804 r. (Staszic, 1955). Pomiary wykazały temperaturę wód powierzchniowych 15,1°C, a wód dennych 7,7°C, jednak wyniki jak na dzisiejsze czasy są dyskusyjne (Szaflarski, 1972; Borucki, 2005). Datę tę uznaje się za początek polskiej limnologii tatrzańskiej (Lencewicz, 1925; Szaflarski, 1972). Równocześnie z wynikami pomiarów temperatury wód Staszic jako pierwszy podał informację o częściowo pokrytym lodem Zielonym Stawie Jaworowym w lipcu 1804 r. (prawdopodobnie chodziło o Zmarzłe Stawy odmarzające w ciągu roku tylko na 2-3 miesiące).

W 1832 r. S. Goszczyński pisał w swoich *Dziennikach podróży do Tatrów* o „jeziorach nie odmarzających nigdy” (Goszczyński, 1958). Po wzmiance Staszica o częściowo zlodzionym Zielonym Stawie Jaworowym była to już druga informacja o tzw. Zmarzłych Stawach.

Dopiero druga połowa XIX w. przyniosła większe zainteresowanie termiką jezior tatrzańskich. Pojawienie się nowych, wygodniejszych w użyciu termometrów sprowadzanych z Wiednia ułatwiło prowadzenie pomiarów.

Po Staszycu badaniami jezior tatrzańskich zajmowali się: E. Dziewulski, A. Wierzejski, L. Świerz, K. Kolbenheyer, K. Griessinger i inni (tab. 1). Ich prace publikowane w Pamiętniku Towarzystwa Tatrzańskiego posłużyły jako podstawa do dalszych badań nad sezonową zmiennością temperatury wód powierzchniowych. Pierwszych pomiarów temperatury wody jezior tatrzańskich dokonali Koriska w 1860 r. (Morskie Oko), Janota w 1876, 1877 (Czarny Staw pod Rysami, Kurtkowiec, Czerwony), Kolbenheyer w 1875 (Morskie Oko) i Świerz w 1876 r. (Morskie Oko); (Birkenmajer, 1901). Były to pomiary jednorazowe, przypadkowe i nie poddane dalszej analizie naukowej.

Dopiero badania E. Dziewulskiego w latach 1879-1881 możemy uznać za bardziej zaplanowane. Były to pierwsze interdyscyplinarne badania jezior tatrzańskich i próba ich monograficznego opracowania. Obok badań morfometrycznych jezior wykonywał również pomiary temperatury powietrza i wody (na powierzchni i przy dnie). Na podstawie pomiarów temperatury wody Morskiego Oka i Czarnego Stawu Gąsienicowego stwierdził, że zmienia się ona na powierzchni jeziora pod wpływem promieni słonecznych, a na dnie jeziora może mieć charakter stały. Otrzymane wyniki nie pozwoliły jednak na wykreślenie profilu termicznego jeziora. W swoich interdyscyplinarnych pracach Dziewulski często kwestionował wyniki badań poprzedników.

A. Wierzejski (1881) stwierdził, że najlepiej badać faunę jezior tatrzańskich, kiedy temperatura stawów osiąga maksimum (między 20 sierpnia a 10 września) oraz, że stawy zamarzają i rozmarzają w różnych terminach w zależności od ich wysokości nad poziomem morza. Wierzejski postulował rejestrację terminów zamarzania i rozmarzania jezior. Podał również informację (słowną, od górali), że stawy zamarzając tracą zupełnie wodę, wskutek czego lód się załamuje i zasugerował zbadanie tego zjawiska. E. Dziewulski (1882) i A. Wierzejski (1881) byli hydrobiologami, którzy traktowali badania temperatury stawów jako analizę warunków rozwoju fauny jeziornej. Zauważyli oni, że jeziora tatrzańskie cechuje niska temperatura, duża przezroczystość wody i słabe zmineralizowanie, a ich temperatura podlega znikomym oscylacjom. Stwierdzili, że na podstawie tak niewielkiej liczby badań nie da się porównać jezior pod względem temperatury, ponieważ wykazują znaczny indywidualizm, w zależności od miejsca i czasu.

W latach 1881-1893 L. Świerz (1881, 1893) prowadził pomiary temperatury wody powierzchniowej i dennej; czynił to w różnym czasie i miejscu, różnymi przyrządami. Otrzymanych wyników nie wykorzystał do dalszej analizy naukowej czy formułowania wniosków, opublikował je wyłącznie w postaci danych tabelarycznych. Obok L. Świerza badaniami temperatury wody powierzchniowej w jeziorach tatrzańskich zajmowali się również K. Kolbenheyer (1880), a następnie K. Griessinger (1893) i jako pierwsi stwierdzili, że temperatura wody w jeziorze jest ściśle powiązana z temperaturą powietrza otaczającego jezioro.

W latach 1890-1893 L. Birkenmajer (1901) prowadził szczegółowe badania termiki tatrzańskich jezior, ze szczególnym uwzględnieniem Morskiego Oka.

Tabela 1. Etapy badań termiki i pokrywy lodowej jezior w polskiej części Tatr  
 Stages of research into thermal conditions and ice cover on lakes in the Polish part  
 of the Tatra Mountains

Okres <i>Period</i>	Badacze <i>Researchers</i>	Zakres badań <i>Scope of research</i>	Jeziora objęte badaniami (wybrane) <i>(Selected) lakes surveyed</i>
1800-1900 pierwsze pomiaru	St. Staszic, A. Wierzejski, K. Kolbenheyer, L. Świerz, L. Birkenmajer, K. Grissinger, B. Gustawicz, E. Dziewulski, K. Olszewski	– sporadyczne pomiary morfometrii i termiki niektórych stawów tatrzańskich w porze letnio-jesiennej – badania L. Birkenmajera – charakter naukowy	Morskie Oko, Czarny Staw pod Rysami, Czarny Staw Gąsienicowy, Czarny Staw Polski, Zadni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich
1901-1918 badania pro- blemowe	L. Sawicki, A. Lityński, W. Halbfass, S. Minkiewicz, E. Romer	– systematyczne całorocz- ne badania jezior – poszerzona klasyfikacja jezior	Czarny Staw Gąsienicowy, Długi Staw Gąsienicowy, Kurtkowiec, Dwoisty Staw, Zadni Staw Gąsienicowy
1919-1939 początki sys- tematycznych pomiarów	L. Sawicki, J. Smoleński, R. Gajda, P. Olszewski, J. Szafarski, S. Lencewicz, K. Sedlmeyer	– klasyfikacja termiczna wszystkich jezior w Tatrach – wykrycie i opisanie warstwy przydennej – pseudoeutrofia charak- terystyczna dla jezior wysokogórskich – odkrycie warstwy przed- wiosennej	Wielki Staw, Przedni Staw, Czarny Staw Polski, Zadni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, Furkot- ny Wyżni, Furkotny Niżni, Terjański Niżni, Zmarzły pod Polskim Grzebieniem
1945-1975 kontynuacja badań	J. Szafarski, P. Olszewski, J. Pacl	– dalsze badania nad war- stwą mikroeutroficzną jezior – badania nad rozkładem tlenu (w profilu głębo- kościowym) w stawach tatrzańskich	Czarny Staw Gąsienicowy, Czarny Staw, Zadni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, Morskie Oko, Przedni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, Czarny Staw pod Rysami
1975-2015 badania wpły- wu zmian klimatu na termikę i zja- wiska lodowe	A. Łajczak, W. Mościcki, W. Lange, A. Choiński, J. Pociask-Karteczka, D. Borowiak, L. Sobko- wiak, M. Ptak, A. Strzel- czak, M. Borowiak, D. Małecka, T. Borucki, J. Pacl, F. Sporka	– badania nad wpły- wem antropopresji na właściwości optyczno- -termiczne wód jezior tatrzańskich – badania struktury ter- micznej jezior, grubości pokrywy lodowej	Morskie Oko, Szczyrbskie Jezioro, Wielki Staw, Przedni Staw, Czarny Staw, Zadni Staw w Dolinie Pięciu Stawów Polskich

Opracowanie własne / Author's own elaboration.

