

JAROSŁAW BARANOWSKI, STANISŁAW KĘDZIA, ZOFIA RĄCZKOWSKA

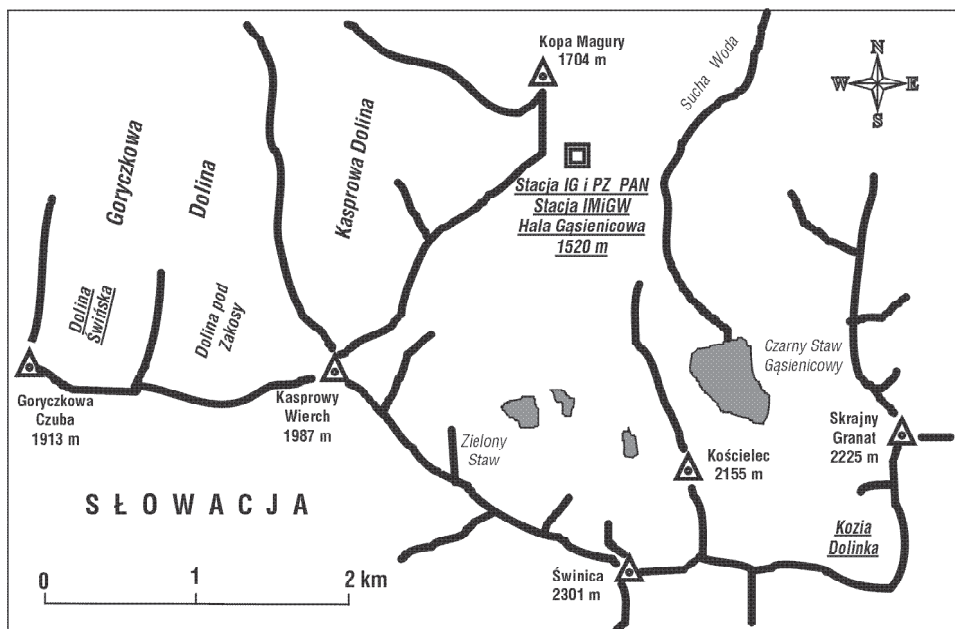
## BADANIA PRZEMARZANIA GRUNTU I PRZEMIESZCZANIA POKRYW W OTOCZENIU HALI GĄSIENICOWEJ

*Abstrakt:* W pracy przedstawiono wstępną analizę wyników pomiarów temperatury gruntu prowadzonych przy użyciu termistorów z loggerami w Dolinie Świńskiej Goryczkowej (1720-1790 m n.p.m.), Koziej Dolince (1950 m n.p.m.) i na Hali Gąsienicowej (1520 m n.p.m.) oraz wyników pomiarów tempa przemieszczania pokryw stokowych w Dolinie Świńskiej Goryczkowej, mierzonych przy użyciu linii kołków (0,5 m długości) i gwoździ (0,25 cm długości). Stwierdzono, że czas trwania i wielkość przemarzania gruntu są podobne na Hali Gąsienicowej i w Dolinie Goryczkowej Świńskiej, różnią się natomiast od tych w Koziej Dolince. W drugiej połowie kwietnia lub na początku maja rozkład pionowy temperatury w gruncie stwarza warunki dla soliflukcyjnego przemieszczania pokryw. Na tempo przemieszczania, oprócz przejść temperatury przez zero, wpływa także woda z topniejącego śniegu.

*Słowa kluczowe:* temperatura gruntu, Tatry, przemieszczanie pokryw, soliflukcja.

### 1. Wstęp

Poznanie termiki gruntu jest niezbędne przy wszelkich próbach określenia mechanizmu modelowania stoków (Washburn 1979; Matsuoka 1998; Matsuoka i in. 1997). Szczególnie istotna jest znajomość pionowego rozkładu temperatury w gruncie podczas procesów zamarzania i odmarzania, bowiem procesy te mają duży wpływ na rodzaj i tempo modelowania stoków. Niestety, jedyną stacją w polskiej części Tatr badającą systematycznie temperaturę gruntu jest stacja IMGW na Hali Gąsienicowej, położona na wysokości 1520 m n.p.m. (ryc. 1). Potrzeba lepszego poznania termiki gruntu zaistniała w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku kiedy T. Gerlach oraz M. Kłapa rozpoczęli, na znajdującej się w tym samym miejscu Stacji Obserwacyjnej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, badania dotyczące między innymi ruchów mrozowych w glebie. W badaniach tych oprócz standardowych pomiarów temperatury gruntu prowadzonych na stacji IMGW przy użyciu tradycyjnych termometrów, posługiwano się również zmarzlinomierzami Danilina oraz łaską torfową służącą do patrolowych pomiarów głębokości przemarzania gruntu. Zmarzlinomierze zamontowane były

