

## Zjawiska lodowe na Morskim Oku w latach 1971–2010 i ich związek z temperaturą powietrza oraz cyrkulacją atmosferyczną

Adam Choiński<sup>1</sup>, Leszek Kolendowicz<sup>2</sup>, Joanna Pociask-Karteczka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFiKŚP UAM

<sup>2</sup> Zakład Klimatologii IGFiKŚP UAM, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań, e-mail: choinski@amu.edu.pl; leszko@amu.edu.pl

<sup>3</sup> Zakład Hydrologii IGI GPUJ, ul. Gronostajowa 7, 38-387 Kraków, e-mail: j.pociask@geo.uj.edu.pl

**Słowa kluczowe:** pokrywa lodowa, jezioro wysokogórskie, zmiany klimatu

**Keywords:** ice cover, high mountain lake, climate change

pokrywy lodowej i zjawisk lodowych odzwierciedla nie tylko wpływy zewnętrznych warunków meteorologicznych, ale także cyrkulacji wody wewnątrz akwenu.

### Streszczenie

Współczesne ocieplenie klimatu znajduje także wyraz w zmianach zjawisk hydrologicznych – ich wielkości, natężenia i częstości występowania. W Polsce zmiany klimatyczne wyrażają się m.in. dodatnim trendem temperatur powietrza w miesiącach zimowych i jesiennych. Bardzo wyraźne objawy tego ocieplenia są widoczne na obszarach, na których występuje zlodowacenie górskie. Wydaje się, iż jednym z elementów wskazujących na charakter tendencji klimatycznych w górach niezlodowaczonych może być pokrywa lodowa na jeziorach – a zwłaszcza jej grubość i długość trwania. Celem niniejszego opracowania jest zbadanie tendencji zjawisk lodowych na Morskim Oku w powiązaniu z temperaturą powietrza w sezonie zimowym w okresie ostatnich 40 lat (1971–2010).

Analizą objęto wyniki pomiarów i obserwacji prowadzonych na stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej przy schronisku im. Stanisława Staszica nad Morskim Okiem (1392,8 m n.p.m.). Zbadano zależność między charakterystykami pokrywy lodowej i przebiegiem średniej miesięcznej temperatury powietrza w Zakopanem oraz wskaźnikiem NAO Hurrella (National, 2008).

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, iż w analizowanym wieloleciu 1971–2010 zaznaczyła się spadkowa tendencja maksymalnej grubości pokrywy lodowej. Wystąpiło znaczne skrócenie długości trwania zjawisk lodowych i utrzymywania się pokrywy lodowej, co wiąże się bezpośrednio z coraz późniejszymi terminami jej pojawiania się i coraz wcześniejszymi datami jej zaniku. Zmiany zjawisk lodowych na Morskim Oku wywołane są w znacznej mierze coraz cieplejszym okresem półroczia zimowego, a zwłaszcza dwóch ostatnich miesięcy, tj. kwietnia i maja. Należy jednak pamiętać, iż dynamika

### Wstęp

Z obserwacji „hydrogafji stawów” Józefa Szaflarskiego prowadzonych w Tatrach już w latach 1931–1939 wynika, iż „zamarzanie większych jezior tatrzańskich następuje w październiku i listopadzie, odmrażanie na mniejszych wysokościach zaczyna się w kwietniu, na większych przeciąga się do czerwca, a czasem nawet lipca i dłużej” (Szaflarski 1948a, b). Z tego dość ogólnego opisu trudno ocenić, jakie wysokości uważał Autor za „mniejsze” i „wyższe” i jakie daty należy odnosić do Morskiego Oka. Warto jednak wspomnieć, że dużo wcześniej, tj. w latach 1908–1910, badania hydrometryczne prowadził Ludomir Sawicki, który ponadto zainicjował regularne obserwacje termiki (raz na 6 tygodni) niektórych jezior, w tym także Morskiego Oka. Badania L. Sawickiego kontynuowano w ramach działalności wysokogórskiej stacji naukowej w Dolinie Pięciu Stawów Polskich założonej w zimie 1928/29 r. przez Instytut Geograficzny Uniwersytetu Jagiellońskiego (Smoleński 1932, Szaflarski 1932, 1948a, b). Ważnym wydarzeniem w dziejach badania jezior tatrzańskich w porze zimowej był pomiar termiki Czarnego Stawu pod Rysami wykonany przez Stanisława Staszica: „W roku 1804. w Grudniu, gdy już całe oko morskie grubo lodem okryte było, wpuszczona podobnież butelka z ciepłomierzem: ten na powietrzu skazywał 18. niżej zero. Po dwóch godzinach czasu z głębi 454 stóp wyciągnięty, skazywał 8 wyżej zero” (Borucki 2005).

