

Prądnik. Prace Muz. Szafera	27	119–130	2017
-----------------------------	----	---------	------

ANDRZEJ TYC¹, MAGDALENA SŁUPIŃSKA²,
JOANNA KOCOT-ZALEWSKA³

¹Katedra Geomorfologii, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec,
e-mail:andrzej.tyc@us.edu.pl

²Fundacja Speleologia Polska, ul. Będzińska 65, 41-200 Sosnowiec,
e-mail:speleologiapolska@gmail.com

³Zakład Zoologii, Samodzielna Katedra Biosystematyki, Uniwersytet Opolski, ul. Oleska 22,
45-052 Opole, e-mail: asia.zalewska@poczta.fm

**DYNAMIKA ZMIAN TEMPERATURY POWIETRZA
W JASKINI NIEDŹWIEDZIEJ GÓRNEJ (WYŻYNA CZĘSTOCHOWSKA)
W LATACH 2015–2017**

**The dynamics of air temperature changes in the Niedźwiedzia Górna Cave
(Częstochowa Upland) in years 2015–2017**

Abstract. Results of two years (2015–2017) air temperature continuous measurements in the Niedźwiedzia Górna Cave are presented in a paper. Measurements were performed with use of T/RH data loggers (HOBO U23 Pro v2 by Onset). Loggers were installed in five stations situated in different parts of the Niedźwiedzia Górna Cave profile. The dynamics of air temperature changes and the impact of crevice-type cave morphology on cave climate conditions are discussed there. The importance and impact of surface thermal conditions on the cave air temperature dynamics are discussed, too.

Key words: cave climate, air temperature, Niedźwiedzia Górna Cave, Częstochowa Upland

WSTĘP

Jaskinie charakteryzują się specyficznymi warunkami klimatycznymi – podwyższoną wilgotnością, stosunkowo niewielkimi wahaniami temperatury powietrza, brakiem dopływu światła słonecznego oraz sezonowo zmieniającymi się kierunkami przepływu powietrza. Jakkolwiek badania klimatyczne obejmują szereg parametrów, to w jaskiniach badane są najczęściej tylko dwa z nich: temperatura i wilgotność powietrza. Rzadziej dotyczą one przepływu powietrza czy też zawartości CO₂ lub radonu w atmosferze jaskini (m.in. Cigna 2002).

Podstawowym problemem metodycznym badań warunków klimatycznych jaskiń, w tym również temperatury powietrza, jest ich wrażliwość na obecność człowieka – badacza i towarzyszących mu osób. Z tego powodu wyniki badań termiki jaskiń są często obarczo-

ne poważnym błędem związanym z oddziaływaniem obecności mierzącego temperaturę w przestrzeni korytarza jaskiniowego. Dotyczy to pomiarów wykonywanych zarówno termometrami analogowymi, jak i elektronicznymi, często bardziej czuлыми na wpływ obecności badacza. Dodatkowym problemem badań mikroklimatycznych w jaskiniach jest fakt, iż większość z nich bazuje na pojedynczych pomiarach lub seriach pomiarów dokonywanych w różnych porach roku (m.in. Pulina 1960; Wróblewski 1974; Siarzewski 1996). W przeszłości problem ten wynikał z braku możliwości prowadzenia wiarygodnych rejestracji temperatury czy wilgotności. Z uwagi na dużą wilgotność powietrza próby zastosowania mechanicznych termografów i higrografów w jaskiniach kończyły się niepowodzeniem. Z chwilą wprowadzenia do badań rejestracji automatycznej, umożliwiającej ciągły pomiar i zapisywanie wyników na nośnikach pamięci został praktycznie wyeliminowany problem wpływu obecności wykonującego badania na zaburzenie mierzonych wartości. Nowym wyzwaniem stało się jednak zasilanie rejestratorów prądem i ich zabezpieczenie przed zniszczeniem lub kradzieżą. Z tego powodu rejestracje ciągłe parametrów mikroklimatu były ograniczone na początku do jaskiń udostępnionych turystycznie, w których rejestracja temperatury i wilgotności powietrza w jaskini była elementem monitoringu wpływu ruchu turystycznego na środowisko udostępnionego obiektu (Cigna 2002; w Polsce w jaskiniach Raj i Niedźwiedziej – m.in. Józwiak 2002; Piasecki 1996).

Miniaturyzacja rejestratorów, często zintegrowanych z czujnikami pomiarowymi i wprowadzenie możliwości zasilania z baterii, otworzyły możliwości nowoczesnych badań wielu parametrów w warunkach jaskiniowych. Znajduje to wyraz w podejmowanych coraz częściej długookresowych badaniach temperatury i wilgotności w wielu jaskiniach na świecie, a ostatnio również w Polsce (m.in. Tobin i in. 2013; Wojkowski 2013; Ignaczak, Postawa 2017; Tyc i in. 2017).

Przedstawione problemy związane z badaniem warunków klimatycznych w jaskiniach dotyczą w pełni również obszaru Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, gdzie wielokrotnie podejmowane były próby mniej lub bardziej systematycznych pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza. Historia tych badań w XX w. została przedstawiona syntetycznie w pracy J. Wojkowskiego (2001). Były to przede wszystkim pojedyncze pomiary temperatury, czasem również wilgotności, wykonywane najczęściej przy użyciu psychrometru Assmanna. Z tego okresu na uwagę zasługują przede wszystkim opracowania dotyczące mikroklimatu Jaskini Ciemnej (Klein 1992) i Jaskini Łokietka (Wieczorek 1992), czy też innych jaskiń na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego (Podstawczyńska, Charciarek 2002). Na Wyżynie Częstochowskiej interesujących wyników dostarczyły opracowania dotyczące jaskiń okolic Olsztyna, w tym głównie Jaskini Pod Sokolą Górą (Łęski 1971; Skalski 1994/1995).

