

grubość pokrywy śnieżnej na Kaspro-
wym to 126 cm (w ubiegłym roku –
lutym 2009 – 270 cm). Na Hali Gąsienicowej maksimum lutowe to 54 cm,
tylko o centymetr więcej niż w War-
szawie. Ale nie ma co się dziwić, sko-
ro 19 lutego na Gąsienicowej maksy-
malna temperatura powietrza wynosi-
ła +6,2 st. C. Aż dziw bierze, że od
początku okresu śnieżnego do końca
lutego przy tak małej grubości pokry-
wy śnieżnej było tyle wypadków la-
winowych. Może dlatego było ich tak
dużo, że istnieje w nas przekonanie,
że lawiny schodzą tylko wtedy, kiedy
śniegu jest dużo. A przecież to nie-
prawda! Kryształki i ziarna śniegu, któ-
re budowały poszczególne warstwy
lutowej pokrywy śnieżnej, miały bar-
dzo małą spójność. A im głębiej w śnieg,
tym było luźniej. W rejonie Morskiego
Oka prawie cały miesiąc w warstwie
spągowej pokrywy śnieżnej (ok. 20 cm)
widoczny był szron wgłębny! I mimo
że śniegu było mało (nieco powyżej
50 cm), a jego ciężar nie był bardzo
duży (ok. 300 kg/m sześć.), to przy do-
datkowym obciążeniu powierzchni bar-
dzo łatwo można było wyzwolić lawi-
nę. Potwierdzały to cotygodniowe po-
miary pokrywy śnieżnej, między innymi
badania oporu na wytrzymałość pod cię-
żarem, wykonane sondą uderzeniową.
Sonda zanurzyła się w pokrywę śnieżną
dwuetapowo: na 2 i 57 cm. Na bardzo
małą stabilność pokrywy śnieżnej mia-
ły oczywiście wpływ także inne czyn-
niki, głównie wiatr i temperatura po-
wietrza. Trzeba zawsze pamiętać, że
nawet niewielka ilość śniegu na stoku
podlega prawom fizyki. Bo przecież
schematycznie można rozważać pokry-
wę śnieżną jako ciało będące w rów-
nowadze na płaszczyźnie pochyłej, któ-
ra poddawana jest dwóm typom sił.
Jedną z nich są siły, które ściągają masy
śniegu w dół stoku, a drugi rodzaj sił
przyczynia się do zatrzymania śniegu
w miejscu. Siły, które wpływają na ścią-
ganie śniegu w dół stoku, uzależnione
są zasadniczo od jego ciężaru, jak i po-
tencjalnie od dodatkowego wzrostu ob-
ciążenia. Tym „dodatkiem” może być
wiatr, kozica, śnieg i oczywiście czło-
wiek!

ANNA FIEMA

Dział Służby Pomiarowo-Obserwacyjnej
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Oddział w Krakowie

Tajemnice tafli lodowej

Porównanie do szklanej płyty jest mylące. Lód przykrywający w zimie najsłynniejsze tatrzańskie jezioro nie jest jednorodny, ma w różnych miejscach różną grubość i skomplikowaną strukturę.

Początek tworzenia się pokrywy lodo-
wej 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 pra-
wie dwa razy szybsza od fazy wzrostu. Czas
złodzenia Morskiego Oka jest bardzo zróżni-
cowany w poszczególnych latach i wynosi od
112 dni (2001 r.) do 200 dni (1991 r.), jednak
w ostatnich 35 latach wykazuje tendencje
spadkowe, podobnie jak maksymalna gru-
bość pokrywy lodowej (pisaliśmy o tym w „Ta-
trach” nr 30). Takie wyniki badań otrzymano
na podstawie standardowych pomiarów miąż-
szości lodu prowadzonych przez IMGW przy
północnym brzegu jeziora.

