

Joanna Kocot-Zalewska

Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny, Samodzielna Katedra Biosystematyki, ul. Oleska 22, 45-052 Opole;
e-mail: asia.zalewska@poczta.fm

KSZTAŁTOWANIE SIĘ MIKROKLIMATU W WYBRANYCH JASKINIACH WYŻYNY CZĘSTOCHOWSKIEJ

Кочот-Залевска Й. **Формирование микроклимата избранных пещер Ченстоховской возвышенности.** Представлены результаты микроклиматических исследований, проведенных с декабря 2014 г. по январь 2016 г. в пределах трех пещер Ченстоховской возвышенности: пещера Пся (Собачья), Пещера Крочицка, пещера в Зеленой Горе. С помощью психрометра Ассманна исследовались температура и влажность воздуха в четырех постоянных точках (первая – у входа в пещеру, три – внутри пещеры на разном удалении от входа). Наибольшие колебания температуры воздуха внутри пещер наблюдались в точке 1, расположенной близко от входа: амплитуда составила здесь 14–28°C. В точке 2, находящейся в центральной части анализируемых пещер, колебания температуры были значительно меньше: до 10°C. Точка 3 – в конце пещеры – отличалась самой низкой и стабильной годовой температурой воздуха с амплитудой колебаний до 5°C. Относительная влажность воздуха исследуемых пещер высокая, ее средние значения составляли от 90% у входа до 100% в точке 3. На основании полученных результатов осуществлено зонирование пещер по господствующим в них микроклиматическим условиям (зоны: привходовая, переходная и внутренняя).

Kocot-Zalewska J. **The microclimate shaping in chosen caves of the Czestochowa Upland.** Since December 2014 till January 2016 the measurements of temperature and humidity were taken in few caves in Krakow-Czestochowa Upland. Measurements were performed using Assmann psychrometer in four constant points in the caves; first one was localized outside the caves close to the cave entrance and three inside the caves. The greatest temperature fluctuations inside the caves were observed in the first measurement point localized closest to the cave entrance; here the observed temperature amplitude had range from 14°C to 28°C. In the second measurement point localized in the middle of the caves the temperature fluctuations were much smaller and they did not exceeded 10°C. The last measurement point localized at the farthest end of the cave from the entrance presented the lowest annual amplitude, which did not exceeded 5°C in all studied caves. In the caves of interest, the humidity was high, and its average value ranged from 90% in the cave entrance to 100% in the third measurement point inside the caves. On the basis of obtained results, the zones of cave microclimate shaping were described (prior, transitional, and deep) in reference to the conditions observed outside the caves.

Słowa kluczowe: mikroklimat, klimat jaskiń, Jaskinia Psia, Jaskinia Kroczycka, Jaskinia w Zielonej Górze,

Ключевые слова: микроклимат, микроклимат пещер, пещера Пся (Собачья), пещера Крочицка, пещера в Зеленой Горе

Key words: microclimate, cave climate, Psia Cave, Kroczycka Cave, W Zielonej Górze Cave

Zarys treści

Przedstawiono wyniki badań mikroklimatycznych prowadzonych od grudnia 2014 r. do stycznia 2016 r. w trzech jaskiniach Wyżyny Częstochowskiej: Jaskini Psiej, Jaskini Kroczyckiej i Jaskini w Zielonej Górze. Mierzono temperaturę i wilgotność powietrza. Pomiarów dokonywano za pomocą psychrometru Assmanna w czterech stałych punktach: jeden był zlokalizowany przed jaskinią, oraz trzy – w jej wnętrzu. Największe wahania temperatury wewnątrz jaskiń obserwowano w punkcie 1 usytuowanym blisko wejścia. Amplituda

wyniosła tu od 14 do 28°C. W punkcie 2 zlokalizowanym mniej więcej w środku głównego ciągu omawianych jaskiń zaobserwowano znacznie mniejsze wahania temperatury: amplitudy nie przekroczyły 10°C. Punkt 3, najbardziej oddalony od otworu wejściowego w głównym ciągu omawianych jaskiń, cechował się temperaturą o najniższej amplitudzie rocznej: w żadnej z jaskiń nie przekroczyła ona 5°C. Wilgotność względna w badanych jaskiniach była wysoka, jej średnia wartość wynosiła od 90% w częściach przyotworowych do 100% w punktach

najbardziej oddalonych. Na podstawie wyników badań wyznaczono strefy kształtowania się mikroklimatu jaskiniowego (strefa wstępna, przejściowa i głęboka) w odniesieniu do warunków panujących na zewnątrz jaskiń.