Z późniejszych opracowań wykonanych m.in. na podstawie obserwacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (wcześniej Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego) wynika m.in., że w okresie 1961–1980, pokrywa lodowa pojawiała się na Morskim Oku pod koniec listopada, zaś zanikała około połowy maja (Łajczak 1982, 1996), a głębokość termokliny jest zimą przestrzennie zróżnicowana (Mościcki 1996). Badania jeszcze dłuższych ciągów wskazują, iż zamarzanie Morskiego Oka

w czasach współczesnych zachodzi znacznie później, zaś zanik pokrywy lodowej – wcześniej (Choiński 2000, Choiński i in. 2009, Choiński i in. 2010, Pociask-Karteczka 2009a, b).

Celem opracowania jest zbadanie tendencji zjawisk lodowych na Morskim Oku w powiązaniu z cyrkulacją atmosferyczną oraz temperaturą powietrza w sezonie zimowym w latach 1971–2010. Wiele badań w innych rejonach półkuli północnej wskazuje na skrócenie zjawisk lodowych – zwłaszcza na jeziorach nizinnych (Duguay i in. 2006; Magnuson i in. 2000; Jensen i in. 2007; Karetnikov, Naumenko 2008; Korhonen J., 2006). Pokrywa lodowa na jeziorach może służyć jako wskaźniki zmian klimatycznych (Magnuson i in. 2000). Należy jednak pamiętać, iż zmiany zlodzenia częściowego lub całkowitego, odzwierciedlają także wpływ cyrkulacji wody wewnątrz akwenu.

### Metoda i zakres badań

Analizą objęto wyniki pomiarów i obserwacji pokrywy lodowej na Morskim Oku prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej przy schronisku im. S. Staszica w latach 1971–2010. Uwzględniono następujące dane: maksymalną grubość pokrywy lodowej, daty powstania i zaniku pokrywy lodowej oraz długość występowania zjawisk lodowych i pokrywy lodowej. W przypadku czasu trwania pokrywy lodowej brano pod uwagę nieprzerwany okres zlodzenia jeziora. Grubość pokrywy lodowej mierzona była w odległości kilku metrów od północnego brzegu jeziora z częstotliwością co kilka dni. W 2004 r. maksymalna grubość lodu nie została zmierzona; do obliczeń przyjęto średnią grubość lodu z lat 2003 i 2005.

Zbadano zależność między charakterystykami pokrywy lodowej, indeksami NAO Hurrella i przebiegiem średniej miesięcznej temperatury powietrza w Zakopanem w latach 1971–2010 (National..., 2010). Zastosowano analizę regresji liniowej z wykorzystaniem współczynnika korelacji Pearsona, po uprzedniej standaryzacji danych.

### Wyniki

Początek tworzenia się pokrywy lodowej na Morskim Oku przypada zwykle na koniec listopada, po czym

średnio przez cztery miesiące trwa przyrost grubości lodu, który osiąga maksymalną miąższość pod koniec marca. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż faza zaniku lodu na jeziorze jest prawie dwa razy szybsza od fazy wzrostu (ryc. 1).

Struktura pokrywy lodowej ma charakter warstwowy, co może być spowodowane kilkudniowymi okresami ociepleń (zwykle w drugiej fazie zimy) lub lawinami (Choiński i in., 2010). W wyniku tych procesów powierzchnię właściwej powłoki lodowej pokrywa warstwa wody, która z uwagi na dodatnią temperaturę zaczyna nadtapiać powierzchnię lodu. Przy kolejnym nadejściu ujemnych temperatur woda zalegająca na lodzie zaczyna zamarzać, przy czym w zależności od intensywności opadów śnieżnych może być ona w różnej mierze nasączona wodą i przybrać postać „błota śnieżno-lodowego” (*slush*). Wytworzona nowa wierzchnia warstwa lodu najczęściej nie jest jednorodna zarówno pod względem miąższości, jak i struktury.