Zachodzi jednak pytanie, w jakiej mie-
rze pomiar grubości lodu w jednym punkcie
jest reprezentatywny dla całej powierzchni je-
ziora. Aby uzyskać odpowiedź, kilkakrot-
nie wykonano sieć odwiertów w pokrywie lo-
dowej Morskiego Oka przy pomocy świra
ręcznego. Przeprowadzone badania po-
zwoliły na wyciągnięcie następujących wni-
sków:

- nad głębokimi fragmentami misy jezior-
nej miąższość lodu jest mniejsza niż nad płyt-
szymi,
- rozkład przestrzenny grubości lodu jest
zmienny w ciągu zimy, tzn. maksymalne i mi-
nimalne grubości lodu mogą wystąpić w róż-
nych częściach tafli w czasie jednego sezo-
nu zimowego,

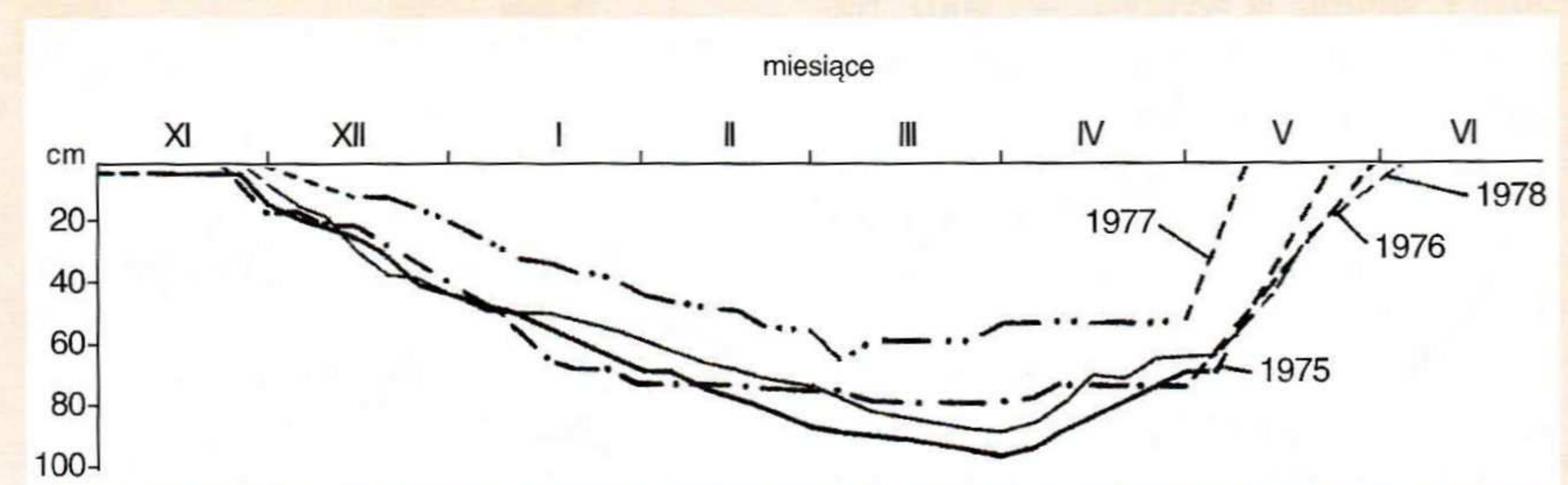
– maksymalna grubość lodu dochodziła
do 100 cm, lecz zróżnicowanie grubości
w obrębie tafli lodu sięga nawet 30 cm,