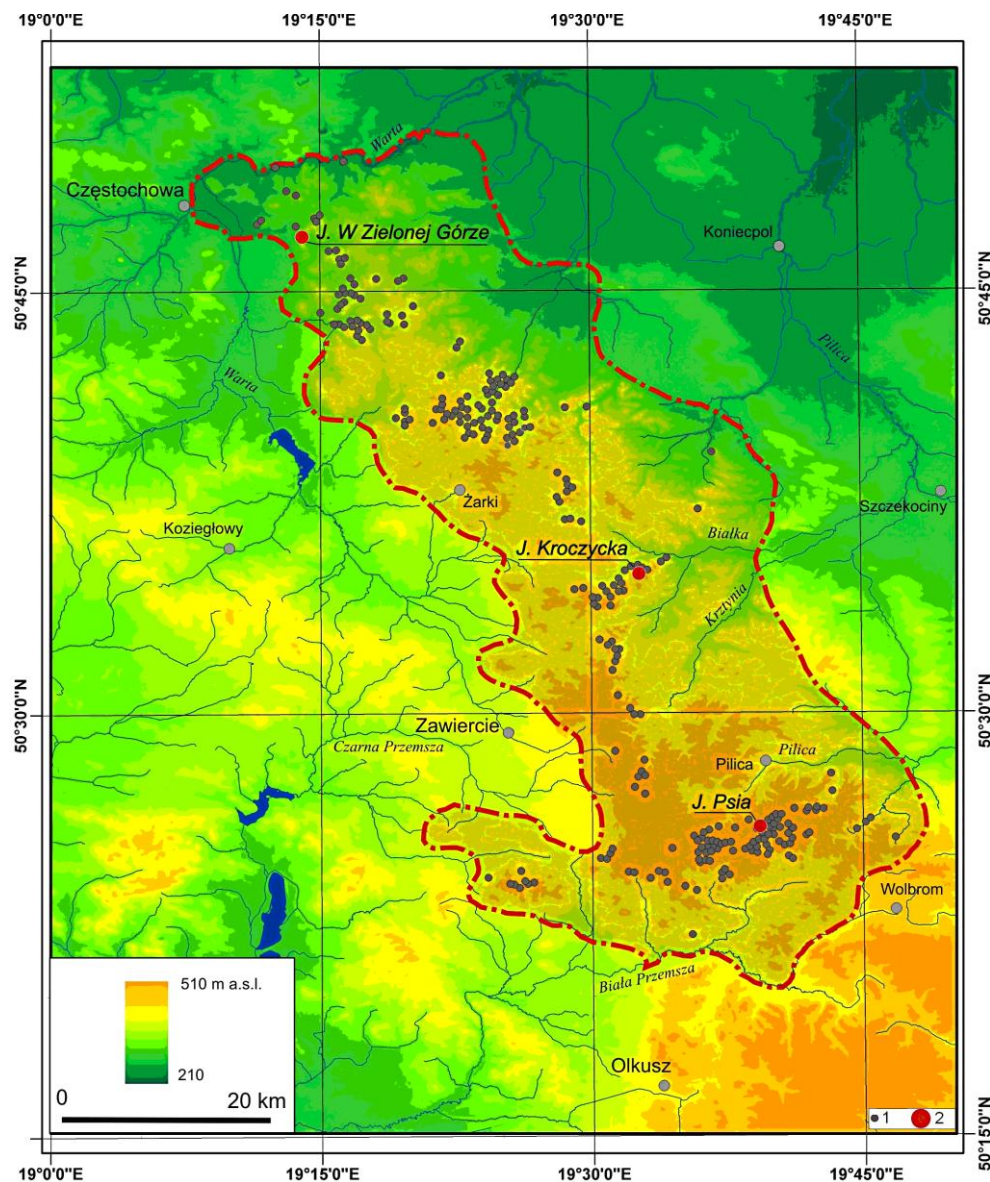
WSTĘP

Mikroklimat jest jednym z istotniejszych elementów charakteryzujących środowisko jaskiniowe. Stanowi szczególnie interesujący temat badań dla biospeleologów, gdyż w dużej mierze decyduje o zasiedleniu obiektów podziemnych przez organizmy żywe, wytworzeniu przez nie różnego typu przystosowań morfologicznych, fizjologicznych i behawioralnych (CULVER, PIPAN, 2008, 2010). Na Wyżynie Częstochowskiej

problematykę tę poruszali m. in.: ŁĘSKI (1967, 1971), SKALSKI, WÓJCIK (1968), SKALSKI (1973), DUMNICKA, PŁOTEK (2013).

W artykule scharakteryzowano roczny przebieg temperatury i wilgotności powietrza w trzech wybranych jaskiniach Wyżyny Częstochowskiej: Jaskini Psiej położonej w Dolinie Wodącej niedaleko Smolenia, Jaskini Kroczyckiej usytuowanej w Skałach Kroczyckich koło Podlesic oraz Jaskini w Zielonej Górze nieopodal wsi Kusieța (rys. 1). Jaskinie te nie były dotychczas badane pod kątem uwarunkowań klimatycznych.

Prezentowane wyniki są efektem badań nad środowiskiem życia fauny bezkręgowców zasiedlających wybrane jaskinie Wyżyny.



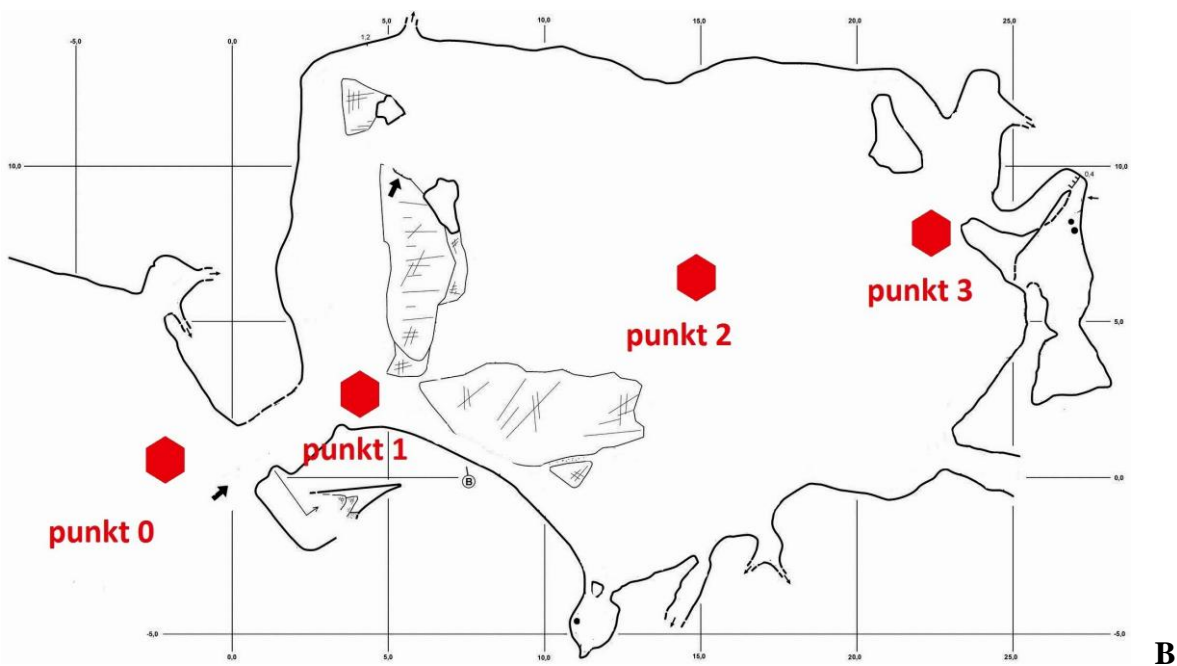
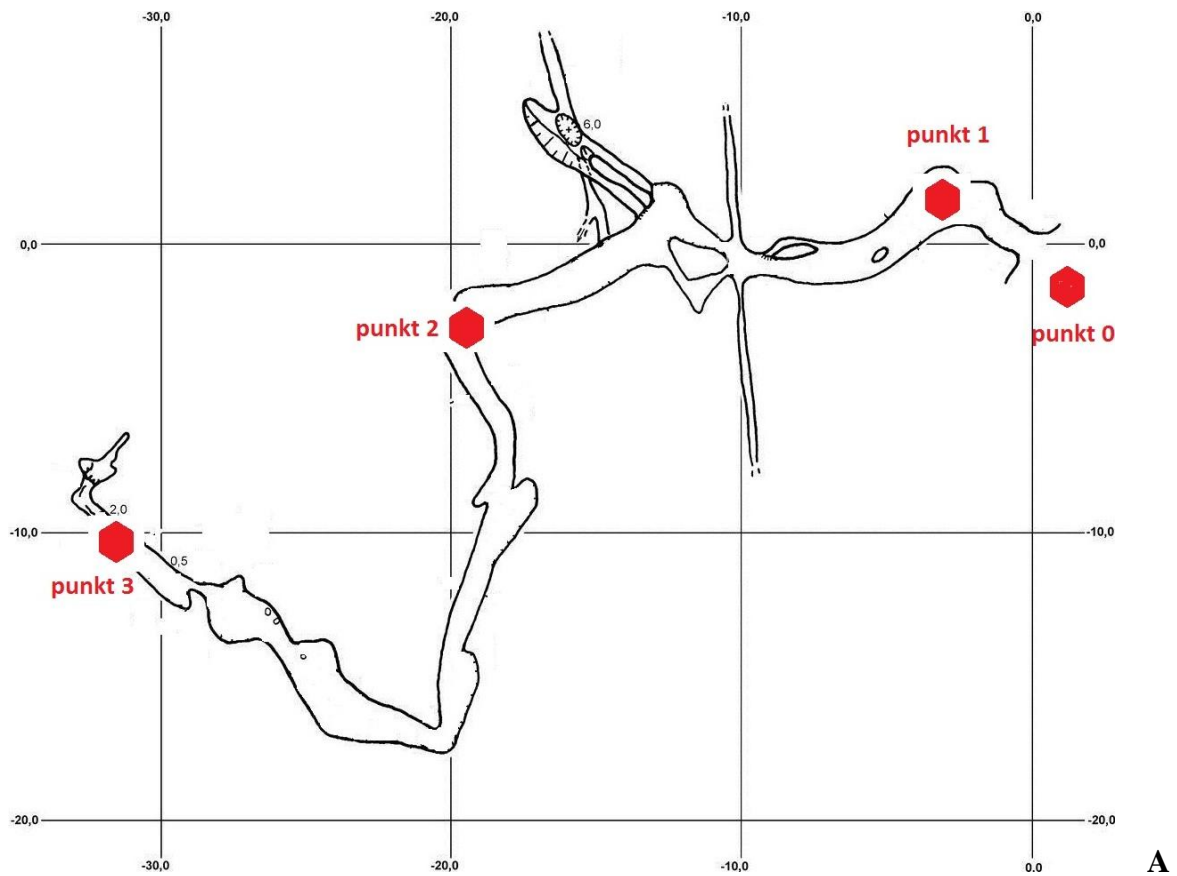
Rys. 1. Lokalizacja badanych jaskiń na Wyżynie Częstochowskiej (wg: TYC, 2009 – zmienione): 1 – jaskinie, 2 – badane jaskinie
 Рис. 1. Локализация исследуемых пещер Ченстоховской возвышенности (по: TYC, 2009 – с изменениями): 1 – пещеры, 2 – исследуемые пещеры
 Fig. 1. Localization of caves on Częstochowa Upland (after: TYC, 2009 – modified): 1 – caves, 2 – caves under investigation

