

Temperatura na NE stoku Świnicy i w Koziej Dolince w Tatrach w okresie 2007–2009

Włodzimierz Jerzy Mościcki

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Słowa kluczowe: Tatry, Kozia Dolinka, Świnica, Hala Gąsienicowa, temperatura powietrza, temperatura gruntu, wieloletnia zmarzlina

Keywords: Polish Tatra Mts., air temperature, ground temperature, permafrost

Streszczenie

O roku 2004 monitorowana jest temperatura powietrza i gruntu (+150, 0, -20 i -50 cm) na NE zboczu Świnicy, w Koziej Dolince (i porównawczo, na Hali Gąsienicowej). Stanowiska obserwacyjne położone są na podobnej wysokości (w przedziale 1950–2000 m n.p.m.), ale różnią się w sposób istotny rodzajem gruntu i pokrycia terenu, lokalną mikro-morfologią oraz topografią otoczenia. Przebieg zmian temperatury gruntu jest zróżnicowany zarówno w okresie zimy (pod pokrywą śniegową) jak i w pozostałych porach roku, zależąc silnie od lokalnych warunków. W terenie pokrytym głównie murawą dynamika zmian temperatury jest zdecydowanie mniejsza niż w przypadku głazowisk lub piarżysk. W okresie zimy największe wahania i jednocześnie najniższe wartości temperatury gruntu występują w Koziej Dolince. Średnia roczna temperatura gruntu na głębokości 50 cm wyniosła tu, za okres 2007–2009, niemal minus 1.7°C. Średnia dobowa temperatura powietrza w okresie 2004–2009 zmieniała się tak, że może zawierać trend liniowy świadczący o wzroście w tempie 0.27°C/rok.

Wstęp

Temperatura powietrza i znajomość jej przestrzenno-czasowej zmienności dostarcza istotnych informacji o lokalnym zróżnicowaniu klimatu i jego przemianach. Dla Tatr najobszerniejszą analizę wszystkich dostępnych danych, w tym sięgających połowy XVI wieku, przedstawił T. Niedźwiedź (2004). Oprócz temperatury powietrza przedmiotem badań jest również temperatura gruntu w celu poznania zjawisk przemarzania i ruchów masowych (np. Baranowski et al., 2005, Rączkowska, 2005). Badacze interesują się również temperaturą powierzch-

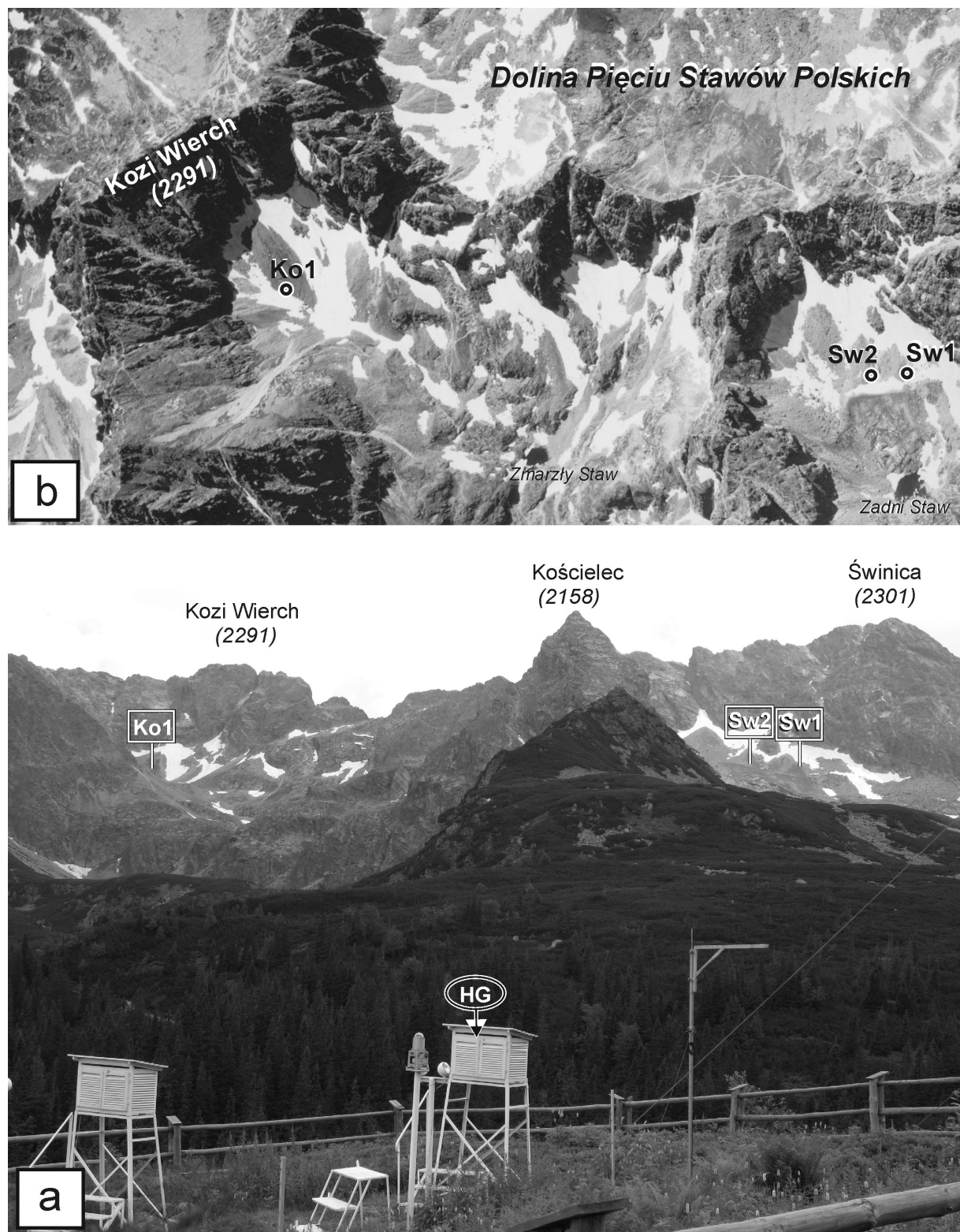
ni gruntu przykrytego pokrywą śniegową, gdyż jest ona uznawana za jeden z głównych wskaźników występowania wieloletniej zmarzliny (Haerberli, 1973). W Tatrach Polskich tego typu badania prowadzone są od kilkunastu lat (Dobiński, 1998, Mościcki i Kędzia, 2001), a podsumowanie najnowszych wyników badań znaleźć można w publikacji B. Gądka i S. Kędzi (2008). Autor prowadzi od roku 2004 systematyczne obserwacje temperatury powietrza i gruntu na trzech stanowiskach w otoczeniu Hali Gąsienicowej (Mościcki, 2008). Dane z pomiarów najnowszych i ich wstępna analiza w kontekście klimatycznym i „zmarzlinowym” są przedmiotem niniejszego artykułu.