Badania mikroklimatyczne w jaskiniach Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, ograniczone do termiki i wilgotności, są realizowane niesystematycznie, w krótkookresowych seriach, często przy okazji innych badań środowiskowych również współcześnie. Przykładem mogą być opracowania dotyczące kilku jaskiń w Ojcowskim Parku Narodowym (Wojkowski 2013), czy też trzech jaskiń na Wyżynie Częstochowskiej (Kocot-Zalewska 2017). Pierwsza z wymienionych prac jest efektem wykorzystania do badań mikroklimatycznych rejestratorów temperatury powietrza i wilgotności względnej firmy Onset (odpowiednio StowAway® XTI i StowAway® RH). Rejestracja była prowadzona w jaskiniach w seriach pomiarowych po 14 dni każda, w różnych porach roku, na kilku stanowiskach rozmieszczonych w różnych częściach badanych jaskiń. Dostarczyła ona informacji, na

podstawie których autor zidentyfikował strefowość i typy mikroklimatyczne badanych jaskiń (Wojkowski 2013). Innym przykładem zastosowania rejestracji automatycznej temperatury powietrza w jaskiniach Wyżyny były przeprowadzone w ostatnich latach badania w Jaskini Szachownica. Termikę sezonów zimowych 2009/2010, 2014/2015 oraz 2015/2016 tej jaskini badano z wykorzystaniem rejestratorów firmy Maxim Integrated Products (DS1923 Thermochron iButton) (Ignaczak, Postawa 2017). Wspomniane badania były realizowane głównie przy okazji opracowań biologicznych, a ostatnie z nich w trakcie prac zabezpieczających Jaskinię Szachownica przed zawałem, w ramach czynnej ochrony największego na Wyżynie Krakowsko-Wieluńskiej zimowiska nietoperzy.

W artykule przedstawione zostały wyniki dwuletnich (2015–2017) badań nad warunkami termicznymi Jaskini Niedźwiedziej Górnej w Złotym Potoku na Wyżynie Częstochowskiej. Od 2015 r. jaskinia ta jest przedmiotem prac dokumentacyjnych i badawczych, koordynowanych przez Fundację Speleologia Polska (Jędrysik i in. 2016), a zainicjowanych tuż po jej odkryciu. Niemal od początku prowadzone są obserwacje geologiczno-geomorfologiczne, paleozoologiczne, archeologiczne i biologiczne (fauna nietoperzy oraz fauna bezkręgowców). Jesienią 2015 r. rozpoczęte zostały również systematyczne badania mikroklimatyczne. Z uwagi na wielkość jaskini (jedna z największych na terenie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej), zasadniczo brak ingerencji w cyrkulację powietrza po odkryciu i w trakcie eksploracji (otwór wejściowy jest zabezpieczony klapą i każdorazowo maskowany, więc przypomina warunki zastane w momencie odkrycia; ryc. 1), jak również zamknięcie dostępu do niej dla szerokiej rzeszy odwiedzających niemal natychmiast po odkryciu, Jaskinia Niedźwiedzia Górna jest bardzo ciekawym obiektem do badań mikroklimatycznych z użyciem rejestracji automatycznej.

Badana jaskinia położona jest w rezerwacie przyrody „Parkowe” na prawym zboczu Doliny Wiercicy (Złoty Potok, gmina Janów). Jej otwór znajduje się na wysokości 330 m n.p.m. Długość aktualnie poznanych korytarzy wynosi 635 m, natomiast deniwelacja



Ryc. 1. Zabezpieczony klapą otwór wejściowy Jaskini Niedźwiedziej Górnej w Złotym Potoku. Październik 2016. Fot. A. Tyc

Fig. 1. The entrance of the Niedźwiedzia Górna Cave in Złoty Potok secured by a flap. State in October 2016. Photo by A. Tyc

31 m (głębokość 26 m, przewyższenie 5 m). Jaskinia została odkryta zimą 2011/2012 r. (Kuczok i in. 2013) i tuż po odkryciu zamknięta. Wejścia do jaskini są kontrolowane i ograniczone do kilku w ciągu roku; klucze znajdują się w Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Katowicach.