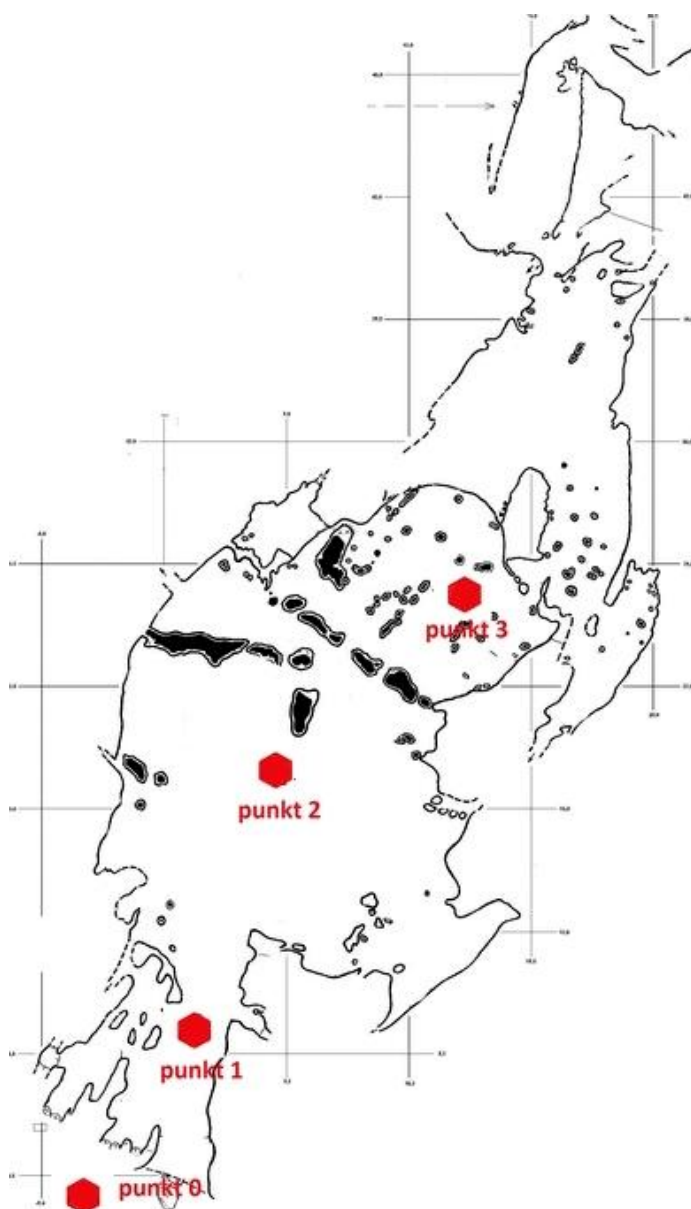
MATERIAŁ I METODY

Wszystkie badane jaskinie charakteryzuje poziome rozwinięcie, niewielka deniwelacja, podobna długość (60–70 m) oraz wysokość otworu wejściowego nad poziomem morza (340–410 m) (SZELEREWICZ, GÓR-

NY, 1986). Cechami różniącymi są: wielkość i ekspozycja otworów, morfologia korytarzy, a także otaczająca wejście jaskiń roślinność (rys. 2a–c, fot. 1).

Pomiary temperatury i wilgotności względnej były prowadzone od grudnia 2014 r. do stycznia 2016 r. Łącznie wykonano 132 pomiary: po 44 dla każdej





Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w jaskiniach: a) Jaskini Psiej (plan wg: Polonius 1991: za GRODZICKI, 2011b); b) Jaskini Kroczyckiej (plan wg: Mazik, Lorek 1980, Zygmunt 2009: za MIKUSZEWSKI, 2010, uproszczony); c) Jaskini w Zielonej Górze (plan wg: Sznober 2003: za GRODZICKI, 2011a, uproszczony)

Рис. 2. Размещение точек измерения в пещерах:

а) пещера Пся (Собачья) (план по: Polonius 1991: по GRODZICKI, 2011b); б) пещера Крочицка (план по: Mazik, Lorek 1980, Zygmunt 2009: по MIKUSZEWSKI, 2010, упрощенный); в) пещера в Зеленой Горе (план по: Sznober 2003: по GRODZICKI, 2011a, упрощенный)

Fig. 2. Localization of constant measurement points in caves: a) Psia (plan by Polonius 1991: after GRODZICKI, 2011b); b) Kroczycka (plan by Mazik, Lorek 1980, Zygmunt 2009: after MIKUSZEWSKI, 2010, simplified); c) W Zielonej Górze (plan by Sznober 2003: after GRODZICKI, 2011a, simplified)

C

z jaskiń. Pomiary wykonywano średnio raz w miesiącu, dla każdej z jaskiń w innym dniu. Pierwszy pomiar dotyczył punktu przed jaskinią (punkt 0), w celu określenia warunków termiczno-wilgotnościowych stanowiących odniesienie do wyników uzyskanych wewnątrz jaskini. Trzy kolejne pomiary wykonywano wewnątrz obiektu: punkt 1 został wyznaczony blisko otworu wejściowego, punkt 2 – mniej więcej pośrodku głównego ciągu jaskini oraz punkt 3 – w końcowym odcinku korytarza (rys. 2 a-c).