Lokalizacja i charakterystyka stanowisk pomiarowych

Pomiary prowadzone są równolegle na czterech stanowiskach – Ryc. 1, 2. Dwa, **Sw1** i **Sw2**, usytuowane są u podstawy NE ściany Świnicy, nieco powyżej ostatniej moreny recesyjnej. Stanowiska te różnią się pokryciem terenu i rodzajem „gruntu”. **Sw1** umiejscowione jest na trawiastym stoku, a **Sw2** wśród głazowisk.. Trzecie stanowisko, **Ko1**, znajduje się w Koziej Dolince na, pokrytej sporymi głazami (podobnie jak dla **Sw2**), dolnej części piarżysto-trawiastego stoku wznoszącego się ku ścianom Koziego Wierchu. Czwarte stanowisko, **HG** (referencyjne), umieszczone jest w ogródku meteorologicznym Stacji IMGW na Hali Gąsienicowej.

Technika pomiaru

Pomiary temperatury wykonywane są co 2 godziny, na czterech poziomach względem powierzchni terenu: w powietrzu $h = \text{ok. } 150 \text{ cm}$, na powierzchni $h = 0$ i na głębokościach -20 cm i -50 cm . Czujnikami temperatury są precyzyjne, kalibrowane termistory YSI, o bezwzględnej dokładności $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Całoroczne dane gromadzone są w loggerach Zeta-tec 4R (www.zeta-tec.co.uk) w zapisie 12-bitowym, co przekłada się na rozdzielczość pomiaru ok. 0.03°C .