MATERIAŁ I METODY

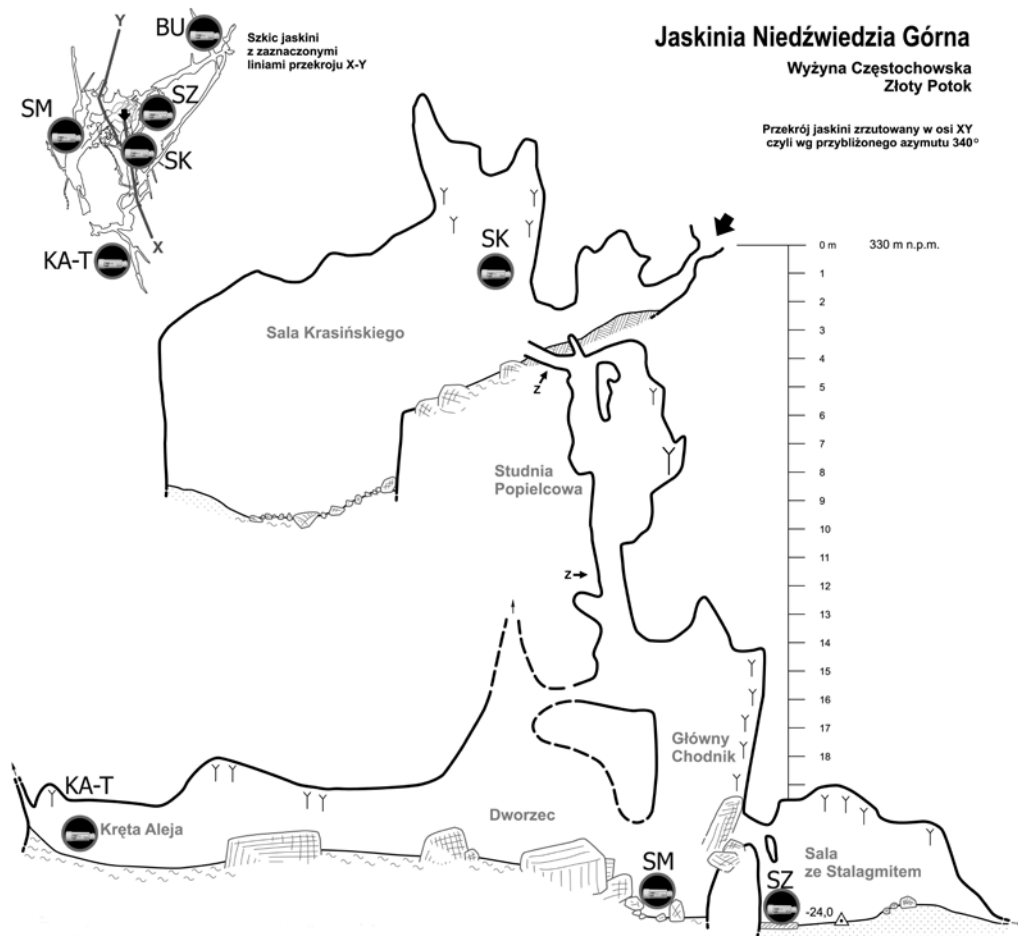
W badaniach mikroklimatycznych w Jaskini Niedźwiedziej Górnej wykorzystane zostały rejestratory HOBO U23 Pro v2 firmy Onset, zaopatrzone w wbudowane czujniki temperatury i wilgotności względnej. Dokładność pomiaru czujnika temperatury wynosi $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ (w przedziale temperatur 0–50°C), z kolei jego rozdzielczość wynosi 0,001°C. Dokładność czujnika wilgotności względnej, przy wilgotności powyżej 90%, co jest charakterystyczne dla środowiska jaskini, mieści się w zakresie $\pm 5\%$. Z uwagi na problemy z rejestracją wilgotności względnej w górnym, przypowierzchniowym piętrze jaskini, związane z kondensacją pary wodnej na czujniku, w artykule zostały przedstawione i przeanalizowane wyłącznie wyniki dotyczące temperatury powietrza. Obydwa parametry mikroklimatu jaskini były rejestrowane w interwale co 30 minut. Rejestratory zostały umieszczone na tyczkach, na wysokości około 0,5 m nad spągiem jaskini (ryc. 2). Odczyt danych z rejestratorów odbywa się dwa razy w roku, przy okazji prowadzenia innych badań w jaskini.



Ryc. 2. Rejestrator HOBO U23 Pro v2 na stanowisku Kręta Aleja-Termitiery w dolnym piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej. Fot. M. Słupińska

Fig. 2. Datalogger HOBO U23 Pro v2 at measuring station Kręta Aleja-Termitiery in the lower level of the Niedźwiedzia Górna Cave. Photo by M. Słupińska

W pierwszym okresie badań (od listopada 2015 r. do czerwca 2016 r.) rejestratory były umieszczone w trzech miejscach jaskini. Zostały one wybrane tak, by odzwierciedlić jej pionowy charakter oraz wyraźnie zaznaczające się piętra (ryc. 3). Sala Krasieńskiego (SK) stanowi górne piętro Jaskini Niedźwiedziej Górnej, ma największe rozmiary i jest położona blisko powierzchni terenu. Od otworu wejściowego dzieli ją pochyły korytarz z niewielką salką (ryc. 3). W obrębie mocno rozbudowanego, nawiązującego do przebiegu szczelin w masywie, piętra dolnego wybrane zostały dwa stanowiska pomiarowe zlokalizowane w Sali Misiolaków (SM) i w rejonie połączenia Krętej Alei i Termitier (KA-T).



Ryc. 3. Lokalizacja stanowisk pomiarowych temperatury i wilgotności powietrza w Jaskini Niedźwiedziej Górnej (przekrój i szkic jaskini według J. Zygmunta, M. Słupińskiej i Z. Wiśniewskiego, 2015). SK – Sala Krasieńskiego, SM – Sala Misiolaków, KA-T – Kręta Aleja-Termitiery, SZ – Szkieleciarki, BU – Białe Ulice

Fig. 3. Location of air temperature and relative humidity measuring stations in the Niedźwiedzia Górna Cave (cave section and sketch after J. Zygmunt, M. Słupińska and Z. Wiśniewski, 2015). SK – Sala Krasieńskiego, SM – Sala Misiolaków, KA-T – Kręta Aleja-Termitiery, SZ – Szkieleciarki, BU – Białe Ulice

Oba piętra są rozdzielone kilkunastometrową Studnią Popielcową (ryc. 3). Z uwagi na złożoną morfologię dolnego piętra jaskini, w czerwcu 2016 r. uzupełniono rejestrację o dwa dodatkowe rejestratory umieszczone w Szkieleciarkach (SZ) i Białych Ulicach (BU) (ryc. 3). Należy podkreślić, iż dolne piętro Jaskini Niedźwiedziej Górnej leży na tym samym poziomie wysokościowym co Grota Niedźwiedzia w dnie Doliny Wiercicy (Jędrzyk i in. 2016).