Na podstawie sieci odwiertów wykonanych kilkakrotnie przy pomocy stalowego świdra ręcznego w sezonach zimowych można stwierdzić, iż nad głębokimi fragmentami misy jeziornej miąższość lodu jest mniejsza, niż nad płytszymi, zaś rozkład przestrzenny grubości lodu jest zmienny w ciągu zimy, tzn. maksymalne i minimalne grubości lodu mogą wystąpić w różnych częściach tafli w czasie jednego sezonu zimowego (ryc. 2). Maksymalna grubość lodu wynosi ok. 1 m, a zróżnicowanie grubości w obrębie tafli lodu sięga nawet 30 cm. Lawiny powodują destrukcję pokrywy lodowej, w wyniku czego zostaje zaburzona jej ciągłość.

Najwcześniej pokrywa lodowa na Morskim Oku pojawiła się w 1974 r. (4 listopada), natomiast najpóźniej – w 2001 r. (31 grudnia) i utrzymywała się zaledwie 112 dni. Najwcześniejszy zanik pokrywy lodowej miał miejsce w 1990 r. (30 marca), natomiast najpóźniejszy – w 1991 r. (31 maja), to jest w tym samym roku, kiedy pokrywa lodowa na Morskim Oku utrzymywała się aż 200 dni (Choiński 2006–2007; Choiński i in. 2009). Długość trwania zwartej pokrywy lodowej uległa skróceniu ze 170 w pierwszym dziesięcioleciu badawczym (1971–1980) do 155 dni – w ostatnim dziesięcioleciu (2001–2010; tab. 1).

W ostatnich 40 latach długość trwania pokrywy lodowej wykazuje tendencje spadkowe (ryc. 3). Okres występowania zjawisk lodowych oraz długości trwania



Ryc. 1. Zmiany sezonowe grubości lodu w różnych latach (Choiński 2006–2007)

Fig. 1. Seasonal variability of ice cover thickness in particular years (Choiński 2006–2007)

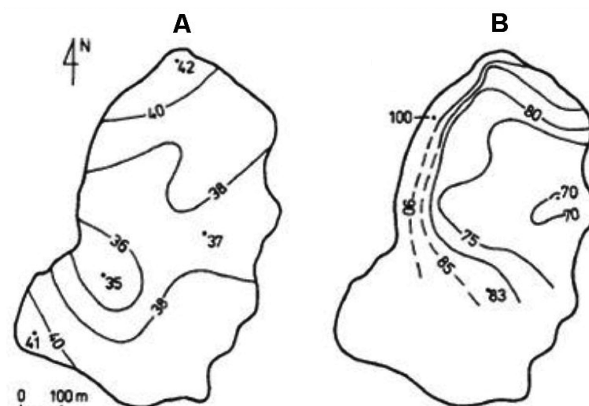
**Tabela 1.** Charakterystyki pokrywy lodowej oraz czas trwania zjawisk lodowych na Morskim Oku w różnych wieloletniach

**Table 1.** Characteristics of ice cover and ice phenomena on the Lake Morskie Oko in various periods

Wielolecie Period	Czas trwania zjawisk lodowych [dni] Duration of ice phenomena [days]	Długość zalegania pokrywy [dni] Duration of ice cover [days]	Maksymalna grubość pokrywy lodowej [cm] Maximum thickness of ice cover [cm]
1971–1980	193	170	72
1981–1990	177	157	69
1991–2000	166	156	61
2001–2010	166	139	65
1971–2010	175	155	67

pokrywy lodowej na Morskim Oku ulega skróceniu w tempie  $0,9 \text{ d}\cdot\text{r}^{-1}$  ( $p < 0,01$ ).

