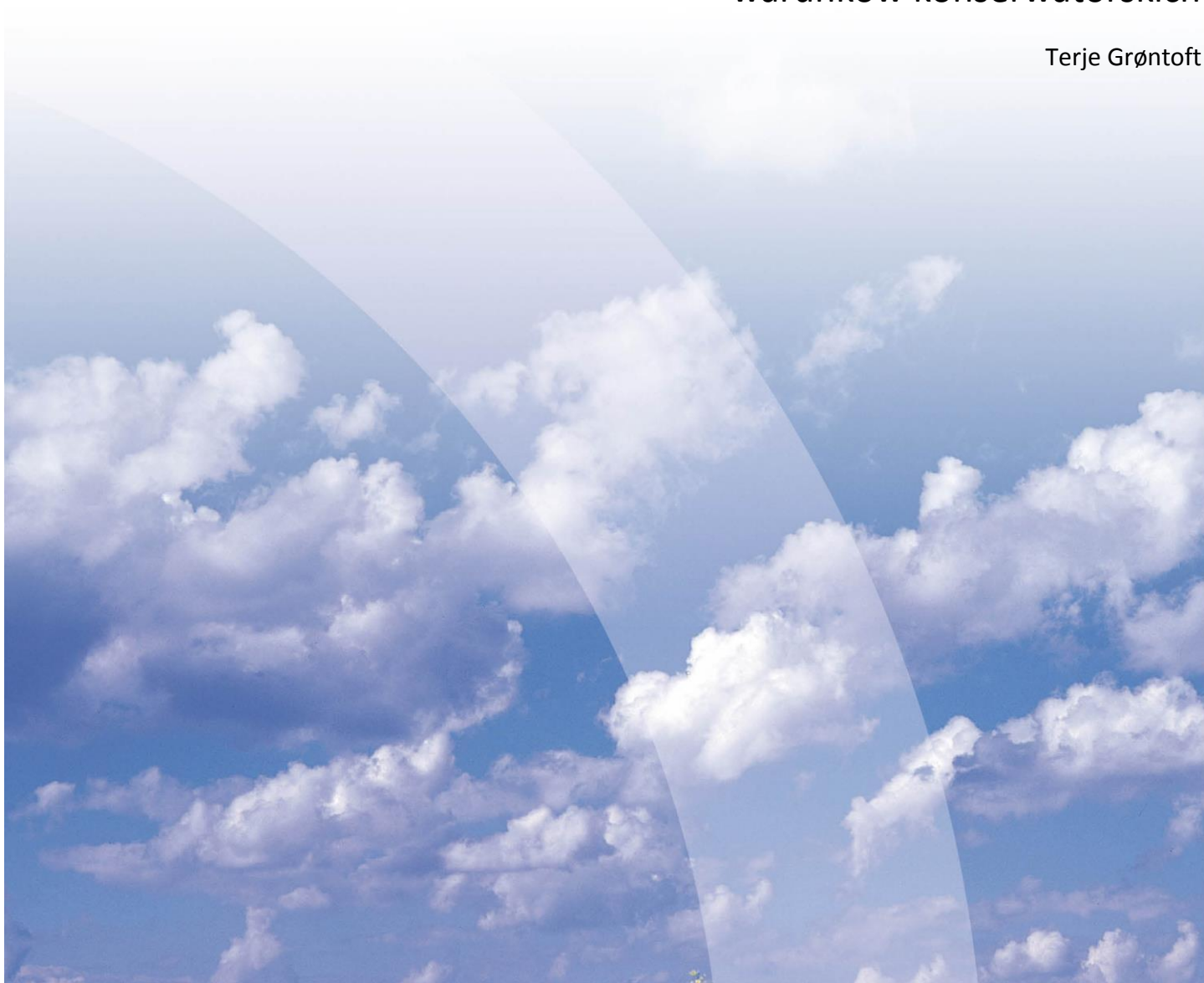

Zachować dziedzictwo Smoczej Jamy na Wawelu

Pomiar jakości powietrza i ocena
warunków konserwatorskich

Terje Grøntoft



Wstęp

Projekt zatytułowany „Zachować dziedzictwo Smoczej Jamy na Wawelu” został zrealizowany w ramach programu „konserwacja i rewitalizacja dziedzictwa kulturowego” współfinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 i Norweskiego Mechanizmu Finansowego. Projekt realizowany był w okresie od 01.05.2014 do 30.10.2015 przez Zamek Królewski na Wawelu – Państwowe Zbiory Sztuki z siedzibą w Krakowie.

Partnerem projektu jest Norweski Instytut Badań Powietrza - NILU. Prace prowadzone przez NILU polegały na pomiarach jakości powietrza w wybranych punktach wewnątrz Smoczej Jamy (tj. jaskini smoka) oraz w przylegających do niej przestrzeniach podziemnych, a także na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego. Celem tych prac była ocena jakości powietrza i wpływu jakości powietrza na właściwości dóbr stanowiących dziedzictwo kulturowe.

Spis treści

	Str.
Wstęp	3
Streszczenie	7
1 Wprowadzenie	9
2 Metody i miejsca pomiarów	11
3 Wyniki badań.....	17
3.1 Pomiary punktowe właściwości klimatycznych (wilgotność względna i temperatura) i właściwości światła (Luks i UV)	17
3.2 Warunki klimatyczne	19
3.3 Stężenie zanieczyszczeń gazowych	27
3.4 Dozymetry MEMORI	32
3.5 Pomiary stężenia pyłu i cząstek stałych	36
3.5.1 Depozycja pyłu w szalkach Petriego znajdujących się wewnątrz badanego obiektu	36
3.5.2 Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w szalkach Petriego znajdujących się wewnątrz badanego obiektu	39
3.5.3 pH w opadającym aerozolu na zewnątrz badanego obiektu 47	47
3.5.4 Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu opadającym na zewnątrz badanego obiektu	47
4 Standardy środowiskowe	53
5 Omówienie.....	58
6 Wnioski.....	66
7 Materiały źródłowe	67

Streszczenie

Pomiary właściwości światła (Luks i UV), właściwości klimatycznych (wilgotność względna i poziom temperatury) oraz stopnia zanieczyszczenia powietrza (gazy i cząstki stałe) były prowadzone przez okres jednego roku, od lipca 2014, na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego oraz wewnątrz Rezerwatu i Smoczej Jamy (tzw. jaskini smoka), w podziemnej części Wzgórza Wawelskiego. Do realizacji pomiarów wykorzystano z elektronicznych mierników natężenia światła i właściwości klimatycznych, a także z próbników pasywnych i dozometrów.

Wyniki badań dowodzą, że zarówno Rezerwat, jak i Smocza Jama to miejsca naturalnie ciemne, a oświetlenie sztuczne rozświetla jaskinię jedynie w ciągu godzin zwiedzania w porze letniej; źródła światła sztucznego znajdują się blisko lamp, a niewielka ilość światła dziennego dostaje się do tego miejsca w okolicy wejścia. Rezerwat i Smocza Jama stanowią miejsca bardzo wilgotne. W okresie letnim, od ok. połowy kwietnia do końca października, poziom wilgotności względnej (RH) wynosi zazwyczaj 100%, a skroplona para osadza się na ścianach jaskini. Przez pozostałą część roku, poziom RH w jaskini (a w przypadku Rezerwatu - przez cały rok) utrzymuje się w granicach 80% - 95%, przy dość gwałtownych wahaniami tych wartości. Zauważa się wzrost poziomu RH od strony wejścia w kierunku wyjścia jaskini. Zawartość dwutlenku siarki (SO₂) na w powietrzu na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego jest nieco wyższe niż w przypadku większości zurbanizowanych obszarów Europy. Poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz jaskini jest dość niski, ale stężenie SO₂ jest dość wysokie. Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu maleje od części zewnętrznej w kierunku Rezerwatu, a potem od wejścia - poprzez jaskinię - po wyjście, co sugeruje, że przepływ powietrza przebiega od wejścia do wyjścia. Wewnątrz jaskini, depozycja jonów rozpuszczalnych w wodzie stanowiła ok. 10% depozycji badanej na zewnątrz obiektu, ale całkowita depozycja cząstek może być znacznie wyższa. Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono w depozycji cząstek w Rezerwacie, to: wodorowęglan wapnia (Ca(HCO₃)₂), siarczan wapnia (CaSO₄) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono w depozycji cząstek wewnątrz Smoczej Jamy, to: sole wapnia - siarczan wapnia i azotan wapnia (CaSO₄/CaNO₃), wodorowęglan potasu (KHCO₃) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono w depozycji cząstek na zewnątrz obiektu, na Wzgórzu Wawelskim, to: chlorek wapnia, chlorek sodu i chlorek amonu (CaCl, NaCl, NH₄Cl), siarczan wapnia (CaSO₄) i prawdopodobnie wodorowęglan wapnia (Ca(HCO₃)₂)

Natężenie światła (widzialnego i UV) w jaskini jest na ogół poniżej poziomu mogącego stwarzać zagrożenie nawet dla wyjątkowo delikatnych materiałów. Im bliżej włączonych lamp lub wyjścia, w odległości kilku metrów lub mniejszej, oddziaływanie światła staje się stopniowo silniejsze i wyższe niż dopuszczalne wartości graniczne.

Wysoki poziom wilgoci w jaskini i w Rezerwacie może mieć szkodliwy wpływ na materiały znajdujące się w obiektach, głównie z uwagi na możliwość wystąpienia pleśni, gnicia, aktywności alg czy bakterii, itp., korozji chemicznej i odkształceń, także w związku z wahaniami poziomu RH i zmianami rozmiarów. W przypadku jaskini, która sama w sobie jest miejscem wilgotnym, a jej wnętrza bywają często

i wilgotne, i mokre, rozsądnym jest założyć, że SO₂ tam obecny może mieć znaczny niszczący wpływ na wszelkie materiały delikatne. Zastosowany w badaniu czuły dozometr (MEMORI-1) wskazuje, że lokalne warunki klimatyczne są „niebezpieczne” dla przechowywanych dóbr kultury.

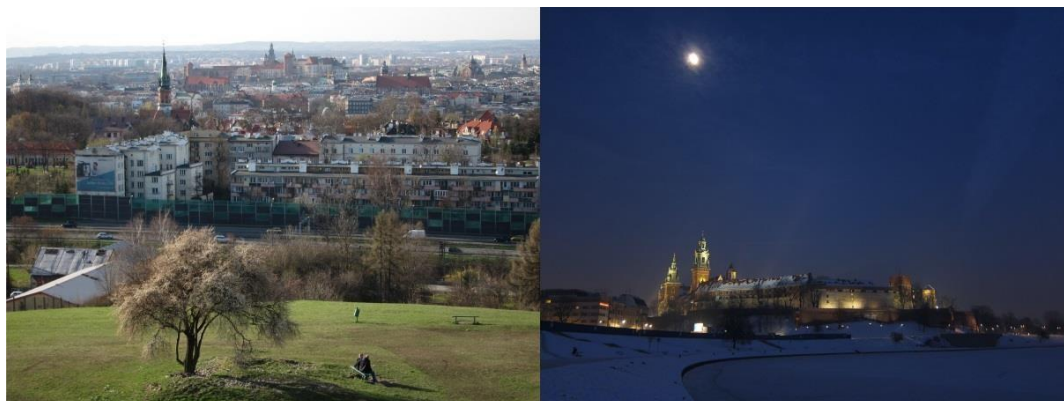
Depozycja cząsteczek stałych na różnych powierzchniach wewnątrz Rezerwatu i jaskini może być wysoka; co więcej, istnieje ryzyko, że cząsteczki te moguszkadzać co bardziej wrażliwe powierzchnie w efekcie osiadania na tych powierzchniach czy też w efekcie reakcji z jonami rozpuszczalnymi w wodzie, zwłaszcza z siarczanami (SO₄) i chlorkami (Cl) w warunkach wysokiej wilgotności.

Zachować dziedzictwo Smoczej Jamy na Wawelu

Pomiar jakości powietrza i ocena warunków konserwatorskich

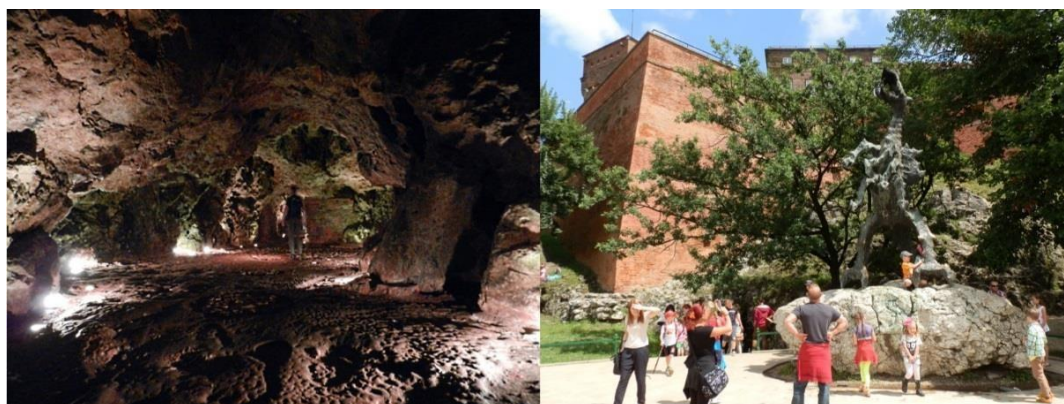
1 Wprowadzenie

Zamek Królewski na Wawelu mieści się na Wzgórzu Wawelskim w Krakowie, w południowej Polsce. Wzgórze Wawelskie (Rys. 1) to dominujący element panoramy Krakowa, wznoszący się ok. 228 m n.p.m. na brzegu Wisły. Jest to wapienna skała jurajska, która uformowała się ok. 150 milionów lat temu. Najstarsze ślady lokalnego osadnictwa sięgają epoki paleolitu, natomiast pierwsze plemiona Słowian pojawiły się tu w VII wieku n.e. Zarówno samo Wzgórze Wawelskie, jak i obecne tu elementy architektoniczne mają szczególne znaczenie dla historii Polski. Główne budynki wznoszące się na wzgórzu to renesansowy pałac i kamienna katedra (Strona internetowa Zamku Królewskiego na Wawelu, 2015).



Rys. 1: Wzgórze Wawelskie w Krakowie - widok z dala, ze strony południowo-wschodniej (po lewej) i z nieco bliższa, ze strony zachodniej (po prawej)

W zachodniej części wzgórza znajduje się naturalna jaskinia zwana „Smoczą Jamą” lub „Jaskinią smoka” (Rys. 2 i Rys. 3). Odgrywa ona bardzo ważną rolę mitologiczną. Jaskinia zaliczana jest do dziedzictwa zarówno naturalnego, jak i kulturowego; jest ona też jednym z najważniejszych i najbardziej charakterystycznych elementów Wzgórza Wawelskiego.



Rys. 2: Smocza Jama - widok od środka (po lewej) i z zewnątrz, od strony wyjścia (po prawej)

2 Metody i miejsca pomiarów

Smocza Jama to naturalna jaskinia, przez którą prowadzi specjalny szlak dla zwiedzających. Aby zwiedzić jaskinię, należy udać się do baszty na Wzgórzu Wawelskim i zejść 25 metrów włąb jaskini po schodach układających się w wąską spiralę; podziemna trasa liczy sobie ~160 metrów długości i pnie się stopniowo - 4 metry - w górę w kierunku wyjścia. Najniżej położona część trasy mieści się na wysokości 201 m n.p.m., część centralna - 203 m n.p.m., a wyjście - na poziomie 205 m n.p.m. Trasa została dostosowana do potrzeb zwiedzających; na krytycznych odcinkach zainstalowano schody i liny jako rozwiązania zabezpieczające i ułatwiające przejście trasy. W niektórych miejscach ustawiono drewniane i żelazne słupy, które funkcjonują jako wsporniki dla skalnych ścian i stropu jaskini. W trakcie realizacji pomiarów w jaskini nie znajdowały się żadne dodatkowe zabytki ruchome. Rezerwat to duże pomieszczenie o charakterze antropogenicznym, otoczone kamiennymi ścianami nad jaskinią, znajdujące się pod tarasem głównym, po zachodniej stronie Wzgórza Wawelskiego (Rys. 3).

