

MIKROKLIMAT JASKINI RAJ W ŚWIETLE BADAŃ MONITORINGOWYCH W LATACH 1996-2005

Marek Józwiak

Józwiak M., Mikroklimat jaskini Raj w świetle badań monitoringowych w latach 1996-2005. (*Microclimate of the Raj cave of point of view monitoring research in the 1996-2005 year*). Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr. 7, s. 85-92, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: W pracy przedstawiono 10-letnie badania mikroklimatu jaskini Raj. Na podstawie szczegółowych badań temperatury, wilgotności powietrza, a od roku 1999 również ditlenku węgla, które przeprowadzono w jaskini w 10 punktach autor charakteryzuje warunki mikroklimatyczne występujące w jaskini. Wskazuje na modyfikujące znaczenie, dla mikroklimatu, ruchu turystycznego

Słowa kluczowe: mikroklimat, temperatura, wilgotność względna powietrza, ruch turystyczny

Marek Józwiak, Akademia Świętokrzyska, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, Stacja Monitoringu, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

1. Wprowadzenie

Jaskinia to naturalna próżnia skalna lub system takich próżni, częściowo zasklepiona i mająca wielkość dostępną dla człowieka (Jaroszewski i in.1985). Ze względu na genezę jaskiń dzieli się je na pierwotne – tworzące się jednocześnie ze skałą, w której występują oraz wtórne – powstające wskutek zachodzących procesów geologicznych. Zdecydowaną większość wśród ogółu jaskiń na świecie stanowią jaskinie krasowe należące do jaskiń wtórnych. Powstają one w wyniku rozpuszczania i wymywania skał, głównie węglanowych przez wody zawierające dwutlenek węgla. Jaskinie krasowe występują w różnych strefach szerokości geograficznej z wyjątkiem stref polarnych i subpolarnych. W Europie występują one powszechnie na Półwyspie Bałkańskim, w Czechach, Słowacji, Austrii, Włoszech, Francji. W Polsce jaskinie krasowe występują głównie na Jurze Wieluńsko-Częstochowskiej, w Tatrach Zachodnich, w Beskidach i Sudetach oraz w Górach Świętokrzyskich.

Odkrycia jaskiń przynoszą zwykle szereg problemów, które często stanowią podstawę inicjowania prac badawczych. Tematyka obejmuje szeroki zakres problemów z dziedziny nauk przyrodniczych. Spośród nich na czoło wysuwają się badania związane z poznaniem klimatu jaskiń. Specyfika warunków mikroklimatycznych w jaskini w znacznym stopniu wpływa na tworzenie się i bogactwo szaty naciekowej oraz na występowanie określonych gatunków roślin i zwierząt. Prowadzone badania dotyczą pomiarów temperatury powietrza, skał, osadów, wilgotności powietrza i jego cyrkulacji oraz właściwości fizycznych i chemicznych wód przenikających. Sporadycznie badany jest skład chemiczny powietrza (głównie CO₂ i O₂). Najczęściej są to pojedyncze pomiary bądź obserwacje obejmujące jeden z elementów prowadzone przy okazji eksploracji lub penetracji jaskiń. Znacznie rzadziej podejmowane są badania długoterminowe o charakterze ciągłym. Obecnie kompleksowe, długookresowe badania klimatyczne prowadzone są jedynie

w nielicznych stacjach podziemnych zorganizowanych w kilku jaskiniach na świecie (Siarzewski 1996).

W literaturze krajowej można znaleźć wielu autorów, którzy zajmowali się badaniami jaskiń występujących w Polsce. Dobrze opisane są jaskinie tatrzańskie (Kowalski 1965, Pulina 1962, 1968, Rudnicki 1976, Wrzosek 1933, Wójcik 1975), sudeckie (Kowalski 1965, Pulina 1970, 1975, Walczak 1958), beskidzkie (Ładygin 1972, Mikuszewski 1973), Wyżyny Wieluńskiej (Szymkiewicz 1975) oraz Gór Świętokrzyskich (Wołoszyn, Wójcik 1965, Gradziński, Wróblewski 1974, Rubinowski 1975, Urban 1996). Mimo licznych prac stan poznania natury jaskiń nadal jest niedostateczny. Zwłaszcza badania mikroklimatu w okresie narastania zainteresowania turystów zwiedzaniem udostępnionych jaskiń nabierają szczególnego znaczenia. Znane są bowiem problemy groty Lascaux (Francja) zwanej Kaplicą Sykstyńską Prehistorii, którą zamknięto w związku z wystąpieniem zmian środowiska zagrażające malowidłom naściennym. Aby umożliwić turystom oglądanie tego dziedzictwa geologicznego wybudowano jej replikę.

Jaskinie udostępnione dla ruchu turystycznego narażone są na zmianę parametrów kształtujących naturalny klimat w jaskini, takich jak: ruch cyrkulacyjny powietrza, temperaturę, wilgotność względna powietrza, zawartość CO₂ w powietrzu.

W Górach Świętokrzyskich spośród 140 jaskiń tylko jedna – jaskinia Raj, udostępniona jest dla ruchu turystycznego.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie aktualnego stanu mikroklimatu jaskini, określenia stopnia i tendencji jego zmian w porównaniu z okresami poprzednimi, oraz wykazanie, czy i w jakim stopniu zmiany te wywołane są przez ruch turystyczny.