Wykonał 375 pomiarów temperatury wody w Morskim Oku, 87 pomiarów na 6 innych jeziorach tatrzańskich i 282 sondowania termometryczne. Równocześnie zmierzył temperaturę dopływów oraz temperaturę i ciśnienie powietrza. W swojej pracy wykorzystał 310 pomiarów innych badaczy, przeprowadzając ich weryfikację. Nie bez znaczenia jest fakt, że Birkenmajer jako docent fizyki matematycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego dysponował bardzo dokładnymi termometrami. Założył stację meteorologiczną przy nowo powstałym schronisku nad Morskim Okiem, do którego można było łatwo dojechać drogą – nb. taką stację pomiarową sugerowali już wcześniej K. Kolbenheyer (1880), A. Wierzejski (1881). Do analizy danych i wnioskowania wykorzystał funkcje matematyczne 3 stopnia i równania termodynamiki Fouriera. Jego synteza, zawierająca podsumowanie badań termiki jezior tatrzańskich w XIX w. jest nowoczesną i do dzisiaj wielokrotnie cytowaną pracą naukową.

Wyniki badań L. Birkenmajera (1901) potwierdziły dużą zależność temperatury wody od temperatury powietrza nad jeziorem. Wykazały, że dobowe zmiany temperatury wody na powierzchni jeziora wywołane są głównie bezpośrednią insolacją, a ich amplituda dobową jest znaczna (szczególnie w dni pogodne) i z pewnym opóźnieniem sięga do 2 metrów w głąb wierzchniej warstwy wody. L. Birkenmajer stwierdził również, że roczna amplituda temperatury wody maleje (na początku bardzo szybko, później wolniej) i zanika zupełnie poniżej głębokości 35 m.

Obserwowane na znacznych głębokościach wahania temperatury L. Birkenmajer próbował wyjaśniać wpływem długookresowych zmian temperatury w jeziorze (wpływem fluktuacji temperatury w roku poprzedzającym badania). Zauważył, że na roczny przebieg temperatury wody w jej głębszych warstwach ma wpływ temperatura powietrza przed 15, a nawet 45 dniami. Wpływ ten ustaje poniżej 30 metrów, gdzie izotermie przybierają kształt płaszczyzn zbliżonych do kształtu miski jeziornej. Obrazują to krzywe termiczne, których kształt zmienia się w ciągu roku w zależności od warunków pogodowych panujących wokół jeziora. Stabilne termicznie warstwy wody są deformowane w ciągu roku przez dopływy z topniejących śniegów i silne wiatry generujące falowanie, a to powoduje zjawisko miksjii.

Badając jeziora w Dolinie Pięciu Stawów Polskich L. Birkenmajer stwierdził związek położenia stawu n.p.m. z datą zamarzania i odmrażania jeziora. Podczas wykonywania sondowań termicznych wód Morskiego Oka zimą 1891 r. Birkenmajer potwierdził informację A. Wierzejskiego (1881) o warstwowej budowie pokrywy lodowej, opisując jej strukturę i mierząc jej temperaturę. Jednocześnie podważył hipotezę o zamarzaniu jezior tatrzańskich do dna i traceniu przez nie wody; uznał, że następuje tylko obniżenie poziomu wody w zimie, a skorupa lodowa jezior obniża się o około 1 metr. Podobne warunki lodowe obserwował L. Świerz (1893, 1894) w trakcie pomiarów zimowych nad Czarnym Stawem Gąsienicowym (1 marca 1892 r.).

Większość badań wykonanych w XIX w. miało charakter przyczynkarski i zazwyczaj ograniczały się one do jednorazowych pomiarów morfometrii i termiki stawów tatrzańskich, przeważnie w porze letnio-jesiennej (Łajczak, 1982). Jedynie badania L. Birkenmajera miały charakter szczegółowych, zaplanowanych i przyniosły efekt w postaci ciągu danych pomiarowych, dotyczących głównie Morskiego Oka (Birkenmajer, 1901).

### **Początek XX w. - I wojna światowa; badania problemowe**

Początek XX wieku, wraz z pojawieniem się lepszych przyrządów pomiarowych, przyniósł wiele ciekawych opracowań z zakresu termiki wód powierzchniowych jezior w Tatrach: L. Sawickiego (1910), S. Minkiewicza (1914), W. Halbassa (1910), E. Romera (1911) oraz A. Lityńskiego (1913, 1914, 1917).

W 1909 r. badaniami jezior tatrzańskich zajmował się L. Sawicki – regularnie, co 6 tygodni prowadził obserwacje termiki wód niektórych jezior, m.in. Morskiego Oka. Interesował się morfometrią jezior, barwą i przeźroczystością ich wód. Na podstawie lokalizacji i genezy podzielił jeziora tatrzańskie na cztery grupy: morenowe podgórskie, morenowe międzygórskie, cyrkowe niższe, cyrkowe wyższe. Z kolei na podstawie skali barw Forela-Ulego wyróżnił cztery grupy jezior: brunatne, żółtawozielone, zielone, niebieskie. Spostrzegł, że istnieje związek pomiędzy barwą wody i wysokością, na której znajduje się jezioro. Poza tym stwierdził wpływ insolacji i wiatru na powstawanie wahań temperatury przybrzeżnej i środkowej części stawu i powstawanie powierzchniowych prądów termicznych. W kilku jeziorach zaobserwował warstwy skoku termicznego. Określił średnią temperaturę wody w jeziorze i stwierdził, że maleje ona wraz ze wzrostem wysokości terenu.

A. Lityński w 1910 r. podjął całoroczne badania hydrobiologiczne jezior tatrzańskich, kontynuując badania zainicjowane przez Wierzejskiego. Początkowo ograniczył je do 10 jezior Gąsienicowych, a następnie przez okres sześciu lat prowadził pomiary na 120 jeziorach tatrzańskich po stronie polskiej i słowackiej (Lityński, 1913, 1914, 1917). Badania miały na celu poznanie kształtowania się termiki wód jezior tatrzańskich w ciągu roku. Na ich podstawie powstały wykresy średniej temperatury wód powierzchniowych kilku jezior Gąsienicowych w okresie letnim (1911 r.).

W pracach z lat 1914 i 1917 A. Lityński stwierdził, że jeziora tatrzańskie różnią się pomiędzy sobą znacznie i podzielił je na trzy grupy. Równocześnie zajął się obserwacjami wahań poziomu wody w jeziorach, na które największy wpływ ma topnienie pokrywy śnieżnej wiosną w górnych piętrach doliny. Jako jeden z pierwszych przedstawił krzywą wahań poziomu wody, która osiąga swoje maksimum w końcu czerwca, a minimum w listopadzie, w czasie zamarzania (tab. 2). Zidentyfikował pory zamarzania i odmrażania jezior podając ich długość trwania (Lityński, 1917). Podobnie jak A. Wierzejski (1881), L. Birkenmajer (1901)

i L. Świerz (1893) A. Lityński uważał, że pokrywa zimowa jezior tatrzańskich nie jest jednolita. Dokonał obserwacji i opisu warstwowej budowy lodu jeziornego i stwierdził, że grubość warstwy dolnej jest odwrotnie proporcjonalna do grubości dwóch górnych warstw (Lityński, 1914, 1917).