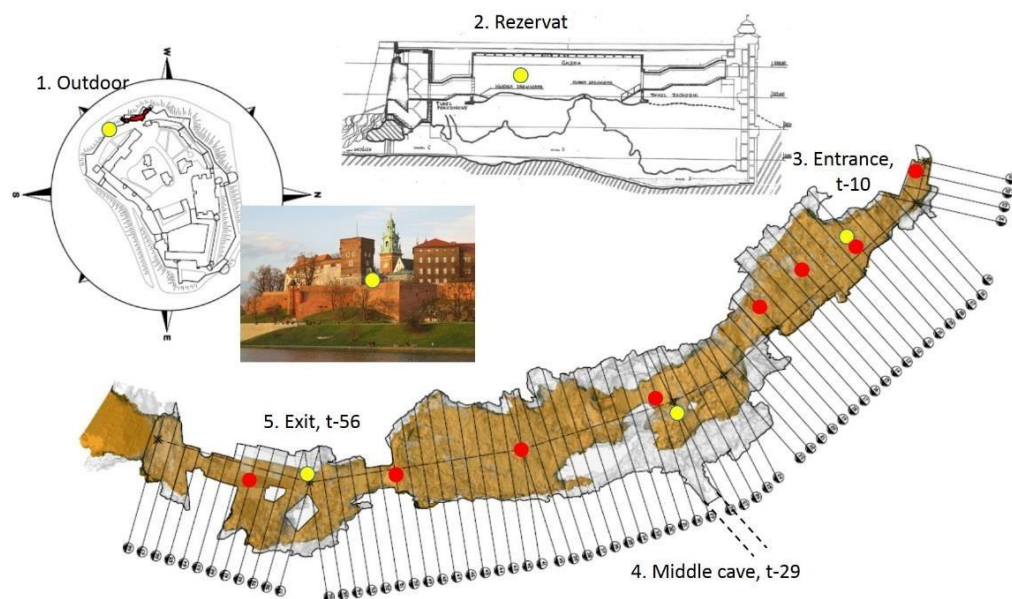
W czasie trwania projektu badawczego, oświetlenie w Smoczej Jamie włączano według niżej przedstawionego schematu. Światło włącza się, kiedy do Smoczej Jamy przybywają zwiedzający. Godziny zwiedzania są następujące:

1kwietnia – 30kwietnia:	10:00 - 17:00
1maja - 30czerwca:	10:00 - 18:00
1lipca – 31sierpnia:	10:00 - 19:00
1września – 31października:	10:00 - 17:00
1listopada – 31marca:	Nieczynne. Światło wyłączone.

Daje to w sumie 1683 godzin oświetlenia w ciągu roku, co stanowi 19% całkowitej liczby godzin w roku (8760 godzin).

Jakość powietrza (temperatura, wilgotność względna, zawartość zanieczyszczeń) i oraz warunki oświetleniowe (Luks i UV) były badane w Smoczej Jamie przyległym do niej Rezerwacie, mieszczącym się tuż nad jaskinią, a także na zewnątrz jaskini u podnóża Wzgórza Wawelskiego; celem przeprowadzonych pomiarów było scharakteryzowanie warunków konserwatorskich pod kątem ich wpływu na przechowywane lokalnie dobra kultury.

Pierwszego dnia realizacji pomiarów, tj. 9 lipca 2014 roku, między godziną 15:00 a 16:00, przeprowadzono punktowe pomiary wilgotności względnej, poziomu temperatury i warunków oświetlenia (Luks i UV) w ośmiu miejscach zlokalizowanych w określonych transektach, rozmieszczonych w mniej więcej odstępach wzdłuż głównego ciągu jaskini od wejścia do wyjścia (Rys. 3). Pomiary dla poziomu wilgotności, temperatury i światła (Luks) zostały przeprowadzone dwa razy w prawie wszystkich punktach w czasie przejścia powrotnego przez ciąg jaskini.

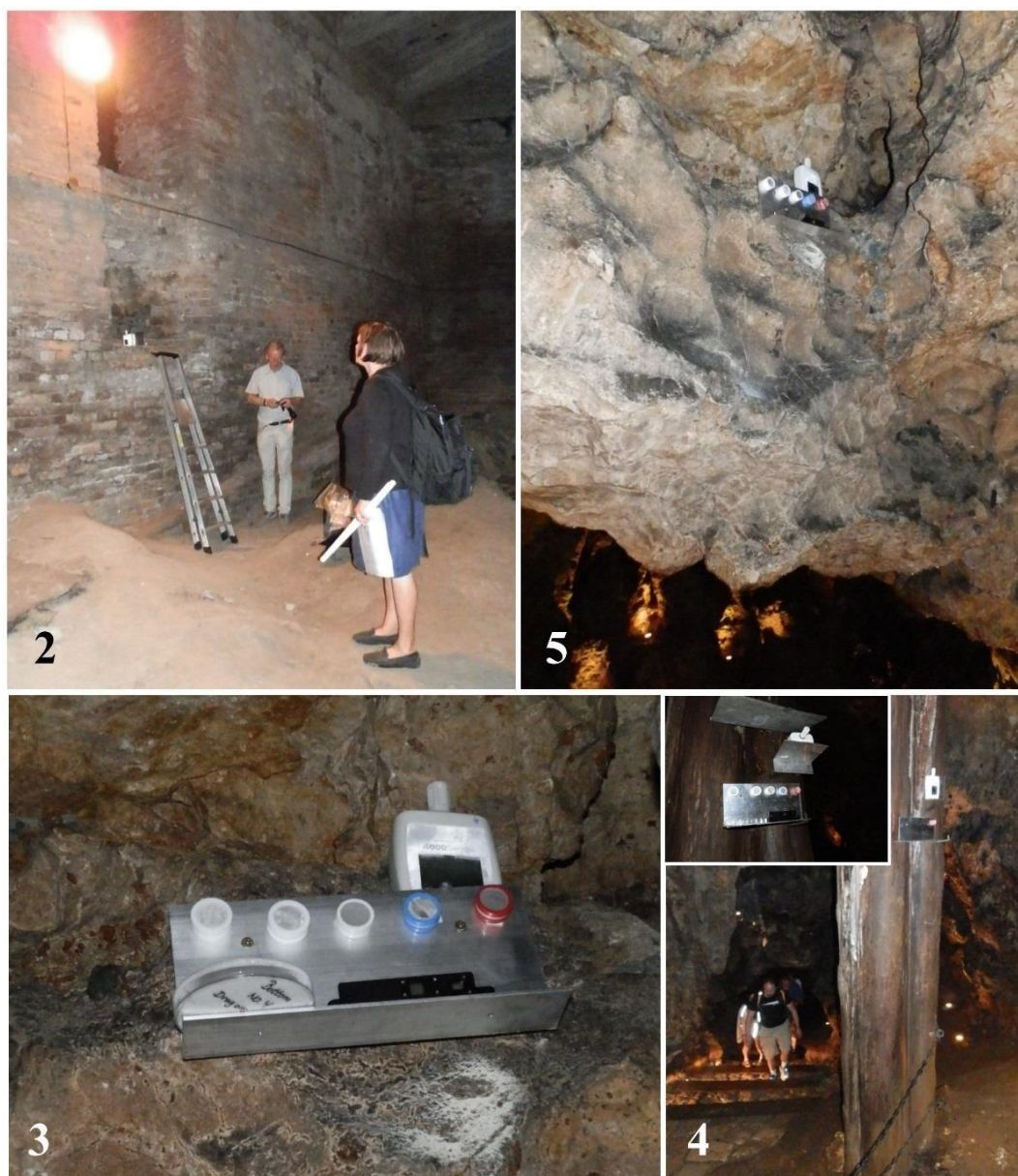


Rys. 3: Punkty pomiarowe wewnątrz Smoczej Jamy, w przyległym „pomieszczeniu” nad jaskinią, w „Rezerwacie”, a także na zewnątrz jaskini, u podnóża Wzgórza Wawelskiego. Czerwone kropki oznaczają osiem punktów, w których przeprowadzono pomiary wewnątrz jaskini pierwszego dnia badań (tj. 9^{tego} lipca 2014 roku). Żółte kropki oznaczają pięć miejsc, w których pomiary prowadzono przez cały rok od daty początkowej projektu. Jaskinia oznaczona jest ciemnym wyróżnieniem w północno-zachodniej części Wzgórza Wawelskiego - u góry po lewej. 68 transektów w ciągu jaskini oznakowano liniami ciągnącymi się od Wejścia.

Wilgotność względna (RH) i temperatura (T) były mierzone stale przez cały rok - w czterech z pięciu głównych punktów pomiarowych: Na Zewnątrz jaskini (1), w punkcie znajdującym się na wolnym powietrzu, na poręczy po zachodniej stronie Wzgórza Wawelskiego, tuż nad jaskinią, ok. 2 metry nad tarasem Wawelu (Rys. 3 i Rys. 4), w podziemnym pomieszczeniu tuż nad głównym ciągiem jaskini, w Rezerwacie (2), oraz w dwóch miejscach wewnątrz Smoczej Jamy: przy Wejściu (3) i w Części Centralnej (4) (Rys. 3 i Rys. 5). Niestety, straciliśmy dane pomiarowe dla RH i T z piątego miernika i rejestratora zamontowanego przy Wyjściu (5) w powodu awarii rejestratora, która nastąpiła wskutek zaniku napięcia, które miało miejsce na późniejszym etapie trwania badań, najprawdopodobniej w następstwie przedostania się wody do środka rejestratora.



Rys. 4: Próbnik montowany w punktach na zewnątrz obiektu. Na fotografiach przedstawione zostały próbniki pasywne typu IVL (niewielkie okrągłe próbniki znajdujące się pod okrągłym talerzem oraz rejestrator poziomów RH i T marki Hanwell, montowany na środkowej części słupa.



Rys. 5: Próbnik rozmieszczany w czterech (numerowanych, Tabela 1) punktach wewnątrz obiektu.

Na fotografiach widać próbniiki pasywne typu IVL (niewielkie okrągłe próbniiki montowane wzdłuż górnej krawędzi szafki Al). Szalki Petriego do gromadzenia pyłu, próbniiki MEMORI (czarne) i mierniki/rejestratory RH i T marki Hanwell.

Pomiary poziomu zanieczyszczenia powietrza i jego wpływu na lokalny mikroklimat były prowadzone w czterech okresach - łącznie przez rok, od 9 lipca 2014 do 8 lipca 2015 (Tabela 1). W punkcie pomiaru na zewnątrz obiektu, poziomy stężenia SO_2 , NO_2 i O_3 były badane próbnikami pasywnymi typu IVL (Ferm, 1991), natomiast depozycja aerozolu była badana za pomocą nasączonych glicerolem krążków z bibuły Whatman o średnicy 10 cm. Próbniki pasywne były montowane przednią częścią w dół - pod osłoną przeciwdeszczową. Bibułę filtracyjną układano w pozycji poziomej, w specjalnie zaprojektowanych pojemnikach z osłoną przeciwdeszczową; obydwa montowane na wysokości ok. 3 m (Rys. 4). Zbadano również zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie oraz zawartość pH w roztworze aerozolowym.

W punktach pomiarowych wewnątrz obiektu dokonano pomiarów zawartości SO₂, NO₂, O₃, kwasu octowego i kwasu mrówkowego z zastosowaniem próbników pasywnych typu IVL. Rozstawiono również plastikowe szalki Petriego, aby pasywnie gromadziły pył/cząsteczki występujące lokalnie. Przeprowadzono pomiary masy i składu jonów rozpuszczalnych w wodzie zidentyfikowanych w gromadzących się cząsteczkach/pyle. Aby określić potencjalny wpływ jakości miejscowego powietrza na lokalne dobra kultury, zastosowano dozymetry MEMORI (MEMORI-1, 2015).

Z ujętych w raporcie wartości określonych dla zanieczyszczenia odjęto wartości tła. Wartości te uzyskano z próbników kontrolnych używanych wraz z próbnikami pomiarowymi; próbki kontrolne znajdowały się w czasie ekspozycji w tych samych punktach pomiarowych co próbki pomiarowe, ale w zamkniętych pojemnikach i plastikowych torebkach.

MEMORI to połączenie pomiaru wpływu fotooksydacyjnych i/lub oksydacyjnych elementów powietrza, mierzonego za pomocą tzw. dozymetrów EWO (EarlyWarningOrganic) udostępnionych przez NILU oraz pomiaru wpływu kwasowych składników powietrza, mierzonego z wykorzystaniem dozymetrów GSD (Sensitive Glass Dosimeters) dostarczanych przez niemiecki Instytut Fraunhofera (Grøntoft et al., 2010). Dozymetry EWO pomagają określić zawartość zanieczyszczeń dostających się do wnętrza badanego obiektu w efekcie oddziaływania np. ruchu ulicznego czy systemu ogrzewania mieszkań, natomiast dozymetry GSD służą do pomiaru siły oddziaływania kwasowych zanieczyszczeń powietrza emitowanych wewnątrz badanych obiektów. Wyniki pomiarów dozymetrycznych przedstawione w ujęciu liczbowym (Delta E, Tabela 4) zostały określone jako zmiana stopnia absorpcji światła w danym dozymetrze w efekcie działania lokalnego klimatu. Wyniki przebadanego wpływu lokalnego środowiska na dozymetry zostały zestawione z przewidywanym wpływem na dobra kultury i porównane z jakością powietrza w innych europejskich ośrodkach przechowywania dóbr kultury.

Wyniki badań MEMORI przedstawione są na stronie internetowej projektu MEMORI (MEMORI-1, 2015). Na stronach przedstawiających wyniki pomiarów można przeprowadzić ocenę ryzyka dla 21 różnych materiałów. Niniejsza ocena dotyczy ryzyka związanego z zanieczyszczeniem, a także z wpływem światła UV, RH i T w warunkach umiarkowanej wilgotności RH (~50%) i temperatury T (~20°C). Dozymetry reagują na zmiany poziomu wilgotności i temperatury i wskazują np. na wystąpienie ryzyka dla danych materiałów przy wyższym poziomie RH i T, jednak zmiany wyników pomiarów - spowodowane zmianą poziomów RH i T (od wartości pośrednich) nie zostały porównane z podobnie wywołanymi zmianami w zakresie degradacji materiałów w przypadku standardowej oceny, o której mowa w tej części dokumentu (MEMORI-1, 2015). Stąd też wskaźniki ryzyka są bardziej niepewne dla wyższych i niższych poziomów RH i T niż dla poziomów umiarkowanych. Dozymetr MEMORI nie wskazuje na istnienie ryzyka klimatycznego samego w sobie, niezależnego od efektów zanieczyszczenia, takiego jak np. uszkodzenia mechaniczne z uwagi na zmiany rozmiarów, lub ryzyko gnicia z uwagi na wystąpienie pleśni przy wysokim poziomie wilgotności. Jest jednak w stanie wskazać ogólne ryzyko wystąpienia korozji z uwagi na wysoki poziom wilgotności. Dlatego też wynik „zielony” , tj. „brak ryzyka”, nie wyklucza możliwości wystąpienia

jakichkolwiek szkód związanych z oddziaływaniem lokalnego klimatu.

Lokalizacje, okresy oraz metody pomiarów, a także składniki powietrza poddane pomiarom zostały przedstawione w Tabeli 1.