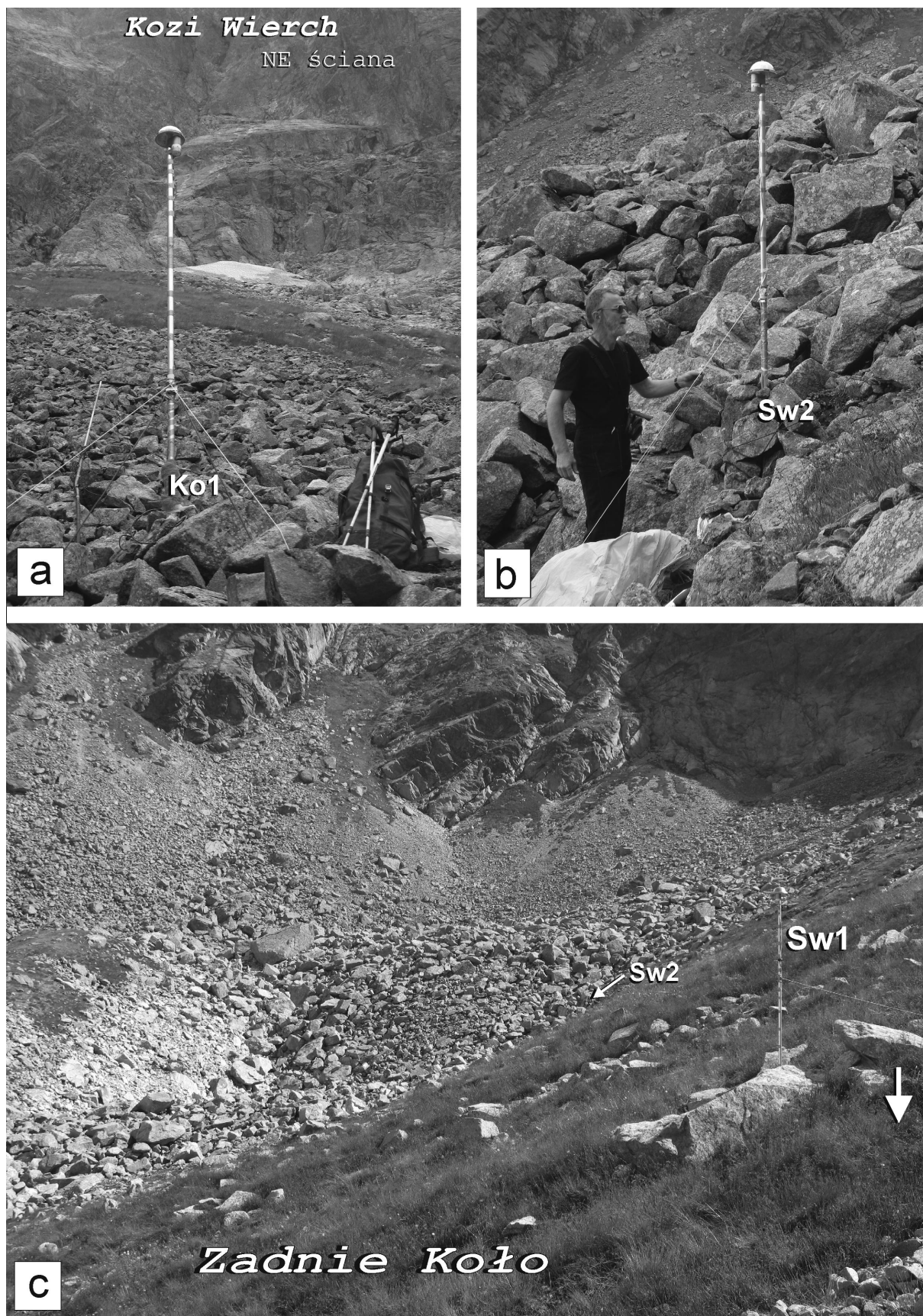


Ryc. 1. Ogólna lokalizacja stanowisk pomiarowych; a. widok z Hali Gąsienicowej, b. zdjęcie lotnicze fragmentu terenu
Fig. 1. General location of the measurements sites; a. view from Hala Gąsienicowa, b. aerial photo of the study area