Podobne tendencje – choć nie tak silne – stwierdzono w odniesieniu do sześciu jezior położonych w niżowej części Polski (Marszelewski, Skowron 2006). Od lat 60. ubiegłego stulecia coraz wcześniej rozmarza pokrywa lodowa oraz skraca się czas jej trwania o ok.  $0,9 \text{ d}\cdot\text{r}^{-1}$ , przy czym w przypadku jeziora Hańcza, jest on dwukrotnie mniejszy ( $0,4 \text{ d}\cdot\text{r}^{-1}$ ) (Marszelewski, Skowron 2006). Na podstawie analizy długości zlodzenia i dat tworzenia i zaniku pokrywy lodowej w jeziorach w Rosji, Finlandii, Japonii i Stanach Zjednoczonych w latach 1864–1995, J. J. Magnuson i in. (2000), sformułowali tezę o skróceniu okresu zlodzenia na jeziorach północnej hemisfery w wyniku późniejszego pojawiania się pokrywy lodowej o 5,8 dni na 100 lat oraz wcześniejszego jej zaniku – średnio 6,5 dni na 100 lat. Późniejsze badania jezior



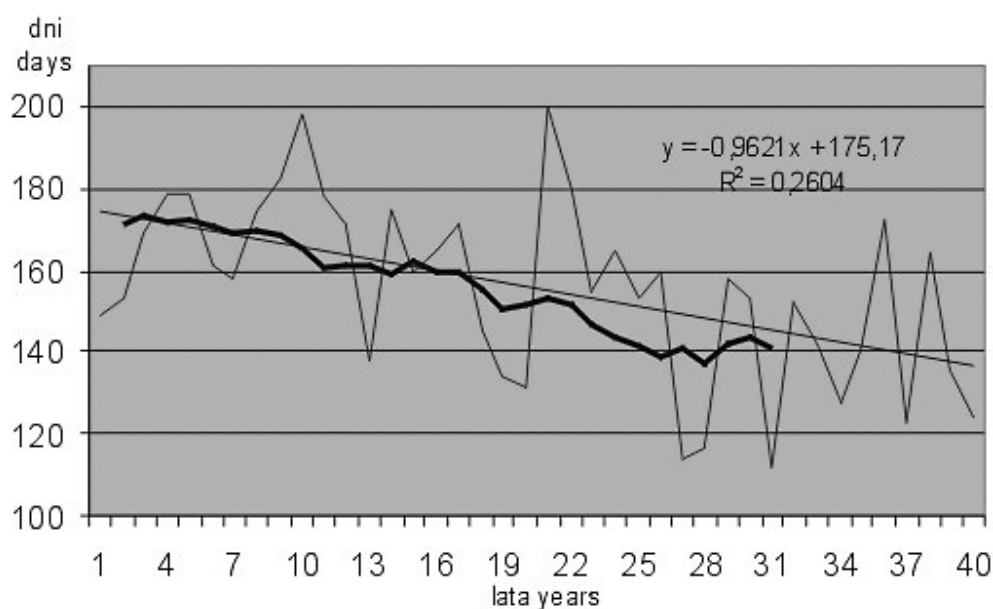
**Ryc. 2.** Zróżnicowanie grubości pokrywy lodowej 26 stycznia (A) i 11 kwietnia (B) 2007 r. (cm; Choiński 2007)

**Fig. 2.** Ice cover thickness on January 26 (A) and April 11 (B) 2007 (cm; Choiński 2007)

w Finlandii (Korhonen 2006), Kanadzie (Duguay i in. 2006), Jeziora Ładoga (Karetnikov, Naumenko 2008) oraz Wielkich Jezior (Jensen i in. 2006) dały podobne wyniki.

Skracaniu okresu zlodzenia oraz występowania zjawisk lodowych towarzyszył spadek maksymalnej miąższości pokrywy lodowej. Był on szczególnie widoczny do przełomu tysiącleci, jednakże po roku 2000 zaznacza się tendencja rosnąca (ryc. 4).