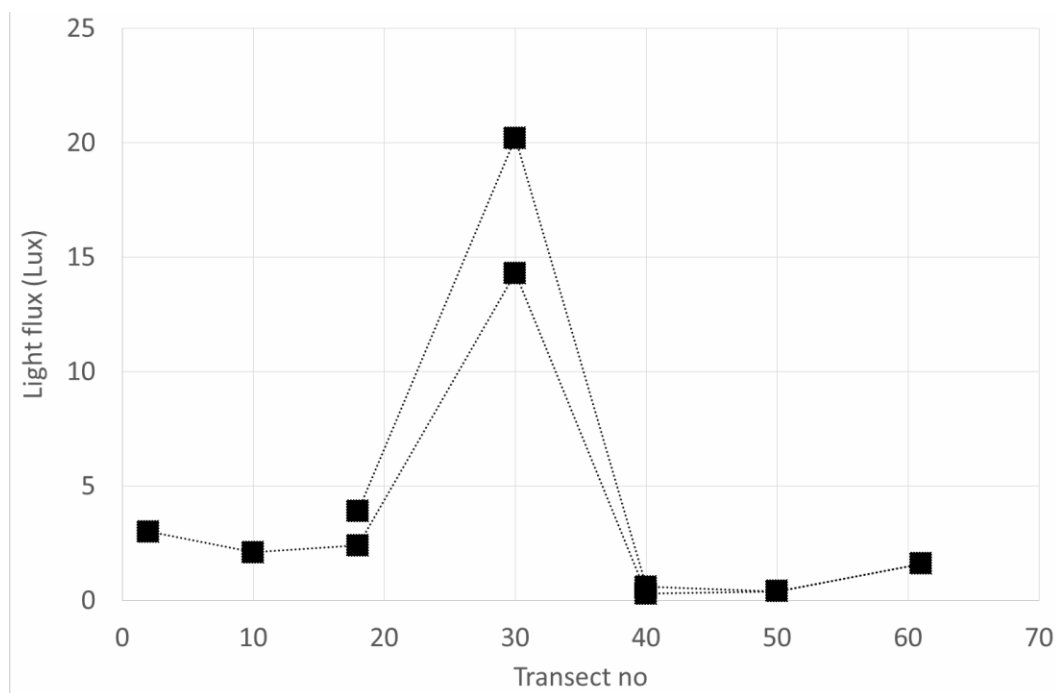
Tabela 1: Punkty pomiarów, okresy pomiarów, składniki powietrza poddane pomiarom oraz zastosowane metody pomiarów

Punkty pomiarów	Okresy pomiarów	Metody pomiarów	Składniki	Wyniki pomiarów
Warunki klimatyczne/światło				
Wszystkie lokalizacje (patrz niżej)	Prawie równoczesne pomiary punktowe wzdłużtransketów, przeprowadzone 9lipca 2014, między godz. 15:00 a 16:00	Miernik klimatu Elsec 764, urządzenie	T, RH, Luks, UV	Natychmiastowy pomiar punktowy
Lokalizacje 1 - 4	Od 09.07.2014 12:00 do 08.07.2015 12:00	Urządzenie monitorujące i	T i RH	Wynik natychmiastowy co 30 minut
Zanieczyszczenie powietrza				
Na Zewnątrz (1) Na wolnym powietrzu, ok. 2 m (RH i T) i 3 m (zanieczyszczenie powietrza) nad zewnętrzną poręczą w zachodniej części Wzgórza Wawelskiego.	1 miesiąc: 1. „lipiec”, 09.07-08.08.2014 (30 dni) 2. „październik”, 09.10-10.11.2014 (32 dni) 3. „styczeń”, 07.01-06.02.2015 (30 dni) 4. „kwiecień”, 10.04-11.05.2015 (31 dni)	Pasywne próbniki typu UVL do badania Depozycja cząstek na bibułkach filtracyjnych nasączonych	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , Depozycja a aerozolow a	Średnie stężenie miesięczne (µg m ⁻³) - pH - Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie; Cl ⁻ , NO ²⁻ _N, SO ²⁻ _S, Na ⁺ , NH ²⁺ _N,
Rezerwat (2) Na półce skalnej ściany, ok. 1,8 m nad ziemią. Wejście (3) - transekt 10 Na ścianie jaskini, ok. 2 m nad ziemią Część Centralna (4) - transekt 29 Na drewnianym słupie wsporczym z żelaznym rdzeniem, ok. 2,5 m nad ziemią, ustawionym samodzielnie w centralnej części jaskini Wyjście (5) - transekt 56 Na wystającej części ściany jaskini, ok. 3 m nad ziemią	1 miesiąc: 1. „lipiec”, 09.07-08.08.2014 (30 dni) 2. „październik”, 09.10-10.11.2014 (32 dni) 3. „styczeń”, 07.01-06.02.2015 (30 dni) 3 miesiące: 1. „lato”, 09.07-09.10.2014 (93 dni) 2. „jesień”, 09.10-07.01.2015 (90 dni) 3. „zima”, 07.01-10.04.2015 (93 dni) 4. „wiosna”, 10.04-08.07.2015 (89 dni) 6 miesięcy: 1. „lato-jesień”, 09.07.2014-07.01.2015 (183 dni) 2. „zima-wiosna”, 07.01.2015-08.07.2015 (89 dni)	Pasywne próbniki typu UVL do badania zanieczyszczeń gazowych dozometr MEMORI szalki Petriego	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , Kwas octowy, kwas mrówkowy Wpływ fotooksydacji, oksydacji i działania kwasów Depozycja pyłu	Średnie stężenie miesięczne (µg m ⁻³) -Ryzyko uszkodzenia (poziom zielony, żółty, czerwony) -Typowa lokalizacja dobra kultury -Całkowita zawartość pyłu -Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie; Cl ⁻ , NO ²⁻ _N, SO ²⁻ _S, Na ⁺ , NH ²⁺ _N, K ⁺ , Mg ⁺ , Ca ²⁺ (g, mol)

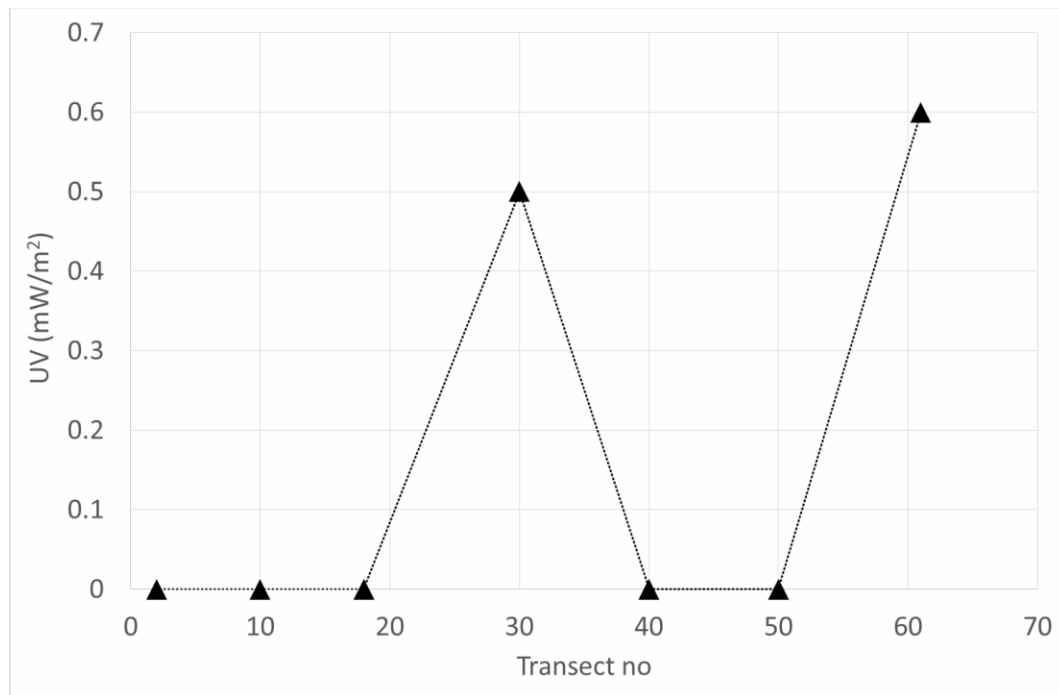
3 Wyniki

3.1 Pomiary punktowe właściwości klimatycznych (wilgotność względna i temperatura) i właściwości światła (Luks i UV)

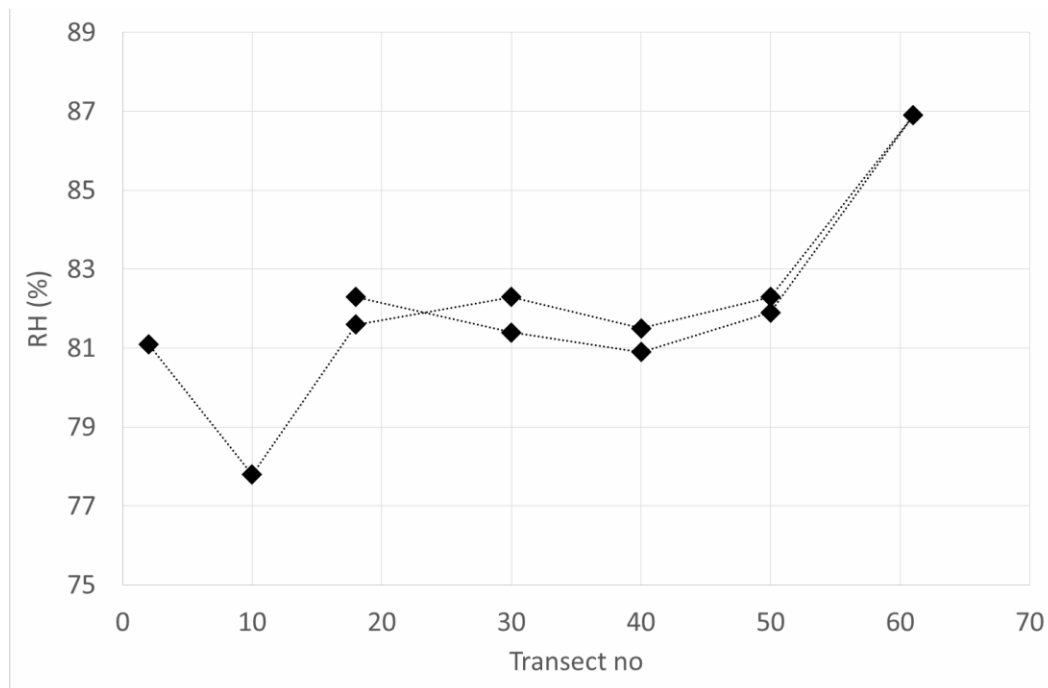
Rys. 6 do Rys. 9 przedstawiają wyniki pomiarów punktowych dla strumienia świetlnego, natężenia UV, wilgotności względnej i temperatury, badanych 9 lipca 2014 roku w ośmiu wybranych lokalizacjach transektowych (Rys. 3) na długości trasy wewnątrz jaskini, od Wejścia (1) do Wyjścia (68) (Rys. 3).



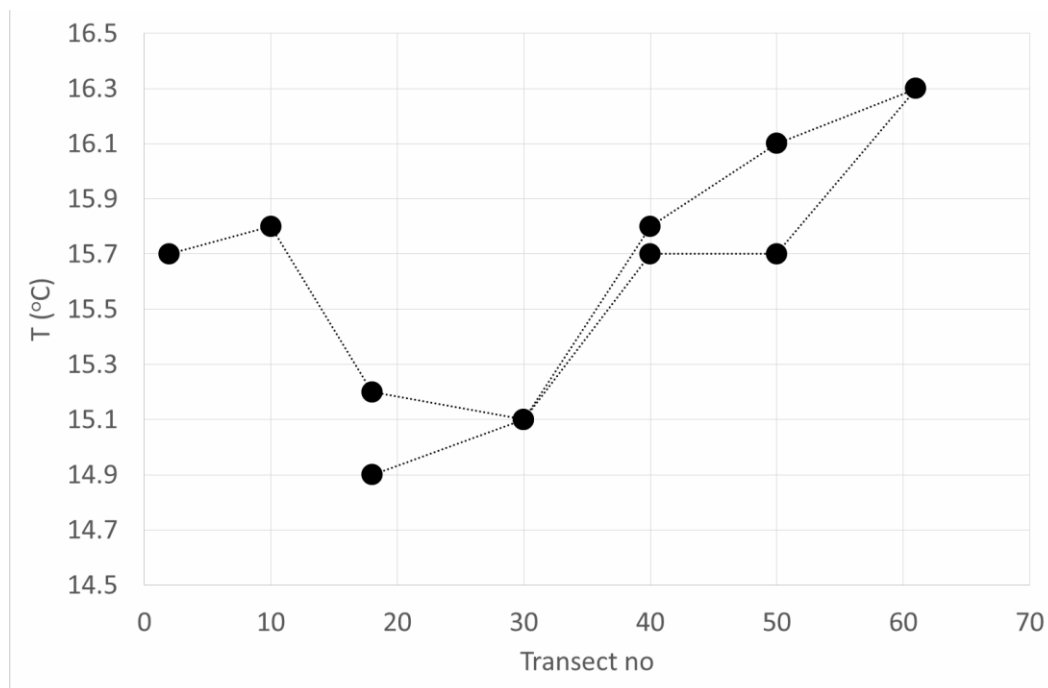
Rys. 6: Strumień światła - pomiar według transektów na długości trasy jaskini, między godz. 15:00 a 16:00, wykonany 9 lipca 2014 roku.



Rys. 7: Natężenie światła UV - pomiar według transektów na długości trasy jaskini, między godz. 15:00 a 16:00, wykonany 9 lipca 2014 roku.



Rys. 8: Wilgotność względna - pomiar według transektów na długości trasy jaskini, między godz. 15:00 a 16:00, wykonany 9 lipca 2014.

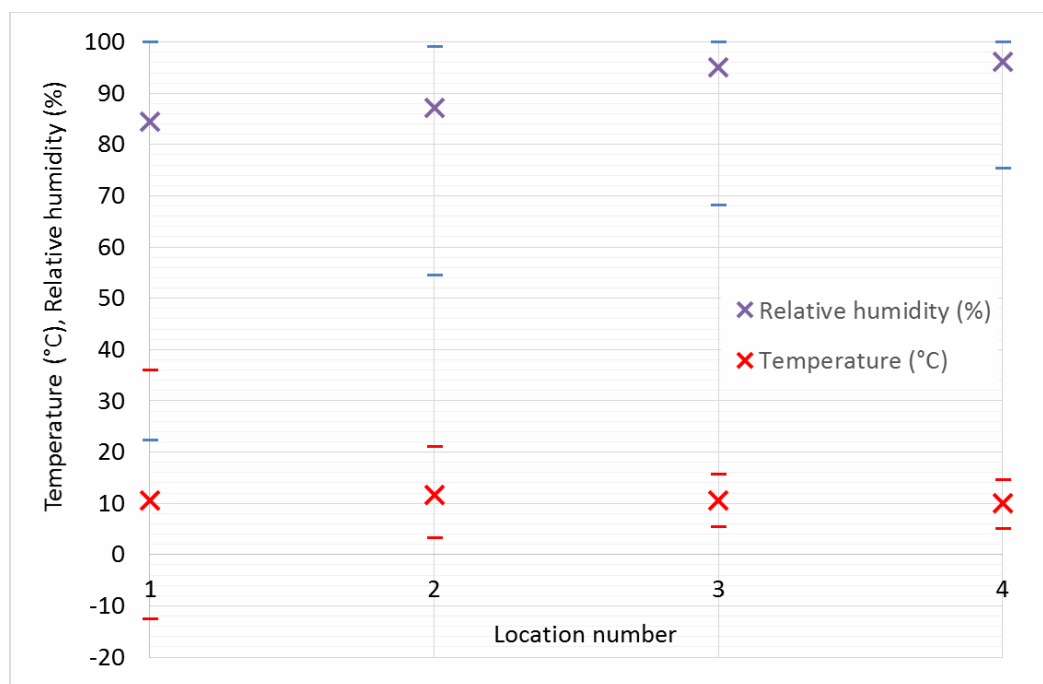


Rys. 9: Temperatura - pomiar według transektów na długości trasy jaskini, między godz. 15:00 a 16:00, wykonany 9 lipca 2014 roku.

3.2 Warunki klimatyczne

Rys. 10 i Tabela 2 przedstawiają wartości pomiarów dla średniorocznej, minimalnej, maksymalnej, i standardowego odchylenia dla wilgotności względnej i temperatury w wybranych lokalizacjach wewnątrz Smoczej Jamy (Rys. 3).