2. Obiekt badań

Odkryta w 1964r. jaskinia Raj znajduje się w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich na północnym zboczu wzgórza Malik. Geologicznie należy do północnego skrzydła fałdowego elementu strukturalnego – synkliny bolechowickiej, w znacznej części zbudowanego z wapieni amfiporowych środkowego dewonu (Gradziński, Wróblewski 1974). Korytarze jaskini mają łącznie ok. 240 m długości i tworzą trzy ciągi o kierunku NW-SE. Naprzeciw wejścia głównego znajduje się ciąg główny jaskini o długości 58 m i szerokości średnio 4-6 m, miejscami roz-

szerzając się do 15 m. Ciąg ten składa się z Sali Wysokiej, Stalaktywowej i Kolumnowej. Każda z sal ma mniejsze boczne odgałęzienia. W południowej części Komory Wstępnej znajduje się przejście do Komory Złomisk – największej sali jaskini. Wysokość korytarzy i sal jaskini wynosi średnio od 1 m do 5 m. Kształt korytarzy ma w części północno-zachodniej charakter tunelowy, natomiast w części południowo-wschodniej korytarze przybierają charakter labiryntowy. Są one węższe, często o znacznej wysokości, mające wiele wspólnych połączeń. Ma to istotne znaczenie dla mikroklimatu jaskini, w sytuacji gdy jeden z trzech kominów w czasie prac udostępniających został poszerzony i przebity ku powierzchni jako szyb wentylacyjny.

Szata naciekowa jaskini charakteryzuje się bogactwem form stalaktytów, stalagmitów i kolumn, żeber, zasłon i draperii, pól, nacieków wełnistych, różnych rozmiarów mis naciekowych, nacieków grzybkowych, groniastych i inkrustacyjnych. Najliczniej występują one w Sali Stalaktywowej, gdzie zagęszczenie wynosi 100–200 sztuk na 1 m². Osobliwością jaskini są pizoidy – perły jaskiniowe stanowiące jeden z najrzadszych typów utworów naciekowych w skali światowej.

W latach 1965–1972 wykonano w jaskini szereg prac górniczych, których celem było przystosowanie obiektu dla potrzeb ruchu turystycznego. Dla zwiedzających jaskinia została udostępniona 10 czerwca 1972 roku (Rubinowski 1974).

3. Historia badań mikroklimatu w jaskini Raj

Obserwacje mikroklimatu jaskini Raj prowadzone były od momentu jej odkrycia. Pierwsze informacje dotyczące warunków panujących we wnętrzu jaskini pochodzą z badań M. Boczarowej. Określa ona jaskinię jako suchą i średnio przewietrzaną, ze średnią temperaturą +8°C i z niewielkim zawilgoceniem dna we wschodniej części jaskini.

W latach 1965–1972 T. Wróblewski (1974) przeprowadził pierwsze punktowe pomiary temperatury powietrza w jaskini. W okresie od XI 1965 do XI 1966 wykonane zostały ciągle pomiary temperatury i wilgotności powietrza rejestrowane przy użyciu aparatury samopiszącej. Badania te ograniczone zostały do Komory Wstępnej. Obserwacje wykazały statyczny mikroklimat jaskini. Wilgotności powietrza dały wartości zbliżone do stanu nasycenia (96,5–100%), natomiast temperatury wahały się w granicach od 5,5–

8°C. W 1967 r. podjęto prace związane z udostępnieniem jaskini dla ruchu turystycznego. Wykonanie sztolni, szybiku oraz chodników łączących poszczególne fragmenty jaskini spowodowały, że pierwotne statyczne warunki mikroklimatyczne, zostały przekształcone w dynamiczne. Efektem tych działań było obniżenie się temperatury w głównym ciągu jaskini, a nawet jej spadek w Komorze Wstępnej do -2°C. Postępujące wymrażanie jaskini zahamowano dzięki stworzeniu w sztolni wejściowej tamy powietrznej i zacementowaniu wylotu szybiku. W końcowym okresie badań zaobserwowano zmiany warunków mikroklimatycznych – wzrost temperatury, która przekroczyła maksimum wieloletnie (8°C), co wiązało się ze wzrostem liczby osób odwiedzających jaskinię (Wróblewski 1974). Badania nad termiką i wilgotnością powietrza w jaskiniach Gór Świętokrzyskich, w tym w jaskini Raj prowadził także B. Wołoszyn (1976).

Od 1996 roku w jaskini prowadzone są badania monitoringowe mające na celu poznanie mikroklimatu jaskini „Raj” w okresie funkcjonowania jaskini jako obiektu turystycznego oraz określenie wpływu ruchu turystycznego na ich zmianę (Józwiak 1997, 1998, 2002, Józwiak, Kozłowski 1999). Analiza wyników badań prowadzonych w latach 1965–1972 i 1996 pokazała, że w ciągu 25 lat temperatura powietrza uległa podwyższeniu o 1,7°C (Józwiak, Skrzypczak 1997). Największe wahania temperatury wystąpiły w Sztolni, Komorze Wstępnej i Komorze Złomisk. Najmniejsze zanotowano w punkcie najbardziej oddalonym od wejścia – Sali Stalaktytowej. Wilgotność względna powietrza panująca w jaskini największy spadek wykazała w maju, kiedy jaskinię odwiedziła największa liczba osób. Aktualnie pomiary są kontynuowane i dotyczą: temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz stężenia CO₂ w powietrzu .