Tabela 2. Wybrane jeziora tatrzańskie badane przez A. Lityńskiego  
Selected Tatra lakes researched previously by A. Lityński

Parametry opisujące tajanie, zamazanie jezior oraz temperaturę powierzchni wody <i>Parameters describing thawing, lake freezing and surface temperature</i>	Jeziora, m n.p.m. / Lakes, m a.s.l.				
	Toporowy Staw, 1095,0	Morskie Oko, 1395,4	Czarny Staw Gąsienicowy, 1619,6	Zadni Staw Gąsienicowy, 1851,9	Teriański Wyżni Staw, 2124,0
Długość okresu tajania w latach 1910-1915	2-3 tygodnie	3-4 tygodnie	4-6 tygodni	5-9 tygodni	4-12 tygodni
Czas tajania	IV-V	V-VI	V-VI	VI-VIII	VII-X
Czas zamazania	XI	XI	X-XI	IX-X	IX-X
Czas bez pokrywy lodowej w latach 1910-1913, przeciętnie	6-6,5 mies.	–	4-5 mies.	2-2,5 mies.	0 mies.
Czas normalnego letniego uwarstwienia w roku 1911	173 dni	–	127 dni	58 dni	0 dni
Najwyższa zanotowana temperatura na powierzchni wody w latach 1910-1915, w °C	18,5-23,7	10,5-13,5	10,0-13,4	6,6-8,1	–

Opracowanie własne / Author's own elaboration.

Podsumowaniem badań A. Lityńskiego (1917) była nowa poszerzona klasyfikacja jezior tatrzańskich. Na podstawie przebiegu temperatury wody w okresie letnim i zamazania oraz zmian uwarstwienia termicznego w ciągu roku wyróżnił pięć grup jezior (tab. 3):

- 1) nisko położone zbiorniki podgórskie;
- 2) płytkie stawy i młaki – z silnymi wahaniami temperatury powierzchni wody w okresie letnim;
- 3) jeziora głębokie o średnim wzniesieniu, chłodne;
- 4) jeziora wysoko położone i zimne;
- 5) zmarzłe stawy.

W części końcowej swojej pracy Lityński porównał jeziora tatrzańskie do jezior alpejskich i skandynawskich. Biorąc pod uwagę cechy termiczne jezior



stwierdził podobieństwo jezior alpejskich (położonych o 500 metrów wyżej) oraz skandynawskich (o 800-1100 niżej) do jezior tatrzańskich.

### **Dwudziestolecie międzywojenne – początki systematycznych pomiarów**

W okresie międzywojennym badania nabrały charakteru systematycznych pomiarów temperatury wód jezior w profilu głębokościowym. Kontynuatorami analiz termiki wód powierzchniowych jezior tatrzańskich byli: L. Sawicki (1929), R. Gajda (1932), J. Smoleński (1932), J. Szaflarski (1931, 1932, 1935, 1936a-e) i P. Olszewski (1938). Badania te, które objęły również jeziora po południowej stronie Tatr, dotyczyły przede wszystkim zimowej termiki jezior tatrzańskich w powiązaniu z zasobnością wód w tlen, powstawania warstwy przedwiosennej wody pod pokrywą lodową i kształtowania się warstwowej budowy pokrywy lodowej. Efektem ich było określenie średniego okresu powstawania i zaniku pokrywy lodowej.

W zimie 1928/29 zaczęła działać Wysokogórska Stacja Naukowa w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, założona przez Instytut Geograficzny Uniwersytetu Jagiellońskiego (Smoleński, 1932). Opierając się na pomiarach prowadzonych w ramach programu stacji R. Gajda (1932) stwierdził, że najszybciej równowagę termiczną (izotermię) osiągają stawy położone najwyżej. Również w tych stawach warstwa skoku termicznego leży najbliższej powierzchni lodu, a średnia temperatura ich wód w pionie w okresie pokrycia lodem jest najwyższa. Dzięki pomiarom temperatury wód powierzchniowych uchwycono lokalne różnice termiczne na powierzchni jeziora w ciągu doby. Przy równoczesnych pomiarach mogą one wynosić do 0-5°C, zaś w ciągu doby nawet do 16°C (Mały Staw) (Smoleński, 1932, s. 156). Różnice te są znacznie większe w lecie niż w zimie, jak również większe na stawach mniejszych i wyżej położonych. To potwierdziło wcześniejsze obserwacje L. Birkenmajera (1901), A. Lityńskiego (1914, 1917), A. Sawickiego (1929) i innych.

W latach 1931-1935 badaniami nad grupą Zmarzłych Stawów, niegdyś wydzieloną przez A. Lityńskiego (1914, 1917), zajmował się J. Szaflarski (1931, 1932, 1935, 1936 a-e). Stwierdził, że jeziora te przez 10,5 miesiąca w roku pokryte są trwałą pokrywą lodową i równie długo mają odwrócony układ termiczny. W okresie topnienia lodów cechują się ciekawym, krótkim letnim układem temperatury oraz równie krótkim okresem homotermii – łącznie 2-3 tygodnie (1936c, s. 520). W lecie jednak ogrzewają się znacznie i występują silne wahania temperatury powierzchniowej, a skok termiczny prawie się nie zaznacza, z powodu ich płytkości.

J. Szaflarski (1935, 1936a,e) prowadził również systematyczne obserwacje koloru i przejrzystości wód jezior tatrzańskich w różnych porach roku. Są one uzupełnieniem wcześniejszych badań L. Sawickiego (1910, 1929). Zajmował się także klasyfikacją termiczną jezior tatrzańskich i charakterystyką warstwy skokowej stwierdzonej w wielu głębokich jeziorach tatrzańskich. Interesowała go szczególnie głębokość zalegania i okres trwania warstwy skokowej.

Tabela 3. Klasyfikacja jezior tatrzańskich według L. Sawickiego, A. Lityńskiego, J. Szaflarskiego  
 Classification of Tatra lakes after L. Sawicki, A. Lityński and J. Szaflarski

<p>Podział jezior na podstawie ich genezy i orografii – według L. Sawickiego  <i>Classification of Tatra lakes on the basis of their genesis and orography (by L. Sawicki)</i></p>	<p>Podział jezior na podstawie długości okresu bez pokrywy w miesiącach i maksymalnej temperatury powierzchni wody w °C – według A. Lityńskiego  <i>Classification of Tatra lakes based on the timing of the ice-free period and maximum surface temperature in °C (after A. Lityński)</i></p>	<p>Podział jezior na podstawie czasu bez pokrywy lodowej w miesiącach i maksymalnej temperatury powierzchni wody w °C według J. Szaflarskiego  <i>Classification of Tatra lakes based on the timing of the ice-free period and maximum surface temperature in °C (by J. Szaflarski)</i></p>
<p>Jeziora morenowe podgórskie:            np. Toporowy Staw, Smreczyński Staw (o barwie brunatnej 17-19 w skali Forela-Ulego)</p>	<p>Jeziora podgórskie: powierzchnia wolna od lodu przez około 6 mies., temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. 16-25 °C, 900-1444 m n.p.m.            Toporowy Staw Niżni, Smreczyński Staw</p>	<p>Wielkie jeziora podgórskie: powierzchnia wolna od lodu przeciętnie przez 6 mies., temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. do 20 °C, do 1400 m n.p.m.            np. Szczyrbskie Jezioro</p>
<p>Jeziora morenowe międzygórskie            np. Morskie Oko (o barwie zielonej 4-5 w skali Forela-Ulego)</p>	<p>Płytkie jeziora i młaki – wahania temperatury powierzchni wody w miesiącach letnich 4-18 °C, 1212-1800 m n.p.m.            np. Kurtkowiec, Czarny Staw Jaworowy</p>	<p>Płytkie jeziora i młaki – wahania temperatury powierzchni wody w miesiącach letnich 4-20 °C, 1000-1450 m n.p.m.,            np. Toporowy Stawek, Czarny Staw Jaworowy, Kurtkowiec, Czerwony Stawek, Jamski Staw, Smreczyński Staw</p> <p>Płytkie jeziora na średnich wysokościach – wahania temperatury powierzchni wody w miesiącach letnich od 4 do 17 °C, 1450-1700 m n.p.m.,            np. Wielicki Staw, Litworowy (Sobkowy) Staw Gąsienicowy, Dwoisty Staw Gąsienicowy, Długi Staw Gąsienicowy</p>