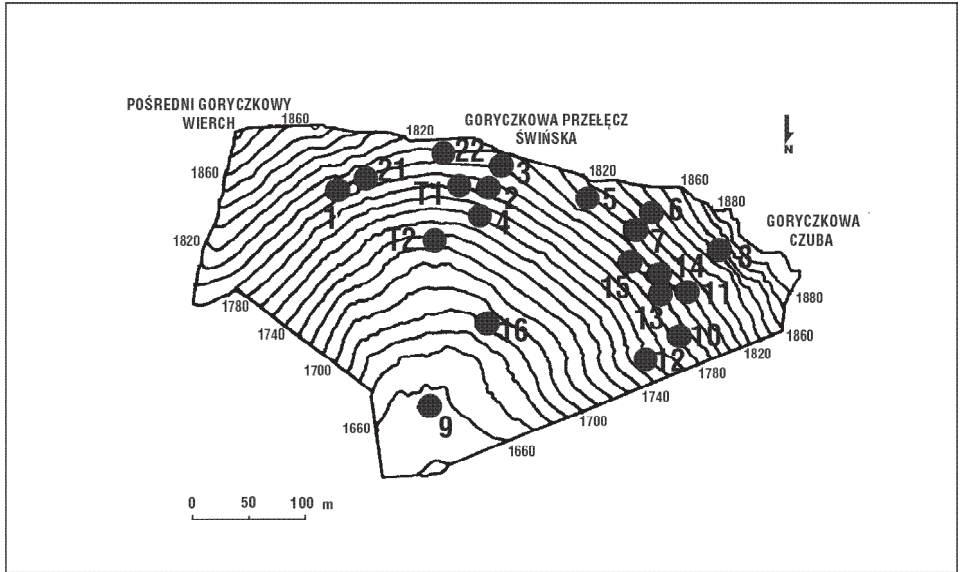


Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań  
 Fig. 1. Location of the study area

głównie w wyższych partiach Tatr (Kłapa 1963, 1966). Z kolei na początku lat sześćdziesiątych w ramach badań klimatu peryniwalnego, w Koziej Dolince oraz pod Gąsienicową Turnią, wykonano kilka jedno- i kilkudniowych serii pomiarowych temperatury powietrza i gruntu (Hess 1963).

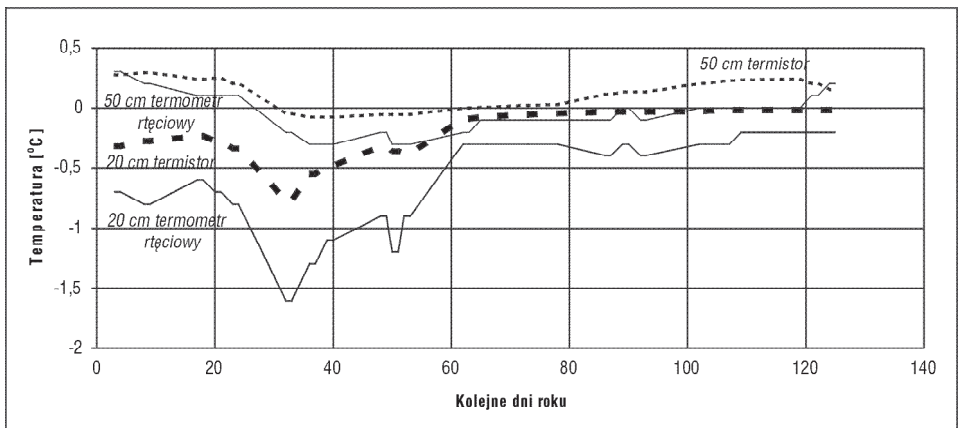
Pod koniec lat dziewięćdziesiątych pomiary temperatury gruntu przy użyciu termometrów elektrycznych (termistorów), ale bez użycia loggerów, zostały zapoczątkowane w Koziej Dolince na gruzowym stoku usypiskowym pod Kozim Wierchem, na wysokości 1 970 m (S. Kędzia) oraz na stacji na Hali Gąsienicowej (S. Kędzia przy współpracy M. Kotlarczyka). W 2001 roku J. Baranowski, wspólnie z Z. Rączkowską, rozpoczął szczegółowe badania termiki gruntu przy użyciu termistorów oraz loggerów w Dolinie Świńskiej Goryczkowej (ryc. 1). Pomiary temperatury gruntu odbywają się tam na dwóch stanowiskach usytuowanych na wysokości 1720 m n.p.m. oraz 1790 m (ryc. 2).