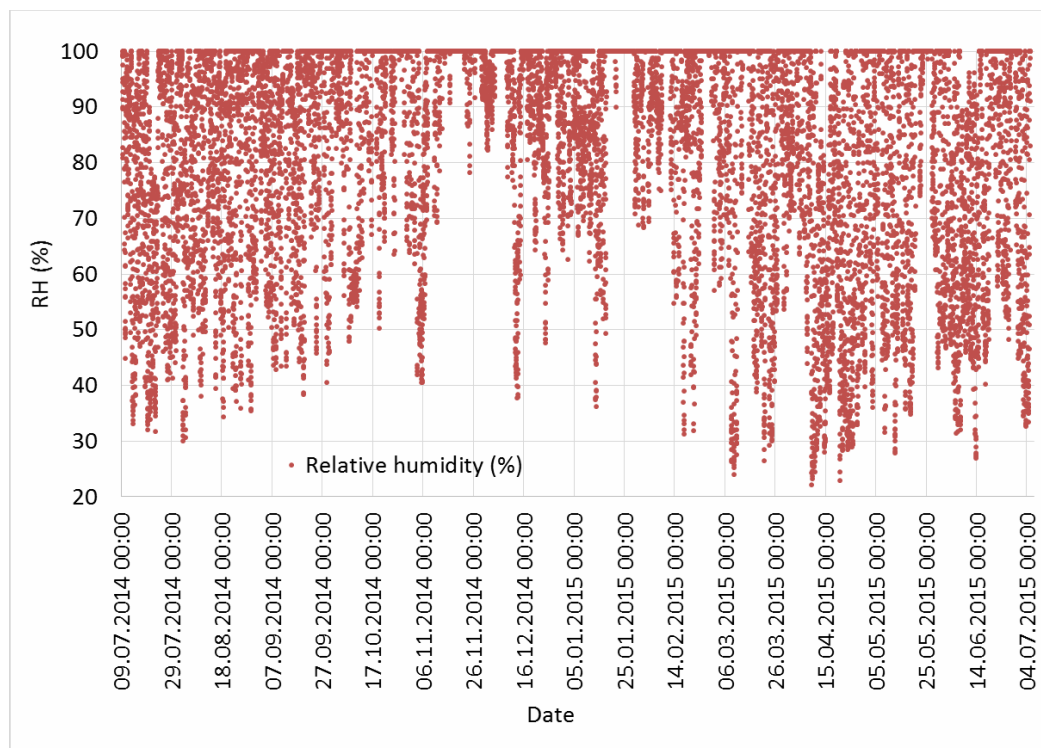
Rys. 11 do Rys. 21 przedstawiają wartości ciągłych pomiarów warunków klimatycznych prowadzonych w czterech z pięciu lokalizacji



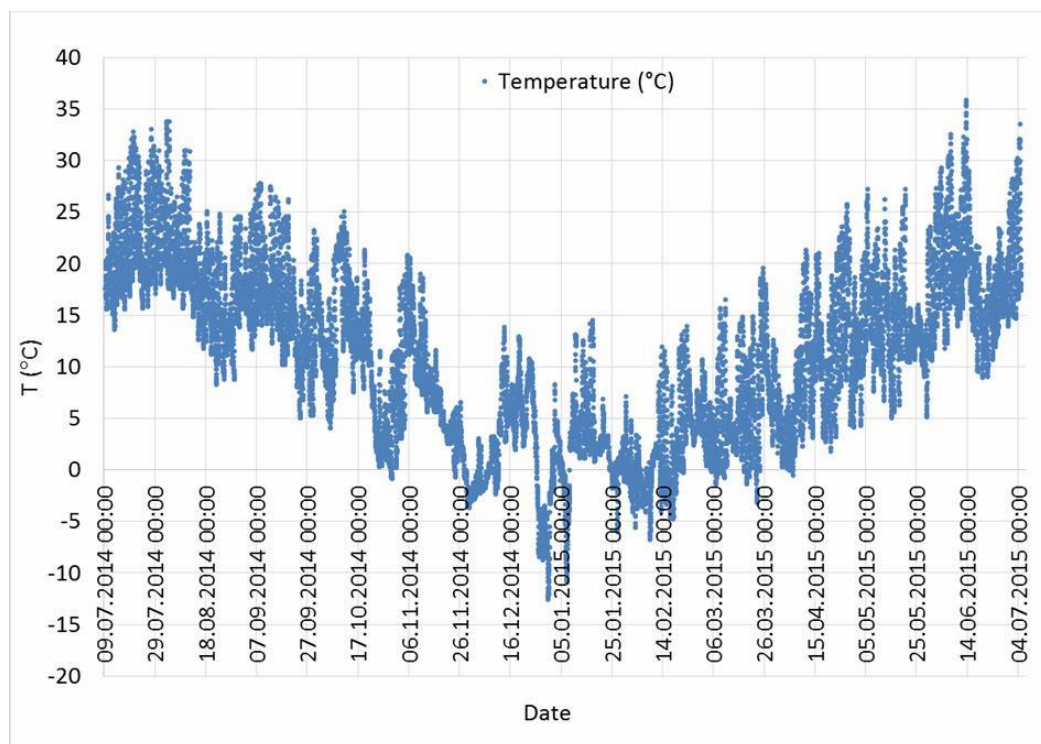
Rys. 10: Średnioroczne, minimalne i maksymalne wartości dla wilgotności względnej oraz dla temperatury w czterech punktach pomiarowych (Tabela 2). Punkty pomiarowe to: Na Zewnątrz obiektu (1), Rezerwat (2), Wejście (3) i Część Centralna jaskini (4).

Tabela 2: Średnioroczne, minimalne i maksymalne wartości dla wilgotności względnej oraz dla temperatury w czterech punktach pomiarowych (Tabela 1). - = brak danych.

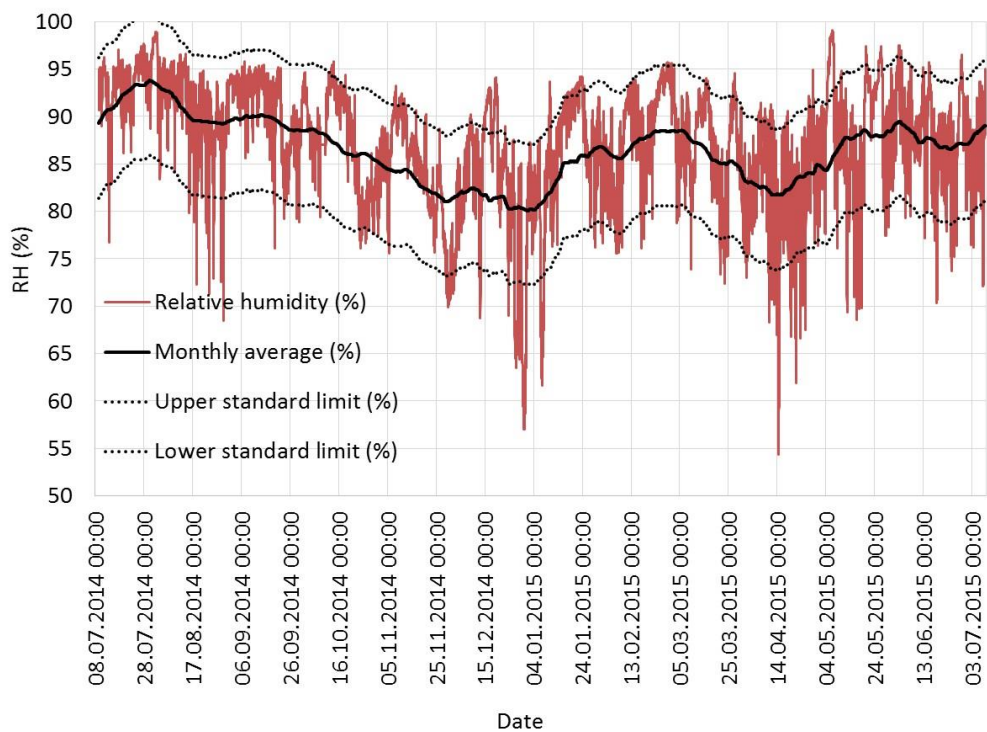
Punkt pomiarowy	Temperatura (°C)				Wilgotność względna (%)			
	Śred nia	Min.	Max.	Odch. Stand.	Śred nia	Min.	Max.	Odch. Stand.
1-Na Zewnątrz	10,6	-12,6	35,9	8,4	84,5	22,2	100	19,2
2-Rezerwat	11,7	3,3	21,0	4,8	87,1	54,4	99,1	6,5
3-Wejście, transekt 10	10,5	5,3	15,6	2,6	95,1	68,1	100	6,4
4-Część Centralna, transekt 29	10,0	5,0	14,6	2,3	96,1	75,3	100	5,5
5-Wyjście, transekt 56	-	-	-	-	-	-	-	-



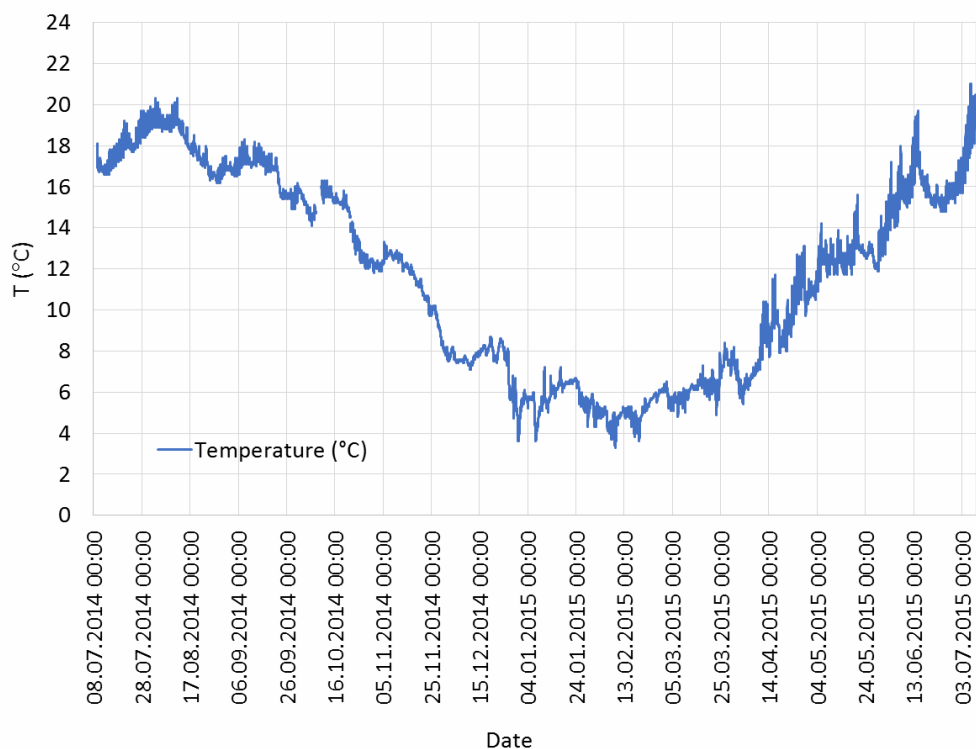
Rys. 11: Wilgotność względna mierzona Na Zewnątrz obiektu (1) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 5 lipca 2015.



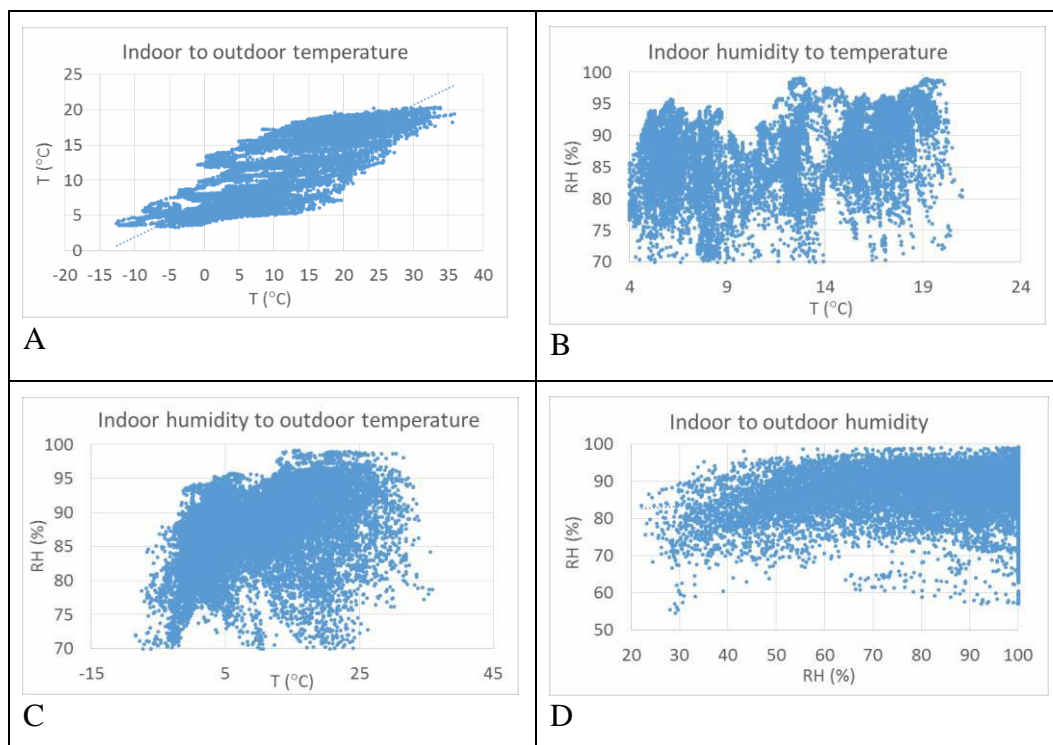
Rys. 12: Temperatura mierzona Na Zewnątrz obiektu (1) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 5 lipca 2015.



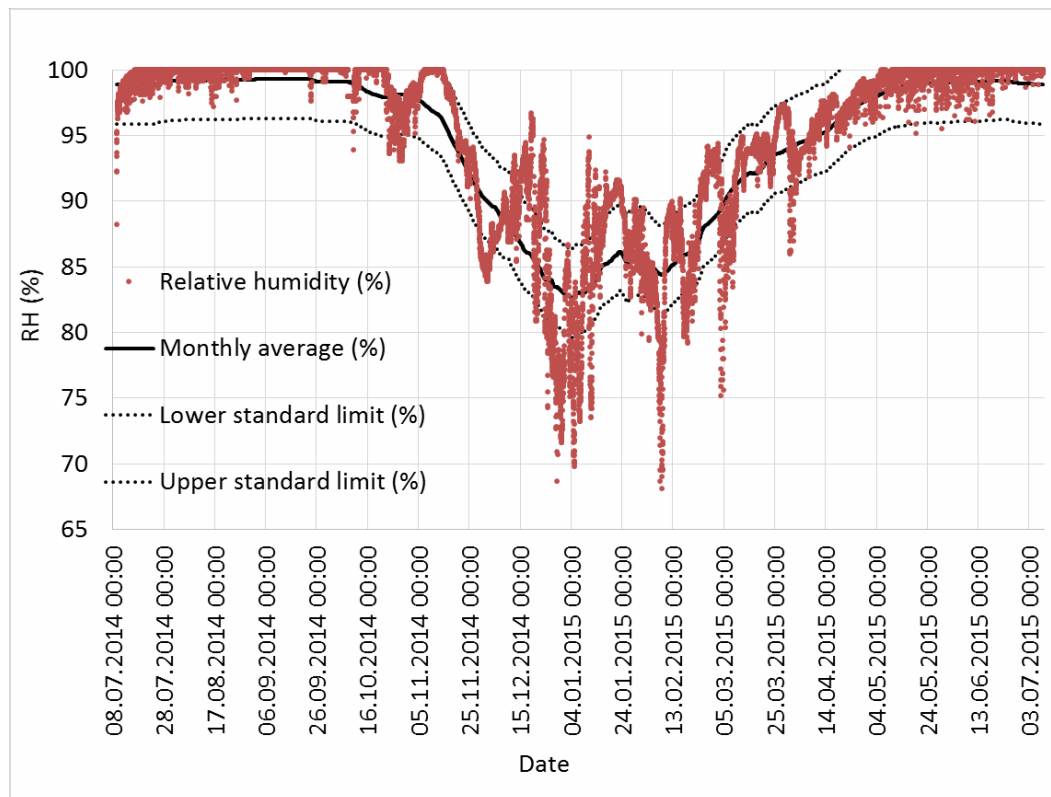
Rys. 13: Wilgotność względna mierzona w Rezerwacie (2) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 8 lipca 2015. Podano wartości średnie oraz górne i dolne wartości dopuszczalne według CEN/TC 346: EN 15757 (2010).