Analiza danych pomiarowych

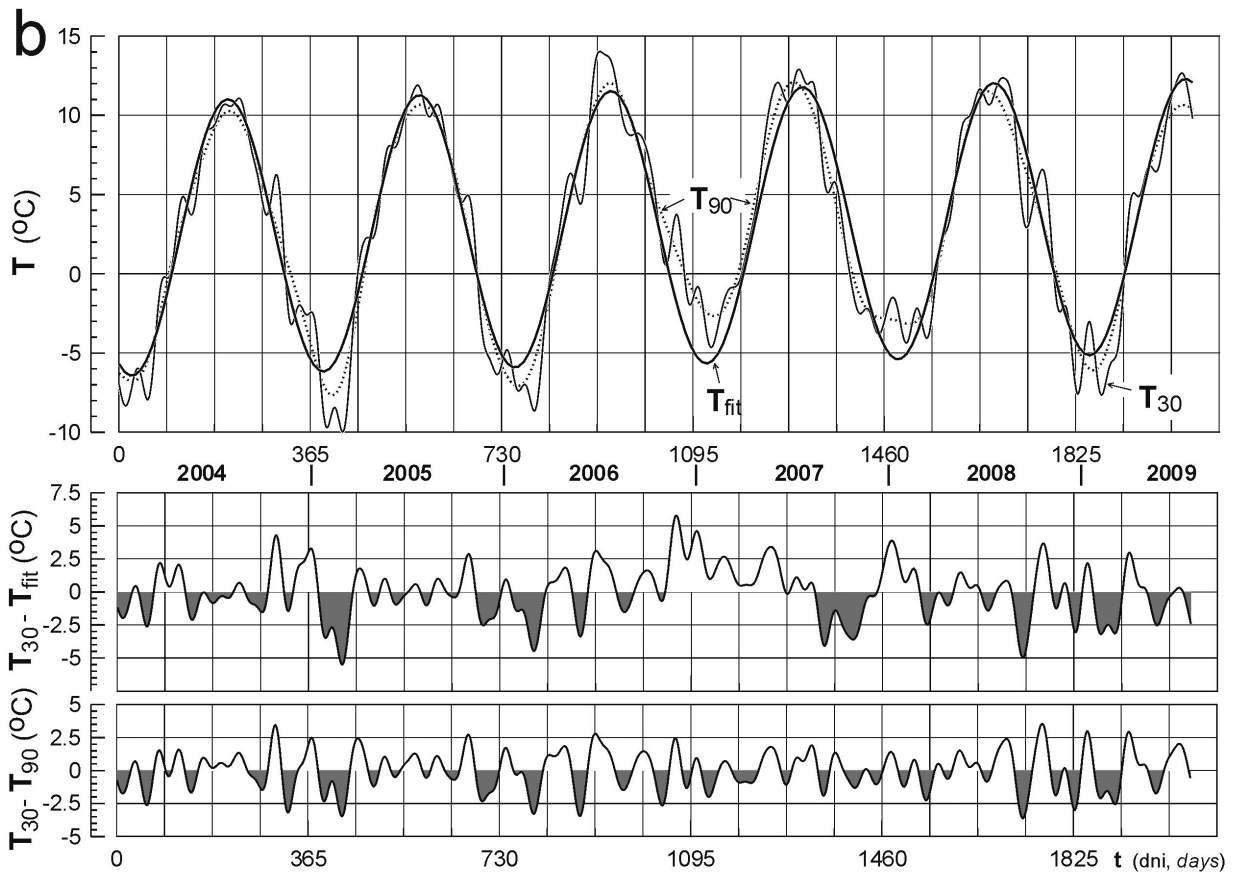
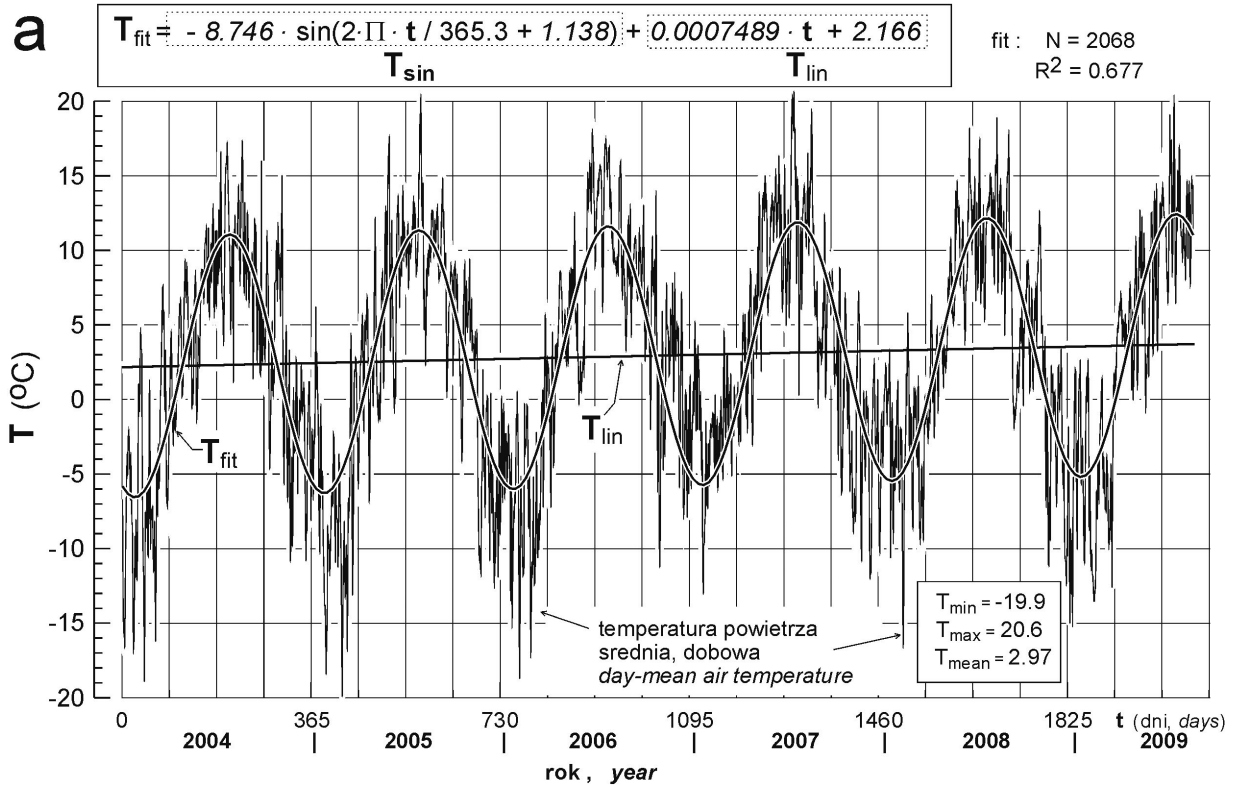
Temperatura powietrza ma podstawowe znaczenie dla reżimu cieplnego ośrodka geologicznego w danym miejscu. Warto jest więc oszacować, jak zmieniła się

temperatura na stanowisku **HG** w okresie 2004–2009 i jaka jest jej relacja w stosunku do pozostałych stanowisk. Można założyć, że roczne zmiany temperatury mają charakter w przybliżeniu sinusoidalny (podobnie jak dobowe). Pozwala to przeanalizować dane z okresu 2004–