– rozkład przestrzenny grubości lodu nie
jest powtarzalny z roku na rok,

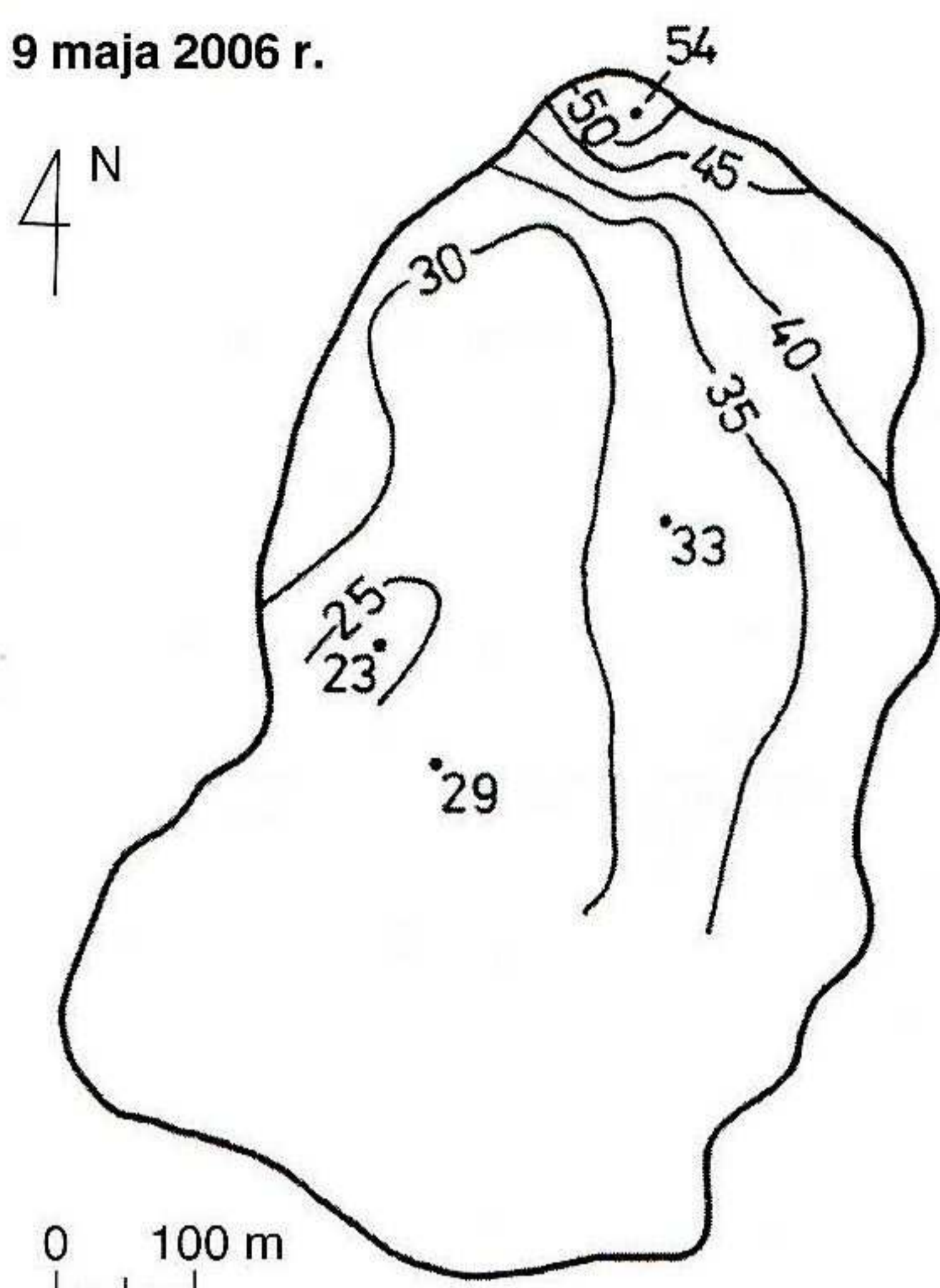
– w następstwie zejścia lawin dochodzi
do destrukcji pokrywy lodowej, wynikiem cze-
go jest jej nieciągłość.

Przyczyn zróżnicowania grubości lodu
należy upatrywać w cyrkulacji podlodowej wód
jeziornych spowodowanej m.in. dopływem zim-
nych wód od strony Dwoistej Siklawy, a także
odpływem wód do Rybiego Potoku. Badania
dowodzą, iż wykonywane standardowo pomiary
grubości lodu w jednym miejscu znacznie
odbiegają od średniej grubości lodu. Ponad-
to standardowe pomiary nie obejmują obser-
wacji struktury lodu, która – jak wykazały od-
wierty – jest wielowarstwowa. Można się o tym
przekonać, wchodząc na lód, który się zapa-
da zazwyczaj na głębokość kilku centymetrów.
Najczęściej występują dwie warstwy lodu, mię-
dzy którymi zalega warstwa wody, lepy (wody
ze śniegiem) lub sryżu (wody z kryształkami
lodu). Chodząc po lodzie o takiej strukturze,
odnosi się wrażenie, że lód ulegnie załama-
niu. Jest to jednak odczucie złudne, gdyż spą-
gowa warstwa lodu jest zazwyczaj grubsza od
warstwy stropowej. Jaki jest mechanizm po-
wstawania tego typu powłoki? Woda na po-
wierzchni jeziora może się pojawić po zejściu
lawin i naruszeniu struktury lodu. Zdarza się,
że w okresach kilkudniowych ociepleń (zwykle
w drugiej fazie zimy) może dochodzić do nad-
tapiania powierzchni lodu lub śniegu lub na-