Zjawiska lodowe są kształtowane głównie przez warunki meteorologiczne. W Polsce zmiany klimatyczne wyrażają się m.in. dodatnim trendem temperatur powietrza w miesiącach zimowych i jesiennych (Kozuchowski i in. 2000). Zmiany parametrów pokrywy lodowej na Morskim Oku wskazują na ocieplenie klimatu – zwłaszcza w odniesieniu do chłodnej pory roku (Choiński i in. 2009, Choiński i in. 2010). Analiza przebiegu trendu temperatury powietrza w najbliższej Morskiego Oka stacji



**Ryc. 3.** Długość trwania pokrywy lodowej na Morskim Oku w latach 1971–2010 (pogrubiona: średnia ruchoma 11-letnia)

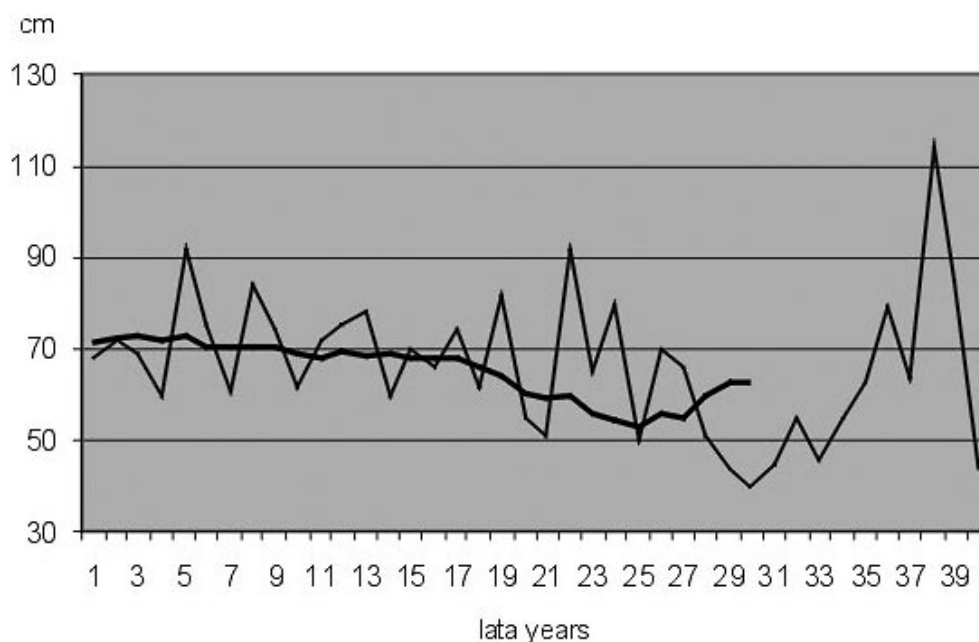
**Fig. 3.** Duration of ice cover on the Morskie Oko Lake in 1971–2010 (bold: 11-yr moving average)

synoptycznej IMGW w Zakopanem wskazuje na nieznaczny wzrost temperatury w półroczu zimowym (XI–IV) wynoszący nieco ponad  $1^{\circ}\text{C}/100$  lat ( $p < 0,01$ ) oraz na znaczny wzrost temperatury średniej kwietnia i maja wynoszący ok.  $5^{\circ}\text{C}/100$  ( $p < 0,01$ ) – czyli tego okresu, podczas którego dochodzi do ablacji pokrywy lodowej (ryc. 5, 6).

Ze względu na silne powiązanie warunków termicznych w Polsce z cyrkulacją atmosferyczną związaną z Oscylacją Północnoatlantycką, zbadano zależność parametrów zlodzenia ze wskaźnikami NAO Hurrella. W wyniku analizy korelacji liniowej nie otrzymano istotnych zależności (tab. 2).