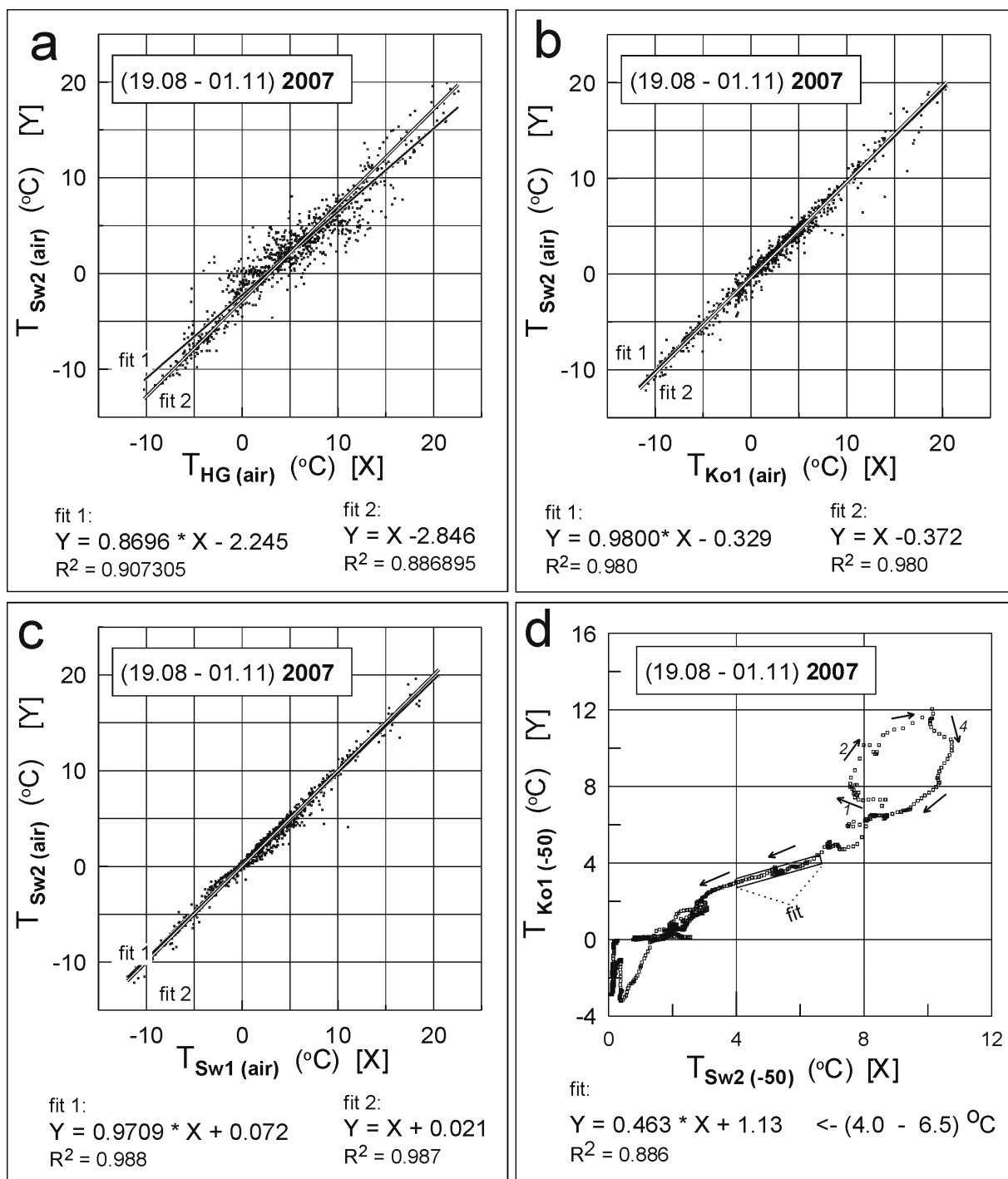
Ryc. 2. Szczegółowa lokalizacja stanowisk pomiarowych; a. Ko1 w Koziej Dolince, b. Sw2 pod Świnicą, c. Sw1 pod Świnicą (pionowa strzałka wskazuje usytuowanie czujników w gruncie) i Sw2 (dalej, w kierunku Zawratowej Turni)

Fig. 2. Detailed location of the measurements sites; a. Ko1 site in Kozia Dolinka valley, b. Sw2 site on the NE slope of Swinica, c. Sw1 site on the NE slope of Swinica (vertical arrow indicates sensors location in the ground) and Sw2 site



Ryc. 3. Średnia-dobowa temperatura powietrza na Hali Gąsienicowej dla okresu 2004–2009; a. analiza trendu zmian temperatury, b. wyznaczenie uśrednionego (filtracja fourierowska) przebiegu temperatury; indeks 30 i 90 oznacza długość filtru

Fig. 3. Day-mean air temperature course for the 2004–2009 period at Hala Gąsienicowa; a. trend analysis of the data, b. averaged (background) temperature estimated by Fourier filtration; index 30 or 90 indicates the filter length