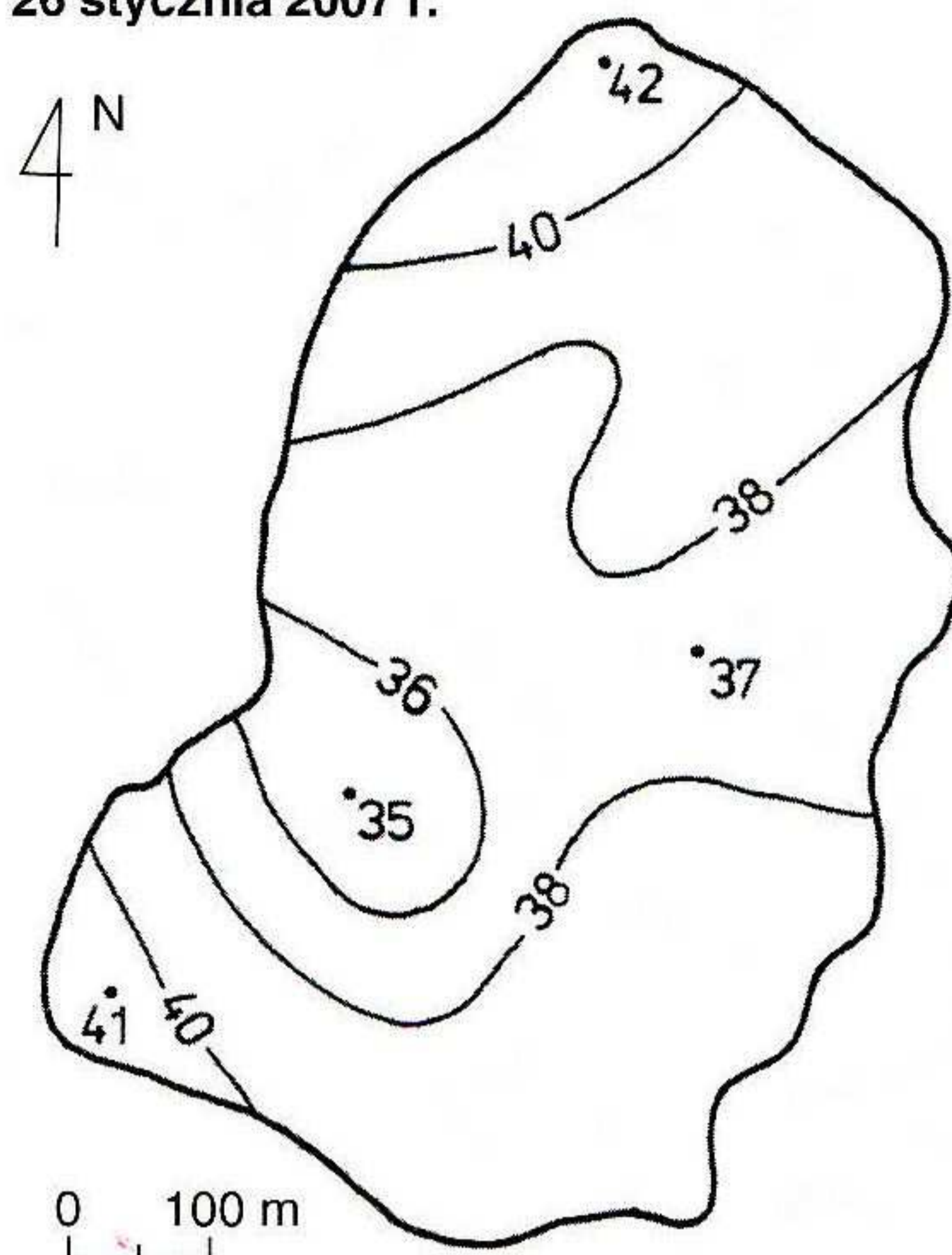
■ Morskie Oko. Grubość lodu w poszczególnych miesiącach różnych lat