Przez cały okres prowadzonych badań wykorzystywane były stale te same rejestratory, ponadto były one przypisane do tych samych stanowisk. Dane były odczytywane w jaskini do pamięci laptopa przy użyciu interfejsu Optic USB Base Station – BASE-U-4 i oprogramowania HOBOWare v. 3.7.11. Oprogramowanie służy również do wstępnego przejrzania i opracowania danych. Analiza uzyskanych serii danych temperaturowych, w tym podstawowa analiza statystyczna, jak również wizualizacja wyników została wykonana w programie Microsoft Excel.

Dla porównania przebiegu zmian temperatury powietrza w jaskini z warunkami termicznymi na zewnątrz wykorzystano dane meteorologiczne z najbliższej stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Częstochowie. W opracowaniu wykorzystano średnie dobowe oraz dobowe maksymalne i minimalne wartości temperatury dostępne w serwisie <https://www.ogimet.com>. W charakterystyce termicznej otoczenia jaskini wykorzystano również wartości średnie dla tej stacji z wielolecia 1971–2000 oraz 2001–2010 zawarte w Roczniku Statystycznym Województwa Śląskiego 2017.

WYNIKI I DYSKUSJA

Prezentowane w artykule wyniki obejmują efekty ciągłej rejestracji temperatury powietrza na pięciu stanowiskach charakterystycznych dla różnych partii Jaskini Niedźwiedziej Górnej. Obejmują one okres dwóch lat – od 7 listopada 2015 do 28 października 2017 r. Przebieg zmian temperatury powietrza w różnych częściach jaskini ilustrują wykresy na rycinach 4 i 5, a wartości charakterystyczne dla jej termiki przedstawia tabela 1.

Przebieg zmian temperatury powietrza w Sali Krasieńskiego (SK na ryc. 3 i 4) charakteryzuje się wyraźnym rocznym rytmem, nawiązującym do zmienności temperatury zewnętrznej. Obok widocznych rocznych zmian zaznacza się również wyraźny rytm zmian dobowych (ryc. 4), obserwowany w okresach od późnej wiosny do późnej jesieni. Dobowe wahania temperatury są najbardziej widoczne w okresie panowania w Sali Krasieńskiego najwyższych temperatur. Nie zaznaczają się one w okresie powolnego obniżania się temperatury do następnej wiosny. Maksymalne temperatury w tej części jaskini były rejestrowane późnym latem i wynosiły w kolejnych latach 12,46°C (10.09.2016) oraz 12,49°C (11.08.2017). Z kolei minimalne wartości temperatury powietrza były rejestrowane na wiosnę i wynosiły odpowiednio 7,77°C (31.03–7.05.2016) oraz 7,72°C (28.03–1.04.2017). Porównując przebieg zmian temperatury powietrza w Sali Krasieńskiego z rozkładem temperatury na stacji w Częstochowie (ryc. 4) należy stwierdzić wyraźne opóźnienie okresów maksymalnych i minimalnych temperatur w jaskini w stosunku do tych na powierzchni. Opóźnienie to wynosi od 3 do 4 miesięcy – minima i od 1 do 2 miesięcy – maksima.

Średnia roczna temperatura powietrza w Sali Krasieńskiego w trakcie dwuletnich obserwacji wyniosła w kolejnych latach odpowiednio 9,7°C i 9,8°C, natomiast roczna amplituda wahań temperatury odpowiednio 4,7°C i 4,8°C (tab. 1).

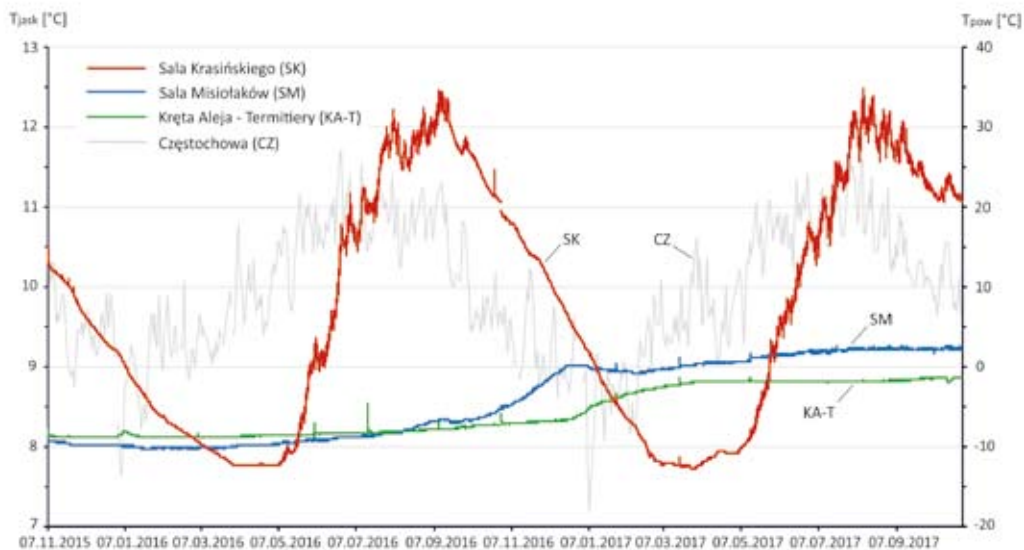
Tabela 1. Charakterystyka termiczna Jaskini Niedźwiedziej Górnej w latach 2015/2016 i 2016/2017, na tle danych ze stacji meteorologicznej w Częstochowie. Temperatura powietrza: t_{sr} – średnia roczna; t_{max} – maksymalna; t_{min} – minimalna; At – amplituda temperatury powietrza na stanowisku; * – lata liczone dla okresów od 1 listopada do 31 października; ** – na podstawie wartości dobowych ze stacji meteorologicznej