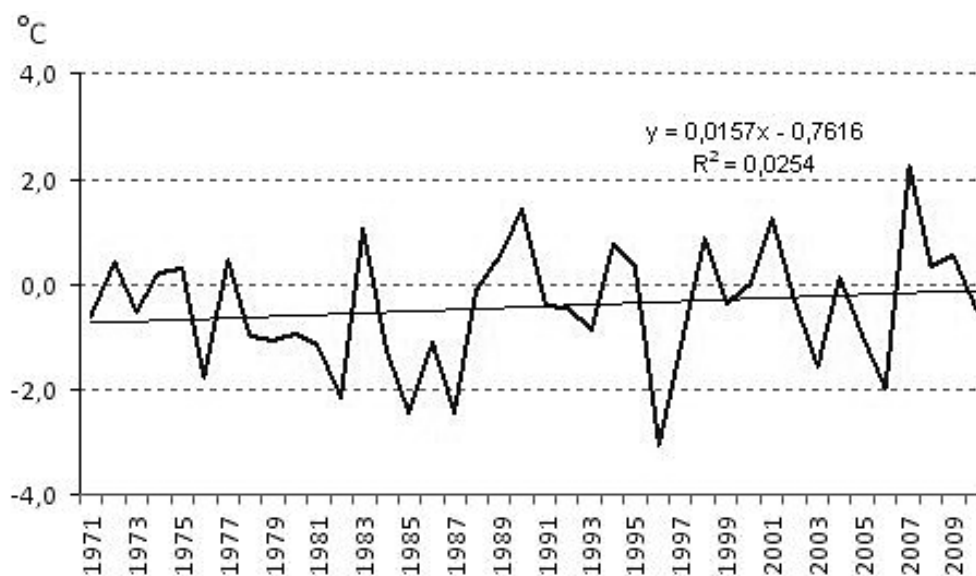
## Podsumowanie i wnioski

O ile w większości gór wysokich na Ziemi, zjawiskiem świadczącym o współczesnym ociepleniu klimatu są cofające się lodowce, tak jak w Alpach, Górach Skalistych, Andach, Himalajach i in., to w górach niezlodowcaonych, rolę „rejestratora” zmian klimatycznych odgrywa pokrywa lodowa i zjawiska lodowe na jeziorach oraz w rzekach. W Tatrach udało się znaleźć wyraźne skutki zmian klimatu. Zmiany parametrów pokrywy lodowej na Morskim Oku wskazują na ocieplenie klimatu – zwłaszcza w odniesieniu do chłodnej pory roku. Bardzo silne ocieplenie zaobserwowano w odnie-



**Ryc. 4.** Maksymalna grubość pokrywy lodowej na Morskim Oku w latach 1971–2010 (pogrubiona: średnia ruchoma 11-letnia)

**Fig. 4.** Maximum thickness of ice cover on the Morskie Oko Lake in 1971–2010 (bold: 11-yr moving average)



**Ryc. 5.** Średnia temperatura powietrza w półroczu zimowym (XI–IV) w latach 1971–2010 w Zakopanem

**Fig. 5.** Mean air temperature in winter season (Nov–Apr) in Zakopane in 1971–2010

**Tabela 2.** Współczynnik korelacji liniowej między indeksami NAO Hurrella oraz parametrami pokrywy lodowej i zjawisk lodowych

**Table 2.** Correlation coefficient between Hurrell's NAO indexes and ice cover and ice phenomena characteristics

Typ indeksu Hurrella Hurrell's NAO index	Długość zalegania pokrywy lodowej Duration of ice cover	Maksymalna grubość pokrywy lodowej Maximum thickness of ice cover	Czas trwania zjawisk lodowych Duration of ice phenomena
XI–XII	0,26	0,04	0,04
IV–V	0,05	-0,02	-0,07
XII–III	-0,14	-0,06	-0,26
XI–V	-0,02	0,00	-0,21
XI–IV	-0,03	-0,02	-0,24

sieniu do dwóch ostatnich miesięcy półrocza zimowego, tj. kwietnia i maja, kiedy odbywa się topnienie pokrywy lodowej.