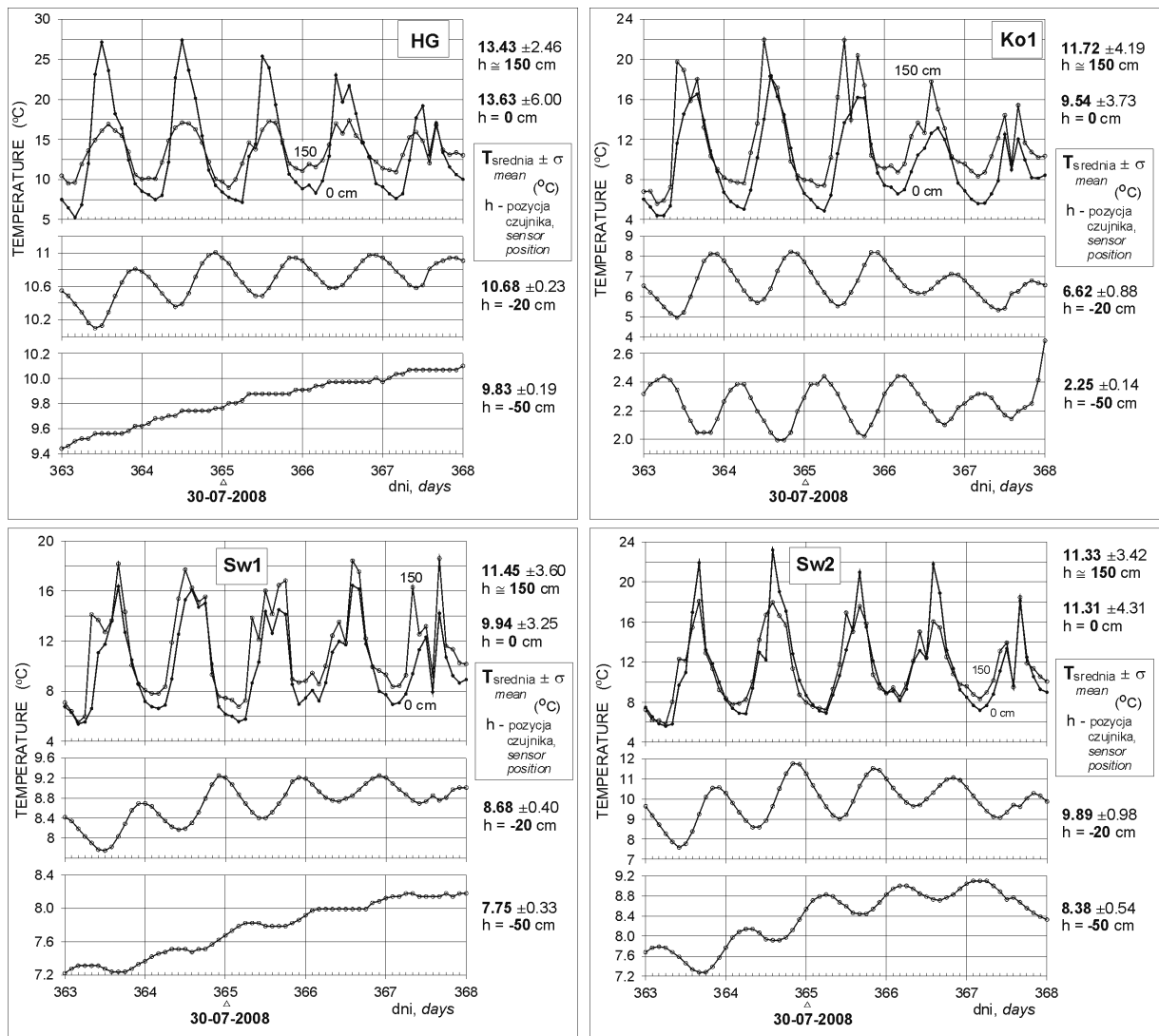
Ryc. 4. Korelacja temperatury między stanowiskami; a, b, c – temperatura powietrza d – temperatura na głębokości 50 cm

Fig. 4. Temperature correlation between different sites; a, b, c – air temperature d– ground temperature at 50 cm depth

2009 i odpowiedzieć na pytanie, czy jest w tych danych składowa liniowa wskazująca na ogólną tendencję zmiany temperatury. W tym celu do danych (średnie, dobowe temperatury) dopasowano odpowiednią funkcję – Ryc. 3a. Jak widać, w okresie 2004–2009 można zauważyć liniowy trend wzrostu temperatury w tempie ok. 0.27 $^{\circ}\text{C}/\text{rok}$. Oczywiście, okres analizowany jest bardzo krótki, co należy mieć to na uwadze (Niedźwiedz, 2004). Pokazany sposób analizy pozwala też wyznaczyć i ocenić anomal-

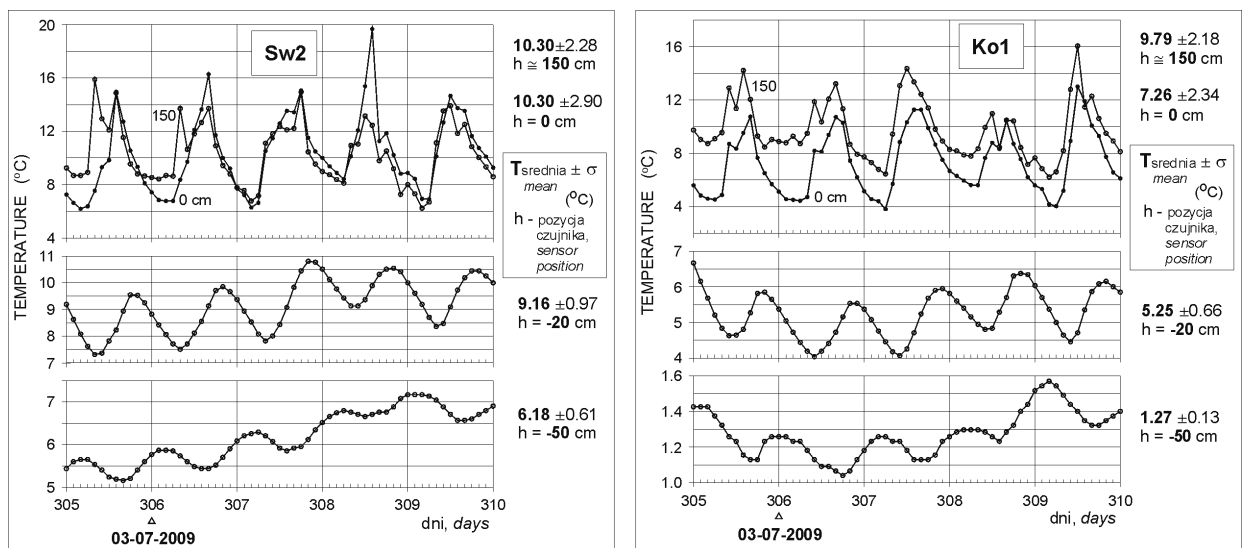
ne sezony lub incydenty „temperaturowe” w odniesieniu do „średniej” określonej przez dopasowaną funkcję T_{fit} . Jeżeli dane odpowiednio wygładzimy (filtracja fourierowska, różne długości filtra) to możemy wyznaczyć wspomniane anomalie – Ryc. 3b. Widać, na przykład, jak ciepła (względnie) była jesień/zima w sezonie 2006–2007.