Table 1. Thermal characteristics of the Niedźwiedzia Górna Cave in years of 2015/2016 and 2016/2017, against the background of data from the meteorological station in Częstochowa. Air temperature: t_{sr} – average annual; t_{max} – maximal; t_{min} – minimal; At – air temperature amplitude at measuring station; * – years counted for the periods between November 1st and October 31st; ** – based on daily values from the meteorological station

Stanowisko Station	2015/2016*				2016/2017*			
	t_{sr}	t_{max}	t_{min}	At	t_{sr}	t_{max}	t_{min}	At
Sala Krasieńskiego	9,7	12,5	7,8	4,7	9,8	12,5	7,7	4,8
Sala Misiolaków	8,1	8,5	8,0	0,5	9,1	9,3	8,5	0,8
Kręta Aleja-Termitiery	8,2	8,5	8,1	0,4	8,7	8,9	8,3	0,6
Białe Ulice					8,8	9,5	8,3	1,2
Szkieleciarki					8,1	8,6	7,7	0,9
Częstochowa**	10,0	34,1	-16,7	50,8	9,0	34,3	-24,1	58,4

Rejestracja temperatury powietrza na dwóch, a od czerwca 2016 r. na czterech stanowiskach w dolnym piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej daje obraz zróżnicowania warunków termicznych, a po części również mikroklimatycznych w tej części jaskini. Pomimo, iż stanowiska te są położone w strefie poniżej Studni Popielcowej, na głębokości co najmniej kilkunastu metrów od otworu (ryc. 3), to obserwuje się na nich wyraźną sezonową zmienność temperatury powietrza (ryc. 5). Każde ze stanowisk charakteryzuje się jednak inną dynamiką zmian, różnym przesunięciem w czasie i odmienną intensywnością wyraźnego wzrostu temperatur, obserwowanego na przełomie 2016 i 2017 r. Na tym tle stanowisko usytuowane w Szkieleciarkach (SZ na ryc. 3 i 5) ma wyraźnie odmienne warunki termiczne od pozostałych trzech stanowisk zlokalizowanych w dolnym piętrze jaskini. Jest to najniższe usytuowane stanowisko w całej jaskini (ponad 20 m poniżej otworu, na poziomie korytarzy Groty Niedźwiedziej). Szkieleciarki charakteryzują się najniższą średnią roczną temperaturą powietrza (8,1°C) w całej jaskini (tab. 1). Maksymalna temperatura zarejestrowana w tej części piętra dolnego osiągnęła wartość 8,57°C (28.10.2017), z kolei jej minimalna wartość wynosiła 7,72°C (12-16.02.2017). Widoczny na wykresie dla stanowiska Szkieleciarki wyraźny pik w dniu 25.07.2016 (9,36°C) (ryc. 5) był prawdopodobnie spowodowany obecnością zwierzęcia w sąsiedztwie czujnika. Podobnie wyraźny, chwilowy wzrost temperatury odnotowano również kilka dni wcześniej (16.07.2016) na stanowisku Kręta Aleja-Termitiery (KA-T na ryc. 3 i 5). W odróżnieniu od tych dwóch krótkotrwałych, dużych wzrostów temperatury, wizyty grotolazów lub zespołów badawczych w dolnym piętrze jaskini zapisują się pikiem temperatury na wszystkich, a przynajmniej na dwóch stanowiskach jednocześnie (ryc. 5).

Maksymalne temperatury na pozostałych stanowiskach dolnego piętra jaskini zostały osiągnięte, podobnie jak w Szkieleciarkach, w końcowym okresie analizowanej rejestracji (ryc. 5). W Sali Misiolaków (SM na ryc. 3, 4, 5) ta maksymalna zarejestrowana wartość wynosiła 9,26°C i utrzymywała się od końca sierpnia 2017 do końca analizowanego okresu – 28 października 2017. Na stanowisku Kręta Aleja-Termitiery maksymalna wartość