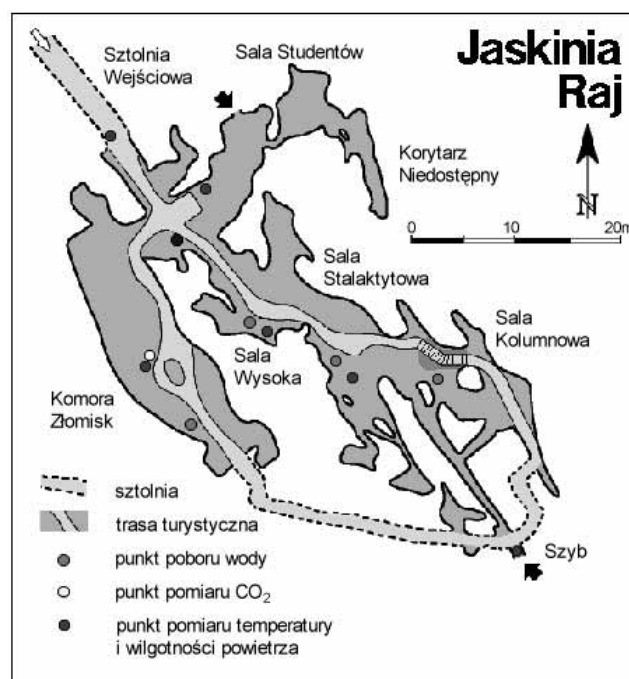
4. Zakres i metoda badań

W 1996 roku jaskinię Raj objęto badaniami w ramach monitoringu lokalnego. Było to możliwe dzięki współpracy z Przedsiębiorstwem Turystycznym „Łysogóry” w Kielcach oraz Wojewódzkim Konserwatorium Przyrody. Na przełomie roku 1995 i 1996 wykonano w jaskini montaż 10 czujników Vaisala do pomiaru głównych parametrów charakteryzujących mikroklimat tzn. temperatury i wilgotności. Są to bardzo czułe czujniki platynowe Pt 100 o bardzo niewielkim zakresie błędów, który dla temperatury wynosi

+/- 0,08°C, a dla wilgotności +/- 1%. Automatyczna rejestracja 10-minutowych notowań odbywała się w rejestratorze RC 12.

Czujniki zamontowano w sześciu punktach: Sztolni, Komorze Wstępnej, Komorze Złomisk, Sali Wysokiej, Sali Stalaktytowej i w Szybiku (ryc. 1). W Komorze Złomisk i Sali Wysokiej czujniki zlokalizowano na trzech wysokościach:

- 1 Komora Złomisk: 70 cm, 250 cm, 600 cm
- 2 Sala Wysoka: 30 cm, 300 cm, 600 cm



Ryc.1 Lokalizacja punktów pomiarowych w Jaskini Raj (szkic korytarzy w jaskini za T. Wróblewski 1974, zmienił)

Fig. 1 Location of the measurement points in Raj Cave (sketch of the corridors in cave after T. Wróblewski 1974, (changed))

Od 2001 roku prowadzone są pomiary ditlenku węgla (CO₂). Pomiary stężenia CO₂ w powietrzu w jaskini dokonywane są przy użyciu dwuprogowego detektora ditlenku węgla AirTech 2060 – B. Zakres pomiarowy detektora 0 – 20%vol., dokładność ustawienia: +/- 0,05% vol. Czujnik do pomiaru zawartości CO₂ w powietrzu zamontowano w Komorze Złomisk. Miejsce zamontowania czujnika wybrano po wykonaniu wyprzedzających badań powietrza na zawartość CO₂ w ośmiu punktach jaskini. Komora Złomisk charakteryzowała się największymi stężeniami tego gazu.

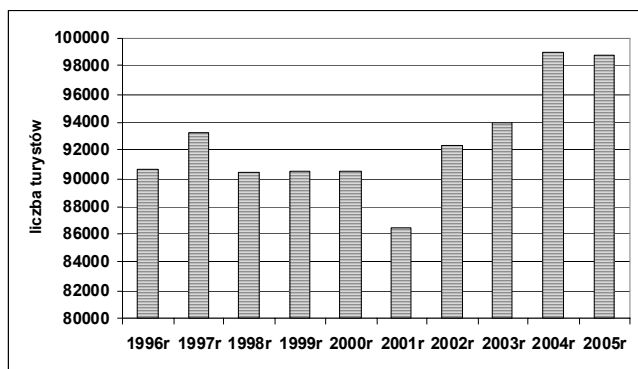
Natężenie ruchu turystycznego określono na podstawie ksiąg wejść do jaskini prowadzonych przez administrację.

5. Wyniki

5.1 Natężenie ruchu turystycznego

Zgodnie z postanowieniami regulaminu jaskini łączna ilość zwiedzających w roku nie może przekroczyć 100 000 osób, jednocześnie jednorazowo w jaskini mogą przebywać 45 turystów w trzech grupach.