Temperatura powietrza zmienia się w czasie w podobny sposób na wszystkich stanowiskach, ale na wyżej położonych, północnych stokach jest wyraźnie niższa



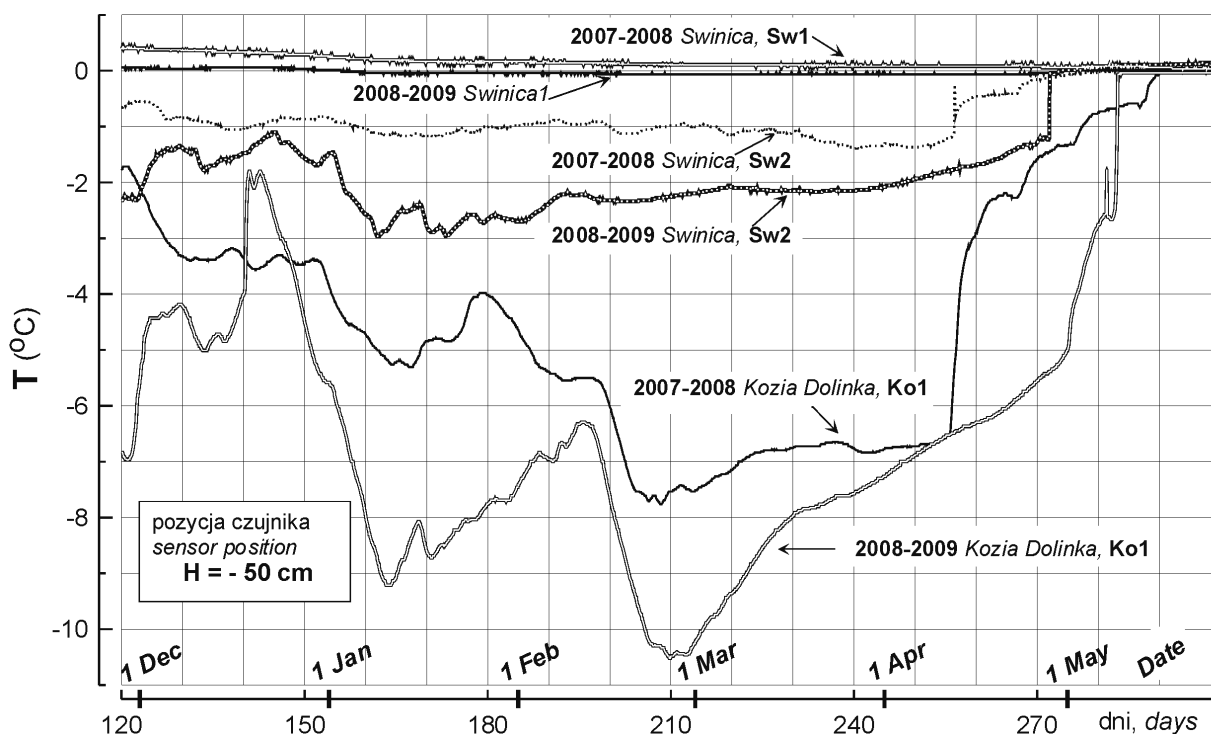
Ryc. 5. Przykład zmiany temperatury na wszystkich stanowiskach w okresie lata 2008

Fig. 5. An example of the temperature changes in 2008 summer at all sites



Ryc. 6. Porównanie temperatury na stanowiskach Sw2 i Ko1. Przykład z lata 2009

Fig. 6. Comparison of the temperature at Sw2 and Ko1 sites. An example from 2009 summer



Ryc. 7. Temperatura na głębokości 50 cm w sezonach zimowych 2007–2008 i 2008–2009

Fig. 7. Winter temperature at 50 cm depth for the seasons 2007–2008 and 2008–2009

niż na Hali Gąsienicowej. Ilustruje to analiza korelacyjna wybranego fragmentu czasowego zarejestrowanych danych – Ryc. 4a,b i c. Widać, że temperatura powietrza na stanowiskach **Sw1** i **Sw2** była praktycznie taka sama. W Koziej Dolince było nieco cieplej (+0.37°C), a na Hali już zdecydowanie bardziej (+2.85°C). Temperatura w gruncie nie wykazuje tak prostej korelacji między stanowiskami – Ryc. 4d – i zmienia się w sposób zawikłany. Strzałki pokazują tutaj „bieg” czasu.