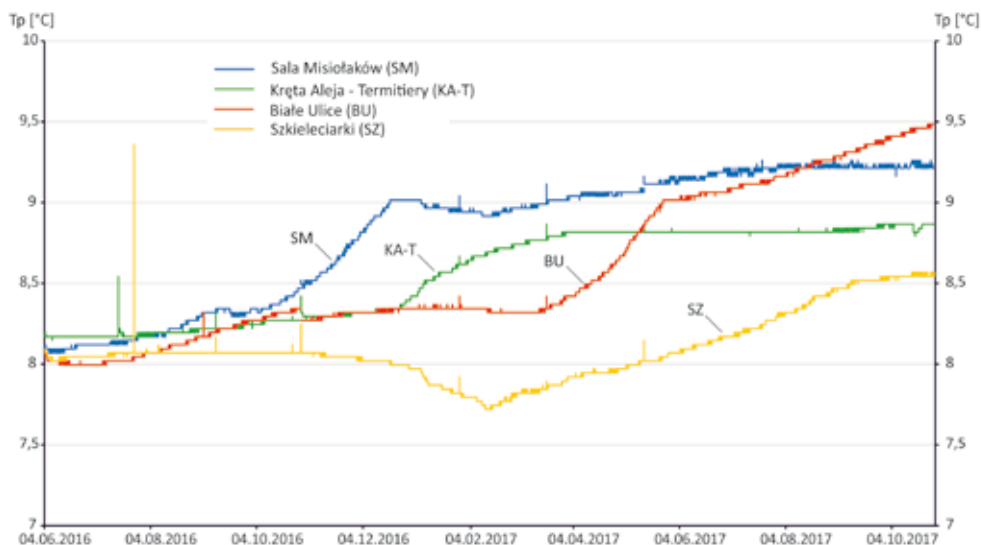
Ryc. 4. Przebieg zmian temperatury powietrza (T_{jask}) na stanowiskach w górnym (Sala Krasieńskiego – SK) i dolnym (Sala Misiolaków – SM; Kręta Aleja-Termitery – KA-T) piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej (dane z rejestratorów), na tle przebiegu średnich dobowych temperatur powietrza (T_{pow}) w Częstochowie – CZ (na podstawie danych dostępnych w serwisie <https://www.ogimet.com>), w okresie od początku listopada 2016 do końca października 2017

Fig. 4. The course of air temperature (T_{jask}) changes at measuring stations located in the upper (Sala Krasieńskiego – SK) and lower (Sala Misiolaków – SM; Kręta Aleja-Termitery – KA-T) level of the Niedźwiedzia Górna Cave (data from loggers), against the background of average daily air temperatures (T_{pow}) in Częstochowa – CZ (based on data available on the website <https://www.ogimet.com>), in the period from the beginning of November 2016 to the end of October 2017

8,87°C została osiągnięta w końcu września 2017 i utrzymywała się do 28 października 2017. W obu wymienionych przypadkach najwyższe wartości temperatury były osiągane po kilkumiesięcznym ustabilizowanym przebiegu temperatury powietrza. Odmienny przebieg miało dochodzenie do maksymalnych zarejestrowanych wartości (9,49°C w okresie 24-28.07.2017) w Białych Ulicach (BU na ryc. 3 i 5), gdzie temperatura wyraźnie i nieustannie rosła od połowy marca 2017 (ryc. 5).

Minimalne temperatury powietrza zarejestrowane na omawianych trzech stanowiskach w dolnym piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej zostały osiągnięte wcześniej niż w Szkieleciarkach, tj. na wiosnę 2016 r. Z wyjątkiem Sali Misiolaków, gdzie w lutym 2017 r. odnotowane zostało niewyraźne minimum roczne temperatury, w pozostałych dwóch przypadkach nie zaobserwowano w ogóle obniżenia temperatury w roku 2016/2017 (ryc. 5). Temperatura w tym okresie cały czas rosła.

Amplituda rocznych wahań temperatury powietrza w dolnym piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej jest mocno zróżnicowana przestrzennie i wyraźnie różna w poszczególnych latach prowadzonej rejestracji. Roczne wahania temperatury powietrza w Sali Misiolaków i Krętej Alei-Termitierach były znacznie mniejsze w roku 2015/2016 niż w roku 2016/2017 i wynosiły odpowiednio 0,5°C i 0,4°C (tab. 1). Warunki termiczne dolnego piętra były



Ryc. 5. Przebieg zmian temperatury powietrza na stanowiskach rozmieszczonych w dolnym piętrze Jaskini Niedźwiedziej Górnej w okresie od początku czerwca 2016 do końca października 2017

Fig. 5. The course of air temperature changes at measuring stations located in the lower level of the Niedźwiedzia Górna Cave in the period from the beginning of June 2016 to the end of October 2017

w tym okresie bardziej stabilne i mogłyby być uznane za charakterystyczne dla mikroklimatu statycznego (*sensu* Pulina 1960). Wilgotność względna rejestrowana na tych stanowiskach piętra dolnego jest stała i wynosi 100%. W następnym roku, licząc od początku listopada 2016 r. do końca października 2017 r., amplitudy roczne temperatury wyraźnie się zwiększyły i osiągnęły wartość, odpowiednio 0,8°C i 0,6°C. Na badanych tylko w roku 2016/2017 stanowiskach Szkieleciarki i Białe Ulice amplitudy te były jeszcze większe i wynosiły odpowiednio 0,9°C i 1,2°C (tab. 1). Jeśli weźmiemy pod uwagę zakres wahań temperatury powietrza w całym analizowanym okresie od 7 listopada 2015 r. (dla dwóch ostatnich stanowisk od 4 czerwca 2016) do 28 października 2017 r., to amplitudy są w trzech przypadkach jeszcze większe i wynoszą: 1,5°C w Białych Ulicach, 1,3°C w Sali Misiolaków, 0,8°C w Krętej Alei-Termitierach.