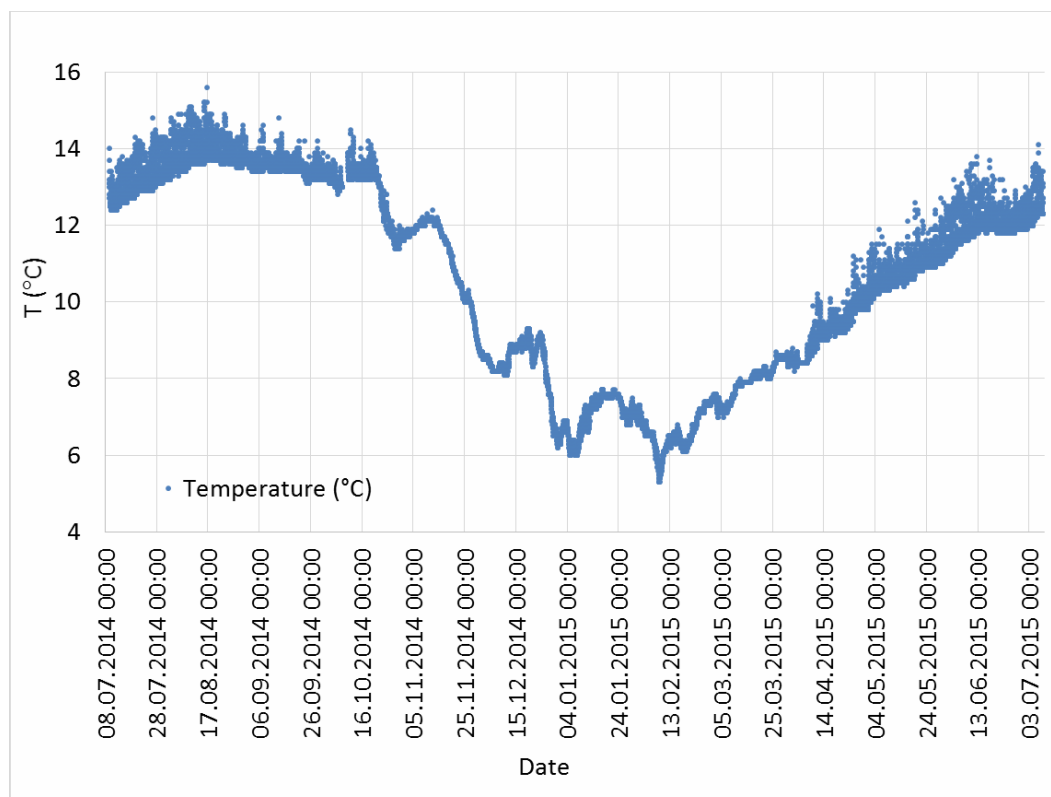
Rys. 14: Temperatura mierzona w Rezerwacie (2) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 8 lipca 2015.



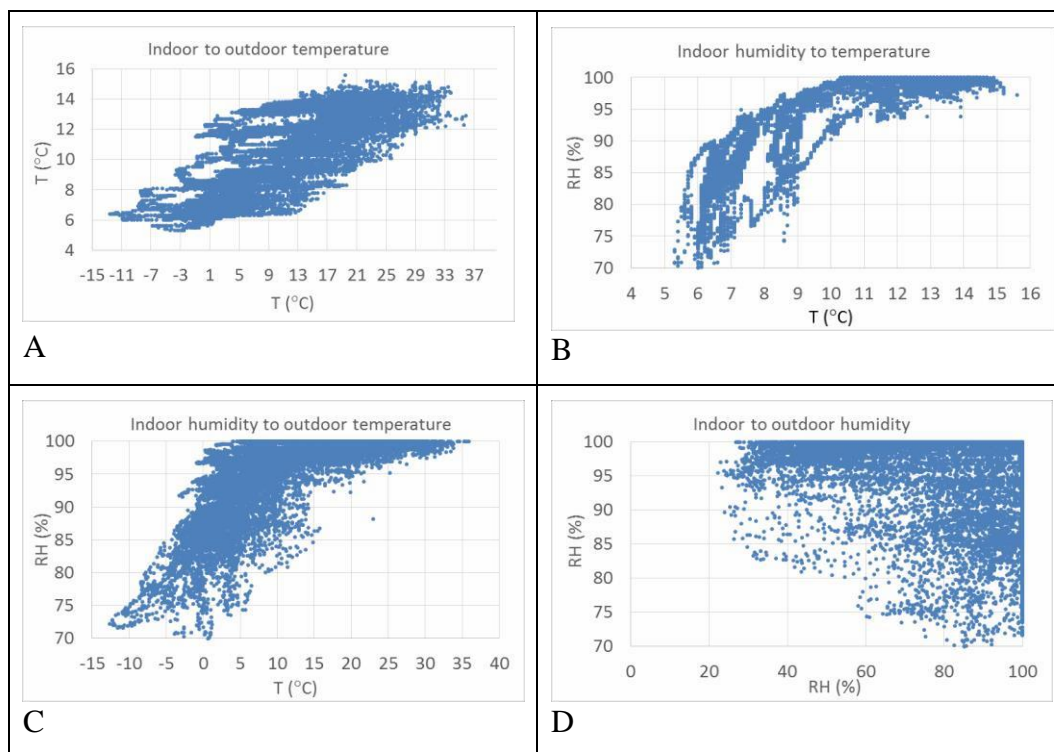
Rys. 15: Korelacja pomiędzy warunkami klimatycznymi na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego a warunkami klimatycznymi wewnątrz Rezerwatu (2) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 5 lipca 2015.



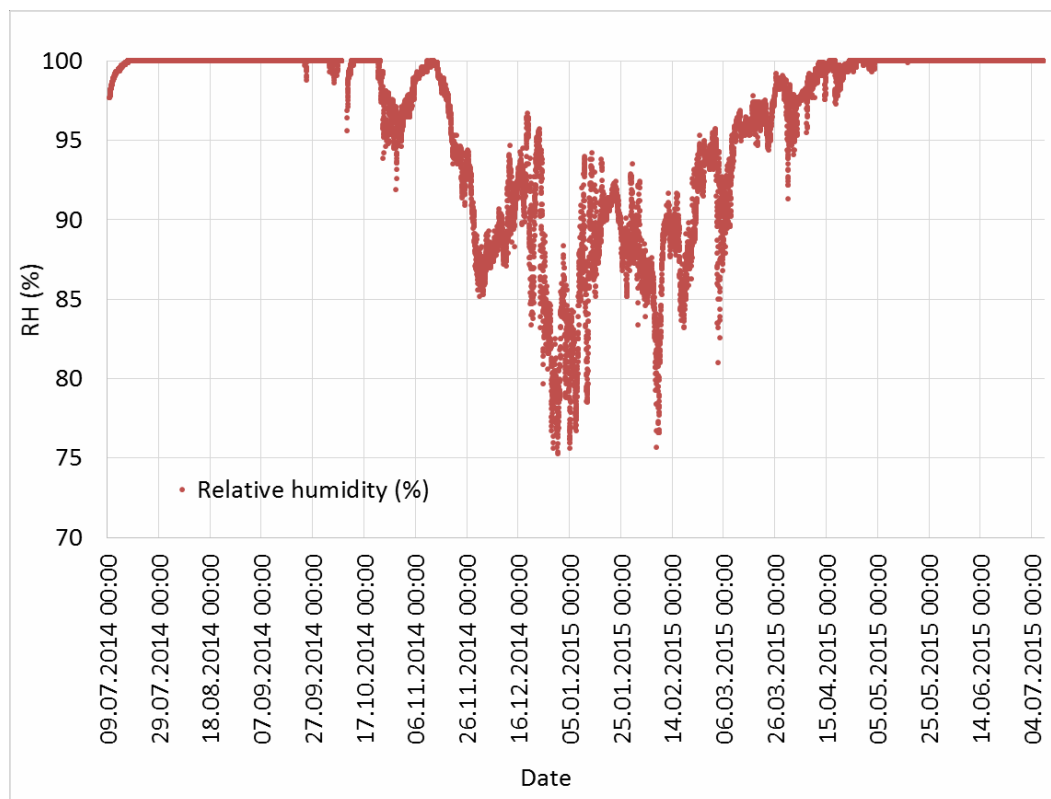
Rys. 16: Wilgotność względna mierzona w Wejściu (3) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 8 lipca 2015. Podano wartości średnie oraz górne i dolne wartości dopuszczalne według CEN/TC 346: EN 15757 (2010).



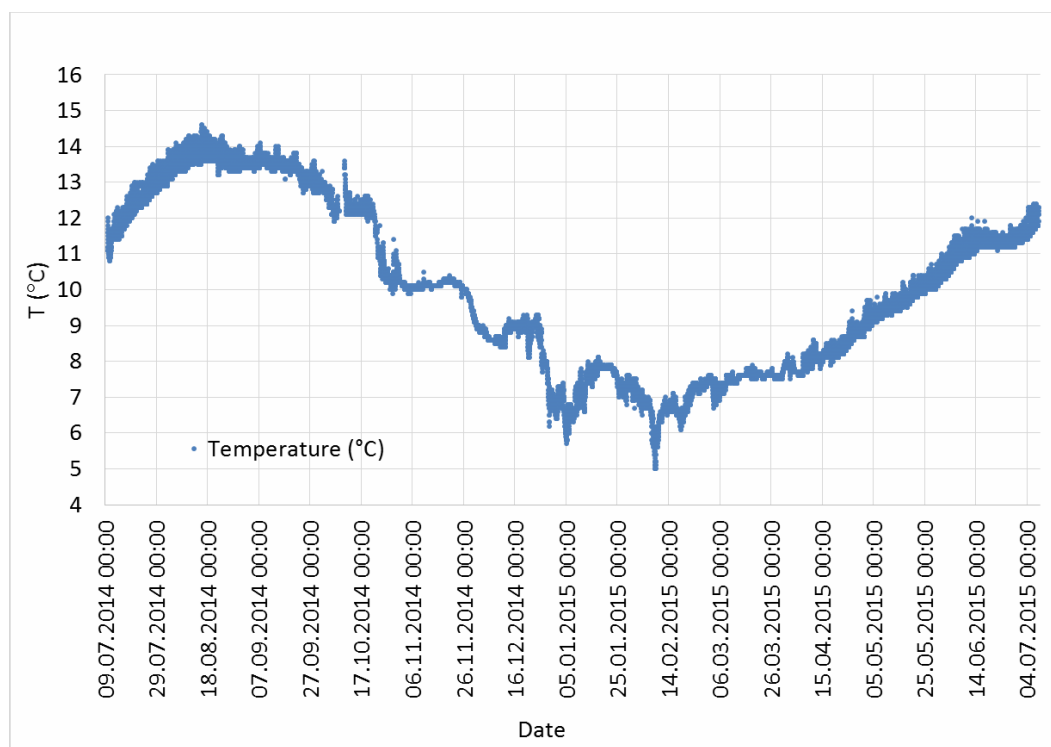
Rys. 17: Temperatura mierzona w Wejściu (3) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 8 lipca 2015.



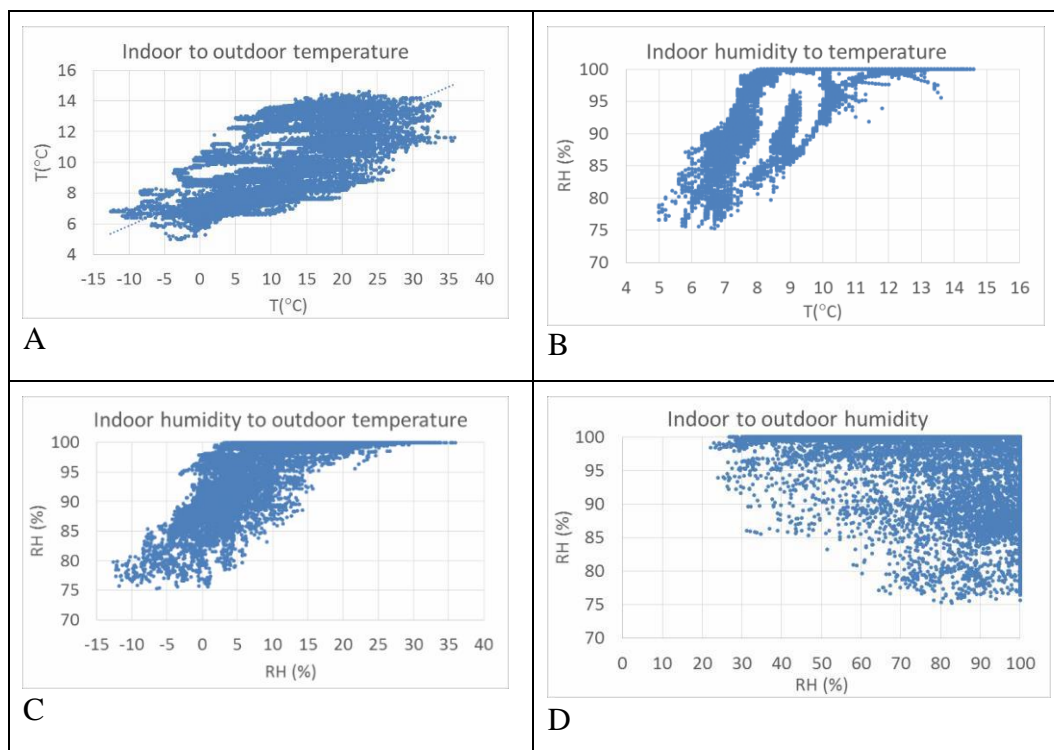
Rys. 18: Korelacja pomiędzy warunkami klimatycznymi na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego a warunkami klimatycznymi w Wejściu (3) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 5 lipca 2015.



Rys. 19: Wilgotność względna i temperatura mierzone w Części Centralnej ("Filar") (4) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 10 lipca 2014 do 8 lipca 2015. Wartości średnie oraz górne i dolne wartości dopuszczalne według CEN/TC 346 nie zostały podane, ponieważ są one bardzo zbliżone do tych obowiązujących dla Wejścia (3) (Patrz: Rys. 16).



Rys. 20: Temperatura mierzona w Części Centralnej ("Filar") (4) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 10 lipca 2014 do 8 lipca 2015.



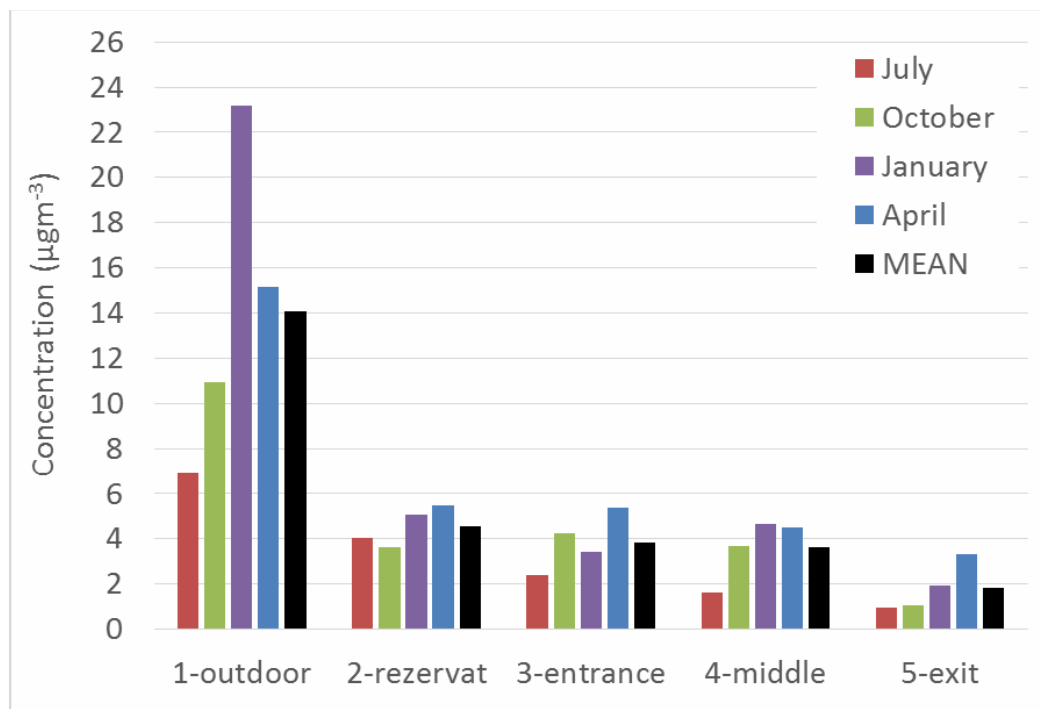
Rys. 21: Korelacja pomiędzy warunkami klimatycznymi na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego a warunkami klimatycznymi w Części Centralnej (“Filar”) (3) (Patrz: Tabela 1) w okresie od 9 lipca 2014 do 5 lipca 2015.