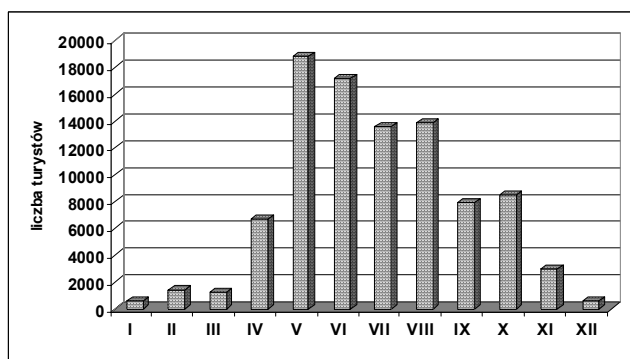
W latach 1996–2005 średnio zwiedziło jaskinię 92588 turystów. Najmniej zwiedzających było w roku 2001 (86496 osób), najwięcej w roku 2004 (98990 osób) i w roku 2005 (98757 osób) – ryc. 2.



Ryc. 2. Natężenie ruchu turystycznego w jaskini Raj w latach 1996-2005

Fig. 2. Traffic tourist intensity in Raj Cave in years 1996-2005

Miesiącami o największym natężeniu ruchu turystycznego są maj, czerwiec, lipiec i sierpień. W tym okresie jaskinię zwiedziło średnio 18 836 osób w maju, 17 212 osób w czerwcu, 13 596 osób w lipcu i 13 834 osób w sierpniu (ryc. 3).

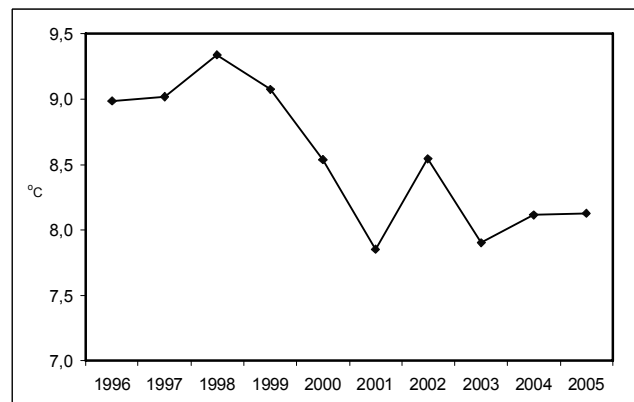


Ryc. 3. Średnie miesięczne natężenie ruchu turystycznego w jaskini Raj za lata 1996-2005

Fig. 3. Average monthly traffic tourist intensity in Raj Cave for years 1996-2005

5.2 Temperatura i wilgotność względna powietrza w jaskini

Średnioroczna z wielolecia 1996–2005 wartość temperatury powietrza w Jaskini Raj wyniosła 8,5°C. Jest to wartość o 0,5 wyższa od notowanej w okresie przed udostępnieniem jaskini dla ruchu turystycznego. Najniższą średnią roczną wartość temperatury powietrza w jaskini stwierdzono w 2001 roku (7,8°C), natomiast najwyższą w 1998 roku (9,3°C).



Ryc. 4. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w jaskini Raj w wieloleciu 1996-2005

Fig. 4. Average annually temperature value of air in Raj Cave in years' 1996-2005

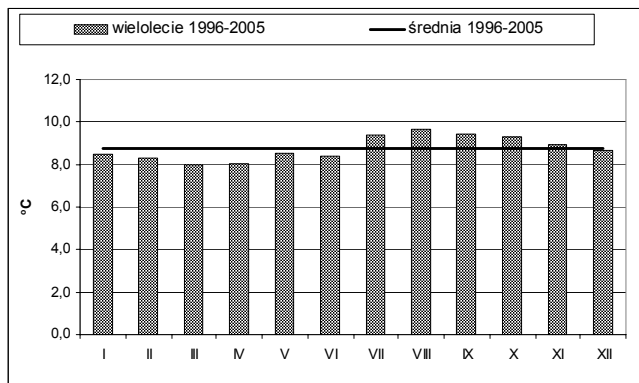
Uwagę zwraca tendencja spadkowa temperatury jaka zaznaczyła się od 1998 r. W tym roku nastąpiła zmiana oświetlenia szaty naciekowej w jaskini. Z 22 kWh dostarczanej energii do wnętrza jaskini zmniejszono do 1,5 kWh.

Tab. 1. Średnie roczne wartości temperatury w jaskini Raj w wieloleciu 1996–2005

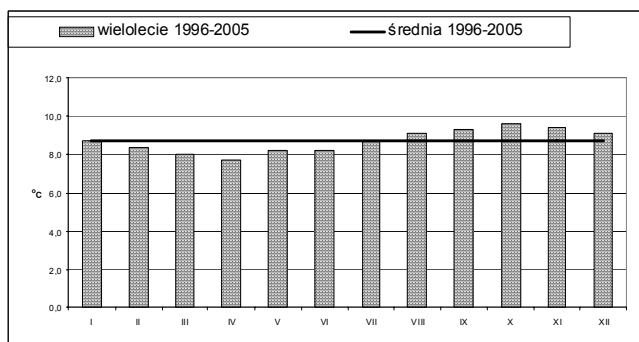
Tab. 1. Average annually temperature value in Raj cave in years' 1996–2005