Jedną z podstawowych przyczyn zaobserwowanych prawidłowości w przebiegu rocznych i sezonowych zmian temperatury powietrza w Jaskini Niedźwiedziej Górnej jest przestrzenny układ jej korytarzy oraz ich płytkie położenie w stosunku do powierzchni terenu. Układ korytarzy jaskini nawiązuje do sieci pionowych spękań ciosowych i szczelin w masywie wapieni na zboczu Doliny Wiercicy. Największy wpływ warunków zewnętrznych, uwidoczniony w rocznym, sezonowym, a okresowo również dobowym rytmie zmian, jest rejestrowany w Sali Krasińskiego. Niemniej jednak jest on również widoczny w rocznej i sezonowej zmienności termiki dolnego piętra jaskini.

Prezentowane w artykule wyniki rejestracji przebiegu zmian temperatury powietrza w Jaskini Niedźwiedziej Górnej w latach 2015–2017 obejmują okres wyjątkowo ciepłych lat w regionie. Średnia roczna temperatura powietrza w Częstochowie była w tym okre-

się wyraźnie wyższa od średniej wieloletniej. Wartości średnich rocznych temperatur powietrza wynosiły w latach 2014–2016 odpowiednio 10,0°C, 10,1°C i 9,4°C, natomiast w wieloletniu 1971–2000 8,0°C, a 2001–2010 8,7°C (*Rocznik Statystyczny...* 2017). Ma to swoje odzwierciedlenie w przebiegu zmian temperatury powietrza w jaskini, szczególnie widoczne w tendencji zarejestrowanej na stanowiskach w jej dolnym piętrze. W przebiegu zmian zaznacza się tam, wyraźny szczególnie w ostatnim roku badań (2016/2017), niemal nieprzerwany wzrost temperatury powietrza na wszystkich stanowiskach.

PODSUMOWANIE

Temperatura powietrza w jaskiniach zależy od wielu czynników, m.in. położenia geograficznego i wysokości nad poziomem morza obiektu, ilości i rozmieszczenia otworów, rozwinięcia i kubatury korytarzy oraz ich położenia w stosunku do rzeźby terenu. Z wyników przeprowadzonych badań można wnioskować, że warunki termiczne w Jaskini Niedźwiedziej Górnej w Złotym Potoku wyraźnie odzwierciedlają jej piętrowy układ, ale jednocześnie jej szczelinowy charakter i bliskość powierzchni, niezależną od głębokości w stosunku do otworu. Największą zmiennością temperatury powietrza charakteryzuje się Sala Krasieńskiego w górnym piętrze jaskini, w której amplituda roczna temperatury sięga 4,7–4,8°C. Wyraźnie mniejszą zmienność temperatury mają stanowiska zlokalizowane w dolnym piętrze jaskini. Roczna amplituda wahań temperatury powietrza dla tej części jaskini mieści się w granicach 0,8°C do 1,5°C.

Pomimo wyraźnych różnic w przebiegu rocznych i sezonowych zmian temperatury, zarówno górne (wraz z partiami w korytarzu wejściowym), jak i dolne piętro jaskini wykazuje cechy charakterystyczne dla strefy mikroklimatu dynamicznego – podstrefa przejściowa (*sensu* Pulina 1960), z amplitudą wahań temperatury powyżej 0,5°C. Stwierdzone prawidłowości w jednej z najdłuższych i najgłębszych jaskiń na Wyżynie Krakowsko-Wieluńskiej mają istotne znaczenie dla poznania mikroklimatu jaskiń tego regionu. Skłaniają one również do rewizji dotychczasowych poglądów o występowaniu strefy mikroklimatu statycznego (stabilnego) w głębszych, jednootworowych jaskiniach Wyżyny (m.in. Wojkowski 2013). Warunki cyrkulacyjne w jaskiniach oraz płytkie w stosunku do powierzchni położenie całych obiektów jaskiniowych sprzyjają większej dynamice ich termiki.

Zastosowanie obiektywnej metody badania warunków klimatycznych w Jaskini Niedźwiedziej Górnej, polegającej na wykorzystaniu automatycznej rejestracji temperatury powietrza, ma istotne znaczenie dla prowadzonych w tej jaskini badań fauny bezkręgowców (zob. Kocot-Zalewska, Słupińska 2017) oraz ochrony środowiska jaskiniowego. Rejestracja temperatury w wielu punktach jaskini spełnia funkcję kontroli i monitoringu stanu jaskini, w tym wpływu ruchu osób odwiedzających ten obiekt. Czujniki temperatury rejestrują chwilowy wzrost temperatury pod wpływem obecności nawet pojedynczych osób w korytarzu z zainstalowanym rejestratorem.

PIŚMIENNICTWO

Cigna A. A. 2002. *Modern trend in cave monitoring*. „Acta Carsologica”, **31** (1): 35–54.

Ignaczak M., Postawa T. 2017. *Protection of the Szachownica Cave as an example of saving a valuable bat wintering shelter*. „Proceedings of the Theriological School”, **15**: 67–74.

Jędrysiak J., Kocot-Zalewska J., Polok M., Polonius A., Słupińska M., Tyc A., Wagner T., Zygmunt J. 2016. *Jaskinia Niedźwiedzia Górna – wstępne wyniki prac dokumentacyjnych i badawczych*, [w:] *Materiały 50. Sympozjum Speleologicznego*, red. J. Urban, wyd. Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika. Warszawa, s. 114.