W badaniach użyto psychrometru Assmanna z wentylatorem elektrycznym, o dokładności pomiaru 0,2°C. Pomiary były wykonywane – jak wspomniano – w stałych punktach na analogicznej 50-cm wysokości nad powierzchnią gruntu. W czasie wykonywania pomiarów nikt nie przebywał w jaskini, by zminimalizować błąd pomiaru wynikający z ogrze-

wania powietrza przez człowieka. Decyzja o zastosowaniu psychrometru Assmanna miała związek 1) z krótkim czasem pomiaru oraz 2) z możliwością użycia jednego urządzenia w wielu obiektach. Wykorzystanie loggerów, często używanych w badaniach mikroklimatycznych (TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ, 2013), nie było możliwe.

WYNIKI

Uzyskane wyniki pochodzą ze stosunkowo krótkiego okresu pomiarowego, obejmującego 14 miesięcy, niemniej wskazują na pewne tendencje i zjawiska charakteryzujące kształtowanie się mikroklimatu wybranych jaskiń na Wyżynie Częstochowskiej.



Fot. 1. Otoczenie otworu wejściowego: a) Jaskini Psiej (fot. B. Zalewski, 17.05.2015 r.), b) Jaskini Kroczyckiej (fot. B. Zalewski, 11.10.2015 r.), c) Jaskini w Zielonej Górze (fot. B. Zalewski, 10.10.2015 r.). Strzałkami oznaczono otwory wlotowe jaskiń.

Фот. 1. Окружение входа в: а) пещеру Пся (Собачья) (фот.: Б. Залевски, 17.05.2015 г.), б) пещеру Крочицка (фот.: Б. Залевски, 11.10.2015 г.), в) пещеру в Зеленой Горе (фот.: Б. Залевски, 10.10.2015 г.). Стрелки указывают на входы в пещеры.

Photo 1: a) Psia Cave (phot. by B. Zalewski, 17.05.2015) b) Kroczycka Cave (photo by B. Zalewski, 11.10.2015), c) w Zielonej Górze Cave (photo by B. Zalewski, 10.10.2015) cave entrance surroundings. Cave entrance are marked by the white arrow

Temperatura powietrza

Jaskinia Psia

W punkcie pierwszym, usytuowanym najbliżej otworu wlotowego, temperatura cechowała się największą zmiennością w ciągu roku (rys. 3). Swoje maksimum osiągnęła w sierpniu 2015 r., kiedy wynosiła 18,6°C, a minimum – w styczniu 2016: -10°C, z kolei średnia temperatura tego miejsca to 6,5°C. W punkcie drugim, zlokalizowanym w środku głównego ciągu jaskini, zmienność temperatury była znacznie mniejsza w stosunku do warunków panujących na zewnątrz. Najwyższą temperaturę w tym punkcie (na poziomie 12°C) odnotowano w sierpniu i wrześniu roku 2015, temperaturę minimalną wynoszącą 2,6°C – w styczniu 2016 r., średnia temperatura dla tego

punktu to 7,1°C. Temperatura w punkcie trzecim, położonym w końcowym odcinku korytarza, charakteryzowała się dużą stabilnością w ciągu całego roku. Najwyższą temperaturę odnotowano w marcu 2015 r.: 8,4°C, najniższą – w lutym, czerwcu i sierpniu 2015 r., kiedy stwierdzono 7,8°C, średnia wartość temperatury dla tego punktu wynosiła natomiast 8,1°C.

Jaskinia Kroczycka

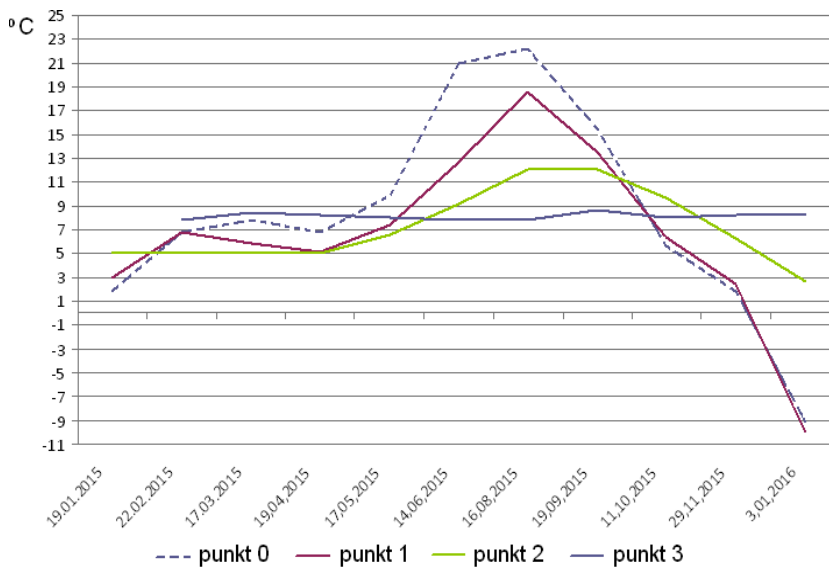
W punkcie 1 temperatura charakteryzowała się dużą zmiennością w ciągu roku (rys. 4): jej średnia wartość wyniosła 6°C, maksymalna – 12,4°C (lipiec roku 2015), minimalna natomiast – -6°C (styczeń roku 2016). W punkcie 2 maksymalna zarejestrowana temperatura wyniosła 7,8°C (wrzesień 2015 r.), zaś minimalna -0,6°C (styczeń 2016 r.), średnia war-

tość temperatury dla tego punktu wyniosła 5,3°C. Punkt 3 cechowała maksymalna temperatura 7,8°C, odnotowana we wrześniu 2015 r., i minimalna: 4,2°C (w styczniu 2016 r.), średnia wartość temperatury w badanym okresie wyniosła 6,0°C.

Jaskinia W Zielonej Górze

W punkcie 1 średnia temperatura w badanym okresie wyniosła 5,6°C (rys. 5), temperatura minimalna sięgała -4°C (2.01.2016 r.), maksymalna natomiast

10,2°C (20.09.2015 r.). W punkcie 2 stwierdzono średnią temperaturę na poziomie 6,5°C; temperaturę minimalną w tym punkcie odnotowano 2.01.2016 roku, kiedy wynosiła ona 3,2°C, temperaturę maksymalną natomiast zarejestrowano we wrześniu 2015 roku: 8,8°C. W punkcie 3 temperaturę minimalną odnotowano w styczniu 2016 roku (4,2°C), zaś temperaturę maksymalną wynoszącą 8,8°C – we wrześniu 2015 r. Średnia wartość temperatury w okresie pomiarów sięgała 7,5°C.