Rok	Sztolnia	Komora Wstępna	Sala Wysoka	Sala Stalaktytowa	Komora Złomisk	Szybik
Year	Gallery	Entree Chamber	High Chamber	Stalactite Chamber	Brash Chamber	Shaft
1996	8,2	8,2	9,5	9,3	9,0	8,9
1997	8,1	8,5	9,2	9,4	9,1	8,9
1998	8,4	8,9	9,2	10,1	9,3	9,2
1999	8,4	9,2	9,1	8,9	9,3	8,9
2000	7,8	7,6	8,2	9,1	8,8	9,0
2001	8,1	7,3	6,9		8,3	8,9
2002	8,3	7,5	8,5		9,1	9,4
2003	7,5	7,4	7,5	8,5	8,0	8,0
2004	7,9	8,1	7,8	8,6	8,1	8,0
2005	7,8	8,0	7,7	8,5	8,1	8,4
1996–2005	8,05	8,07	8,36	9,05	8,71	8,76

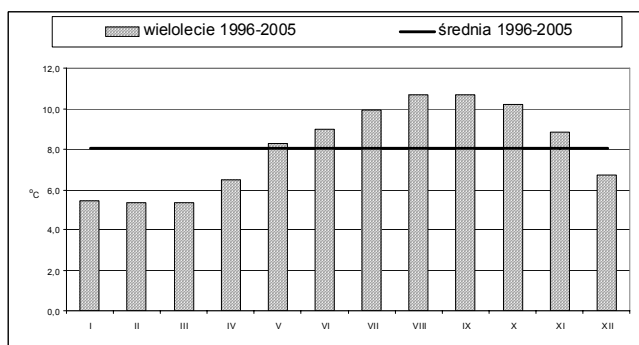
W poszczególnych punktach temperatura waha się od 8,05°C w Sztolni do 9,05°C w sali Stalaktytowej (tab.1). Najbardziej stabilną częścią jaskini jest Szybik i Komora Złomisk (ryc.5,6), natomiast największe wahania temperatury w ciągu roku notowane są w Sztolni i Komorze Wstępnej (ryc. 7,8). Są to obszary, w których jako pierwsi pojawiają się turyści.



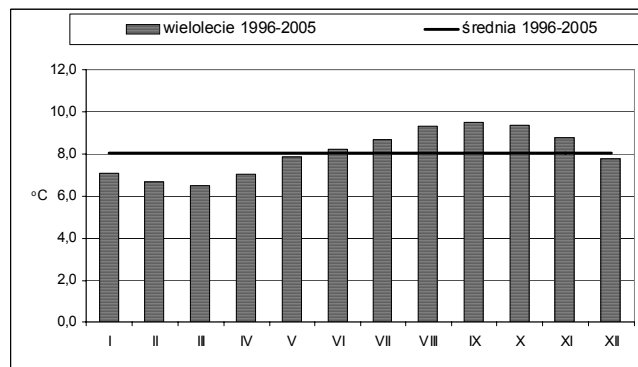
Ryc. 5. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Szybiku za okres 1996-2005
 Ryc. 5. Average monthly temperature value of air in Shaft from period 1996-2005



Ryc. 6. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Komorze Złomisk za okres 1996-2005
 Ryc. 6. Average monthly temperature value of air in Brash Chamber from period 1996-2005

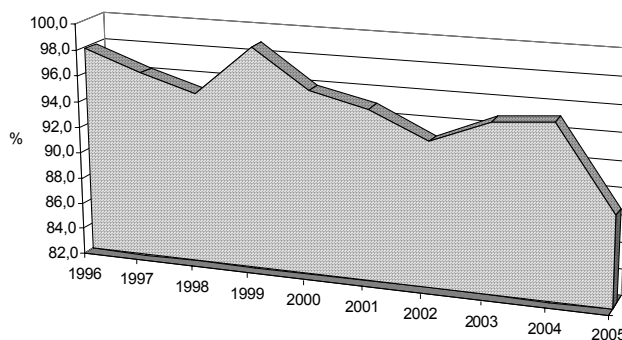


Ryc. 7. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Sztolni za okres 1996-2005
 Ryc. 7. Average monthly temperature value of air in Gallery from period 1996-2005



Ryc. 8. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Komorze Wstępnej za okres 1996-2005
 Ryc. 8. Average monthly temperature value of air in Entree from period 1996-2005

Średnia wilgotność względna powietrza w jaskini w wieloleciu 1996-2005 wynosiła 95,1% , wykazując zróżnicowanie w poszczególnych latach. Najwyższą średnią roczną wilgotność względną powietrza w jaskini stwierdzono w latach 1999 – 98,9% i 1996 – 97,8%, najniższą w 2005 roku – 88,9% i w 2002 r. – 93,0% (ryc. 9).