Jeziora cyrkowe (karowe) niższego pasa, 1500-1600 m n.p.m. np. Czarny Staw pod Rysami (o barwie niebieskiej 1,5-2,0 w skali Forela-Ulego)	Jeziora głębokie na średnich wysokościach: 3-5 mies. powierzchnia wolna od lodu, temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. 8 °C, 1490-1800 m n.p.m., np. Morskie Oko, Wielki Staw Polski, Czarny Staw Gąsienicowy, Czarny Staw Pod Rysami	Jeziora głębokie na średnich wysokościach – 3-5 mies. powierzchnia wolna od lodu, temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. 8-14 °C, 1500-1800 m n.p.m. np. Czarny Staw Gąsienicowy, Czarny Staw pod Rysami
		Płytkie jeziora wysoko położone: wahania temperatury powierzchni wody w miesiącach letnich 4-14 °C, 1700-1900 m n.p.m. np. Zielony Staw Kieżmarski, Litworowy Staw
Jeziora cyrkowe wyższego pasa, 1900-2000 m n.p.m., po polskiej stronie brak	Zimne jeziora wysoko położone – powierzchnia wolna od lodu mniej niż 3 mies., temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. 8 °C, 1800-2025 m n.p.m. np. Zmarzły Staw Gąsienicowy, Żabi Staw Jaworowy, Zielony Staw Jaworowy	Zimne jeziora wysoko położone – powierzchnia wolna od lodu mniej niż 3 mies., temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. 6-8 °C, 1800-2000 m n.p.m., np. Teriański Staw Niżni, Stawy Spiskie
	Zmarzłe stawy – powierzchnia wolna od lodu krótko lub wcale, temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. poniżej 4 °C, 2047-2180 m n.p.m., np. Wyżni Furkotny Staw, Zmarzły Staw pod Grzebieniem	Długo zamrożone jeziora bardzo wysoko położone – powierzchnia rzadko wolna od lodu, temperatura powierzchni wody w miesiącach letnich maks. <6°C, ponad 2000 m n.p.m., np. Teriański Staw Wyżni

Opracowanie własne / Author's own elaboration.

Rezultatem tych prac jest klasyfikacja termiczna jezior tatrzańskich, uwzględniająca czas zlodzenia oraz maksymalną temperaturę wód powierzchniowych dla każdej wyodrębnionej grupy jezior (Szafarski, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936a); (tab.3).

Z kolei P. Olszewski zimą 1937/1938 jako pierwszy zbadał stosunki tlenowe w jeziorach i rozkład materii organicznej, wykonując około 30 przekrojów oraz mierząc temperaturę wody i ilość zawartego w niej dwutlenku węgla na różnych głębokościach (Olszewski, 1938). Odnotował powstawanie maksimum tlenowego na głębokości 15 m oraz jego przemieszczanie w okresie zimowym i powstanie beztlenowej warstwy przydennej (pseudoeutrofia). Przyczynę niskiej temperatury wody upatrywał w silnym oddziaływaniu wiatrów jesiennych na mieszanie wody. W okresie odmarzania pokrywy lodowej zaobserwował powstawanie warstwy zimnej wody bezpośrednio pod lodem, na skutek napływu wody z topniejącego śniegu – opisał ją później jako warstwę przedwiosenną. Stwierdził, że cechą charakterystyczną jezior wysokogórskich jest warstwowa budowa pokrywy lodowej powstającej przez kolejne zamarzanie wody dostającej się na powierzchnię lodu.

Wszyscy wspomniani autorzy w swoich opracowaniach starali się ocenić wpływ poszczególnych czynników środowiskowych na zróżnicowanie termiczne jezior, w szczególności wpływ ekspozycji oraz wiatru na temperaturę wody w jeziorach w ciągu roku.

### **Okres od II wojny światowej do 1975 r. – kontynuacja badań**

Po II wojnie światowej badania kontynuowali P. Olszewski (1948a,b, 1949a,b, 1950/1951, 1955) i J. Szafarski (1948/49, 1956, 1972).

Zasługą P. Olszewskiego jest wyróżnienie w jeziorach tatrzańskich warstwy mikroeutroficznej w wodach głębinowych, słabo natlenionych o dużej zawartości dwutlenku węgla i siarkowodoru. W zimie 1937/1938 badał zachowanie się tej warstwy w cyklu rocznych przemian termicznych wód jeziornych. Doszedł do wniosku, że warstwa ta jest związana głównie z dużymi, głębokimi jeziorami tatrzańskimi i wykazuje inwersję termiczną. Wietrzna, długa jesień powoduje wychłodzenie całej masy wody w jeziorze – lepsze mieszanie i osłabienie warstwy mikroeutroficznej (pseudoeutrofia). Odkrył, że warstwa maksimum tlenowego (typowa dla jezior oligotroficznych) związana jest z występowaniem termokliny, na przemieszczanie której wpływają wiatry w okresie jesiennym. W wyniku prowadzonych badań podzielił układ tlenowy wszystkich jezior na trzy warstwy: górną o dużej zawartości tlenu, która podlega znacznym wahaniom, środkową o małej zawartości tlenu, podlegającą małym wahaniom i dolną – ubogą w tlen, natomiast obfitą w związki żelaza, dwutlenek węgla i siarkowodor, ogrzaną ciepłem z rozkładu osadów dennych. Przypuszczał, że powstawanie tych warstw w okresie zimowym jest charakterystyczne dla jezior wysokogórskich.

P. Olszewski (1948 a,b) badał także wcześniej zaobserwowaną, przedwiosenną warstwę zimnej wody pojawiającą się bezpośrednio pod lodem w okresie tuż przed rozmarzaniem, a powstałą z topnienia pokrywy śnieżnej wiosną w górnych piętrach doliny. Warstwa ta przedłuża katotermię nawet do 2 miesięcy. Po zniknięciu pokrywy lodowej, na skutek gwałtownego dopływu ciepła do wierzchniej warstwy wody i działania wiatru, następuję szybkie przejście (2-9 dni) do letniego normalnego układu termicznego. Najwyraźniej widać to w niedużych, bezodpływowych, wysoko położonych jeziorach tatrzańskich, do których spływają wody roztopowe (Zmarzłe Stawy). P. Olszewski scharakteryzował również kolejne etapy zmian termicznych w okresie jesień – zima – wiosna, odmienność uwarstwienia zimowego oraz opisał proces powstawania lodu jeziornego (Olszewski, 1948a,b, 1949a,b, 1950/51, 1955).

Zagadnieniem tzw. warstwy przedwiosennej zajmował się także J. Szaflarski (1956) zaznaczając, że to on odkrył tę warstwę (1932-1937 r.), lecz nie poświęcił jej znacznej uwagi. Powojenne prace Szaflarskiego (1948/49, 1956) były kontynuacją jego wcześniejszych badań dotyczących pionowego rozkładu temperatury wód jezior tatrzańskich w różnych porach roku. Stwierdził on, że w większości jezior tatrzańskich można wyróżnić w okresie zimowym dwa główne typy układów termicznych: jeden z dobrze wykształconą warstwą skoku zimowego na niewielkiej stosunkowo głębokości i z zaznaczoną poniżej niego wyraźną warstwą homotermiczną (warstwa o stałej temperaturze), drugi ze słabą termokliną na znaczniejszej głębokości i o słabym wykształceniu warstwy homotermicznej. Im płytszy zasięg zimowego skoku termicznego, tym ostrzej się on zaznacza, co obserwujemy w jeziorach położonych na dnie głębokich kotłów polodowcowych. Przyczyną tej zmienności jest prawdopodobnie silne oddziaływanie wiatrów na powierzchnię jeziora w okresie jesiennym. Zapewne położenie jeziora w stosunku do kierunków wiatrów w dolinie jest decydujące dla jego reżimu termicznego, a wysokość n.p.m. odgrywa rolę podrzędną. Na letnie stosunki termiczne jezior ma natomiast wpływ ich wystawa do słońca. Obaj autorzy byli zgodni co do tego, że trwałość układu zimowego zależy od grubości pokrywy lodowej (Szaflarski, 1948, 1949; Olszewski, 1949).