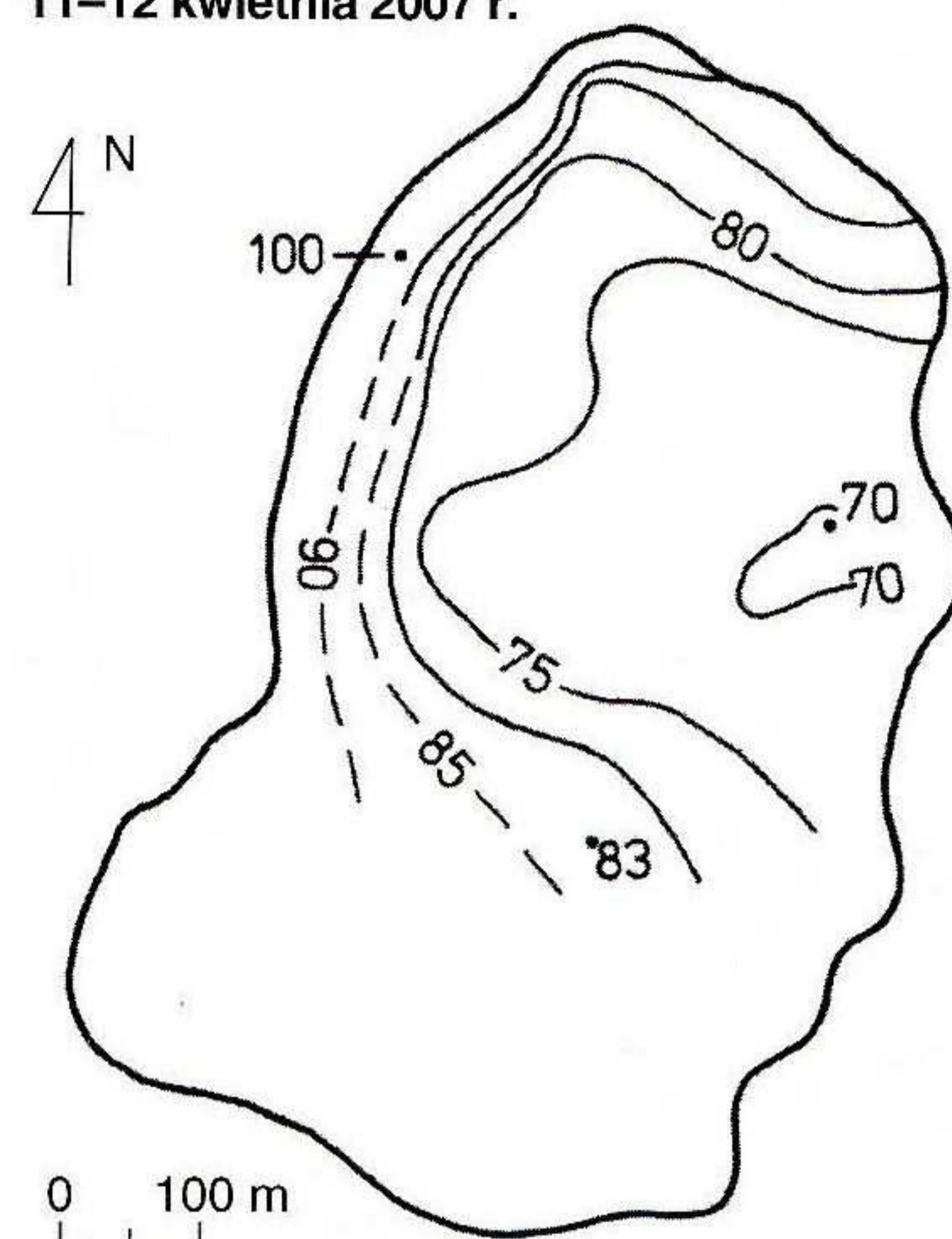
9 maja 2006 r.