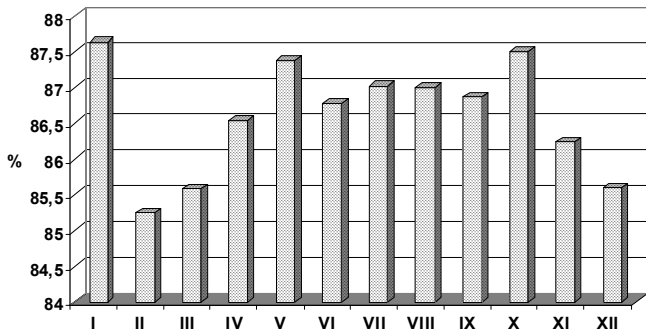


Ryc. 9. Średnia roczna wilgotność względna powietrza w jaskini Raj w wieloleciu 1996-2005
 Ryc. 9. Average annually a relative humidity of air in Raj cave in years' 1996-2005

W poszczególnych miesiącach średnia wilgotność względna powietrza wahała się od 85,25% w lutym do 87,3% w styczniu. Najniższe średnie miesięczne wartości zanotowano w lutym, marcu i grudniu (ryc.10).

Rozkład wilgotności względnej powietrza w jaskini, podobnie jak temperatura, wykazuje zróżnicowanie w poszczególnych punktach. Najwyższe średnie wartości wilgotności za wielolecie 1996-2005 zanotowano w Szybiku – 97,4%, z wahaniami od 96,4% we wrześniu do 98,7% w lipcu oraz w Komorze Wstępnej – 95,0%, z wahaniami od 92,2% w czerwcu do 96,0%

w styczniu i lutym, najniższe Sztolni – 90,0%, z wahaniami od 87,6% w marcu do 91,6% we wrześniu i w Sali Stalaktytowej – 92,7%, z wahaniami od 90,5% w marcu do 91,9% we wrześniu.

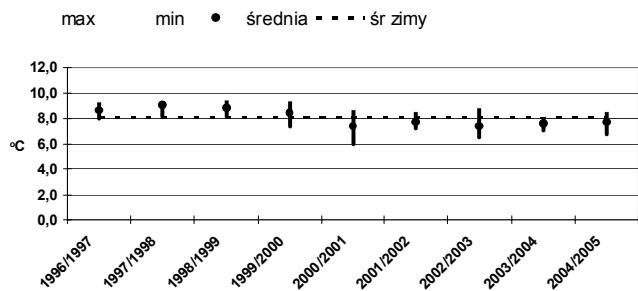


Ryc. 10. Średnia miesięczna wilgotność względna powietrza w jaskini za lata 1996-2005

Ryc. 10. Average monthly a relative humidity of air in cave from years 1996-2005

5.3 Zmiany temperatury i wilgotności w jaskini w okresie od listopada do lutego

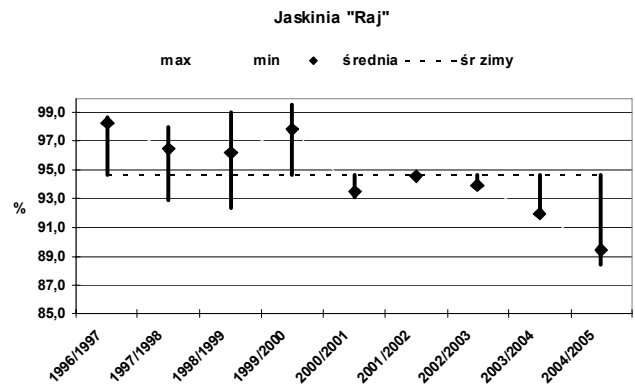
W związku z zamykaniem jaskini Raj dla ruchu turystycznego w miesiącach listopad – luty dokonano analizy dynamiki temperatury i wilgotności względnej powietrza w jaskini Raj w tym okresie. Średnia temperatura powietrza za lata 1996-2005 wahała się od 8,6°C do 7,4°C. Należy zaznaczyć, że od przełomu roku 2000/2001 średnia temperatura miesięcy XI-II spadła poniżej 8,0°C i utrzymuje się do obecnie.



Ryc. 11 Średnie miesięczne temperatury w jaskini Raj w okresie od XI do II za lata 1996-2005

Ryc. 11 Average monthly temperature value in Raj Cave in period from XI to II in years 1996-2005

W tym okresie średnia wilgotność względna powietrza wahała się od 89,4% do 98,3%. Najwyraźniej, bo poniżej 90,0% wilgotność spadła w roku 2004/2005.



Ryc. 12. Średnie miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza w jaskini Raj w miesiącach XI - II za lata 1996-2005

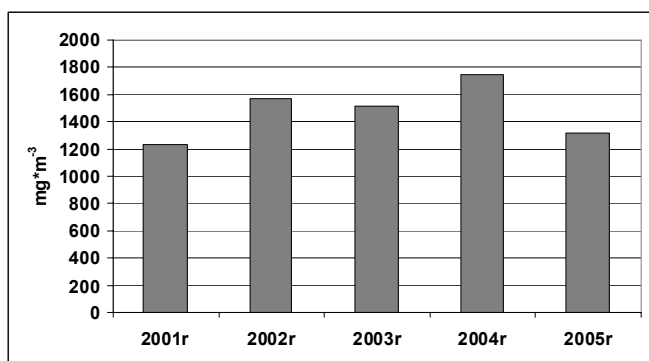
Ryc. 12. Averages monthly a relatives humidity of air in Raj Cave in period from XI to II in years 1996-2005

5.4 Stężenie CO₂ w jaskini

Stężenie CO₂ w powietrzu jaskiń jest na ogół kilkakrotnie wyższe niż w wolnej atmosferze. Największe wartości występują w górnej części strefy wadycznej (w strefie epikrasowej), tuż pod pokrywą gębową. O wielkości stężenia CO₂ decyduje zarówno odległość jaskini od źródła zasilania jak i warunki mikroklimatyczne. Przede wszystkim ruch powietrza, szybkość kontaktu z atmosferą zewnętrzną, temperatura oraz wilgotność względna powietrza. Najwyższe stężenia CO₂ występują w strefie mikroklimatu statycznego, w szczególności tam, gdzie następuje transport CO₂ poprzez perkolującą wodę ze szczelin bliskich źródeł produkcji CO₂ (Pulina 1999).