Podsumowaniem badań prowadzonych do roku 1975 była monografia *Klimat Tatr* (1974), w której w rozdziale *Teplota wody* J. Pacl i K. Wit-Józwick przedstawiają reżim termiczny tatrzańskich jezior i temperaturę wód powierzchniowych w nawiązaniu do klasyfikacji Szaflarskiego z lat 1930.

Należy jeszcze dodać, że ważnym wydarzeniem, które wpłynęło na badania termiki i zlodzenia jezior w Tatrach w następnym okresie było podjęcie w 1951 r. stałych obserwacji grubości pokrywy lodowej na Morskim Oku przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Łajczak, 1982; Mościcki, 1996 a,b; Choiński, 2006-2007; Choiński i inni, 2009 a; 2010 a, b, 2014, 2015; Choiński i Pociask-Karteczka, 2009; Pociask-Karteczka i Choiński, 2012).

## Lata 1975-2015 – badania wpływu zmian klimatu na termikę jezior i zjawiska lodowe

Kolejne lata przyniosły zmiany w oprzyrządowaniu do pomiarów termiki wód jezior: pojawiły się termometry oporowe, gradientowe sondy temperaturowe, kamery termowizyjne. Dzięki temu było możliwe rozszerzenie pola badań i zwiększenie dokładności pomiarów. Powstały pierwsze prace dotyczące wpływu współczesnych zmian klimatycznych na termikę wód powierzchniowych jezior wysokogórskich oraz zjawiska lodowe i rozwój pokrywy lodowej (Łajczak, 1980, 1982; Mościcki 1996 a,b; Sporka i inni, 2006; Choiński, 2006-2007; Choiński i inni, 2009; 2010 a,b, 2014, 2015; Choiński i Pociask-Karteczka, 2009; Pociask-Karteczka i Choiński, 2012).

Badania W. Langego i innych (1976, 1978) w latach 1970. pozwoliły lepiej poznać dynamikę i kierunki transformacji pola światła i temperatury w jeziorach tatrzańskich. W. Lange wykazał, że główną przyczyną fluktuacji oświetlenia w okresie letnim w ciągu dnia są różnice stopnia przysłonięcia tarczy słonecznej przy odpowiedniej wysokości słońca oraz zmiany zachmurzenia.

A. Łajczak (1980, 1982) w wyniku analizy wahań temperatury i stanów wód powierzchniowych wyróżnił dla jezior tatrzańskich trzy okresy zmian:

- szybki wzrost temperatury na przełomie wiosny i lata, po okresie zalodzenia;
- obniżanie się temperatury jesienią;
- kilkumiesięczny okres ustabilizowanych niskich temperatur w czasie zalodzenia.

Wahania stanów wody w ciągu roku wywołują znaczne zmiany objętości wody w jeziorach tatrzańskich, a to z kolei ma wpływ na przebieg nagrzewania i kształtowania się struktury termicznej stawów. A. Łajczak (1980) zwrócił uwagę, że wraz ze wzrostem wielkości i wysokości zlewni n.p.m. i jej zróżnicowaniem wydłuża się okres uwarstwienia zimowego i rośnie długość zalodzenia.

W 1985 r. Z. Słup i S. Garncarz wykonali szczegółowe badania pionowego i przestrzennego rozkładu temperatury wody w Czarnym Stawie Gąsienicowym i wykazali, że mogą występować tam wglębne prądy zawiesinowe (Mościcki, 1996b). Analizując rozkład gęstości i temperaturę wody w zależności od głębokości stwierdzili, że nawet małe zmiany temperatury i gęstości wywołują powstawanie prądów konwekcyjnych w zbiorniku wodnym. W marcu 1994 r. Mościcki wykonał sondowania termiczne wzdłuż profilu E-W Morskiego Oka, na podstawie których sugerował występowanie ruchu dużych mas wody wzdłuż zachodniego brzegu Morskiego Oka; świadczyłoby to o możliwym zasilaniu jeziora przez wypływy w dnie jeziora od strony Dwoistej Siklawy (Mościcki, 1996 a,b).

F. Sporka w latach 2000/2001 umieścił na 13 jeziorach tatrzańskich położonych na różnej wysokości n.p.m. (w tym na Czarnym Stawie pod Rysami i Długim Stawie Gąsienicowym) automatyczne minitermistory do ciągłego pomiaru

temperatury wody na powierzchni i w profilu głębokościowym. Dane uzyskane z tych pomiarów pozwoliły opisać w sposób ilościowy zmiany temperatury wody i pokrywy lodowej w tych jeziorach, w cyklu rocznym (Sporka i inni, 2006). Wykazano, że w okresie letnim istnieje liniowa zależność temperatury wody warstwy powierzchniowej od wysokości, na której położone jest jezioro. Może ona być modelowana empirycznie, na podstawie średniej temperatury powietrza otoczenia jezior. Również czas trwania pokrywy lodowej na jeziorze zależy od jego położenia. Na podstawie profili termicznych został określony czas i trwanie letniego i zimowego reżimu termicznego w jeziorach.

W latach 2000-2002 kontynuowano badania W. Langego nad przezroczystością wody i przenikaniem promieniowania słonecznego oraz nad wpływem antropresji na właściwości biotyczne i chemiczne, a szczególnie optyczno-termiczne wód jezior tatrzańskich (Lange i inni, 1976, 1977; Borowiak M., 2000; Borowiak D., 2002). Zwrócono uwagę na związek pomiędzy wysokością słońca i wielkością zachmurzenia w porze letniej a ilością promieniowania słonecznego pochłoniętego przez warstwę naświetloną (eufotyczną) wody w jeziorze, które później jest transformowane na energię cieplną w tej warstwie. Nawet niewielki wzrost zakwaszenia wód jeziora, które narusza istniejącą równowagę jonową prowadzić może do zwiększenia zasięgu epilimnionu i redukcji miąższości metalimnionu, przy jednoczesnym obniżeniu się termokliny. Dzięki analizie porównawczej wyników zauważono, że w silnie zakwaszonych jeziorach tatrzańskich (np. Zadni Staw Polski) pojawiają się warunki sprzyjające podnoszeniu się ciepła oraz silniejszemu nagrzewaniu hypolimnionu. Deformuje to naturalny rozkład temperatury, uwarunkowany położeniem jeziora w piętrze klimatycznym (Borowiak, 2002, s. 91). Badania te wpłynęły na lepsze poznanie warunków stabilności stratyfikacji letniej jezior tatrzańskich oraz skutków jej zaburzania przez nadmierną eutrofizację wód (Przedni Staw Polski) i zakwaszanie (Zadni Staw Polski); (Borowiak, 2002).

Na podstawie wieloletnich badań maksymalnej grubości pokrywy lodowej, długości trwania zjawisk lodowych i pokrywy lodowej Morskiego Oka A. Choiński (2006-2007; Choiński i inni, 2009 a, b, 2010 a,b, 2014 b, 2013a, 2015) prognozował zanik zjawisk lodowych na tym stawie za 170 lat w wyniku ocieplenia klimatu. Ocieplenie to dotyczy zwłaszcza chłodnej pory roku. Zauważył skracanie trwania pokrywy lodowej oraz występowanie tendencji zmniejszania się rocznych maksymalnych grubości lodu, a reprezentatywność pomiarów grubości lodu w jednym stałym punkcie dla całej pokrywy lodowej uznał za wątpliwą.

Stwierdzono także związek grubości pokrywy lodowej i głębokości jeziora w danym miejscu oraz miąższości lodu i zasięgu cienia rzucanego przez południowe ściany kotła polodowcowego (Choiński, 2007, 2006-2007). Zależności te mają wpływ na sposób i tempo zaniku pokrywy lodowej jezior (Szaffarski, 1948; Łajczak, 1980, 1982; Choiński, 2007; 2014; Choiński i inni, 2009; 2013 a,b, 2014 a,b; Choiński i Pociask-Karteczka, 2009; Pociask-Karteczka i Choiński, 2012). Najszybciej zamarza woda przy brzegu i tam lód osiąga największą gru-

bość. Z kolei najszybciej topi się lód na obszarze środkowym jeziora, gdzie jest najcieńszy (Birkenmajer, 1901; Łajczak, 1980, 1982; Pacl i Wit-Jóźwik, 1974; Choiński i inni, 2009; Choiński i Pociask-Karteczka 2009).