Rys. 3. Roczny przebieg temperatury powietrza w punktach pomiarowych w Jaskini Psiej

Рис. 3. Годовой ход температуры воздуха в точках измерения в пещере Пся (Собачья)

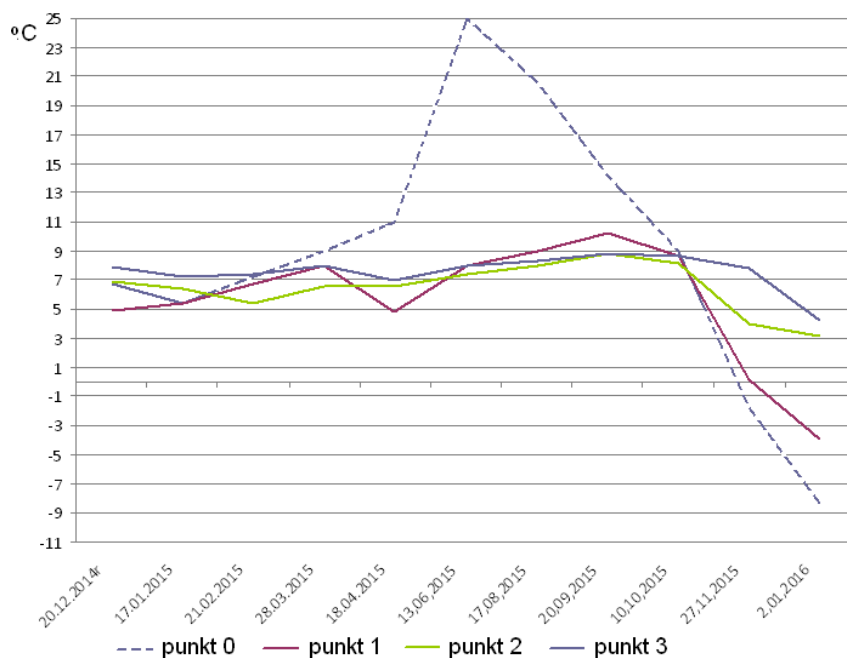
Fig. 3. Annual temperature fluctuations in the measurement points in Psia cave



Rys. 4. Roczny przebieg temperatury powietrza w punktach pomiarowych w Jaskini Kroczyckiej

Рис. 4. Годовой ход температуры воздуха в точках измерения в пещере Крочицкой

Fig. 4. Annual temperature fluctuations in the measurement points in Kroczycka cave



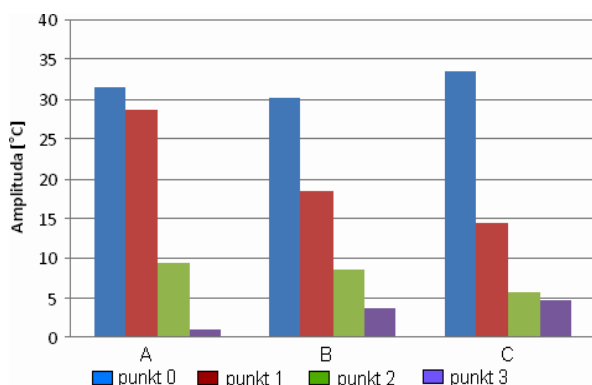
Rys. 5. Roczny przebieg temperatury powietrza w punktach pomiarowych w Jaskini w Zielonej Górze

Рис. 5. Годовой ход температуры воздуха в точках измерения в пещере в Зеленой Горе

Fig. 5. Annual temperature fluctuations in the measurement points in W Zielonej Górze cave

Amplituda temperatury w badanych jaskiniach

Wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach omawianych jaskiń pozwoliły na określenie amplitud temperatury (rys. 6). W punkcie pierw-



Rys. 6. Roczna amplituda powietrza w poszczególnych punktach pomiarowych badanych jaskiń:

A – Jaskinia Psia, B – Jaskinia Kroczycka, C – Jaskinia w Zielonej Górze

Рис. 6. Годовая амплитуда температуры воздуха в точках измерения исследуемых пещер:

A – пещера Пся (Собачья), B – пещера Крочицка, C – пещера в Зеленой Горе

Fig. 6. Annual temperature amplitude in all measurements points of investigated caves:

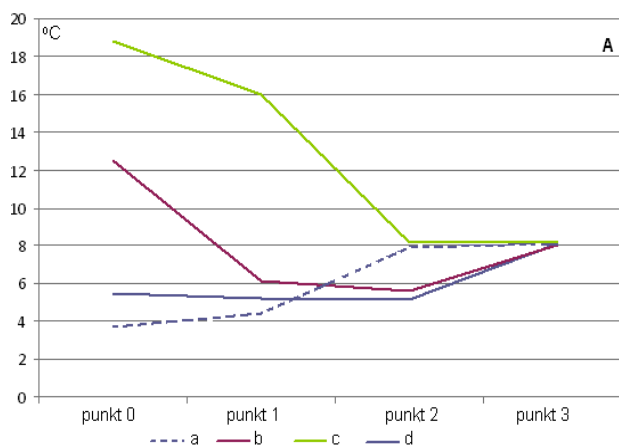
A – Psia cave, B – Kroczycka cave, C – W Zielonej Górze cave

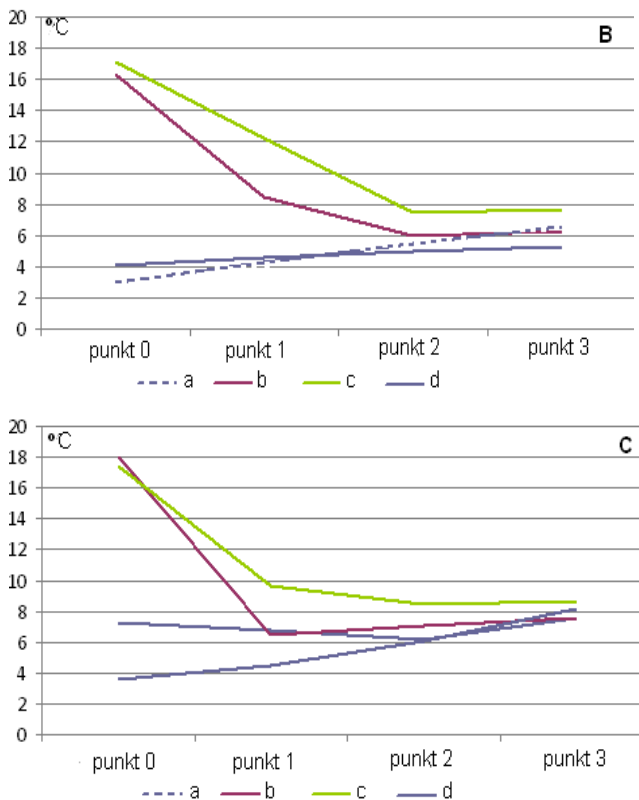
szym najwyższą amplitudę odnotowano w Jaskini Psiej, a najmniejszą – w Jaskini w Zielonej Górze, we wszystkich przypadkach wartości amplitud temperatury powietrza przekraczały 10°C. W punkcie drugim ponownie najwyższą amplitudę odnotowano

w Jaskini Psiej, a najmniejszą w Jaskini w Zielonej Górze, wielkość amplitudy nie przekroczyła 10°C. W punkcie trzecim z kolei maksymalną amplitudę temperatur odnotowano w Jaskini w Zielonej Górze, a najniższą w Jaskini Psiej; amplituda temperatur w żadnej z jaskiń nie przekroczyła 5°C.