Zastosowanie termistorów pozwoliło ustalić rzeczywisty czas zamarzania i rozmarzania gruntu na wybranych głębokościach. Standardowe pomiary temperatury gruntu przy użyciu termometrów rtęciowych wymagają podczas odczytu naruszenia pokrywy śnieżnej, co wiąże się ze zmianą jej parametrów izolacyjnych. Skutkiem tego naturalny rozkład temperatury w gruncie ulega zaburzeniu. Im pokrywa śnieżna jest większa tym zmiany te również zwiększają się. Nie bez wpływu na temperaturę gruntu jest także wymagany na stacjach meteorologicznych brak roślinności na poletku pomiarowym. Na rycinie 3 przedstawione są różnice



Ryc. 2. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych do badań termiki gruntu i przemieszczania pokryw w górnej części Doliny Goryczkowej Świńskiej

Fig. 2. Distribution of sites for the measurements of thermal properties of the ground and the shifting of slope cover in the upper part of the Goryczkowa Świńska Valley



Ryc. 3. Różnice wskazań termometrów rtęciowych oraz termistorów dla temperatury gruntu (20 cm, 50 cm) na Hali Gąsienicowej (1520 m n.p.m.) dla wybranego okresu 1997 r.

Fig. 3. Comparison of ground temperatures as indicated by mercury thermometers and thermistors at the depth 20 and 50 cm, Hala Gąsienicowa (1520 . a.s.l.), 1997

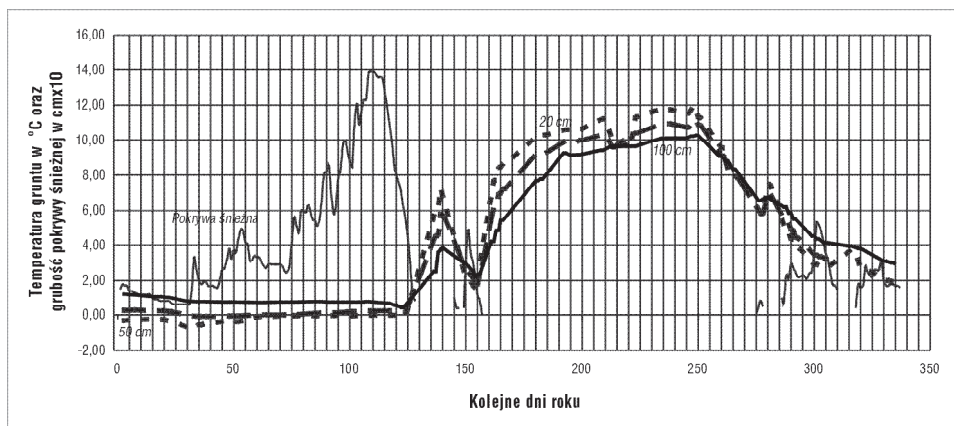
pomiędzy temperaturami odczytanymi na Hali Gąsienicowej z termometrów rtęciowych oraz termistorów na głębokości 20 i 50 cm. Największe różnice temperatur dochodzące nawet do około 1°C występują dla głębokości 20 cm, natomiast najmniejsze są dla głębokości 50 cm. Długość okresu, podczas którego grunt na głębokości 50 cm był zamrożony ustalona na podstawie odczytów z termometrów rtęciowych jest około dwukrotnie większa niż ustalona na podstawie odczytów z termistorów. Stąd też aby poznać rzeczywistą temperaturę gruntu zdecydowano się na użycie termistorów.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie rzeczywistego zróżnicowania pionowego temperatury gruntu oraz jej zmienności na różnych poziomach w ciągu roku, na różnych wysokościach w obrębie piętra subalpejskiego i alpejskiego, a także wykorzystanie znajomości termiki gruntu do lepszego poznania mechanizmu modelowania stoków dojrzałych w Tatrach.

## 2. Termika gruntu i jej zróżnicowanie pionowe i czasowe

Lata 1996-2003 charakteryzowały się w stosunku do lat 1951-1960 cieplejszymi miesiącami zimowymi i wiosennymi (z wyjątkiem marca), chłodniejszą jesienią i latem, za wyjątkiem zimy 2002/2003, kiedy średnie miesięczne temperatury były niższe w porównaniu z okresem poprzednim. Opady w okresie lata były wyższe od średnich wieloletnich, natomiast zimą niższe.