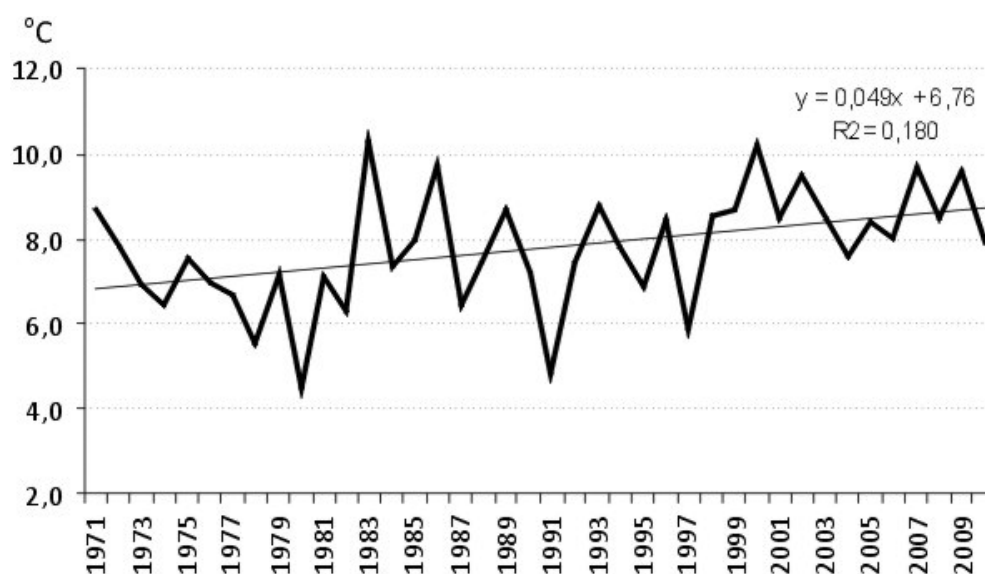
Należy jednak pamiętać, iż pokrywa lodowa i zjawiska lodowe – ich zmienność i cechy – odzwierciedlają nie tylko wpływy zewnętrznych warunków meteorologicznych, ale także wpływ cyrkulacji wody wewnątrz akwenu. Ponadto, w analizie korzystnie byłoby uwzględnić większą liczbę jezior, zarówno na północnym, jak i południowym skłonie Tatr, jednak brakuje regularnych obserwacji zjawisk lodowych na tych obszarach.

### Ice cover on Lake Morskie Oko response to the air temperature and air circulation patterns in 1971–2010

A general review of river and lake ice research in the northern hemisphere was done by J. J. Magnuson et al.

(2000). Data analysis, including sites in Russia, Finland, Japan, and the United States, provides consistent evidence of later freezing and earlier break-up throughout the northern hemisphere from 1846 to 1995. Over this 150-year period, the average rate of change in freeze dates was 5.8 days per 100 years (later) while the change in break-up dates averaged 6.5 days per 100 years (earlier). Furthermore, inter-year variability in both freeze-up and break-up dates has increased since 1950. A few longer time series indicate reduced ice cover (a warming trend) beginning as early as the 16<sup>th</sup> century with increasing rates of change after 1850. Relatively little research has been done on lakes in East-Central Europe. W. Marszelewski and R. Skowron (2006) studied ice break-up dates on 6 lakes in northern Poland for the 1961–2000. They found that the latest ice break-up dates were recorded to occur much earlier than in the past on all the lakes studied. The length of the period with ice cover decreased at a rate of 0.9 d·yr<sup>-1</sup>, except for Lake Hańcza, the deepest lake in the European Lowland, where a rate of 0.4 d·yr<sup>-1</sup> was recorded.

The aim of the paper is to examine the formation and breakup, and duration of ice for the Morskie Oko Lake representing high mountain lake in the Tatra Mts. Changes in lake ice – except for its significance in climate change studies – may have important consequences for fish, phytoplankton and zooplankton communities. Besides, duration of ice cover influences the amount of evaporation and thus can contribute to changes in water balance of the lake. Data sets of freeze date and breakup records, ice duration and mean thickness of winter ice cover for the period 1971–2010 has been taken into consideration. The Morskie Oko Lake is the only lake in the Polish Tatra Mts. with observation of ice cover on the lake. There are the most important results of the study:



**Ryc. 6.** Średnia temperatura powietrza kwietnia i maja w latach 1971–2010 w Zakopanem

**Fig. 6.** Mean air temperature in April and May in Zakopane in 1971–2010

- maximum thickness of winter ice cover in the period 1971–1980 was 7 cm greater than in 2001–2010,
- the period with perennial ice cover and with ice cover phenomena has been getting shorter at the rate of 0,9 day·year<sup>-1</sup> ( $p < 0.01$ ).