3.3 Stężenie zanieczyszczeń gazowych

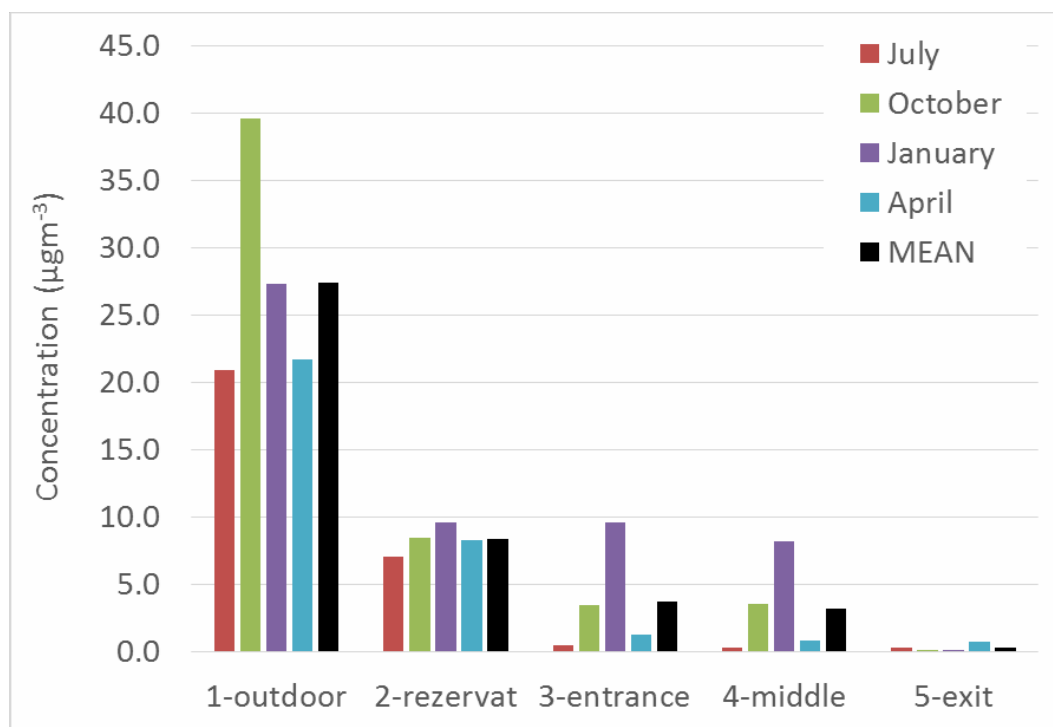
Tabela 3 przedstawia wyniki pomiarów zanieczyszczeń gazowych wewnątrz Smoczej Jamy.

Tabela 3: Stężenie zanieczyszczeń gazowych. W przypadku SO₂, NO₂ i O₃ nie przedstawiono laboratoryjnych wyników dla próbek tła. Liczby w nawiasach to standardowe odchylenie od wyników z dwóch próbników.

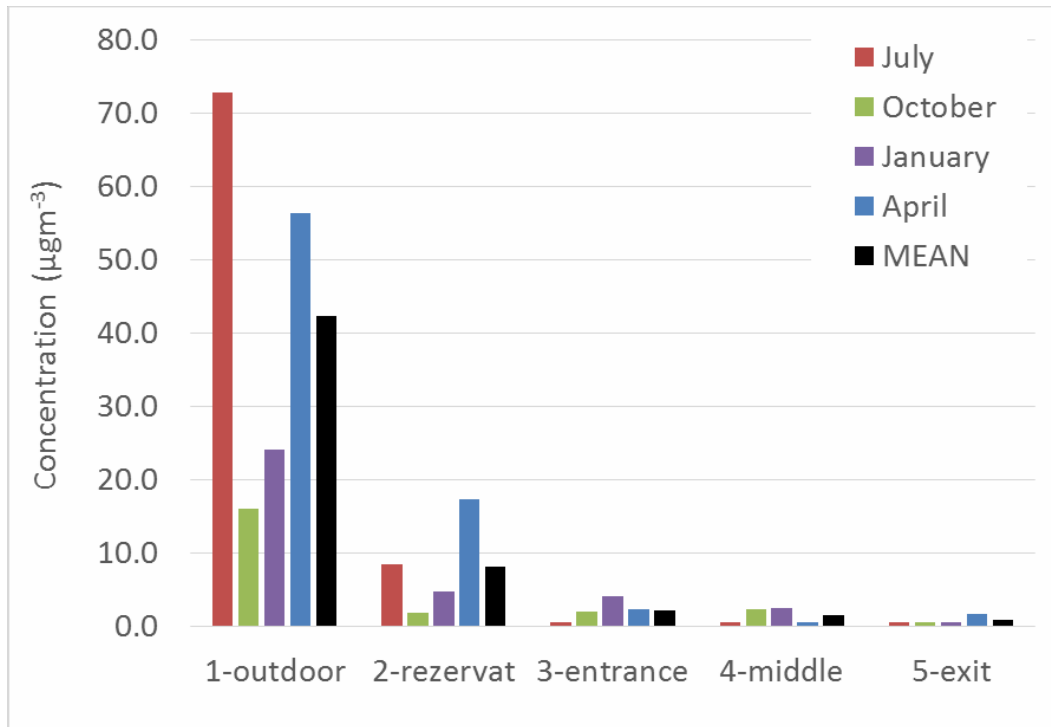
Punkt pomiarowy	Okres (Tabela 1)	SO ₂	NO ₂	O ₃	Kwas octowy	Kwas mrówkowy
					(µg/m ³)	
Na Zewnątrz	1. „lipiec”	6,9	20,9	72,8		
	2. „październik”	10,9	39,6	15,9		
	3. „styczeń”	23,2	27,3	24,0		
	4. „kwiecień”	15,2	21,7	56,3		
	ŚREDNIA	14,1	27,4	42,2		
Rezerwat (2)	1. „lipiec”	4,0	7,0	8,4	1,9(0,4)	1,9(0,4)
	2. „październik”	3,6	8,4	1,8	1,5(0,7)	1,5(0,0)
	3. „styczeń”	5,1	9,5	4,7	3,7(3,8)	3,3(4,2)
	4. „kwiecień”	5,5	8,3	17,3	0	1,1(0,2)
	ŚREDNIA	4,6	8,3	8,0	1,8(1,2)	2,0(1,2)
Wejście (3)	1. „lipiec”	2,4	0,4	0,5	3,2(0,7)	2,3(0,3)
	2. „październik”	4,2	3,5	1,9	1,8(1,0)	0,0(0,0)
	3. „styczeń”	3,4	9,6	4,0	0,5(0,1)	0,5(0,2)
	4. „kwiecień”	5,4	1,2	2,3	0	0,6(0,2)
	ŚREDNIA	3,9	3,7	2,2	1,4(0,4)	0,9
Część	1. „lipiec”	1,6	0,3	0,5	1,5(0,6)	17,7(0,4)
	2. „październik”	3,7	3,5	2,2	1,4(0,2)	0,5(0,7)
	3. „styczeń”	4,7	8,2	2,5	0,6(0,2)	3,6(4,7)
	4. „kwiecień”	4,5	0,9	0,5	0	0,9(0,2)
	ŚREDNIA	3,6	3,2	1,4	0,9(0,2)	5,7(1,5)
Wyjście (5)	1. „lipiec”	1,0	0,3	0,5	2,3(0,0)	1,9(0,4)
	2. „październik”	1,1	0,1	0,5	5,2(1,5)	0,7(0,1)
	3. „styczeń”	1,9	0,0	0,5	0,4(0,1)	0,5(0,3)
	4. „kwiecień”	3,3	0,7	1,6	0	0,7(0,0)
	ŚREDNIA	1,8	0,3	0,8	2,0(0,4)	1,0(0,4)
Tło	1. „lipiec”				0,0	1,0
	2. „październik”				0,0	0,0
	3. „styczeń”				0,1	0,2
	4. „kwiecień”				0,0	1,6
	ŚREDNIA				0	0,7



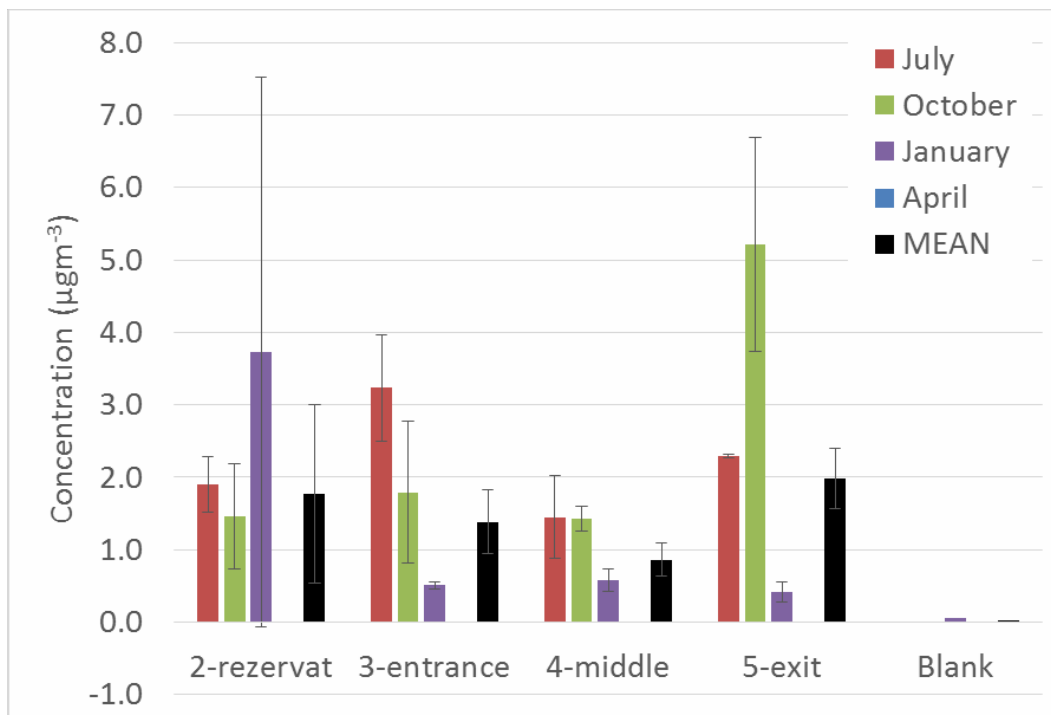
Rys. 22: Stężenie SO₂ badane w punktach pomiarowych



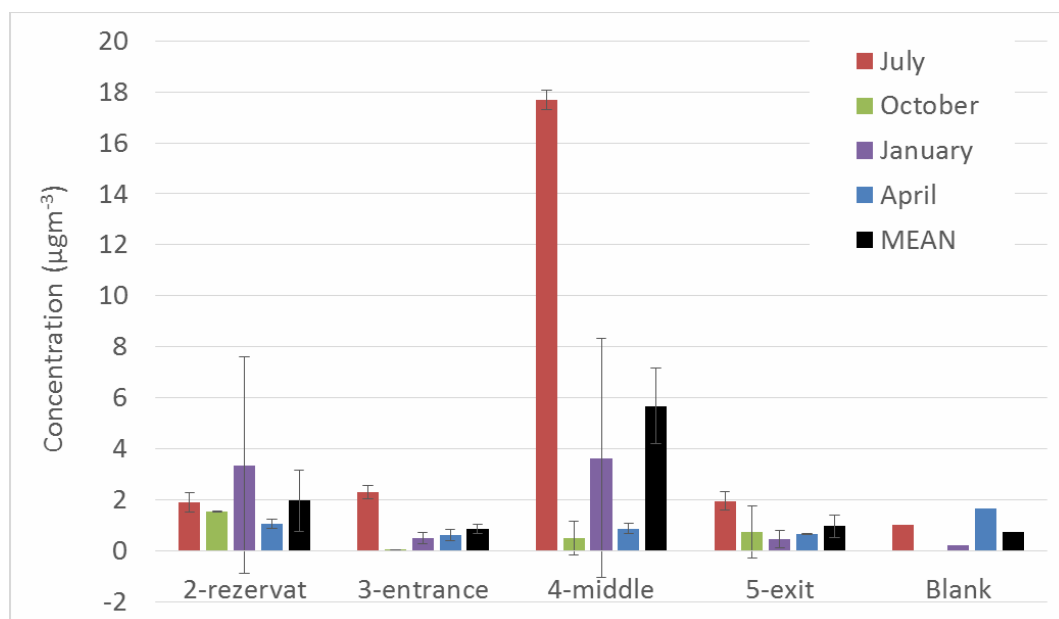
Rys. 23: Stężenie NO₂ badane w punktach pomiarowych



Rys. 24: Stężenie O₃ zbadane w punktach pomiarowych



Rys. 25: Stężenie kwasu octowego zbadane w punktach pomiarowych. Stężenia kwasu octowego nie mierzono na zewnątrz obiektu. W kwietniu nie wykryto obecności kwasu octowego.



Rys. 26: Stężenie kwasu mrówkowego zbadane w punktach pomiarowych. Stężenia kwasu mrówkowego nie mierzono na zewnątrz obiektu.

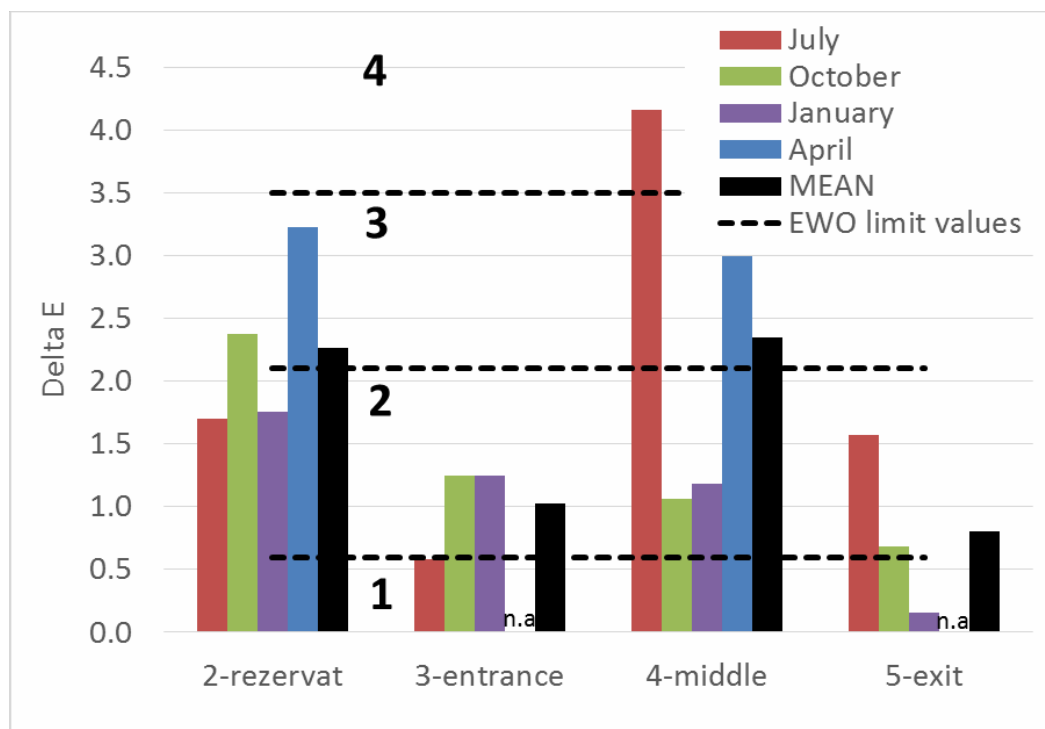
3.4 Dozymetry MEMORI

Tabela 4 przedstawia wyniki pomiarów dla dozymetrów MEMORI przeprowadzonych w punktach pomiarowych.