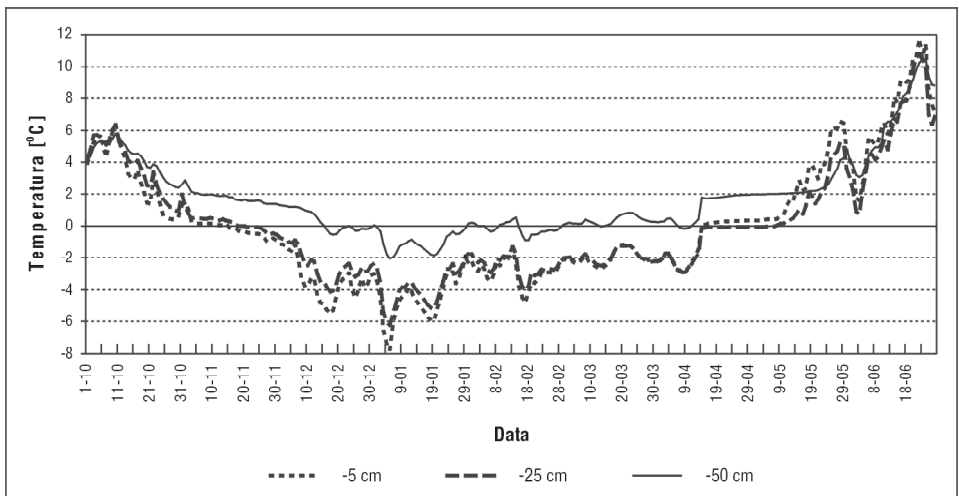
Ze wszystkich czterech stanowisk wierzchnie warstwy gruntu najdłużej (bo przez około 8-9 miesięcy) pozostają zamrożone w Koziej Dolince, gdzie dolne warstwy nie rozmarzają przez cały rok tworząc wieloletnią zmarzlinę (Kędzia i in. 1998; Mościcki, Kędzia 2001). Odwrotna sytuacja panuje na Hali Gąsienicowej



Ryc. 4. Przebieg temperatury gruntu odczytanej z termistorów o godz. 13.<sup>00</sup> na Hali Gąsienicowej w 1997 r. na tle wysokości pokrywy śnieżnej

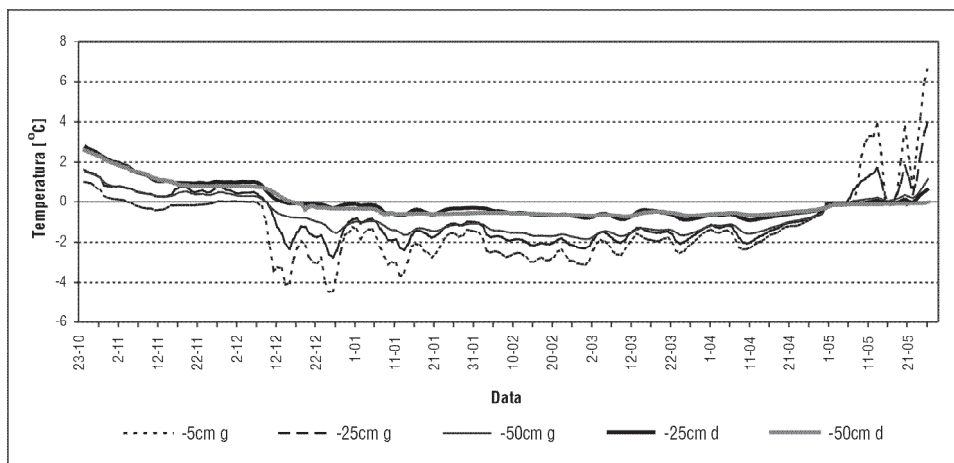
Fig. 4. Ground temperature from thermistars and snow cover depth at Hala Gąsienicowa in 1997