Józwiak M. 2002. *Dynamika zmian temperatury powietrza w jaskini Raj (Góry Świętokrzyskie) w latach 1996–2001*, [w:] *Materiały 36. Sympozjum Speleologicznego*, red. M. Gradziński, M. Szelerewicz, J. Urban, wyd. Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika. Warszawa, s. 44–45.

Klein J. 1992. *Mikroklimat jaskini Ciemnej w Ojcowskim Parku Narodowym w warunkach zimowych*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **5**: 35–45.

Kocot-Zalewska J. 2017. *Kształtowanie się mikroklimatu w wybranych jaskiniach Wyżyny Częstochowskiej*. „Acta Geographica Silesiana”, **11/1** (25): 11–21.

Kocot-Zalewska J., Słupińska M. 2017. *Choleva lederiana gracilentia (Szymczakowski 1957) w Jaskini Niedźwiedziej Górnej na Wyżynie Częstochowskiej*, [w:] *Materiały 51. Sympozjum Speleologicznego*, red. J. Szczygieł, D. Kicińska, wyd. Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika. Warszawa, s. 72–73.

Kuczok W., Nowak J., Surmacz J. 2013. *Jaskinia Niedźwiedzia Górna*. „Jaskinie”, **70**: 24–27.

Łęski Z. 1971. *Badania nad termiką kilku jaskiń w okolicy Częstochowy*, [w:] *Materiały III i IV Sympozjum Speleologicznego*, red. A. Skalski, wyd. Muzeum w Częstochowie. Częstochowa, s. 75–83.

Piasecki J. 1996. *Warunki termiczne w Jaskini Niedźwiedziej*, [w:] *Masyw Śnieżnika. Zmiany w środowisku przyrodniczym*, red. A. Jahn A., S. Kozłowski, M. Pulina, Wydawnictwo PAE. Warszawa, s. 207–218.

Podstawczyńska A., Charciarek T. 2002. *Wstępne wyniki badań nad warunkami termiczno-wilgotnościowymi wybranych jaskiń Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **13**: 33–50.

Pulina M. 1960. *Uwagi o mikroklimacie Jaskini Zimnej na podstawie obserwacji przeprowadzonych w latach 1958–1961*. „Speleologia”, **2**: 2–4.

Rocznik Statystyczny Województwa Śląskiego 2017. Urząd Statystyczny w Katowicach. Katowice, 442 s.

Siarzewski W. 1996. *Warunki klimatyczne jaskiń tatrzańskich*, [w:] *Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego*. T. 6, red. J. Grodzicki, wyd. Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi. Warszawa, s. 13–29.

Skalski A. W., 1994/1995. *Obserwacje nad termiką Jaskini Pod Sokolą w rezerwacie „Sokole Góry” w pobliżu Olsztyna k. Częstochowy*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **9**: 17–30.

Tobin B. W., Hutchins B. T., Schwartz B. F., 2013. *Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave*. „International Journal of Speleology”, **42** (3): 203–214.

Tyc A., Słupińska M., Kocot-Zalewska J. 2017. *Wstępne wyniki badań mikroklimatycznych Jaskini Niedźwiedziej Górnej w Złotym Potoku na Wyżynie Częstochowskiej*, [w:] *Materiały 51. Sympozjum Speleologicznego*, red. J. Szczygieł, D. Kicińska, wyd. Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika. Warszawa, s. 94–95.

Wieczorek J. 1992. *Mikroklimat jaskini Łokietka w Ojcowie*. Praca magisterska. Wydział Nauk o Ziemi UŚI. Sosnowiec. Maszynopis, Biblioteka OPN, 151 s.

Wojkowski J. 2001. *Warunki mikroklimatyczne jurajskich jaskiń*, [w:] *Badania naukowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, red. J. Partyka, wyd. Ojcowski Park Narodowy. Ojców, s. 132–135.

Wojkowski J. 2013. *Mikroklimat i mikroflora jaskiń Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **23**: 75–90.

Wróblewski T. 1974. *Mikroklimat jaskini Raj*, [w:] *Badania i udostępnienie jaskini Raj*, red. Z. Rubinowski, Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa, s. 41–60.

<https://www.ogimet.com> (dostęp w styczniu 2018).

SUMMARY

The article presents the results of two-year studies on thermal conditions of the Niedźwiedzia Górna Cave in Złoty Potok (Częstochowa Upland). The cave is one of the largest on the whole Kraków-Wieluń Upland, since its discovery in 2012, entries into this cave are limited and controlled by the Regional Directorate for Environmental Protection in Katowice, as well as no major modifications of air circulation conditions were made there. Additionally the cave is an important habitat of endemic beetles. For these reasons, systematic microclimate studies were started in the cave. They were performed with use of T/RH data loggers (HOBO U23 Pro v2 by Onset) installed in five different measuring stations. It can be concluded that the thermal conditions in the Niedźwiedzia Górna Cave clearly reflect its two-level arrangement, but at the same time its fissure-type nature and proximity to the surface, independent of the depth in relation to the entrance. The greatest variability of the air temperature is characteristic of the Sala Krasieńskiego (Krasieński Chamber) in the upper level of the cave, where the annual amplitude of the temperature reaches 4.7–4.8 °C and where the summer and autumn diurnal rhythm of thermic changes is marked. The annual amplitude of temperature fluctuations in the lower level of the cave is within the range of 0.8 °C to 1.5°C. Two-year thermal studies of the Niedźwiedzia Górna Cave indicate that both the upper and the lower level of the cave show the characteristics of the dynamic microclimate zone – transitional subzone (*sensu* Pulina 1960).