W czerwcu 2006 r. Choiński zainstalował gradientową sondę termiczną RTW8 na Morskim Oku monitorując zróżnicowanie temperatury wody w profilu pionowym, w ciągu całego roku. Uzyskane dane pomiarowe pozwoliły na dokładniejsze opisanie zmian temperatury wody, a co za tym idzie i zasobów ciepła gromadzonego w wodach Morskiego Oka. Można stwierdzić, że pomiary te uzupełniały wcześniejsze badania (Sporka, 2000-2001).

W lutym 2012 r. A. Choiński (2013 a) przeprowadził pomiary temperatury wody pod lodem na Morskim Oku i zaobserwował zróżnicowanie w rozkładzie temperatury w profilu pionowym. Stosując metodę termoizoplet przedstawił jego dobową dynamikę. Był to czytelny sposób wyznaczania faz zmian termicznych w jeziorze. Wydzielił trzy strefy termiczne: podlodową, stagnacji termicznej i wody przydennej. Z kolei do rejestrowania dynamiki temperatury wody warstwy powierzchniowej Morskiego Oka i Czarnego Stawu pod Rysami A. Choiński w 2012 r. zastosował kamerę termowizyjną Flir SC 660. Umożliwia ona uchwycenie zmian temperatury wody w dowolnych odstępach czasowych, co pozwala na prześledzenie w sposób ciągły wpływu różnych czynników na procesy zachodzące na powierzchni jeziora (Choiński, 2014a).

B. Gądek (2014), na podstawie danych IMGW z Morskiego Oka stwierdził, że liczba dni z pokrywą lodową i jej coroczne zmiany zależą przede wszystkim od temperatury powietrza w półroczu zimowym. Na rozwój jeziornej pokrywy lodowej oddziałują także opady śniegu i deszczu w okresie roztopowym.

## Podsumowanie

Początkowo badania ograniczały się do jednorazowych pomiarów morfometrii i termiki jezior tatrzańskich, przeważnie w porze letnio-jesiennej. Na podstawie przebiegu temperatury wody w sezonie letnim i zamarzania oraz zmian uwarstwienia termicznego w ciągu roku dokonano klasyfikacji termicznej jezior tatrzańskich.

W pierwszej w połowie XX w. rozpoczęto systematyczne pomiary temperatury wód jezior w profilu głębokościowym. Starano się ocenić wpływ poszczególnych czynników środowiskowych na zróżnicowanie termiczne jezior, zwłaszcza wpływ ekspozycji oraz wiatru na temperaturę wody w jeziorach w ciągu roku. W wyniku licznych wypraw w różnych porach roku, a także badań stacjonarnych, lepiej została poznana batymetria, termika i warunki zlodzenia jezior tatrzańskich.

Kolejne lata przyniosły zmiany w oprzyrządowaniu do pomiarów termiki wód jezior, a poprzez to rozszerzenie zakresu badań oraz wzrost dokładności pomiarów. Powstały pierwsze prace na temat wpływu zmian klimatycznych na termikę wód powierzchniowych jezior wysokogórskich oraz zjawiska lodowe i rozwój



pokrywy lodowej (Łajczak 1980, 1982; Mościcki 1996a,b; Sporka i inni, 2006; Choiński i inni, 2009; 2010 a,b, 2013 a,b, 2014 b, 2015; Choiński i Pociask-Karteczka, 2009). Dzięki badaniom D. Borowiaka (2002) lepiej poznano warunki stabilności stratyfikacji jezior tatrzańskich oraz oddziaływań antropogenicznych na tę stabilność.

Pomimo że badania nad termiką jezior i zjawiskami lodowymi w Tatrach prowadzone są od ponad 200 lat, brakuje długich serii danych umożliwiających określenie relacji pomiędzy klimatem, pokrywą śnieżną a termiką i pokrywą lodową jezior. Wynika to między innymi z trudnych warunków terenowych oraz zagrożenia lawinowego w okresie zimy w Tatrach.

Z analizy literatury przedmiotu można stwierdzić, że ostatni okres badań wykorzystujący nowoczesne narzędzia pomiarowe przyniósł dużą ilość danych. Szczególnie dotyczą one termiki i zlodzenia wód Morskiego Oka. W kontekście tych wyników nasuwa się kilka pytań:

- Czy pomiary i obserwacje zjawisk lodowych prowadzone na stacji IMiGW nad Morskim Okiem od 1951 r. są reprezentatywne dla całej pokrywy lodowej jeziora?
- Czy tak duża skala przestrzennego zróżnicowania powłoki lodowej występującej na innych jeziorach tatrzańskich i jakie czynniki mają na to wpływ?
- Czy temperatura wody warstwy powierzchniowej w innych jeziorach tatrzańskich rośnie w podobnym tempie jak temperatura wody powierzchniowej Morskiego Oka?
- Jak wygląda rozkład izoterm w zimie w innych jeziorach tatrzańskich i czy na ich podstawie da się wydzielić strefy termiczne podobne do wydzielonych przez Choińskiego w wodach Morskiego Oka?
- Czy wyniki badań termiki wód i zjawisk lodowych na Morskim Oku można uogólnić na całe Tatry?

## Wnioski

Wyraźne skutki wieloletnich zmian podstawowych parametrów pokrywy lodowej na Morskim Oku wskazujące na ocieplenie klimatu warto byłoby zweryfikować w odniesieniu do warunków klimatycznych nad Morskim Okiem,

Wyniki badań termiki i zlodzenia Morskiego Oka należałoby zestawić z podobnymi wynikami uwzględniając większą liczbę jezior, zarówno na północnym, jak i południowym skłonie Tatr, jednak brakuje regularnych obserwacji zjawisk lodowych na tych obszarach (Choiński, 2010a). To pozwoliłoby na dokładniejsze rozpoznanie „odpowiedzi” zbiorników tatrzańskich na zachodzące zmiany klimatyczne i identyfikację najpoważniejszych zagrożeń dla ilości i jakości ich wód. Również W. Lange (1976, 1978), M. Borowiak (2000), D. Borowiak (2002) czy A. Choiński (2015) podpowiadają, że należałoby zwiększyć zakres i ilość badań dotyczących wpływu antropopresji.

Z kolei wyniki dotychczasowych badań przestrzennego zróżnicowania temperatury wody w ujęciu dynamicznym dla Morskiego Oka i Czarnego Stawu Gąsienicowego sugerują, że należałoby je wykonywać częściej i przy zagęszczonej siatce punktów pomiarowych na różnych jeziorach tatrzańskich.

Ostatnie analizy termiki wód Morskiego Oka prowadzone przez A. Choińskiego (2015) każą dokładniej przyjrzeć się problemowi oddawania ciepła przez skały pokrywające dno jeziora, który był już wcześniej sygnalizowany przez E. Romera (1911) i innych badaczy.

