

WOJCIECH DOBIŃSKI*
Sosnowiec

ROZMIESZCZENIE ZMARZLINY W TATRACH WYSOKICH W OPARCIU O WSKAŹNIKI TAJANIA I ZAMROZU

Z a r y s t r e ś c i

Przedstawiono wyniki analizy klimatycznej wykonanej w celu stwierdzenia czy w Tatrach Wysokich istnieją warunki dla rozwoju wieloletniej zmarzliny. W oparciu o metodę wskaźników tajania i zamrozu stwierdzono, że obszar Tatr Wysokich znajduje się potencjalnie w strefie występowania zmarzliny ciągłej, nieciągłej i sporadycznej.

WSTĘP

Tatry to obszar górski, w którym występuje górska strefa peryglacjalna. Badanie jej, choć rozpoczęte przez naukowców (CZUDEK, 1986; JAHN, 1958, 1970; KLIMASZEWSKI, 1988; KOTARBA, 1988 i inni) nigdy nie podejmowały problematyki występowania w jej obrębie warunków dla przetrwania aktywnej wieloletniej zmarzliny górskiej. W ostatnich latach zagadnienie to podjęte zostało przez Katedrę Geomorfologii Uniwersytetu Śląskiego. W poszukiwaniu zmarzliny wykonano dotychczas kilkadziesiąt sondowań elektrooporowych oraz kilkaset pomiarów BTS, z których wyniki były częściowo publikowane (DOBIŃSKI, 1966; DOBIŃSKI, GADEK, ŻOGAŁA, 1996).

W niniejszym artykule przedstawione zostaną wyniki analizy klimatycznej wykonanej w celu określenia czy w Tatrach Wysokich istnieją potencjalne warunki klimatyczne dla utrzymywania się wieloletniej zmarzliny.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Tatry są górami fałdowania alpejskiego, których najwyższe szczyty przekraczają wysokość 2600 m n.p.m. (rys. 1). Cech rzeźby wysokogórskiej nadały im złodowacenia, których kilka objęło Tatry w plejstocenie. Całkowita powierzchnia tych gór wynosi ok. 750 km². Tatry Wysokie stanowią około 1/3 ich powierzchni. Główny grzbiet Tatr Wysokich ma długość 26,5 km, przebiega niemal równoleżnikowo, a średnia jego wysokość wynosi 2279 m n.p.m. (KLIMASZEWSKI, 1988; LUKNIŚ, 1975).

* Department of Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, University of Silesia, ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec; dobin @ ultra.cto.us.edu.pl

Ze względu na dużą wysokość bezwzględą masywu w Tatrach wyróżnić można m.in. piętra klimatyczne umiarkowanie zimne i zimne. W piętrze umiarkowanie zimnym na stokach o ekspozycji północnej średnia roczna temperatura powietrza 0°C występuje na wysokości 1850 m, na stokach południowych na wysokości 2050 m. Średnia roczna temperatura powietrza na najwyższych szczytach Tatr (ok. 2600 m) spada do wartości -4°C . Górna granica występowania kosówki, początek alpejskich łąk odpowiada właśnie temperaturze 0°C . Sumy temperatur wyższych i niższych od 0°C osiągają tu wartość 1000°. Na tej granicy liczba dni z mrozem osiąga średnio 135 w ciągu roku. Wysokość opadów włącza klimat Tatr do klimatu wilgotnego, część z nich w postaci śniegu tworzy w Tatrach zimą pokrywą o grubości od 115 do 230 cm (HESS, 1965, 1974).

METODA WKAŹNIKÓW TAJANIA I ZAMROZU

Metoda klimatyczna pozwala w większej skali, ale też bardziej ogólnie ocenić czy warunki klimatyczne panujące na danym terenie sprzyjają rozwojowi bądź utrzymywaniu się wieloletniej zmarzliny. Stosowana była ona w klimatologii od dawna jako wskaźnik sum temperatur dodatnich i ujemnych. Nazwana *Metodą wskaźników tajania i zamrozu* i zastosowana do określania warunków występowania zmarzliny przez HARRISA (1981 a, b, c). Wyniki przeprowadzonej tą metodą analizy dla obszaru Tatr Wysokich są bardziej przybliżeniem potencjalnych możliwości występowania zmarzliny niż rzeczywistym określeniem klimatycznych warunków granicznych dla jej występowania. Warunki te bowiem podlegają bardzo dużej zmienności spowodowanej wysokogórską rzeźbą Tatr, a co za tym idzie zróżnicowaniem mezo- i mikroklimatycznym Tatr.

Koncepcja wskaźników tajania i zamrozu ($^{\circ}\text{C}/\text{rok}$) polega na tym, że wskaźnik zamrozu jest sumą średnich dobowych temperatur powietrza poniżej 0°C w roku, a wskaźnik tajania jest sumą średnich dobowych powyżej 0°C (HARRIS, 1981 a, b).