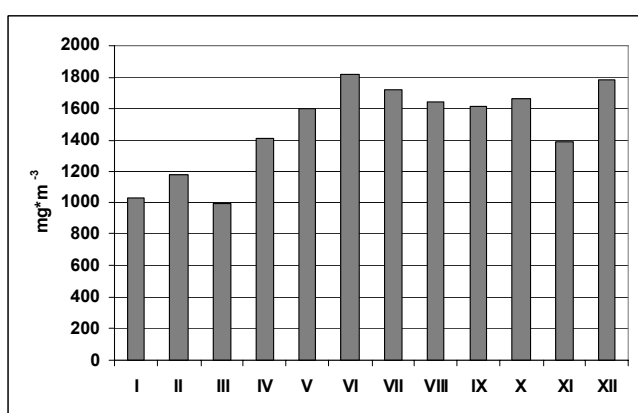
Na podstawie pięcioletnich badań stwierdzono, że średnie stężenie CO₂ w jaskini wynosi 1478,11 mg·m⁻³, co jest wartością niższą o 481,89 mg·m⁻³ od górnej granicy świeżego powietrza przyjętej przez World Health Organisation (ryc. 13)

Stężenie dwutlenku węgla w jaskini Raj wykazuje duże zróżnicowanie zarówno sezonowe jak i miesięczne. Najwyższe wartości CO₂ notowano wiosną i latem oraz w grudniu. Największe średnie miesięczne stężenie CO₂ stwierdzono w miesiącu czerwcu – 1813,31 mg·m⁻³, najniższe w marcu 999,97 mg·m⁻³ (ryc. 14). W żadnym z miesięcy nie została przekroczona norma dopuszczalna dla świeżego powietrza wg WHO wynosząca 1960 mg·m⁻³.



Ryc. 13. Średnie roczne stężenie CO₂ w powietrzu w jaskini Raj w wieloleciu 2001-2005

Ryc. 13. Average annual concentration CO₂ of air in Raj cave in years' 1996-2005



Ryc. 14. Średnie miesięczne stężenie CO₂ w powietrzu w jaskini Raj w wieloleciu 2001-2005

Ryc. 14. Average monthly concentration CO₂ of air in Raj cave in years' 2001-2005

6. Zakończenie

Warunki mikroklimatyczne jaskini są jednym z podstawowych czynników wpływających na charakter i natężenie zachodzących tam współczesnych procesów morfologicznych. Zmiany tych warunków niejednokrotnie prowadzą do nieodwracalnych zaburzeń w budowie szaty naciekowej i innych form morfologicznych w jaskiniach.

Obok naturalnych zjawisk, które mają bezpośredni wpływ na mikroklimat jaskini Raj udostępnienie jej do turystycznego wykorzystania generuje pewną dynamikę mikroklimatu i wpływa na życie organiczne wewnątrz jaskini. Najważniejsze z nich to natężenie ruchu turystycznego. Wraz ze wzrostem ilości turystów wzrasta temperatura, wykazując największe wahania w Sztolni i Komorze Wstępnej - punktach pierwszego kontaktu turystów z jaskinią. W miarę oddalania się od wejścia temperatura się stabilizuje.

Dynamika temperatury w jaskini zależy także od temperatury powietrza w jej otoczeniu. W okresie letnim wzrasta i jest mniej stabilna, w okresie zimowym wykazuje mniejsze wahania. Świadczy to o słabym stopniu izolacji jaskini.

Rozkład wilgotności względnej powietrza w jaskini, podobnie jak temperatura, wykazuje zróżnicowanie w poszczególnych punktach, natomiast stężenie CO₂ w powietrzu jaskini jest na ogół kilkakrotnie wyższe niż w wolnej atmosferze. Mimo tych negatywnych zjawisk jakie obserwowane są w jaskini Raj, a związane z szeroko pojętym wykorzystaniem turystycznym (infrastruktura, prace udostępniające, ekspozycja szaty naciekowej, ruch turystyczny) jedną z bardziej skutecznych metod ochrony tego dziedzictwa geologicznego przed degradacją antropogeniczną jest jej kontrolowane turystyczne udostępnienie. Nadmierna, niekontrolowana penetracja jaskini, po jej eksploracji w 1964 roku, spowodowała znaczne uszkodzenia szaty naciekowej, głównie stalaktytów. Obecnie jaskinia jest zamknięta i dozorowana przez jednostkę zarządzającą. Zniszczenia szaty naciekowej sięgające w części stropowej jaskini 11%, a na spągu 7,7% były spowodowane, poza „dziką” penetracją, pracami udostępniającymi prowadzonymi w latach 1965–1972.