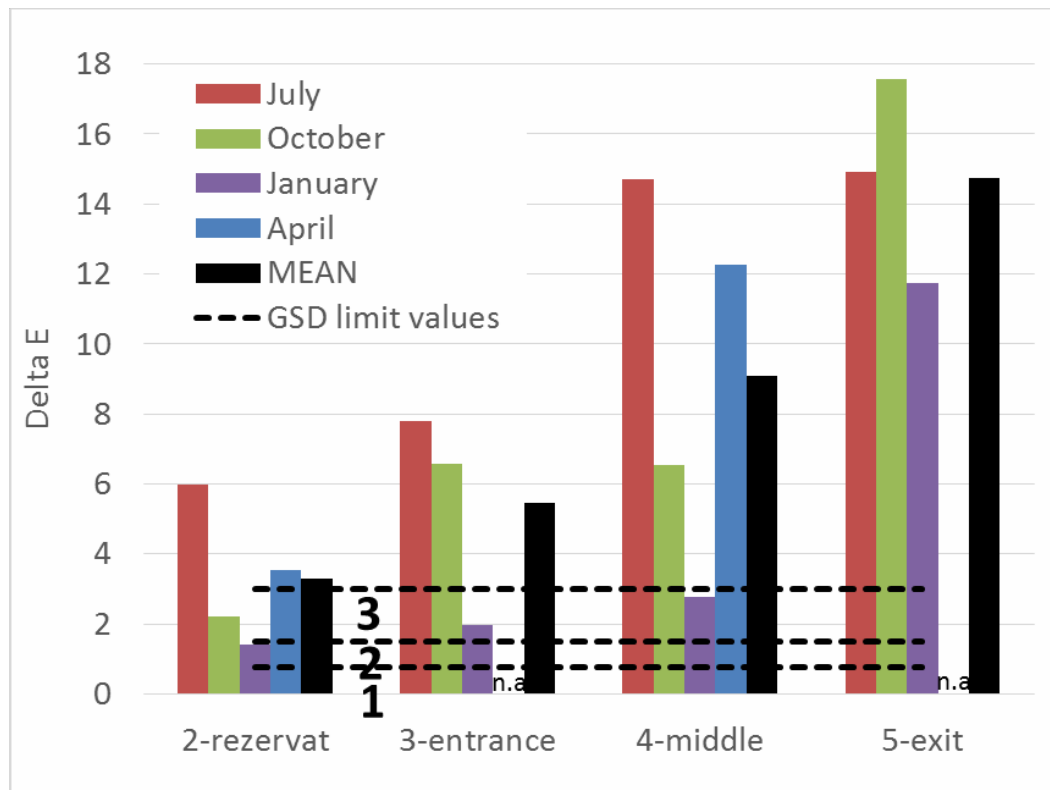
Tabela 4: Wyniki pomiarów dla dozymetrów MEMORI.

Punkt	Okres (Tabela 1)	EWO (Delta E = Δ UV absorpcja przy 340 nm, w związku z ekspozycją)	GSD (Delta E = Δ IR absorpcja – jako funkcja dwóch długości fali, w związku z ekspozycją)
Rezerwat (2)	1. „lato”	1,7	6,0
	2. „jesień”	2,4	2,2
	3. „zima”	1,8	1,4
	4. „wiosna”	3,2	3,5
Wejście (3)	1. „lato”	0,6	7,8
	2. „jesień”	1,2	6,6
	3. „zima”	1,3	2,0
	4. „wiosna”		
Część	1. „lato”	4,2	14,7
	2. „jesień”	1,1	6,6
	3. „zima”	1,2	2,8
	4. „wiosna”	3,0	12,3
Wyjście (5)	1. „lato”	1,6	14,9
	2. „jesień”	0,7	17,6
	3. „zima”	0,2	11,7
	4. „wiosna”		

Rys. 27 i Rys. 28 przedstawiają wyniki pomiarów dla dozymetrów MEMORI - dla dozymetrów EWO, wrażliwych na gazy redukująco-utleniające (zwłaszcza NO_2 i O_3), temperaturę i światło UV, a także dla dozymetrów GSD, wrażliwych na gazy kwaśne (zwłaszcza na kwas octowy i mrówkowy) i wilgotność względną. Ocena ryzyka w oparciu na wyniki pomiarów dozymetrycznych odpowiada poziomom wartości przedstawionym liczbowo i w Tabeli 15.

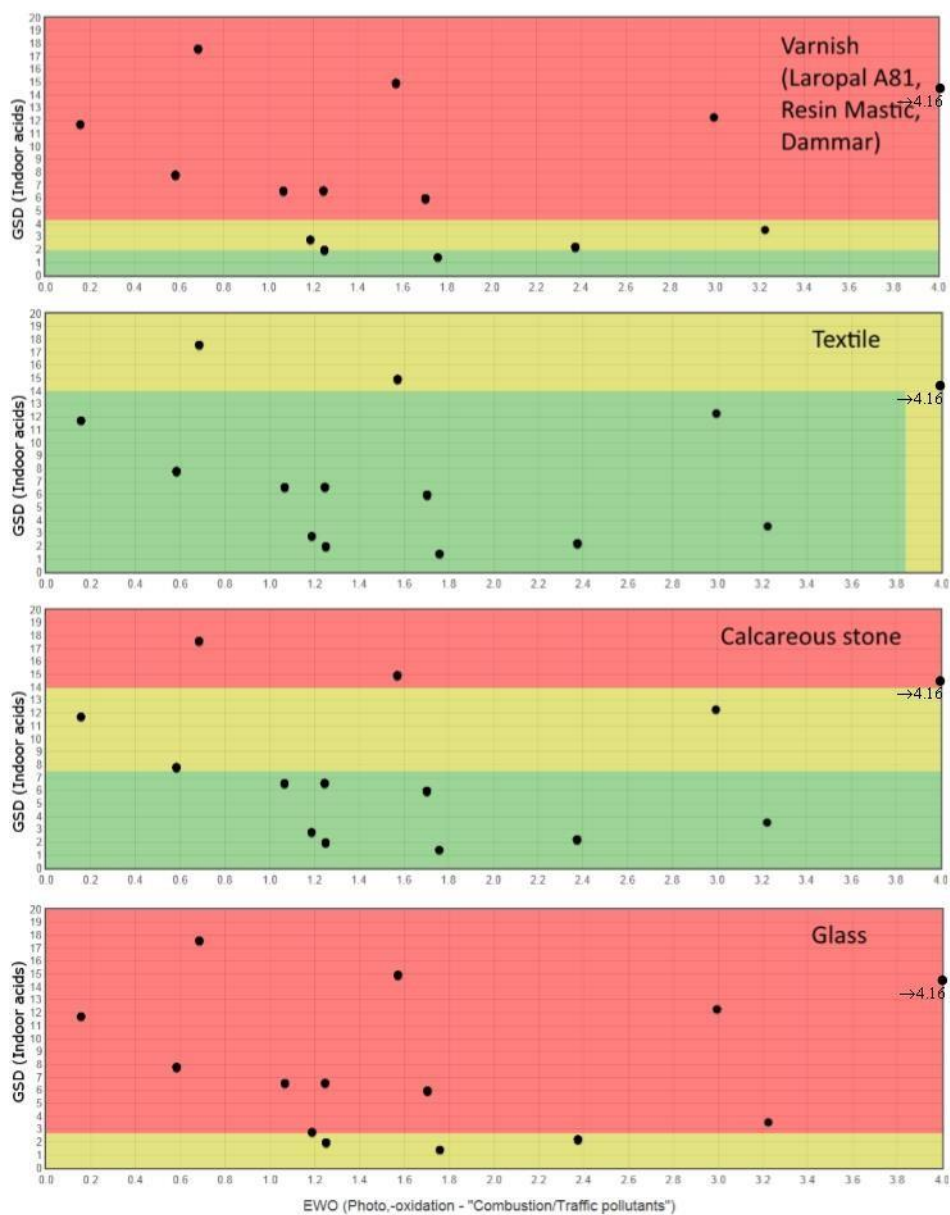


Rys. 27: Dozymetr MEMORI - wyniki dla EWO. Przedstawione są typowe wartości dla punktów pomiarów EWO (Tabela 15, str. 58). - = brak danych.



Rys. 28: Dozymetr MEMORI - wyniki dla GSD. Przedstawiono wartości graniczne dla GSD (Tabela 15, str. 58). - = brak danych.

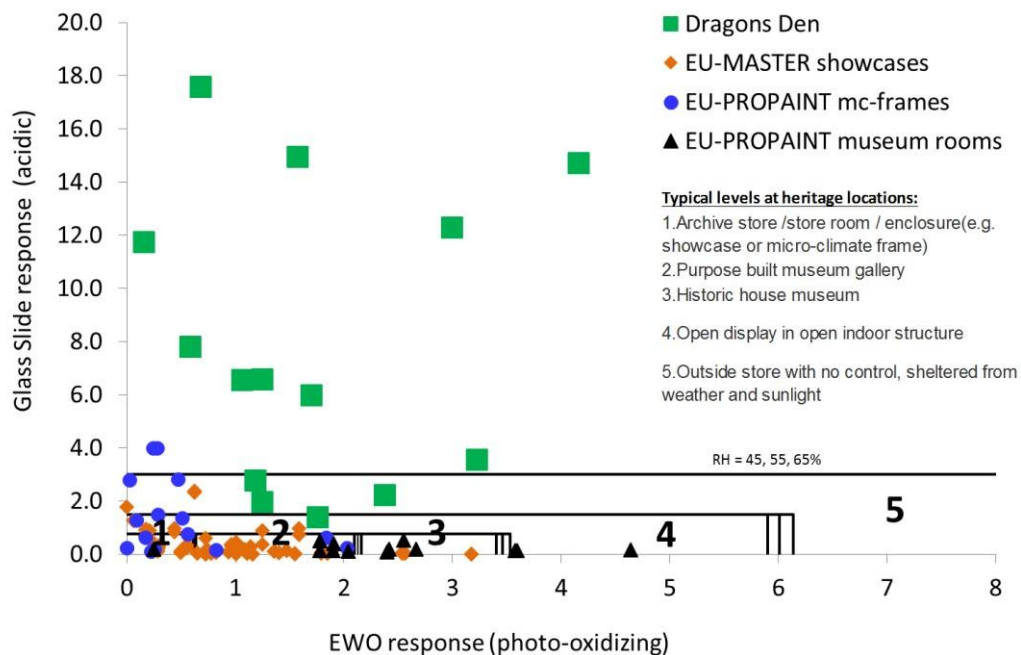
Smocza Jama to naturalna jaskinia, wewnątrz której nie znajdowały się żadne dobra kultury podczas pomiarów. Rys. 29 przedstawia wyniki dla pomiarów MEMORI przeprowadzonych w Smoczej Jamie na tle wybranych wykresów ryzyka dla 4 materiałów obejmujących: lakier (Laropal A81, kit żywiczny, damara), tkaniny, kamień wapienny i szkło, które mogły potencjalnie być obecne wewnątrz „Rezerwatu” lub w jaskini. Całość wyników dla 21 materiałów przedłożono w postaci raportu do lidera projektu Smoczej Jamy w formie raportu MEMORI dostępnego online (MEMORI-2, 2015). Schemat kolorów „sygnalizacji świetlnej” oznacza klasyfikację ryzyka: Kolor zielony oznacza, że zgodnie z aktualną wiedzą, prawdopodobieństwo, że dany materiał ulegnie zmianie w ciągu ok. 30 lat jest bardzo niskie. Kolor czerwony oznacza, że właściwości danego materiału mogą ulec niekorzystnym zmianom w ciągu trzech lat, a powstałe w ten sposób zmiany będą wymagać konserwatorskich działań interwencyjnych. Kolor żółty oznacza sytuację pośrednią.



<input type="checkbox"/>	Location	Measurement	Ewo	Gsd
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Entrance(1)	2014-10-16T12:17:52	0.583	7.809
<input checked="" type="checkbox"/>	Rezervat (1)	2014-10-16T12:16:33	1.703	5.975
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Exit (1)	2014-10-16T13:50:17	1.571	14.934
<input checked="" type="checkbox"/>	Rezervat (2)	2015-01-12T10:08:52	2.374	2.212
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den - Centre (1)	2014-10-16T13:12:00	4.162	14.699
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Entrance(2)	2015-01-12T10:09:44	1.246	6.581
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Entrance(3)	2015-04-13T12:24:10	1.250	1.970
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den - Centre (2)	2015-01-12T14:50:12	1.066	6.556
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Exit (2)	2015-01-12T14:51:17	0.684	17.580
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den - Centre (3)	2015-04-13T12:26:01	1.187	2.777
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den Exit (3)	2015-04-13T12:26:51	0.156	11.726
<input checked="" type="checkbox"/>	Rezervat (3)	2015-04-13T12:24:57	1.758	1.401
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragons Den - Centre (4)	2015-07-15T12:57:06	2.995	12.276
<input checked="" type="checkbox"/>	Rezervat (4)	2015-07-15T12:58:09	3.224	3.540

Rys. 29: Wyniki pomiarów MEMORI w postaci wykresów ryzyka, zgodnie z treścią raportów MEMORI online (MEMORI-1, 2015, MEMORI-2, 2015). „Centrum” = „Część Centralna (4)”. Wartości delta E dla pomiarów EWO i GSD (Tabela 4) przedstawione są na osi.

Rys. 30 przedstawia wyniki pomiarów MEMORI dla Smoczej Jamy na tle wykresu tolerancji lokalizacyjnej, odpowiednio dla wartości reprezentatywnych, zbadanych w różnych muzeach europejskich w ramach projektów EU MASTER i PROPAIN (Grøntoft et al., 2010).



Rys. 30: Wyniki pomiarów MEMORI dla Smoczej Jamy (Tabela 4) na tle wykresu tolerancji lokalizacyjnej względem wartości określonych w pięciu reprezentatywnych muzeach europejskich (Tabela 15, str. 58). Wartości delta E dla pomiarów EWO i GSD (Tabela 4) przedstawione są na osi.

Wysokie wartości i duże wahania wyników przedstawionych na Rys. 30 wydają się być powodowane wysokim stopniem kondensacji wody na dozymetrze. Zjawisko to było zaobserwowane wielokrotnie przy demontażu dozymetrów, a także na ścianach jaskini.

3.5 Pomiary stężenia pyłu i cząstek stałych

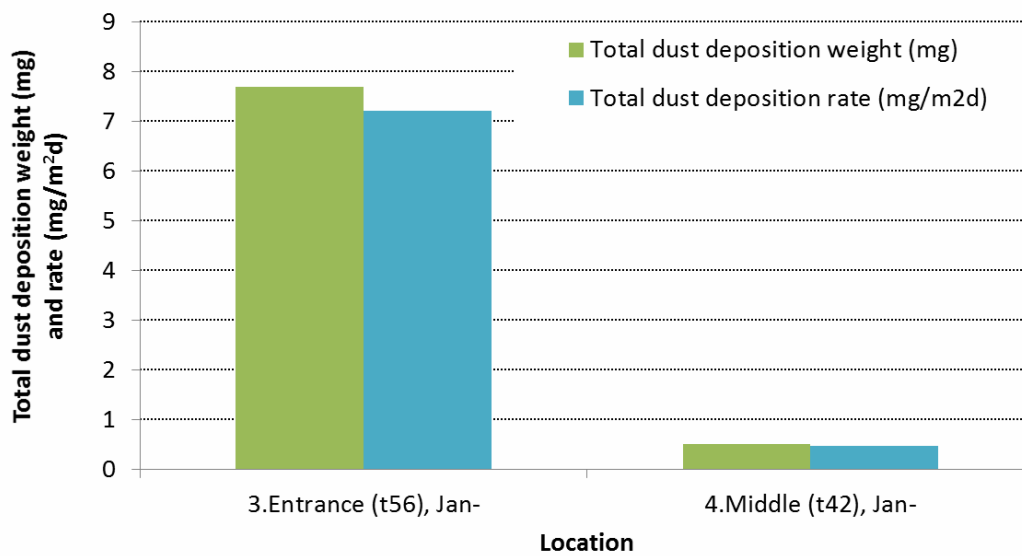
3.5.1 Depozycja pyłu w szalkach Petriego znajdujących się wewnątrz badanego obiektu

Tabela 5 i Rys. 31 przedstawiają pomiary wagi i tempa depozycji pyłu (mg na jedną szalkę Petriego o średnicy 8,7 cm) w punktach pomiarowych.