Na podstawie danych z różnych stacji meteorologicznych położonych w różnych rejonach świata, gdzie występuje zmarzlina, został opracowany diagram (HARRIS, 1981 a). Na diagramie tym, przedstawiono stacje meteorologiczne z obliczonym dla nich wskaźnikiem tajania i zamrozu, przy czym wybrano te regiony, gdzie średnia grubość pokrywy śnieżnej wynosi mniej niż 50 cm wraz z informacją jaki rodzaj zmarzliny (ciągła, nieciągła, sporadyczna) znajduje się w danym miejscu.

Przenikanie zimna z atmosfery w głąb gruntu możliwe jest wówczas, gdy pokrywa śnieżna nie jest grubsza niż 50 cm. Do tej grubości przenikanie to nie jest specjalnie utrudnione, i temperatura powietrza może silnie oddziaływać na powierzchnię gruntu, a więc powodować jego zamrażanie bądź tajanie. Po naniesieniu na wykres miejsca z różnym rodzajem zmar-

zliny zostały rozdzielone liniami granicznymi. Granica zmarzliny ciągłej zależy w dużej mierze od stopnia kontynentalizmu klimatu terenu, na którym się znajduje i linia ta przecina izotermę -5°C dla wartości tych wskaźników wynoszących ok. -3200 i 1300 . Taki przebieg tej granicy jest powodem różnic widocznych u wielu autorów w przebiegu izotermy granicznej dla ciągłej zmarzliny od -5°C w/g JAHNA (1970) do -8°C (HAEBERLI, 1985). Granica zewnętrzna nieciągłej zmarzliny znajduje się blisko izotermy 0°C średniej rocznej temperatury powietrza (po jej zimnej stronie). Poniżej niej znajduje się strefa zmarzliny sporadycznej określona głównie w oparciu o lód w jaskiniach lodowych.

Z przedstawionych na wykresie HARRISA danych i wykrytych zależności pomiędzy przebiegiem granicy dla poszczególnych rodzajów zmarzliny a sumami dodatnich i ujemnych średnich dobowych temperatur wynika, że:

(a) wzrastające sumy temperatur dodatnich i ujemnych wskazują na klimat bardziej kontynentalny, malejące na klimat bardziej oceaniczny. Wiąże się to ze zmianą wielkości opadów w obu przypadkach;

(b) w klimacie kontynentalnym przebieg granic pomiędzy różnymi rodzajami zmarzliny jest wyraźny, strefy występowania są szersze, a więc dopiero znaczna zmiana sum temperatur wpłynąć może na zmianę tych stref. Przeciwna sytuacja widoczna jest w przypadku klimatu wilgotnego. Niewielkie różnice w sumach temperatur wpływają na zmianę lokalizacji punktu w wyznaczonych strefach.

WYNIKI ANALIZY DANYCH KLIMATYCZNYCH Z TATR WYSOKICH

Dane klimatyczne do analizy wskaźników tajania i zamrozu zebrano ze stacji i posterunków klimatycznych działających na obszarze Tatr Wysokich. Były to Łomnicki Szczyt, Kasprowy Wierch, Skalne Pleso, Dolina Pięciu Stawów Polskich, Hala Gąsienicowa, Morskie Oko. Dane z terenu polskiej części Tatr Wysokich obejmują okres 5-lecia od 1985 do 1989 roku. Dane z obszaru słowackich Tatr Wysokich obejmują okres 10-lecia 1985–1994. W tabelach I i II przedstawiono wskaźniki tajania (TI) i zamrozu (FI) obliczone dla każdego roku i wszystkich miejsc. Średnie 5 i 10 letnie wartości wskaźników zostały przedstawione na wykresie HARRISA (rys. 2).

Istnienie zmarzliny bardzo mocno związane jest z bilansem ciepła w warstwie powierzchniowej gruntu; zmarzlina jest to pewien termiczny stan gruntu poniżej 0°C . Ale każde ciało o temperaturze wyższej od 0°K emituje energię w postaci promieniowania. Promieniowanie to zależne jest od wartości temperatury i od charakterystyki powierzchni tego ciała. W porównaniu ze Słońcem zarówno powierzchnia Ziemi, jak i atmosfera są stosunkowo chłodne i dlatego promieniowanie ich leży całkowicie w obszarze

T a b e l a I

Wskaźniki tajania (TI) i zamrozu (FI) oraz głębokości zamarzania i tajania gruntu
w Polskich Tatrach Wysokich

Dolina Pięciu Stawów Polskich, 1670 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	suma	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-625,5	-1008,6	-118,0	-999,9	-625,5	-4466,5	893,3	89,7
TI	1460,3	1471,1	1310,0	1334,8	1370,3	6946,5	1389,3	111,8
t*(°C)	0,3	1,2	0,4	0,9	2,2		1,0	

Kasprowy Wierch, 1991 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	suma	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-1308,4	-1115,2	-1416,1	-1285,3	-836,4	-5961,4	1192,28	103,6
TI	985,2	1062,7	894,2	997,0	845,3	4884,4	976,88	93,8
t*(°C)	-1,6	-0,4	-1,4	-0,8	0,3		-0,8	