Sezonowa zmienność temperatury

Największą zmienność sezonową temperatury w profilu podłużnym jaskini obserwuje się wiosną i latem (rys. 7a–c). Temperatura znacznie spada wraz z oddalaniem się od otworu wejściowego, aż do osiągnięcia środkowej części jaskini (punkt drugi), gdzie się stabilizuje. Zmienność w sezonach jesiennym i zimowym jest znacznie mniejsza, zaznacza się niewielkim wzrostem temperatury od otworu wejściowego w kierunku głębiej położonych partii jaskiń. Punkt trzeci, najbardziej oddalony od otworu wejściowego, wykazuje niewielką zmienność sezonową temperatury.





Rys. 7. Poziomy profil temperatury powietrza w jaskiniach – A) Psiej, B) Kroczyckiej, C) W Zielonej Górze:
a – zima, b – wiosna, c – lato, d – jesień

Рис. 7. Горизонтальный профиль температуры воздуха в пещерах: – А) Пся (Собачья), В) Крочицка, С) в Зеленой Горе:
а – зима, б – весна, с – лето, д – осень

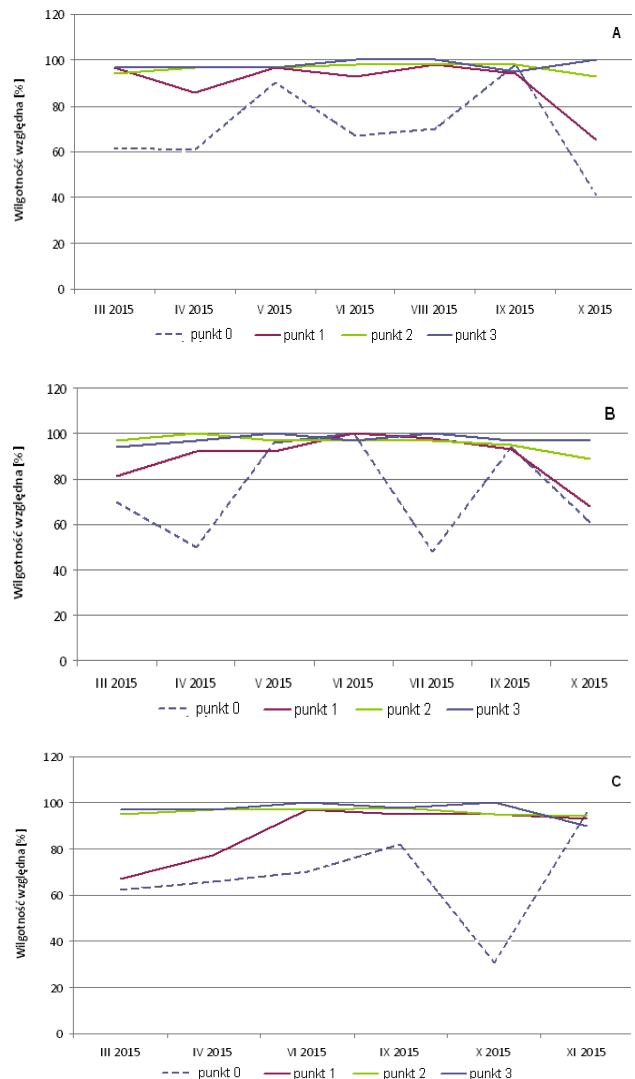
Fig. 7. Horizontal distribution of air temperature in caves – A) Psia, B) Kroczycka, C) W Zielonej Górze:
a – winter, b – spring, c – summer, d – autumn

Wilgotność względna powietrza

Wilgotność względna powietrza we wszystkich badanych jaskiniach była dość wysoka (rys. 8a–c). Najwyższe wahania wartości wykazywała ona w odcinku wlotowym (punkt 1) wszystkich omawianych jaskiń. Średnia wartość dla tego miejsca wyniosła: 90% w Jaskini Psiej, 89% w Jaskini Kroczyckiej i 87% w Jaskini w Zielonej Górze. W punktach 2 i 3 wszystkich jaskiń wilgotność utrzymywała się na stałym poziomie, podlegając nieznacznym wahaniom i wynosiła 96–98%.

DYSKUSJA

Największe wahania temperatury i wilgotności powietrza wewnątrz analizowanych jaskiń obserwowano w punkcie 1 usytuowanym blisko wejścia (2–4 m). W odcinku wlotowym (punkt 1) temperatura i wilgotność powietrza były bardzo ściśle skorelowane z wa-



Rys. 8. Roczny przebieg wilgotności względnej powietrza w punktach pomiarowych jaskiń: A) Psiej, B) Kroczyckiej, C) W Zielonej Górze

Рис. 8. Годовой ход относительной влажности воздуха в точках измерения пещер: А) Пся (Собачья), В) – Крочицка, С) – в Зеленой Горе

Fig. 8. Annual fluctuation of relative humidity in measurements points in caves: A) Psia, B) Kroczycka, C) W Zielonej Górze

runkami panującymi na zewnątrz. Jest to zjawisko typowe, obserwowane we wszystkich jaskiniach o rozwinięciu poziomym, w których prowadzone były badania (SKALSKI, WÓJCIK, 1968; ŁĘSKI, 1971; SKALSKI, 1973, 1994/1995; BARANEK, POWICHROWSKI, 1975; PODSTAWCZYŃSKA, CHARCIAREK, 2002; TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ, 2013). Największa amplituda została odnotowana w punkcie 1 Jaskini Psiej (rys. 2a, 6). Jest to zapewne związane z wielkością otworu wlotowego, który jest bardzo duży: około 1,5 m szerokości i ponad 2 m wysokości (fot. 1a). Zatem powietrze łatwo ulega wymianie nawet w cyklu dobowym. Najniższą ampli-

tudę dla tego punktu stwierdzono w Jaskini w Zielonej Górze (ryc. 2c, 6).

Zaskakująco dużą amplitudę temperatur zanotowano w punkcie 1 Jaskini Kroczyckiej (rys. 2b, 6): wynosiła ona ponad 18°C, chociaż otwór wejściowy jest niewielki i bardzo ciasny (fot. 1b). Jednakże pierwszy odcinek tej jaskini jest pochyły i opadający kilka metrów, zatem zimne powietrze łatwo wpływa do jaskini, zaś napływ ciepłego powietrza jest dość utrudniony. Ma to odzwierciedlenie w uzyskanych wynikach. Latem, gdy temperatura na zewnątrz była bardzo wysoka, temperatura powietrza w odcinku wlotowym rosła powoli. Natomiast zimą, gdy temperatura na zewnątrz spadła do niskich wartości, temperatura w odcinku wlotowym spadła również bardzo szybko (rys. 4). Podczas pomiarów w dniu 3.01.2016 roku można było wyraźnie zaobserwować zjawisko wpływania zimnego powietrza oraz wypływu z jaskini ciepłego (fot. 2). Na styku mas o odmiennej temperaturze i wilgotności tworzyła się mgła.