(ryc. 4). Tutaj grunt na głębokości 50 cm zamarza na około 3 miesiące, natomiast na głębokości 100 cm grunt ani razu nie przemarzał od 1997 roku, to jest od chwili zainstalowania termistorów. Natomiast na górnym stanowisku w Kotle Goryczkowym Świńskim w okresie chłodnym 2001/2002 r. do pierwszego przemarznięcia gruntu na głębokości 50 cm doszło w połowie grudnia (ryc. 5). Po około 2 tygodniach doszło do krótkotrwałego rozmarznięcia gruntu i następnie grunt ponownie zamarzył. Do połowy kwietnia grunt jeszcze kilkakrotnie zamarzał i rozmarzał. W okresie zimy 2002/2003 grunt na głębokości 50 cm również zamarzył w połowie grudnia lecz stan ten utrzymywał się nieprzerwanie do pierwszych dni maja (ryc. 6). Na stanowisku dolnym zainstalowanym dopiero rok później do pierwszego przemarznięcia na omawianej głębokości doszło w kilka dni później niż na stanowisku górnym. I podobnie jak na wyższym stanowisku stan ten utrzymywał się do początku maja, przy czym temperatury na niższym stanowisku były wyższe o około 1°C. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż w okresie zimy 2001/2002 grunt na głębokości 5 oraz 25 cm po zamarznięciu na początku grudnia utrzymywał się nieprzerwanie w tym stanie do połowy kwietnia, a temperatury rejestrowane na wymienionych głębokościach były niższe o kilka stopni od temperatury na głębokości 50 cm. W tym samym czasie, jak już wyżej wspomniano, grunt na głębokości 50 cm kilkakrotnie rozmarzał i zamarzał. Przyczyną tego niewątpliwie było ciepło zmagazynowane w głębszych warstwach gruntu w ciepłym okresie roku oraz ciepło geotermiczne. Podsumowując, na początku i pod koniec okresu chłodnego, do najczęstszych przejść temperatury przez 0°C dochodzi w wierzchnich warstwach



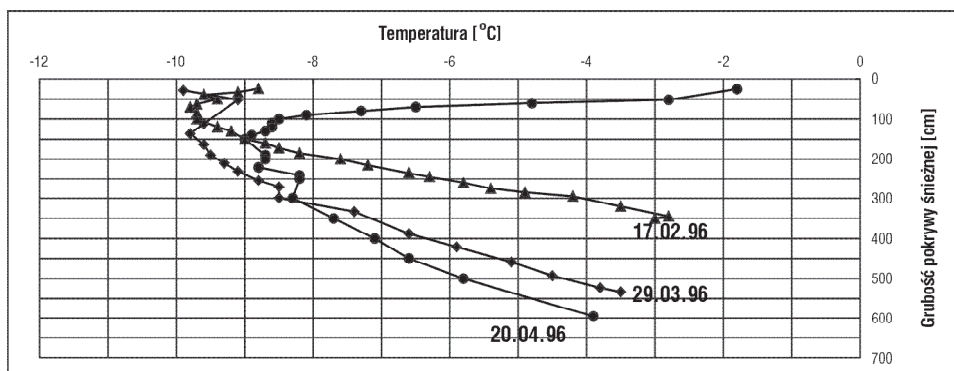
Ryc. 5. Przebieg średniej dobowej temperatury gruntu na stanowisku w Dolinie Świńskiej Goryczkowej od października 2001 do czerwca 2002 roku

Fig. 5. Ground temperature in the Świńska Goryczkowa Valley between October 2001 and June 2002



Ryc. 6. Przebieg średniej dobowej temperatury gruntu w Dolinie Świńskiej Goryczkowej od listopada 2002 do maja 2003 r. na stanowiskach  $T_1(g)$  oraz  $T_2(d)$

Fig. 6. Ground temperature in the Świńska Goryczkowa Valley between November 2002 and May 2003 at the points  $T_1(g)$  and  $T_2(d)$



Ryc. 7. Profil termiczny pokrywy śnieżnej w Koziej Dolince (1930 m n.p.m.) w wybranych dniach 1996 r.

Fig. 7. Thermal profile of snow cover in the Kozia Dolinka Valley (1930 m a.s.l.) chosen days in 1996

gruntu. Natomiast podczas zimy największa liczba przejść przez 0 zaznacza się w głębszych warstwach. Podobna sytuacja występuje na Hali Gąsienicowej. Inaczej jednak rozkład temperatury wygląda w Koziej Dolince w miejscu ze zmarzliną, gdzie odmarzanie gruntu następuje tylko od góry. W takich miejscach w okresie zimy głębsze warstwy gruntu (50 cm, 100 cm) pozostają cały czas zamrożone.