Oczywiście użytkowanie jaskini Raj musi być całkowicie podporządkowane naczelnej zasadzie wynikającej ze statusu ochrony rezerwatowej. Zakłada ono, że turystyczne wykorzystanie tego obiektu nie może odbywać się kosztem zubażania naturalnych, przyrodniczych wartości rezerwatu. Jaskinia może być użytkowana tylko zgodnie z ograniczeniami ustanowionymi w rozporządzeniu Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z 1968 roku o utworzeniu rezerwatu przyrody – jaskinia Raj. Występujące zmiany mikroklimatu są minimalizowane poprzez dostosowanie sposobu udostępniania do wyników monitoringu prowadzonego przez Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska i Stację Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej im. Jana Kochanowskiego w Kielcach.

7. Literatura

Gradziński R., Wróblewski T., 1974: *Geologiczne warunki powstania jaskini Raj i utworzenia jej szaty naciekowej*, [W:] Rubinowski Z. (red.) *Badania i udostępnienie jaskini Raj*, KTN Kielce, :41-58

- Jaroszewski W., Marks L., Radomski A., 1985:** *Słownik geologii dynamicznej*, Wyd.Geolog., Warszawa
- Jóźwiak M., 1997:** *Mikroklimat jaskini Raj w świetle badań przeprowadzonych w 1996 roku*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 43, :29-34
- Jóźwiak M. 1998:** *Zmiany temperatury w jaskini Raj (Góry Świętokrzyskie) w świetle badań monitoringowych*. Mat. Ogólnopolskiej konferencji pt."Przemiany środowiska geograficznego obszarów górskich w Polsce i jego stan współczesny" IG WSP Kielce :55-57
- Jóźwiak M., 2002:** *Dynamika zmian temperatury powietrza w jaskini Raj (Góry Świętokrzyskie) w latach 1996-2001*. Mat. 36 Sympozjum Speleologicznego Pińczów 25-27.10.2002, :44-45
- Jóźwiak M., Skrzypczak A., 1997:** *Zmiany mikroklimatu jaskini Raj w latach 1972-1996*, Mat. 46 Zjazdu PT-Geogr., :72-73
- Jóźwiak M., Kozłowski R., 1999:** *Organizacja Stacji Geoekologicznej Góra Malik i wstępne wyniki badań podsystemu jaskini Raj*, Mat. sesji terenowej XVIII Sympozjum Sekcji Fykologicznej PTB, :3-19
- Kowalski K., 1965:** *Jaskinie Polskie*, Przyroda Polska, Warszawa
- Ladygin Z., 1972:** *Nowe jaskinie w Beskidzie Śląskim*, Wierchy, 40, Kraków
- Mikuszewski J., 1973/74:** *Nowa jaskinia w Beskidzie Żywieckim*, Wierchy, 42, Kraków
- Pulina M., 1962:** *Jaskinia Śnieżna w Tatrach*, Czas.Geogr., 34, :475
- Pulina M., 1968:** *Termika wzducha w pieśczerach polskich Tatr*, Actes du IV Congres International de Spéléologie en Yugoslavie, III, Lubliana
- Pulina M., 1970:** *Wstępne wyniki badań nad środowiskiem geograficznym Jaskini Niedźwiedziej*, Acta Univ. Vrat, Wrocław, 127, :5-37
- Pulina M., 1975:** *Zjawiska krasowe w Sudetach Polskich*, Dok. Geogr. Wrocław
- Rubinowski Z. (red.) 1974:** *Badania i udostępnienie jaskini Raj*, KTN Kielce
- Rubinowski Z., 1975:** *Obszary krasowe i jaskinie w Górach Świętokrzyskich i w Niece Nidziańskiej*, Crońmy Przyrodę Ojczystą 5, :18-31
- Rudnicki J., 1967:** *Geneza i wiek jaskiń Tatr Zachodnich*, Acta Geologica Polonica, 17, :521-591
- Siarzewski W., 1996:** *Warunki klimatyczne jaskiń tatrzańskich*. W: M. Grodzicki (red.) *Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego*, 6
- Szynkiewicz A., 1975:** *Ochrona jaskini okolic Działoszyna*, Chrońmy Przyrodę Ojczystą, 5, :32-40
- Urban J. 1996:** *Jaskinie regionu świętokrzyskiego*. Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi. Warszawa.
- Walczak W., 1958:** *Krasowe jaskinie Sudetów Kłodzkich*, Czas. Geogr. XXIX Wrocław
- Wołoszyn B. W., 1976:** *Wyniki badań nad termiką i wilgotnością powietrza w jaskiniach Gór Świętokrzyskich*, Roczn. Świętok. KTN Kielce 5, :105-150
- Wróblewski T., 1974:** *Mikroklimat jaskini Raj*, [W:] Rubinowski Z. (red.) *Badania i udostępnienie jaskini Raj*, KTN Kielce, :41-58
- Wrzosek A., 1933:** *Z badań nad zjawiskami krasowymi Tatr Polskich*, Wiad. Służ.Geol., 7, :235-273
- Wójcik Z., 1975:** *Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Chrońmy Przyrodę Ojczystą, 5, :49-53

MICROCLIMATE OF THE RAJ CAVE OF THE POINT OF VEWS MONITORING RESEARCH IN THE 1996–2005 YEARS

Summary