Fot. 2. Wypływ ciepłego powietrza z wnętrza jaskini i napływ zimnego do wnętrza w Jaskini Kroczyckiej (fot. B. Zalewski, 3.01.2016 r.)

Фот. 2. Отток теплого воздуха из пещеры и приток холодного воздуха в пещеру Крочицка (фот.: Б. Залевски, 3.01.2016 г.)

Photo 2. Outflow of warm air and influx of cold air into Kroczycka cave (photo by B. Zalewski, 3.01.2016)

Według klasyfikacji stosowanej przez TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ (2013), mikroklimat tego odcinka można określić jako strefę wejściową. Przyjmując z kolei klasyfikację PULINY (1960), odcinek ten zalicza się do strefy dynamicznej z podstrefą przyotworową (wahania temperatury przekraczają 3°C).

W punkcie 2, zlokalizowanym mniej więcej pośrodku głównego ciągu omawianych jaskiń (między 13 a 21 m od wejścia), najwyższe temperatury obserwowano we wrześniu. Na uwagę zasługuje stwierdzone przesunięcie maksimum temperatury o kilkadziesiąt dni w stosunku do maksimum rejestrowanego na zewnątrz obiektów. Zaznacza się to zwłaszcza

w Jaskini Psiej (rys. 3). Zjawisko to także opisali TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ. (2013).

Wilgotność względna w tych punktach utrzymywała się stale na wysokim poziomie. Wyniki te są typowe i podawane w literaturze w odniesieniu do innych jaskiń (SKALSKI, WÓJCIK, 1968; ŁĘSKI, 1971; SKALSKI, 1973; BARANEK, POWICHROWSKI, 1975; GÓRNIAK, 2009). W punkcie 2 zaobserwowano znacznie mniejsze wahania temperatury. Amplitudy nie przekroczyły tu 10°C. Ponownie najwyższa różnica temperatur w ciągu roku została odnotowana w Jaskini Psiej (rys. 6). Jest to wynik zaskakujący, ponieważ punkt ten znajduje się najdalej od otworu w stosunku do pozostałych jaskiń. Usytuowany jest o ponad 2,5 m wyżej niż punkt 1 tej jaskini. Prawdopodobną przyczyną takiego zjawiska jest obecność szczelin w spągu, prowadzących do niższego piętra i zapewniających wymianę powietrza. Konieczne są dalsze obserwacje. Najniższą amplitudę odnotowano w Jaskini w Zielonej Górze (rys. 6). Stosując klasyfikację za TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ (2013), mikroklimat tego odcinka można określić jako strefę przejściową. Przyjmując metodę PULINY (1960), odcinek ten zalicza się nadal do strefy dynamicznej, podstrefy przyotworowej.

W punkcie 3, najbardziej oddalonym od otworu wejściowego w głównym ciągu omawianych jaskiń, najwyższe temperatury, podobnie jak w punkcie 2, osiągnęły we wrześniu. Wilgotność względna w tych punktach utrzymywała się stale na wysokim poziomie. Punkt 3 cechuje się temperaturą o najniższej amplitudzie rocznej (rys. 6). W żadnej z jaskiń nie przekroczyła ona 5°C. Najniższe wahania zaobserwowano w Jaskini Psiej: tam amplituda nie przekroczyła 1°C. Wskazuje to, że jaskinia ta ma, zgodnie z podejściem TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ (2013), stabilny mikroklimat strefy głębokiej (odpowiadają mu także pozostałe parametry brane pod uwagę przy wyznaczaniu tej strefy). Najwyższą amplitudę dla punktu 3 zarejestrowano w Jaskini w Zielonej Górze. Miejsce pomiaru wyznaczono w odległości około 28 m od otworu wejściowego, za charakterystyczną kolumnadą złożoną z szaty naciekowej i tworzącą swoistą barierę. Amplituda jest tu zaledwie o 1°C niższa niż w punkcie 2, chociaż przebieg temperatur zobrazowany na rys. 5, wykazuje pewne zróżnicowanie. Przyczyną powodującą zaburzenia w stabilności mikroklimatu tego odcinka może być sztuczny przepływ łączący jaskinię ze schroniskiem znajdującym się po drugiej stronie masywu. Amplituda w Jaskini Kroczyckiej kształtuje się na poziomie 3,6°C. Jaskinia ta ma drugi otwór w stropie, powoduje to zwiększoną wymianę powietrza. Przyjmując klasyfikację za TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ (2013), w końcowym odcinku jaskiń: Kroczyckiej i w Zielonej Górze można wy-

różnić mikroklimat strefy przejściowej, a w Jaskini Psiej – mikroklimat strefy głębokiej. Wykorzystując metodę PULINY (1960) natomiast, w Jaskini Kroczyckiej i Jaskini w Zielonej Górze w punkcie 3 nadal wyodrębnia się strefa dynamiczna z podstrefą przyotworową, ze względu na amplitudy temperatury przekraczające 3°C. Z uwagi na niższą niż w poprzednich przypadkach roczną amplitudę temperatury, nieprzekraczającą 1°C, punkt 3 Jaskini Psiej można zaliczyć do podstrefy przejściowej należącej jednak nadal do strefy dynamicznej.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań w omawianych jaskiniach wyodrębniono 3 strefy: wejściową, przejściową i głęboką. Klasyfikację przyjęto za: TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ (2013), która jest wykorzystywana w charakterystyce biospeleologicznej środowisk jaskiniowych. W jaskiniach poziomych wyraźnie kształtuje się mikroklimat strefy wejściowej, zależny bezpośrednio od warunków zewnętrznych i podlegający rocznym wahaniom zgodnie ze zmieniającymi się porami roku, dociera tu światło słoneczne. Strefa ta zaznaczyła się we wszystkich badanych jaskiniach (amplitudy temperatury powietrza wynoszą od 10–20°C, wilgotność względna waha się w granicach 65–90%), niezależnie od wielkości i ekspozycji otworu wejściowego.

W poziomych jaskiniach strefa przejściowa mikroklimatu sięga daleko – nawet kilkadziesiąt metrów w głąb. Amplitudy temperatury dochodzą do 10°C, natomiast wilgotność względna stale utrzymuje się powyżej 90% i jej wahania nie przekraczają 10%. Strefa przejściowa zaznacza się także brakiem światła lub obecnością niewielkiej ilości światła rozproszonego.