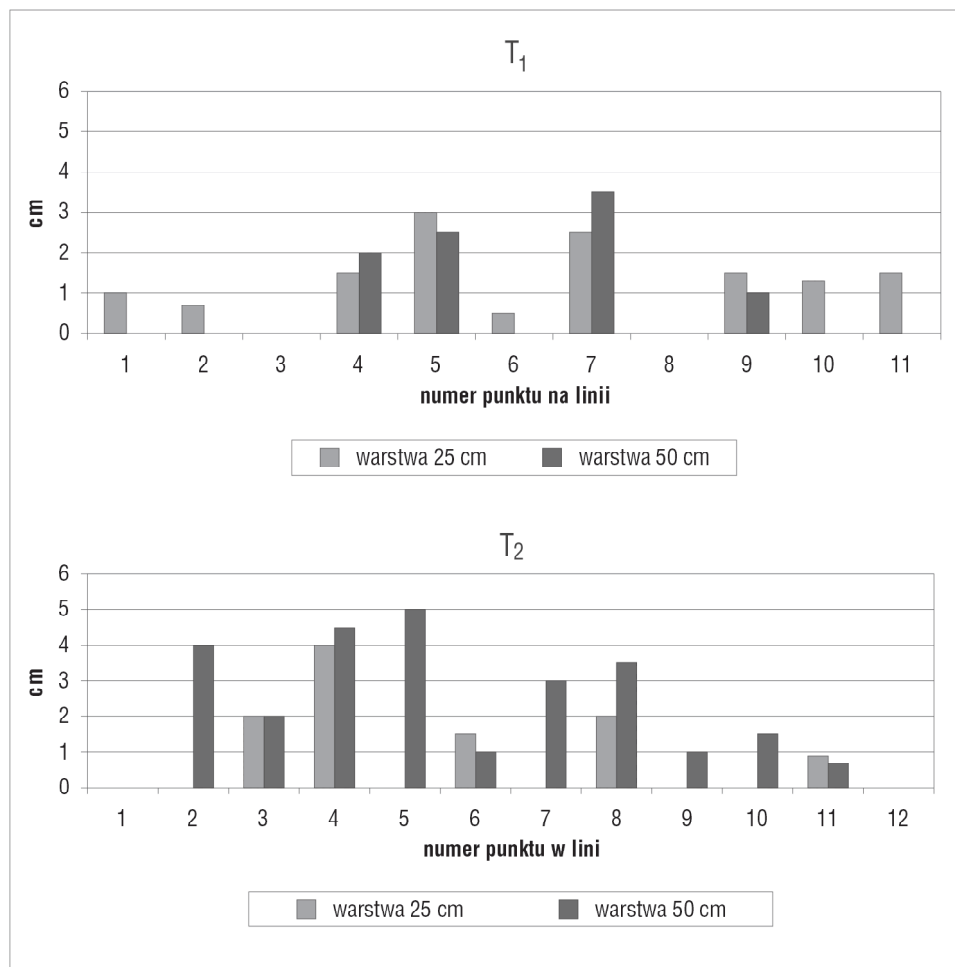
Bardzo duży wpływ na rozkład temperatury w gruncie w chłodnym okresie roku ma pokrywa śnieżna. Rycina 7 przedstawia zmiany temperatury na powierzchni gruntu w Koziej Dolince podczas trzech patrolowych pomiarów w 1996 roku. Mimo stosunkowo dużych zmian temperatury w wierzchnich warstwach pokrywy śnieżnej temperatura na kontakcie z gruntem zmieniała się w ciągu 2 miesięcy tylko o niecałe 2°C. Niewątpliwie największy wpływ na to miała bardzo gruba pokrywa śnieżna, która podczas ostatniego pomiaru miała około 6 m grubości.

Na wszystkich stanowiskach zarówno tych nisko jak i wysoko położonych w całorocznym przebiegu temperatury wyraźnie zaznacza się jeden punkt – moment topienia się pokrywy śnieżnej. Wówczas woda roztopowa wyrównuje do około 0°C temperaturę zarówno w zanikającej pokrywie śnieżnej jak również w gruncie.

### 3. Termika gruntu a mechanizm ruchów masowych

Stoki dojrzałe z pokrywą zwietrzelinową modelowane są zarówno przez procesy spęływania jak i soliflukcji czy procesy mrozowe, rzadziej przez spływy gruzowe. Rozpoznanie procesu powodującego przemieszczanie pokryw zwietrzelinowych nie jest łatwe i jednoznaczne przy użyciu jedynie metod geomorfologicznych. Znajomość temperatury gruntu może być pomocna w ich rozróżnieniu. Badaniami morfodynamiki stoków dojrzałych objęto górną część Doliny Goryczkowej Świńskiej, gdzie w oparciu o szczegółowe kartowanie geomorfologiczne w skali 1:1000, wykonano mapę typów powierzchni morfodynamicznych (Rączkowska 1999). Każdy z wydzielonych na niej typów powierzchni morfodynamicznych obejmował proces lub zespół procesów modelujących dany fragment stoku jak i intensywność modelowania określoną jakościowo w skali od I do IV, od stoków nieaktywnych do intensywnie przekształcanych. Równocześnie od roku 1996 prowadzono pomiary tempa przemieszczania pokryw w tym obszarze. Stanowiska do pomiaru tempa przemieszczania pokryw (ryc. 2) zostały zlokalizowane na stoku o różnej morfodynamice. Były to linie kołków rozmieszczonych co 1 m, na długości od dziesięciu do kilkunastu metrów. Średnia wielkość przemieszczenia za okres 1996-2003, wynosi od 0,0 cm/rok do 5,3 cm /rok dla poszczególnych kołków, Linie na stanowiskach 11, 12, 13, 14 i 16 nie zmieniły położenia. Na stanowiskach 1, 2, 4 pojedyncze kołki przemieściły się średnio do 0,9 cm/rok. Natomiast na pozostałych stanowiskach linie były przemieszczone na całej długości. Były one zlokalizowane na fragmentach stoku, którym na podstawie morfologii powierzchni przypisano modelowanie przez soliflukcję lub przez spęływanie.