There is a relationship between ice cover phenomena in Lake Morskie Oko and the air temperatures in cold season, in particular in April and May (Zakopane station). Air temperature in winter season increases at the rate 1°C per 100 per ( $p < 0.01$ ) and air temperature of April and May increases at the rate 5°C per 100 years ( $p < 0.01$ ).

The observed trend in ice cover duration on Lake Morskie Oko is clear and reflects a gradually warming climate. It is consistent with recent studies which have shown that ice duration on lakes throughout the northern hemisphere has decreased over the last few decades.

### Literatura

- Borucki T., 2005. Krytyczna analiza tatrzańskiego itinerarium Stanisława Staszica [w:] W. Wójcik (red.) Miejsce i znaczenie gór w twórczości Stanisława Staszica, COTGPPTK, Kraków, s. 79–135.
- Choiński A., 2000. Najgłębsze jeziora Tatr Polskich w świetle najnowszych pomiarów głębokości, *Czasop. Geogr.*, 71, 1, s. 99–103.
- Choiński A., 2006–2007. Zjawiska lodowe na Morskim Oku w Tatrach, *Folia Geogr., ser. Geogr. Phys.*, 38–39, s. 65–77.
- 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. *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska*, UŚ, PTG, RZGW, Sosnowiec, s. 71–77.
- Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J. (2010) Morskie Oko. Tajemnice tafli lodowej, *Tatry*, 2/32, s. 34–35.
- Duguay C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M.P., Ménéard P., 2006. Recent trends in Canadian lake ice cover, *Hydrological Processes*, 20, 4, s. 781–801.
- Jensen O.P., Benson B.J., Magnuson J.J., Card V., Futter M.N., Soranno P.A., Stewart K.M., 2007. Spatial analysis of ice phenology trends across the Laurentian Great Lakes region during a recent warming period, *Limnology and Oceanography*, 52(5), s. 2013–2026.
- Karetnikov S.G., Naumenko M.A., 2008. Recent trends in Lake Ladoga ice cover, *Hydrobiologia*, 599, s. 41–48.
- Korhonen J., 2006. Long-term changes in lake ice cover in Finland, *Nordic Hydrology*, 37, 4–5, s. 347–363.
- Kożuchowski K., Degirmendžić J., Fortuniak K., Wibig J., 2000. Trends to changes in seasonal aspects of the climate in Poland, *Geographia Polonica*, 73, 2, s. 7–24.
- Łajczak A., 1982. Wahania temperatury przy powierzchniowej warstwy wody w jeziorach tatrzańskich o różnej ekspozycji, *Czasop. Geogr.* 53, 1, s. 29–40.
- Łajczak A., 1996. *Hydrologia*, [w:] Mirek Z., red., *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Kraków – Zakopane, s. 169–196.
- Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Barry R.G., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinski V.S., 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere, *Science*, 289, s. 1743–1746.
- Marszelewski W., Skowron R., 2006. Ice cover as an indicator of winter air temperature changes: case study of the Polish Lowland lakes, *Hydrological Sciences Journal*, 51, 2, s. 336–349.
- Moscicki J., 1996. Zimowa termika wód Morskiego Oka, *Dok. Geogr.* 4, 49–56.
- National Climatic Data Center, 2010, NOAA, <http://cdo.ncdc.noaa.gov/CDO/georegion>.
- Pociask-Karteczka J., 2009a. Ciepłej w Tatrach? *Tatry*, 4/30, s. 36.
- Pociask-Karteczka J., 2009b. Recent Environmental Changes in the Tatra National Park, *MRI News*, 3, October, s. 22–25.
- Smolenski J., 1932. Z badań wysokogórskiej stacji naukowej w Dolinie Pieciu Stawów Polskich w Tatrach, *Wierchy*, 10, s. 151–156.
- Szaflarski J., 1932. Z badań nad termiką jezior tatrzańskich, *Przegląd Geogr.*, 12, 181–184.
- Szaflarski J., 1948a. Nowe obserwacje nad lodową powłoką jezior tatrzańskich, *Geografia w Szkole*, 3, 11–12.
- Szaflarski J., 1948b. Z zagadnień zimowej termiki jezior tatrzańskich, *Przegląd Geogr.*, 22, 281–289.