Wykształcenie się mikroklimatu strefy głębokiej uzależnione jest od wielu czynników, nie tylko od odległości od otworu wejściowego. Duże znaczenie ma wielkość i ilość otworów wlotowych, kształt, wielkość i nachylenie korytarzy (SZELEREWICZ, GÓRNY, 1986). Duży otwór, szeroki korytarz o poziomym przebiegu sprzyjają swobodnej cyrkulacji i umożliwiają wymianę powietrza nawet kilkadziesiąt metrów w głąb (np. Jaskinia w Zielonej Górze). Niewielki otwór, pochylony, opadający w dół korytarz sprzyjają napływowi zimnego powietrza w chłodnej porze roku oraz utrudniają jego wypływ w porze cieplej (np. Jaskinia Kroczycka). Długi, wąski korytarz, położony wyżej otworu wejściowego sprzyja powstaniu stabilnego mikroklimatu strefy głębokiej (np. Jaskinia Psia).

Przyjmując klasyfikację PULINY (1960), w badanych jaskiniach wyróżniono strefy: dynamiczna

z podstrefą przyotworową (dla całej Jaskini Kroczyckiej i W Zielonej Górze oraz punktów pierwszego i drugiego Jaskini Psiej), strefę statyczną – w przypadku punktu trzeciego Jaskini Psiej), strefę dynamiczną z podstrefą przejściową – dla punktu trzeciego Jaskini Psiej.

Mikroklimat jaskiń ma bardzo duże znaczenie dla zasiedlających te obiekty organizmów. Jego wpływ na hibernację nietoperzy został omówiony w wielu pracach (BAKKEN, KUNZ, 1988; HARMATA, 1969, 1973, 1987; GAISLER, 1970). Konieczne jest wyjaśnienie zależności między mikroklimatem a ekologią bezkręgowców zasiedlających jaskinie. Tematyka ta jest podejmowana w pracach dotyczących m. in. fauny troglobiontycznej jaskiń południowoeuropejskich (CULVER, PIPAN 2010, REBOLEIRA i in. 2011) i amerykańskich (TOBIN, HUTCHINS, SCHWARTZ, 2013). Jaskinie Polski nie obfitują w te formy organizmów (SKALSKI, WÓJCIK, 1968; SKALSKI, 1973, 1981), co wynika m. in. z historii geologicznej (zlodowacenia czwartorzędowe objęły swym zasięgiem obszar Polski, podczas gdy Europa na południe od Karpat była wolna od lodolodu), jednak stanowią ważne siedlisko dla wielu grup bezkręgowców (troglifili i trogloksenów) (SKALSKI, WÓJCIK, 1968; SKALSKI, 1973, 1981; BARANEK, POWICHROWSKI, 1975; DUMNICKA, PŁOTEK, 2013). Fragmentaryczna wiedza na temat ich różnorodności gatunkowej i liczebności sprawia, że poznanie środowiska abiotycznego ma kluczowe znaczenie dla ich skutecznej ochrony.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego „Bioróżnorodność w systemach jaskiń Jury Krakowsko-Częstochowskiej”.

LITERATURA

- Bakken G. S., Kunz T. H., 1988: Microclimate Methods. In: Kunz T. H. (ed.): Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.: 303–332.
- Baranek W., Powichrowski L., 1975: Jaskinie Doliny Wodącej i ich fauna. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzny*, 5: 64–71.
- Culver D, Pipan T., 2010: Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica* 39, 3: 577–586.
- Dumnicka E., Płotek M. 2013: Antropogeniczne zmiany fauny bezkręgowców jaskiń Gór Towarnych (Wyżyna Krakowsko-Częstochowska). *Chrońmy Przyrodę Ojczyzny*, 69, 4: 285–296.
- Gaisler J., 1970: Remarks on the thermopreferendum of Palearctic bats in their natural habitats. *Bijdr. Dierkd.*, 40: 33–35.
- Górniak M., 2009: Uwagi o badaniach mikroklimatycznych w Jaskini Szczelina i Prochownia na Kadzielni. *Materiały 43. Sympozjum Speleologicznego*: 51–52.

- Grodzicki J. (red.), 2011a: Jaskinie Wyżyny Częstochowskiej tom 1. PTPNoZ, Warszawa: 331 s.
- Grodzicki J. (red.), 2011b: Jaskinie Wyżyny Częstochowskiej, tom 4. PTPNoZ, Warszawa: 368 s.
- Harmata W., 1969: The thermopreferendum of some species of bats (Chiroptera). *Acta Theriologica*, 14: 49–62.
- Harmata W., 1973: The thermopreferendum of some species of bats (Chiroptera). In: *Natural Conditions*. ZN UJ, *Prace Zool.*, 19: 127–141.
- Harmata W., 1987: The frequency of winter sleep interactions in two species of bats hibernating in limestone tunnels. *Acta Theriologica*, 32, 11: 331–332.
- Łęski Z., 1971: Badania nad termiką kilku jaskiń w okolicy Częstochowy. *Materiały III i IV Symposium Speleologicznego*. Muz. Częst.: 75–83.
- Mikuszewski J. (red.), 2010: Jaskinie Wyżyny Częstochowskiej, tom 3. PTPNoZ, Warszawa: 273 s.
- Podstawczyńska A., Charciarek T., 2002/2003: Wstępne wyniki badań nad warunkami termiczno-wilgotnościowymi wybranych jaskiń Ojcowskiego Parku Narodowego. *Prace i Materiały Muzeum im. Prof. Władysława Szafera*. *Prądnik*, 13: 33–50.
- Pulina M., 1960: Uwagi o mikroklimacie jaskini Zimnej na podstawie obserwacji przeprowadzonych w latach 1958–1961. *Speleologia*, 2: 2–4.
- Reboleira A., Broges P., Goncalves F., Serrano A., Oromi P., 2011: The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region – Portugal: an overview and its conservation. *International Journal of Speleology*, 40 (1): 23–37.
- Skalski A, Wójcik Z., 1968: Jaskinie rezerwatu Sokole Góry w okolicy Częstochowy. *Ochrona Przyrody PAN*, Kraków: 237–275.
- Skalski A. W., 1973: Materiały do znajomości bezkręgowców jaskiń Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. *Rocznik Muzeum Częstochowskiego*, 3: 161–200.
- Skalski A. W., 1981: Charakterystyka fauny podziemnej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. *Rocznik Muzeum Okręgowego w Częstochowie*, 5, *Przyroda*, 2: 51–60.
- Skalski A. W., 1994/1995: Obserwacje nad termiką jaskini Pod Sokolą w rezerwacie „Sokole Góry” w pobliżu Olsztyna k. Częstochowy. *Prace i Materiały Muzeum im. Prof. Wł. Szafera*. *Prądnik*, 9, *Ojcow*: 17–30.
- Szelerewicz M., Górny A., 1986: Jaskinie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. Wyd. PTTK Kraj, Warszawa-Kraków: 200 s.
- 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., 2009: Karst and caves of the Częstochowa Upland – morphology and the outline of speleogenesis. In: Stefaniak K., Tyc A., Socha P. (Eds): *Karst of the Częstochowa Upland and of the Eastern Sudetes: palaeoenvironments and protection*. *Studies of the Faculty of Earth Sciences*, 56. University of Silesia, Sosnowiec-Wrocław: 11–36.

Wpłynął do redakcji: 10 października 2016
Поступила в редакцию: 10 октября 2016
Received: 10 October 2016