Stanowiska termiczne T1 i T2, zlokalizowano na stoku modelowanym przez soliflukcję (T1) oraz na stoku modelowanym przez soliflukcję i spęływanie (T2). Analiza danych dotyczących termiki gruntu pozwala wydzielić wiosną okres od kilku do kilkunastu dni (w zależności od stanowiska), kiedy warstwa wierzchnia gruntu jest rozmarznięta, a warstwa głębsza zamarznięta. Istnieją wtedy warunki dla występowania soliflukcji, co potwierdza mechanizm modelowania stoku określony przy pomocy metod geomorfologicznych. Czas występowania tego okresu zmienia się, w roku 2002 była to druga połowa kwietnia, a w roku 2003 pierwsza połowa maja.

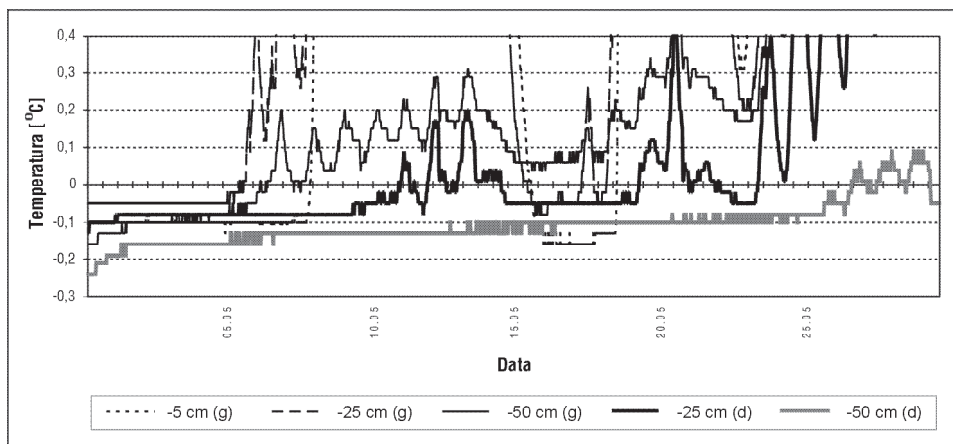


Ryc. 8. Wielkość przemieszczania pokryw stokowych na stanowiskach termicznych T1 i T2 w roku 2003/2003 w Dolinie Goryczkowej

Fig. 8. Size of movements of slope cover at sites T1 and T2 in the Goryczkowa Valley

Dodatkowo w tych samych miejscach zainstalowano w roku 2002 linie kołków drewnianych (0,5 m długości) oraz gwoździ (0,25 m długości). Tempo przemieszczania na poszczególnych stanowiskach różni się (ryc. 8). Prawie dwa razy większe tempo stwierdzono na stanowisku dolnym. Na stanowisku górnym następuje głównie ruch wierzchniej warstwy. Wskazuje to dodatkowo na soliflukcję jako czynnik sprawczy. Na stanowisku dolnym obie warstwy są przemieszczane. Większe jest także tempo przemieszczeń w stosunku do pomierzonych na stanowisku T1.





Ryc. 9. Zapis temperatury gruntu na stanowiskach  $T_1(g)$  oraz  $T_2(d)$  w Dolinie Świńskiej Goryczkowej, w okresie częstych wahań temperatury wokół zera – maj 2003 roku  
 Fig. 9. Detailed record of ground temperature at sites  $T_1(g)$  and  $T_2(d)$  in the Świńska Goryczkova Valley in period with frequent temperature oscillation around zero – example from May 2003