Temperatura gruntu wykazuje większe zróżnicowanie, porównując stanowiska, niż temperatura powietrza – Ryc. 5. W pokazanym przykładzie, z przełomu lipca i sierpnia 2008, temperatura powietrza była niemal jednokowa dla **Sw1**, **Sw2** i **Ko1**, a tylko nieco wyższa dla **HG**. Można zauważyć znaczne i podobne tłumienie „dziennych” fal temperaturowych dla stanowisk **HG** i **Sw1**, gdzie występują murawy. Porównując wszystkie stanowiska razem widać, że na powierzchni terenu i ze wzrastającą głębokością pomiaru zróżnicowanie temperatury narasta. Uderzające jest zwłaszcza porównanie, podobnych pod względem mikro-morfologii i rodzaju pokrywy terenu, stanowisk **Sw2** i **Ko1**. Na głębokości 50 cm temperatura w Koziej Dolince jest o ponad 6°C (!) niższa niż pod Świnicą. Następny przykład, z początku lipca 2009, potwierdza tą prawidłowość – Ryc. 6. Widoczne jest znaczne „wychłodzenie” gruntu w Koziej Dolince, od powierzchni w głąb. Analiza ciągłych, dwuletnich rejestracji (8871 danych) z okresu 19.08.2007–30.08.2009 dostarcza charakterystyki temperatury na głębokości 50 cm. I tak: stanowisko **Ko1**: $T_{max}=12.04$, $T_{min}=-10.52$, $T_{średnia} = -1.67^{\circ}\text{C} \pm 4.48$ (s); stanowisko **Sw2**: $T_{max} = 11.11$, $T_{min} = -2.96$,

$T_{średnia} = +1.13^{\circ}\text{C} \pm 3.44$ (s). Wydaje się, że są to dodatkowe wskaźniki, i świadectwo, obecności wieloletniej zmarzliny w Koziej Dolince. Temperatura gruntu w okresie zimowym podkreśla odmienną reżim cieplny pomiędzy analizowanymi stanowiskami – Fig. 7.

Na podstawie przedstawionych danych i charakterystyki stanowisk można sądzić, że dogodne warunki do występowania (rozwoju) wieloletniej zmarzliny w Koziej Dolince mogą być bardziej związane ze znaczną miąższością luźnej pokrywy piargowej i budową/warunkami wgłębny niż ze specyficznymi, zewnętrznymi warunkami termicznymi.

Wnioski

1. Analiza średniej, dobowej temperatury powietrza w okresie 2004–2009 wskazuje na możliwość jej wzrostu w tempie ok. $0.27^{\circ}\text{C}/\text{rok}$, a analizowanym okresie.
2. Średnia, ujemna temperatura (-1.67°C) gruntu na głębokości 50 cm w latach 2007–2009, w Koziej Dolince, potwierdza występowanie tu wieloletniej zmarzliny.

Praca została wykonana w ramach Działalności Statutowej, nr 11.11.140.769, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. Autor serdecznie dziękuje Panu Profesorowi Adamowi Kotarbie i Kolegom z Hali Gąsienicowej – Markowi Kotlarczykowi i Januszowi Konieczkowi za wieloletnią pomoc i zainteresowanie prowadzonymi badaniami.

Temperature on the northern slope of Świnica peak and in Kozia Dolinka valley (Tatra Mts.) in the 2007–2009 period

Air temperature and ground temperature at depths of 0.20 and 50 cm were recorded (with 2 hours step) at three sites located at 2000 m ASL in the Polish Tatra Mts. in the 2004–2009 period. The registered temperature was compared with the air temperature data from the Hala Gąsienicowa (1500 m ASL). The course of air temperature is similar in all places, but the day-mean temperature value is 2.8°C higher at the Hala Gąsienicowa. Results of the trend analysis of the day-mean data indicate that linear increase of the temperature at a rate of 0.27°C per year for the 2004–2009 period is possible. The strong influence of local micro-topography and type of surface cover on ground temperature was noticed. The lowest ground temperature was measured in the Kozia Dolinka valley – site Ko1. In that place, the mean-annual temperature at 50 cm depth was negative (-1.7°C) for the period 2007–2009. This is the direct proof of the permafrost existence in that place.

Financial support of this work from the fund of the AGH University of Science and Technology from project No.11.11.140.450.

Literatura

- Baranowski J., Kędzia S., Rączkowska Z., 2005. Badania przemarzania gruntu i przemieszczania pokryw w otoczeniu Hali Gąsienicowej. W: Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych. Pod red. K. Krzemienia, J. Trepieńskiej i A. Bokwy. IGiGP Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2005, 251–260.
- Dobiński W., 1998. Distribution of mountain permafrost in the High Tatras based on freezing and thawing indices. *Biuletyn Peryglacjalny* 36: 29–37.
- Gądek B., Kędzia S., 2008. Winter Ground Surface Temperature Regimes in the Zone of Sporadic Discontinuous Permafrost, Tatra Mountains (Poland and Slovakia). *Permafrost and Periglacial Processes* 19: 315–321.
- Haeberli W., 1973. Die Basis – Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher indikator für die Verbreitung von permafrost in den Alpen, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie* 9, 221–227.
- Mościcki J., Kędzia S., 2001. Investigation of mountain permafrost in the Kozia Dolinka valley, Tatra Mountains, Poland, *Norsk geogr. Tidsskr.* 55, 1–6.
- Niedźwiedz T., 2004. Rekonstrukcja warunków termicznych lata w Tatrach od 1550 roku. W: Rola małej epoki lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr. ed. A. Kotarba. *PAN Prace Geograficzne* nr 197, 57–88.
- Rączkowska Z., 2005. Morfodynamiczne cechy obszarów z wieloletnią zmarzliną w Tatrach. W: Współczesna ewolucja rzeźby Polski, VII Zjazd Geomorfologów Polski 19–22 września 2005, Kraków: 385–388.