26 stycznia 2007 r.



11–12 kwietnia 2007 r.



■ Tafla Morskiego Oka, widok z góry. Zróżnicowanie grubości lodu w centymetrach

wet opadów deszczu. W wyniku tych procesów powierzchnię właściwej powłoki lodowej pokrywa warstwa wody, która z uwagi na dodatnią temperaturę zaczyna nadtopiać powierzchnię lodu. Przy kolejnym nadejściu ujemnych temperatur woda zalegająca na lodzie zaczyna zamarać, przy czym w zależności od intensywności opadów śniegu może być ona nim w różnej mierze „nasączona”, mając często charakter błota śnieżnego (*slush*). Zima w swej fazie schyłkowej jest już często zbyt „słaba”, aby zamrozić całą warstwę wody i powstaje wówczas lód wielowarstwowy. Nowa wierzchnia warstwa lodu najczęściej nie jest jednorodna tak pod względem miąższości, jak i struktury. Zamrażanie „nadlodowej” warstwy wody podlega bowiem podobnym prawom, jak ma to miejsce w przypadku zasadniczej – pierwotnej warstwy pokrywy lodowej. Zaburzenie struktury lodu następuje w wyniku zejścia lawiny. Sytuacja taka wystąpiła zimą 2007 r., toteż, ze względów bezpieczeństwa, nie wykonywano odwiertów w obrębie zachodniej części tafli jeziora.

Zjawiska lodowe są kształtowane przede wszystkim przez warunki meteorologiczne. Analiza przebiegu trendu temperatury powietrza w najbliższej Morskiego Oka stacji synoptycznej IMGW w Zakopanem w okresie występowania lodu (listopad–maj) wskazuje na nieznaczny wzrost wynoszący nieco ponad 1 st. C na 100 lat.

Ważnym czynnikiem jest także temperatura wody. Niebawem szybki rozwój elektroniki przyczynił się do skonstruowania urządzeń umożliwiających ciągłą rejestrację wybranych parametrów termicznych wody. W warunkach górskich pierwszą sondę zastosowano w roku

2003 na Wielkim Stawie w Karkonoszach, zaś od czerwca 2006 r. urządzenie takie pracuje w Morskim Oku. Umożliwia rejestrację temperatury na dowolnej głębokości w dowolnych odstępach czasu. Boja, w której znajduje się rejestrator, zakotwiczona jest w Morskim Oku na głębokości 50 metrów. Aktualnie rejestracja temperatury odbywa się co godzinę na głębokościach: 0,5, 5, 10, 20, 30 i 50 metrów. Urządzenie ma nadajnik umożliwiający odczytywanie danych drogą radiową z brzegu jeziora, zaś w czasie występowania pokrywy lodowej wtapia się ono w lód, rejestrując zachodzące pod nim zmiany temperatury. Udało się już zarejestrować gwałtowne zmiany temperatury wody pod lodem po zejściu lawin i zniszczeniu tafli lodu. Niestety, mimo dużych możliwości zastosowań sond

termicznych, są to urządzenia o dużym stopniu awaryjności, przez co w rejestrze danych występują luki. W warunkach jezior górskich urządzenia tego typu uszkodzane są przez lawiny, napór kier lodowych. Zdarza się, iż w efekcie bardzo niskich temperatur awarii ulega zasilanie, a przy silnym falowaniu dochodzi do dryfu urządzenia, podczas którego czujniki, trąc o kamieniste dno, ulegają uszkodzeniu. Bywa, że – w warunkach wysokogórskich – skrajnie niekorzystna pogoda uniemożliwia terminową wymianę baterii. Wstępne wyniki pomiarów sondy termicznej w Morskim Oku zostaną wkrótce opracowane.

ADAM CHOIŃSKI, LESZEK KOLENDOWICZ
Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu

JOANNA POCLASK-KARTECZKA
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

■ Średnia temperatura powietrza od listopada do maja w latach 1970–2007 w Zakopanem