## Piśmiennictwo / References

- Birkenmajer L., 1901, *O stosunkach temperatury głębokich jezior tatrzańskich w różnych głębokościach i różnych porach roku*, Rozprawy Akademii Umiejętności, 40, Kraków, s. 186-411.
- Borowiak D., 2002, *Zmiany właściwości termicznych jezior tatrzańskich*, [w:] W. Borowiec, A. Kotarba, A. Kownacki, Z. Krzan, Z. Mirek (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*, Instytut Botaniki PAN, Kraków-Zakopane, s. 89-94.
- Borowiak M., 2000, *Jeziora tatrzańskie w świetle dotychczasowych badań*, [w:] J.T. Czochoński, D. Borowiak (red.), *Z badań geograficznych w Tatrach Polskich*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Borucki T., 2005, *Krytyczna analiza tatrzańskiego itinerarium Stanisława Staszica*, [w:] W. Wójcik (red.), *Miejsce i znaczenie gór w twórczości Stanisława Staszica*, Centralny Ośrodek Turystyki Górskiej PTTK, Kraków, s. 79-135.
- Choiński A., 2000, *Najgłębsze jeziora Tatr polskich w świetle najnowszych pomiarów głębokościowych*, *Czasopismo Geograficzne*, 71, 1, s. 99-103.
- Choiński A., 2006-2007, *Zjawiska lodowe na Morskim Oku w Tatrach*, *Folia Geographica, Series Geographica-Physica*, 37-38, s. 65-77.
- Choiński A., 2007, *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Choiński A., 2014, *Termika wody*, [w:] A. Choiński, J. Pociask-Karteczka (red.), *Morskie Oko – przyroda i człowiek*, Tatrzański Park Narodowy, Zakopane, s. 51-65.
- Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J., 2009, *Zjawiska lodowe na Morskim Oku jako wskaźnik zmian klimatu w Tatrach*, [w:] A.T. Jankowski, D. Absalon, R. Machowski, M. Ruman (red.), *Przeobrażenie stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska*, Wydawnictwo UŚ, PTG, RZGW, Sosnowiec, s. 71-77.
- Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J., 2010a, *Zjawiska lodowe na Morskim Oku w latach 1971-2100 i ich związek z temperaturą powietrza oraz z cyrkulacją atmosferyczną*, [w:] A. Kotarba (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek, t. 1. Nauki o Ziemi*, Tatrzański Park Narodowy, Zakopane, s. 41-46.
- Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J., Sobkowiak L., 2010b, *Changes in lake ice cover on the Morskie Oko Lake in Poland (1971-2007)*, *Advances in Climate Change Research*, 1 (2), s. 71-75.
- Choiński A., Pociask-Karteczka J., 2009, *Recent trends in the Morskie Oko lake ice cover duration western Carpathian Mts., East-Central Europe*, referat na Joint International Convention of 8th IAHS Scientific Assembly and 37th IAH Congress Water, September 6-12, Hyderabad, India.
- Choiński A., Pociask-Karteczka J., Ptak M., Strzelczak A., 2013a, *Stratyfikacja termiczna Morskiego Oka w sezonie zimowym*, [w:] J. Pociask-Karteczka (red.), *Z badań hydrologicznych w Tatrach*, Tatrzański Park Narodowy, IGIpP UJ, Zakopane, s. 103-107.

- Choiński A., Pociask-Karteczka J., Ptak M., Strzelczak A., 2014, *Zjawiska lodowe*, [w:] A. Choiński, J. Pociask-Karteczka (red.), *Morskie Oko – przyroda i człowiek*, Tatrzański Park Narodowy, Zakopane, s. 67-79.
- Choiński A., Ptak M., Strzelczak A., 2013b, *Areal variation in ice cover thickness on lake Morskie Oko (Tatra Mountains)*, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8 (3), s. 97-102.
- Choiński A., Ptak M., Strzelczak A., 2015, *Changeability of accumulated heat content in alpine-type lakes*, *Polish Journal of Environmental Studies*, 24, 6, s. 2363-2369.
- Dziewulski E., 1881, *Pięć stawów w Dolinie Rostoki w Tatrach Polskich*, *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, 6, s. 86-98.
- Dziewulski E., 1882, *Czarny Staw Gąsienicowy (pod Kościelcem)*, *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, 7, s. 81-85.
- Gajda R., 1932, *Geograficzne badania nad termiką Pięciu Stawów Polskich w Tatrach*, Instytut Geograficzny UJ, Kraków, rękopis.
- Gądek B., 2014, *Climatic sensitivity of the non-glaciated mountains cryosphere (Tatra Mts., Poland and Slovakia)*, *Global and Planetary Change*, 121, s. 1-8.
- Goszczyński S., 1958, *Dziennik podróży do Tatrów*, Biblioteka Narodowa, 170, Wrocław-Kraków.
- Griessinger K., 1893, *Studien zur physischen Geographie der Tatra-Gruppe*, Wien.
- Gustawicz B., 1883, *Pomiary tatrzańskie*, *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, 8, s. 40-90.
- Halbfass W., 1910, *Zur Kenntnis der See der Hohen Tatra*, *Mitteilungen d. Geographische Gesellschaft*, Jena.
- Kolbenheyer K., 1880, *Über Quellen und Seen=Temperaturen zu den Hohen Tatra*, *Jahrbuch des Ungarischen Karpathen-Vereines*, 7, 9, Kesmark, s. 110.
- Lange W., Jaś J., Lener B., Lubańska B., Markiewicz W., 1976, *Wstępne wyniki badań nad warunkami kształtowania się ustroju termicznego jezior Doliny Pięciu Stawów Polskich*, *Zeszyty Naukowe WBiNoZ UG, Ser. Geografia*, 5, s. 187-199.
- Lange W., Markiewicz W., Przewoźniak M., 1978, *Przenikanie promieniowania słonecznego w jeziorach Doliny Pięciu Stawów Polskich (Tatry Wysokie)*, *Zeszyty Naukowe WBiNoZ UG, Ser. Geografia*, 8, s. 165-178.
- Lenczewicz S., 1925, *Badania jeziorne w Polsce*, *Przegląd Geograficzny*, 5, s. 1-70.
- Lityński A., 1913, *Zmarzłe stawy w Tatrach*, *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, 34, s. 48-54.
- Lityński A., 1914, *O temperaturze stawów tatrzańskich*, *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, 35, s. 69-73.
- Lityński A., 1917, *Jeziora tatrzańskie i zamieszkująca je fauna wioślarek*, *Sprawozdanie Komisji Fizjograficznej PAU*, 51, s. 1-88.
- Łajczak A., 1980, *Wahania stanów wody niektórych jezior tatrzańskich*, *Wszechświat*, 12, s. 285-287.
- Łajczak A., 1982, *Wahania temperatury przypowierzchniowej warstwy wody w jeziorach tatrzańskich o różnej ekspozycji*, *Czasopismo Geograficzne*, 53, 1, s. 29-44.
- Małecka D., 1996, *Hydrogeologiczna charakterystyka Tatr w świetle badań monitoringowych*, [w:] A. Kotarba (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek, T. 1. Nauki o Ziemi*, TPN, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi Oddział Krakowski, Kraków-Zakopane, s. 19-30.
- Minkiewicz S., 1914, *Przegląd fauny jezior tatrzańskich*, *Sprawozdania Komisji Fizjograficznej PAU*, 48, s. 114-137.
- Mościcki W.J., 1996a, *Zimowa termika wód stawów tatrzańskich*, [w:] A. Kotarba (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek, T. 1. Nauki o Ziemi*, TPN, Pol-