Hala Gąsiennicowa, 1520 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	suma	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-944,3	-555,4	-963,8	-789,3	-459,1	-3710,1	742,02	81,7
TI	1554,9	1578,4	1540,9	1614,3	1657,7	7946,2	1589,24	119,6
t*(°C)	1,7	2,7	1,6	2,3	3,3		2,3	

Morskie Oko, 1408 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	suma	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-980,6	-800,5	-1018,4	-790,2	-578,9	-4168,6	833,72	86,6
TI	1583,5	1860,7	1634,3	1635,9	1788,9	8503,3	1700,66	123,7
t*(°C)	1,6	2,9	1,7	2,3	0,3		1,8	

* średnia roczna temperatura powietrza

T a b e l a II

Wskaźniki tajania (TI) i zamrozu (FI) oraz głębokości zamarzania i tajania gruntu w Polskich Tatrach Wysokich w Słowacji

Skalne Pleso, 1751 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-1053,	-864,0	-973,3	-884,1	-489,1	-523,6	-821,0	-688,0	-775,3	-667,4	773,95	83,46
TI	1400,6	1661,5	1366,2	1475,6	1573,1	1463,3	1383,6	1686,3	1546,0	1680,7	1523,9	117,1

Łomnica, 2632 m a.s.l.

lata	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	średnia 5-letnia	głębokość zamarzania i odmarzania w cm
FI	-1981,1	-1781,5	-2082,8	-2695,3	-2156,4	-1588,4	-1915,8	-1743,9	-1731,9	-1606,4	1928,35	131,74
TI	433,7	560,7	470,6	505,7	455,8	441,0	453,0	612,8	459,1	667,4	504,98	6742

podczerwieni. Przeciętna temperatura powierzchni Ziemi wynosi ok. 285°K, dlatego większość promieniowania mieści się w przedziale fali od 4 do 50 mm. Promieniowanie to nazywane jest promieniowaniem Ziemi albo uchodzącym, a czasami promieniowaniem cieplnym, bo jest ono formą energii cieplnej. Powierzchni Ziemi nie można przyjąć za ciało doskonale czarne więc przyjmuje się, że powierzchnia Ziemi, jeśli chodzi o promieniowanie podczerwone zachowuje się jak ciało szare (LOCKWOOD, 1984).

Dla określenia wartości emisji w gruncie – aby możliwe było określenie głębokości zamarzania i tajania – użyto opracowanego empirycznie z zastosowaniem prawa Stefana-Boltzmann'a wzoru:

$$Df = a\sqrt{FI}$$

$$Dt = b\sqrt{TI}$$

gdzie a i b są parametrami określonymi empirycznie dla danego obszaru – na podstawie obserwacji temperatury w gruncie, a FI i TI to wskaźniki zamrozu i tajania. Dla luźnego materiału gruzowego przyjmuje się wskaźnik a , b , równy w przybliżeniu wartości 3. (SONE, 1992; URDEA, 1993). W tabelach I i II przedstawiono obliczone według podanych wzorów głębokości tajania i zamarzania w różnych wysokościach Polskich i Słowackich Tatr Wysokich. W oparciu o te wartości sporządzono wykres głębokości tajania i zamrozu w poszczególnych przedziałach wysokości (rys. 3). W oparciu o ten wykres można stwierdzić, że głębokość zamarzania i odmarzania gruntu w Tatrach równoważy się na wysokości około 1930 m n.p.m.

PODSUMOWANIE

W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że obszar Tatr Wysokich to rejon klimatu wilgotnego, gdzie sumy TI i FI nie są duże, lecz zmieniają się znacznie wraz z wysokością bezwzględną. Wskaźniki te przedstawione na wykresie pozwalają stwierdzić, że badany obszar znajduje się potencjalnie we wszystkich strefach występowania zmarzliny: ciągłej, nieciągłej i sporadycznej. Natomiast w związku z bardzo bliskim ułożeniem granic zmarzliny spowodowanym wielkim zróżnicowaniem mikroklimatycznym i orograficznym Tatr Wysokich można przypuszczać, że istnieje duża ekstrapolacyjność w tych strefach. Mimo że nie zawsze spełniony jest warunek zastosowania tej metody, jakim jest niewielka grubość pokrywy śnieżnej (do 50 cm), to jednak zdecydowano się ją zastosować, ponieważ grubość pokrywy śnieżnej jest na obszarze Tatr bardzo zróżnicowana z powodu urozmaiconej rzeźby terenu. W terenie tym strome stoki skalne i wiatry powodują, że w wielu miejscach grubość pokrywy śnieżnej jest mniejsza niż 50 cm, a nawet w ogóle w czasie całej zimy jej nie ma.

W oparciu o przeprowadzone na podstawie tych wskaźników wyliczenia stwierdzono, że granica równowagi dla obecności aktywnej zmarzliny przebiega na wysokości około 1930 m n.p.m., obejmując obszar bliski 100 km² (rys. 4).