Na stanowisku dolnym ( $T_2$ ) okres intensywnego wahania temperatury gruntu wokół zera jest nieco przesunięty w czasie w stosunku do stanowiska górnego (ryc. 9) i dodatkowo grubsza pokrywa śnieżna powoduje dłuższe i większe zasilanie pokryw stokowych wodą roztopową. Woda z topniejącej pokrywy śnieżnej ma duży wpływ na przemieszczanie pokryw stokowych ponieważ w około 75% wsiąka w grunt, podczas gdy woda opadowa tylko w 8% zasila wody podziemne (Kosiba 1949, vide Woś 1999). Stanowisko  $T_2$  położone jest na stoku, gdzie śnieg zanika pod koniec maja (Rączkowska, Kozłowska 1999). Górne stanowisko  $T_1$  w okresie, kiedy warunki termiczne w gruncie sprzyjają przemieszczeniu pokryw pozbawione było pokrywy śnieżnej. Aby stwierdzić czy ten proces powoduje jedynie przemieszczanie pokryw należałoby prowadzić pomiary kontrolne wielkości przemieszczania, częściej niż raz w roku, a także określić rolę opadów letnich.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione powyżej wyniki analizy dotychczasowych pomiarów temperatury gruntu i tempa przemieszczania pokryw zdają się potwierdzać, że stoki dojrzałe w Tatrach są modelowane przez procesy określone na podstawie morfologii stoku. Temperatura gruntu jest ważnym czynnikiem wpływającym na przemieszczanie pokryw, ale dla pełnego wyjaśnienia mechanizmu przemieszczania pokryw należy także bardziej szczegółowo uwzględnić rolę wody, zarówno opadowej jak i roztopowej, a także cechy fizyczne pokryw. Przebieg temperatury w gruncie na

Hali Gąsienicowej i na stokach w Dolinie Świńskiej Goryczkowej jest podobny, natomiast występuje wyraźna różnica w przebiegu temperatury gruntu w Koziej Dolinie w stosunku do obu wcześniej wymienionych stanowisk.

#### LITERATURA:

- Hess M., 1963, *Problems of the Perinival Climate in the Tatra Mountains*, Bull. Ac. Pol. Sc., Ser. Sc. Geol. et Geogr., 11, 4, 247-251.
- Mościcki J. W., Kędzia S., 2001, *Investigation of mountain permafrost in the Kozia Dolinka valley, Tatra Mountains, Poland*, Norw. J. Geogr., 55, 235-240.
- Kędzia S., Mościcki J., Wróbel A., 1998, *Studies on the occurrence of permafrost in Kozia Valley (The High Tatra Mts.)*, Relief, Quaternary Paleogeography and Changes of the Polar Environment, Polar Session, (red.) J. Repelewska-Pękalowa, UMCS, Lublin, 51-57.
- Kłapa M., 1963, *Prace Stacji Badawczej Instytutu Geografii PAN na Hali Gąsienicowej w latach 1960 i 1961*, Przegl. Geograf., 35, 2, 221-237.
- Kłapa M., 1966, *Prace Stacji Badawczej Instytutu Geografii PAN na Hali Gąsienicowej w latach 1962-1964*, Przegl. Geogr., 38, 2, 253-268.
- Matsuoka N., 1998, *The relationship between frost heave and downslope soil movement: field measurements in the Japanese Alps*, Permaf. and Periglac. Process., 9, 121-133.
- Matsuoka N., Hirakawa K., Watanabe T., Moriwaki K., 1997, *Monitoring of periglacial slope processes in the Swiss Alps: the first two years of frost shattering, heave and creep*, Permaf. and Periglac. Proc., 8, 155-177.
- Rączkowska Z., 1999, *Rzeźba stoków w otoczeniu Kasprowego Wierchu*, Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 174, 17-24.
- Rączkowska Z., Kozłowska A., 1999, *Pokrywa śnieżna a roślinność*, Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 174, 81-90.
- Washburn A. L., 1979, *Geocryology*, Edward Arnold, London.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, PWN, Warszawa.

## THE STUDIES OF GROUND TEMPERATURE AND SLOPE COVER MOVEMENTS IN SURROUNDINGS OF THE HALA GĄSIENICOWA (TATRA MTS.)

### SUMMARY

The paper presents preliminary results of studies on ground temperatures and its spatial and temporal differentiation in the area above the timberline in the Tatra Mts. Studies of mechanism and rates of slope cover movements on mature slope in the area are also discussed. The thermistors and data loggers were used in the studies. It was found that the ground is frozen since December till April/May, even at 0.5 m depth. In springtime, about 10 days long period occurs when vertical differentiation of ground temperature allows solifluction. Meltwater as well as ground temperature oscillations around zero are also important factors influencing the rate of slope cover movements.

Jarosław Baranowski  
Polska Akademia Nauk  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego  
Zakład Geookologii i Klimatologii  
Warszawa

Stanisław Kędzia, Zofia Rączkowska  
Polska Akademia Nauk  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego  
Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyzyn  
Kraków