- skie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi Oddział Krakowski, Kraków-Zakopane, s. 155-160.
- Mościcki W.J., 1996b, *Zimowa termika wód Morskiego Oka*, [w:] A. Kotarba (red.), *Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach-II*, Dokumentacja Geograficzna, 4, IGiPZ PAN, Kraków, s. 49-55.
- Olszewski P., 1938, *Badania zawartości tlenu w wodzie jezior tatrzańskich*, Wierchy, 16, s. 182-183.
- Olszewski P., 1948a, *Nowsze obserwacje nad lodową powłoką jezior tatrzańskich*, Geografia w Szkole, 1, s. 10-12.
- Olszewski P., 1948b, *Zimowe stosunki tlenowe większych jezior tatrzańskich*, Rozprawy Akademii Umiejętności, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, 72, s. 1-80.
- Olszewski P., 1949a, *Odmienność uwarstwienia zimowego w jeziorach tatrzańskich*, Wszechświat, 3, s. 88-91.
- Olszewski P., 1949b, *Podjęcie badań z zakresu limnologii fizycznej w Tatrach*, Wierchy, 19, s. 218-219.
- Olszewski P., 1950/51, *Dalsze badania limnologiczne na jeziorach tatrzańskich*, Wierchy, 20, s. 236-237.
- Olszewski P., 1955, *Badania z zakresu limnologii fizycznej w Tatrach*, Wierchy, 24, s. 157.
- Pacl J., Wit-Józwick K., 1974, *Templota wod*, [w:] M. Koncek (red.), *Klimat Tatr*, Bratislava, s. 181-204.
- Pociask-Karteczka J., 2013, *Badania hydrologiczne w polskich Tatrach po II wojnie światowej*, [w:] J. Pociask-Karteczka (red.), *Z badań hydrologicznych w Tatrach*, Tatrzański Park Narodowy, IGiP UJ, Zakopane, s. 41-45.
- Pociask-Karteczka J., Choiński A., 2012, *Recent trends in ice cover duration for Lake Morskie Oko (Tatra Mountains, East-Central Europe)*, Hydrology Research, 43, 4, s. 500-506.
- Romer E., 1911, *Kilka spostrzeżeń nad termiką wód Tatr i Podhala*, Ziemia, 2, s. 780-821.
- Sawicki L., 1910, *Jak głęboki są stawy tatrzańskie*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 21, Zakopane.
- Sawicki L., 1929, *Atlas jezior tatrzańskich*, Prace Komisji Geograficznej PAU, 1, Kraków.
- Sawicki L., Minkiewicz S., 1909, *Tymczasowe sprawozdanie: Z badań jezior tatrzańskich*, Okólnik Rybacki, 108, s. 1-24.
- Sedlmeyer K., 1930, *Die Seen des Mengsdorfer Tales und Tschirmersee in der hohen Tatra*, Geographischen Institut der Deutschen Universität, Praga.
- Smoleński J., 1932, *Z badań wysokogórskiej stacji naukowej Doliny Pięciu Stawów Polskich*, Wierchy, 10, s. 151-156.
- Sporka F., Livingstone D. M., Stuchlik E., Turek J., 2006, *Water temperatures and ice cover in lakes of the Tatra Mountains*, Biologia, 61, 18, Bratislava, s. 77-90.
- Staszic S., 1955, *O ziemiordztwie Karpatów i innych gór i równin Polski*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa (reedycja).
- Szafarski J., 1931, *Z badań nad stawami Tatr Polskich – Zmarzły Staw pod Zawratem i Czerwony Stawek w Pańszczycy*, Wierchy, 10, s. 171-172.
- Szafarski J., 1932, *Z badań nad termiką jezior tatrzańskich*, Przegląd Geograficzny, 12, 3, s. 181-194.
- Szafarski J., 1933, *Z badań nad jeziorami Tatr wysokich*, Ziemia, 18, 2, s. 26-29.
- Szafarski J., 1934, *Badania limnologiczne w Tatrach*, [w:] J. Smoleński, J. Szafarski, *Badania geograficzne w Karpatach i Tatrach*, Wierchy, 12, s. 163-164.
- Szafarski J., 1935, *Pomiary jezior tatrzańskich w r. 1935 i ich tymczasowe wyniki*, Wierchy, 13, s. 187-188.

- Szaflarski J., 1936a, *Badania nad jeziorami tatrzańskimi w roku 1936 i ich tymczasowe wyniki*, Wierchy, 14, s. 208.
- Szaflarski J., 1936b, *Quelques remarques sur la thermique, la transparence, et la couleur des lacs de la partie sud-occidentale de la Haute Tatra*, Bulletin International de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres, Serie A, 7A, Kraków, s. 421-432.
- Szaflarski J., 1936c, *Regime thermique et congelation der Zmarzle Stawy dans la Haute Tatra*, Bulletin International de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres, Serie A, 8-9A, Kraków, s. 510-521.
- Szaflarski J., 1936d, *Złodzenie i termika Zmarzłych Stawów w Tatrach Wysokich*, Sprawozdania z Czynności i Posiedzeń PAU, 42, 8, s. 217.
- Szaflarski J., 1936e, *Z badań nad termiką, przezroczystością i barwą wód jezior pd.-zachodniej części Wysokich Tatr*, Sprawozdania z Czynności i Posiedzeń PAU, 41, 8, s.174, Kraków,
- Szaflarski J., 1948/49, *Z zagadnień zimowej termiki jezior tatrzańskich*, Przegląd Geograficzny, 22, s. 281-289.
- Szaflarski J., 1956, *Warstwa tzw. przedwiosenna w termice jezior tatrzańskich*, Przegląd Geofizyczny, 1 (9), 3-4, s. 229-239.
- Szaflarski J., 1972, *Poznanie Tatr*, Sport i Turystyka, Warszawa.
- Świerz L., 1881, *Materiały do znajomości ciepłoty stawów tatrzańskich zebrane w latach 1877, 1878, 1879 i 1880*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 6, s. 111-112.
- Świerz L., 1885, *Pomiary ciepłoty stawów tatrzańskich w różnych warstwach głębokości*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 10, s. 122.
- Świerz L., 1893, *O stosunkach ciepłoty stawów tatrzańskich według pomiarów czynionych podczas pory letniej r. 1892 w różnych głębokościach*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 14, s. 1-4.
- Świerz L., 1894, *Zapiski meteorologiczne z Tatr, A. Ciepłota stawów tatrzańskich*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 15, s. 1-11.
- Wierzejski A., 1881, *O faunie jeziora tatrzańskich*, Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, 6, s. 99-110.

[Wpłynęło: maj; poprawiono: październik 2016 r.]

MIROSLAW SZUMNY

#### A GENERAL REVIEW OF RESEARCH INTO WATERS' THERMAL STRUCTURE AND LAKE ICE COVER IN THE POLISH TATRA MOUNTAINS

The article presents a review of research into the thermal structure and ice cover characterising lakes in Poland's Tatra Mountains, on the basis of two centuries of scientific publications appearing up to 2015. The literature review allowed for the identification of five periods in which research was of differing intensities and quality.

The first research carried out in the 19th century is seen to be of limited scientific value, mostly being limited to one-off measurements of morphometry and thermal conditions in the Tatra Mountain lakes. Only the research done by L. Birkenmayer can be regarded as well-planned, detailed and continuous in nature.

By contrast, measurements made in the 20th century (mainly on the basis of the better measuring devices making their appearance) have yielded many interesting studies on the thermal conditions present in Tatra Mountain lakes. The measurements made by Lityński were especially important, due to his new and extended classification of Tatra lakes based on changes in water temperature in the summer season and the thermal stratification present through the year. In turn, in the inter-War period, studies became more systematic on both slopes of the Tatra Mountains, and were primarily concerned with winter oxygen content in relation to water temperature. This work bore fruit in the thermal classification of Tatra lakes developed by Szaflarski, who took account of the time at which lakes iced over, as well as maximum temperatures of surface water.

After World War II, study of the vertical distribution of temperature in the Tatra lakes was continued with at different times of the year. Here, the result was a distinction drawn in winter between two main types of thermal system. An important event influencing research on lakes in the Tatra Mountains was the ongoing observation of ice-cover thicknesses on the Morskie Oko tarn beginning in 1951 and being engaged in by the Institute of Meteorology and Water Management.

Device development in following years brought the extension of the field study and an increase in the accuracy of measurement of thermal conditions in lakes. The first work on the influence of contemporary climate changes on surface water and the development of ice cover on high-altitude lakes was also carried out and then published.

In the second half of the 20th century, the study of maximum ice thicknesses and durations of ice-related events on Morskie Oko confirmed the disappearance of ice phenomena on this lake. Measurement allowed for a better understanding of the relationship between the thickness of the ice cover and lake depth; the dynamics and direction of light and temperature transformations, and the conditioning of stability where the summer stratification of Tatra lakes is concerned.

In recent years, the use of thermal imaging cameras to record the dynamics of water temperatures of the surface layer has allowed changes in water temperature at any time interval to be encapsulated.

In the context of the literature review of the subject matter, the author poses several questions concerning the extension of modern research to other lakes and further directions of research into the thermal and ice-cover conditions characterising the Tatra lakes. Research on the waters and ice cover of these lakes over 200 years has not given rise to a comprehensive and up-to-date study.

This work is therefore an attempt to trace the development of research on the variation and formation of thermal conditions in Tatra Mountain lakes.