Z uwagi wystąpienia pewnych nieprawidłowości podczas realizacji pomiarów całkowitej wagi pyłu w okresach wyróżnionych szarym kolorem w Tabeli 5 (patrz: uwagi w Tabeli 5), na Rys. 31 przedstawiono jedynie dwie lokalizacje pomiarowe (okresy niewyróżnione szarym kolorem w Tabeli 5).

Tabela 5: Tempo depozycji pyłu w szalkach Petriego. Czas ekspozycji wynosił 6 miesięcy = 184 dni

Punkt pomiarowy	Okres (Tabela 1)	Waga całkowita	Uwagi	Całkowite tempo depozycji pyłu	Tempo depozycji jonów rozpuszczalnych w wodzie	Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w pyłe
		(mg)		mg/m ² d	mg/m ² d	(%)
Rezerwat (2)	1. „lato-jesień”	22	Szalka pęknięta	21,0		
	2. „zima-wiosna”	51	Obecność taśmy	48,0	1,06	2,2
Wejście (3)	1. „lato-jesień”	33	Szalka z taśmą	30,7	0,20	0,7
	2. „zima-wiosna”	8		7,2	0,39	5,5
Część	1. „lato”	36	Szalka z taśmą	33,5	0,32	1,0
	2. „zima-wiosna”	1		0,5	0,34	73,7
Wyjście (5)	1. „lato”	193	Płyn w szalce	180,5	0,35	0,2
	2. „zima-wiosna”	51	Szalka z taśmą	47,9	0,21	0,4



Rys. 31: Całkowita waga i prędkość depozycji pyłu w Smoczej Jamie

3.5.2 Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w szalkach Petriego znajdujących się wewnątrz badanego obiektu

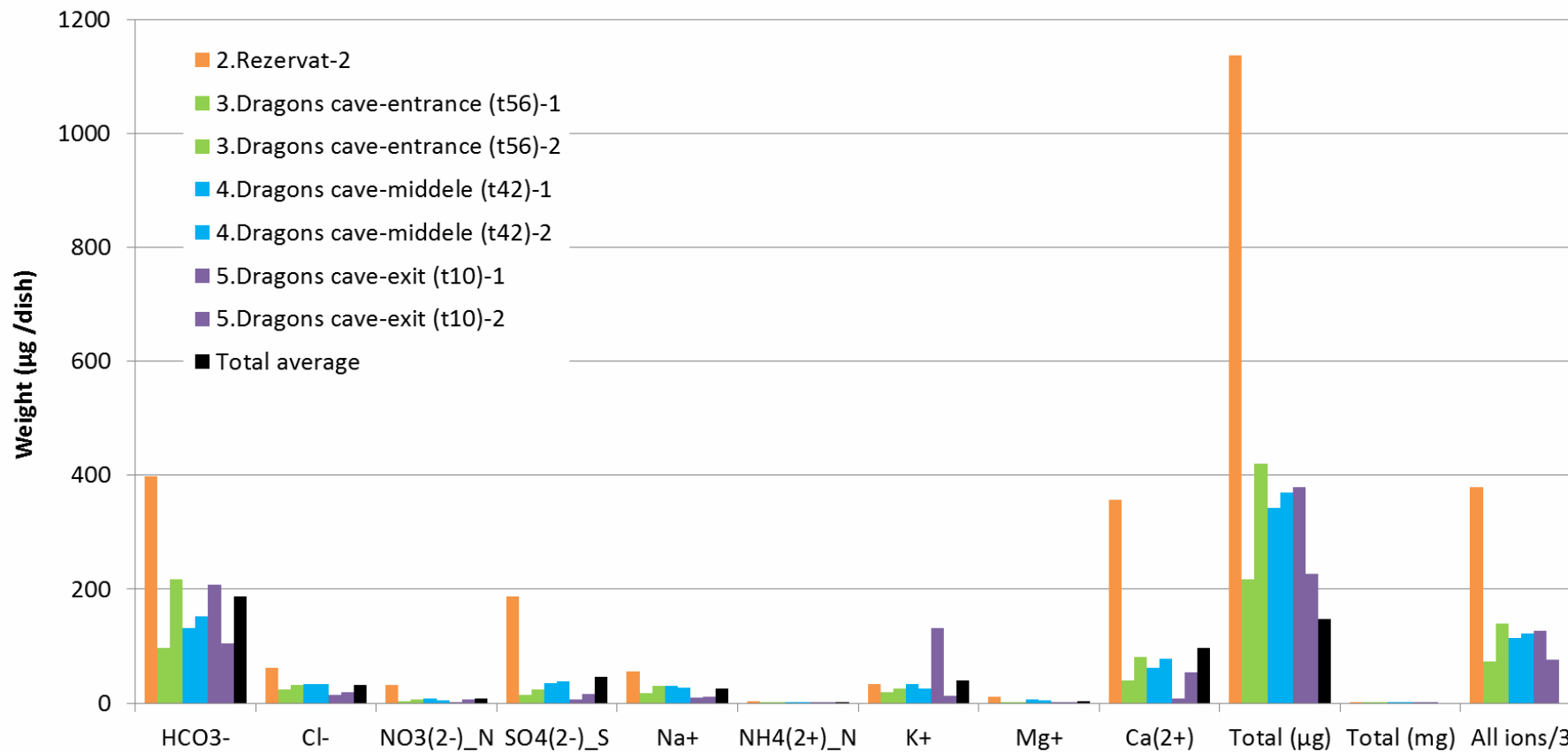
Tabela 6 i Rys. 32 do Rys. 35 przedstawiają wartość pomiaru dla depozycji anionów i kationów rozpuszczalnych w wodzie w punktach pomiarowych wewnątrz badanego obiektu. Zawartość wodorowęglanu (HCO_3^-) była liczona jako jony stanowiące brakujące kationy po odjęciu molowego ładunku atomowego sumy określonych pomiarem anionów od ładunku określonych pomiarem kationów. „Mol ładunek atomowy” jonu liczony był jako masa (g) jonów zgromadzonych w szalce Petriego podzielona przez masę atomową jonu (g/mol) i pomnożona przez ładunek jonu (np. „1” dla Cl^- i „2” dla Ca^{2+}). Tempo depozycji (g lub mol/m²dobowo) jonów liczone było przez podział masy lub liczbę moli przez liczbę dni ekspozycji, uwzględniając w wyniku powierzchnię szalki Petriego (względem jednego m²). Z przyczyn technicznych związanych z interferencją w analizie chromatograficznej, wodorowęglanu brak w analizie standardowej, jednak można stwierdzić, że jest on zazwyczaj dominującym kationem brakującym. Wartości podane dla „wszystkich jonów” na rysunkach poniżej są podzielone przez trzy.

Tabela 6: Tempo depozycji anionów i kationów rozpuszczalnych w wodzie. Masa, mol ładunek atomowy oraz % ładunku atomowego jonów gromadzących się w szalkach Petriego o średnicy 8,7 cm w punktach pomiarowych. Czas ekspozycji wynosił 6 miesięcy = 184 dni.

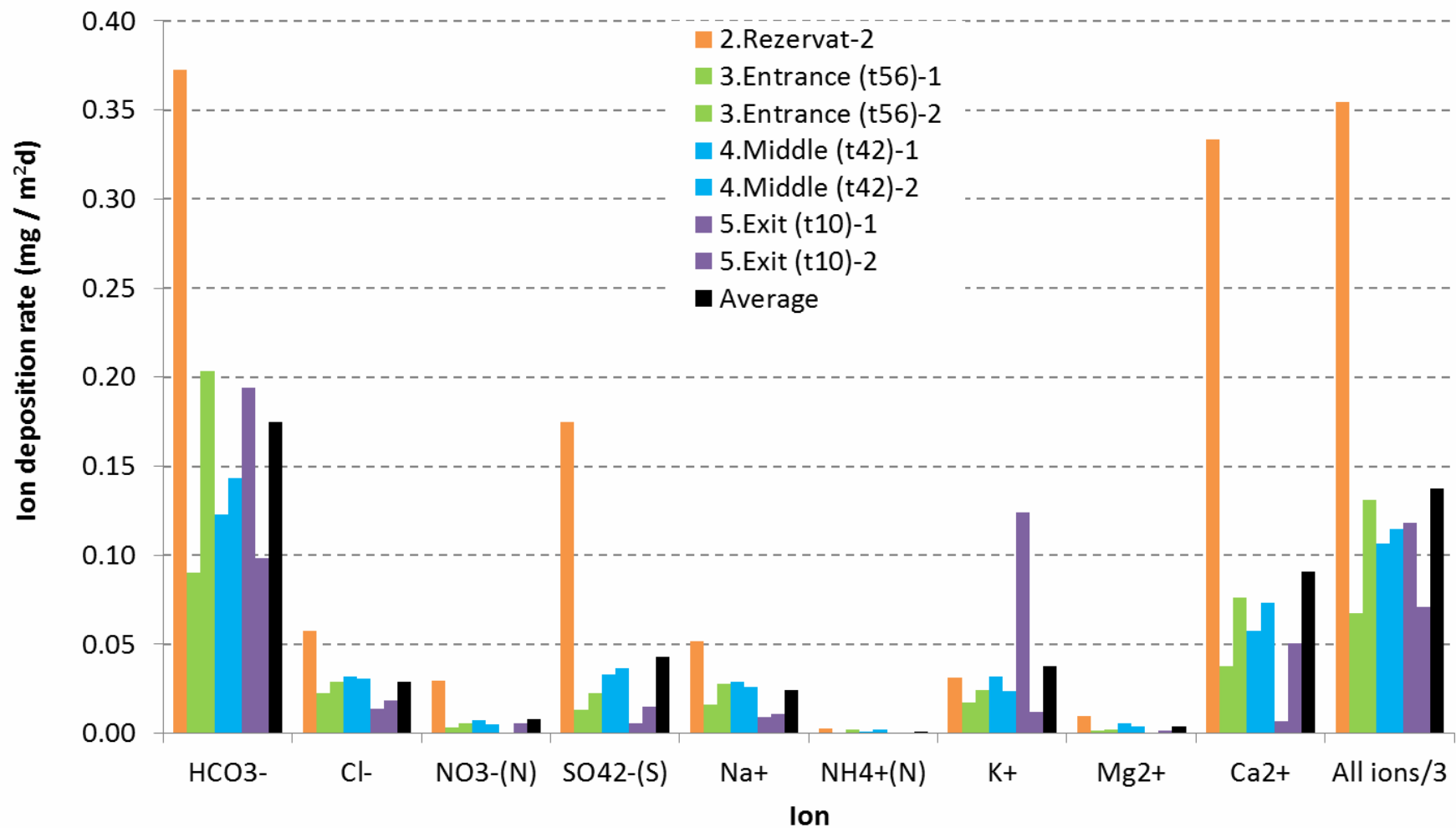
Punkt pomiarowy	Okres	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	SO ₄ ²⁻ (S)	Na ⁺	NH ₄ ⁺ (N)	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ogółem
μg/szalka											
Rezerwat (2)	1. „lato-jesień”	398	61	31	187	55	3	34	11	356	1136
	2. „zima-wiosna”	96	24	4	14	17	1	18	2	40	217
Wejście (3)	1. „lato-jesień”	217	31	6	24	30	2	26	2	82	420
	2. „zima-wiosna”	131	34	8	35	31	1	34	6	62	342
Część	1. „lato”	153	33	6	39	28	2	26	4	78	369
	2. „zima-wiosna”	207	15	1	6	10	0	132	0	7	379
Wyjście (5)	1. „lato”	105	20	6	16	12	0	13	2	54	227
	2. „zima-wiosna”	398	61	31	187	55	3	34	11	356	1136
	Średnie	96	24	4	14	17	1	18	2	40	217
Rezerwat (2)	Rok	398	61	31	187	55	3	34	11	356	1136
Wejście (3)	Rok	157	28	5	19	23	1	22	2	61	319
Część	Rok	142	34	7	37	29	2	30	5	70	355
Wyjście (5)	Rok	180	24	3	22	19	1	79	2	43	374
Średnia	Rok	187	31	9	46	26	1	41	4	97	441
mg/m ² d											
Rezerwat (2)	1. „lato-jesień”										
	2. „zima-wiosna”	0,372	0,057	0,029	0,175	0,052	0,003	0,031	0,010	0,333	1,06
Wejście (3)	1. „lato-jesień”	0,090	0,023	0,003	0,013	0,016	0,001	0,017	0,002	0,037	0,20
	2. „zima-wiosna”	0,203	0,029	0,006	0,022	0,028	0,002	0,025	0,002	0,076	0,39
Część	1. „lato”	0,123	0,032	0,007	0,033	0,029	0,001	0,032	0,006	0,058	0,32
	2. „zima-wiosna”	0,143	0,031	0,005	0,036	0,026	0,002	0,024	0,004	0,073	0,34
Wyjście	1. „lato”	0,194	0,014	0,001	0,005	0,009	0,0001	0,124	0,000	0,007	0,35
	2. „zima-wiosna”	0,098	0,018	0,006	0,015	0,011	0,0001	0,012	0,002	0,050	0,21

Punkt	Okres	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	SO ₄ ²⁻ (S)	Na ⁺	NH ₄ ⁺ (N)	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ogółem
Średnie											
Rezerwat (2)	Rok	0,372	0,057	0,029	0,175	0,052	0,003	0,031	0,010	0,333	1,063
Wejście (3)	Rok	0,147	0,026	0,005	0,018	0,022	0,001	0,021	0,002	0,057	0,298
Część	Rok	0,133	0,031	0,006	0,035	0,027	0,001	0,028	0,005	0,065	0,332
Wyjście	Rok	0,146	0,016	0,003	0,010	0,010	0,0001	0,068	0,001	0,029	0,283
Średnia	Rok	0,175	0,029	0,008	0,043	0,024	0,001	0,038	0,004	0,091	0,41
Mol ładunek atomowy*1000/m ² d											
Rezerwat (2)	1. „lato-jesień”										
	2. „zima-wiosna”	0,010	0,0016	0,0021	0,0055	0,0023	0,00021	0,0008	0,00041	0,0083	0,010
Wejście (3)	1. „lato-jesień”	0,0025	0,0006	0,00025	0,0004	0,0007	0,00004	0,0004	0,00007	0,0009	0,0025
	2. „zima-wiosna”	0,0057	0,0008	0,00041	0,0007	0,0012	0,00014	0,0006	0,00009	0,0019	0,0057
Część	1. „lato”	0,0035	0,0009	0,00052	0,0010	0,0013	0,00007	0,0008	0,00023	0,0014	0,0035
	2. „zima-wiosna”	0,0040	0,0009	0,00038	0,0011	0,0011	0,00014	0,0006	0,00016	0,0018	0,0040
Wyjście	1. „lato”	0,0055	0,0004	0,00005	0,0002	0,0004	0,00001	0,0032	0,00002	0,0002	0,0055
	2. „zima-wiosna”	0,0028	0,0005	0,00039	0,0005	0,0005	0,00001	0,0003	0,00007	0,0013	0,0028
Średnie											
Rezerwat (2)	Rok	0,0052	0,0008	0,00105	0,0027	0,0011	0,00011	0,0004	0,00020	0,0042	0,0052
Wejście (3)	Rok	0,0041	0,0007	0,00033	0,0006	0,0010	0,00009	0,0005	0,00008	0,0014	0,0041
Część	Rok	0,0038	0,0009	0,00045	0,0011	0,0012	0,00010	0,0007	0,00020	0,0016	0,0038
Wyjście	Rok	0,0041	0,0005	0,00022	0,0003	0,0004	0,00001	0,0017	0,00004	0,0007	0,0041
Średnia	Rok	0,0052	0,0008	0,00105	0,0027	0,0011	0,00011	0,0004	0,00020	0,0042	0,0052
% ładunku atomowego, anionów i kationów											
Rezerwat (2)	1. „lato-jesień”										
	2. „zima-wiosna”	29	8	10	53	11	1	4	4	80	100
Wejście (3)	1. „lato-jesień”	46	20	8	26	22	1	14	4	58	100
	2. „zima-wiosna”	56	14	7	23	20	2	11	3	64	100
Część	1. „lato”	37	16	10	37	23	1	15	8	52	100

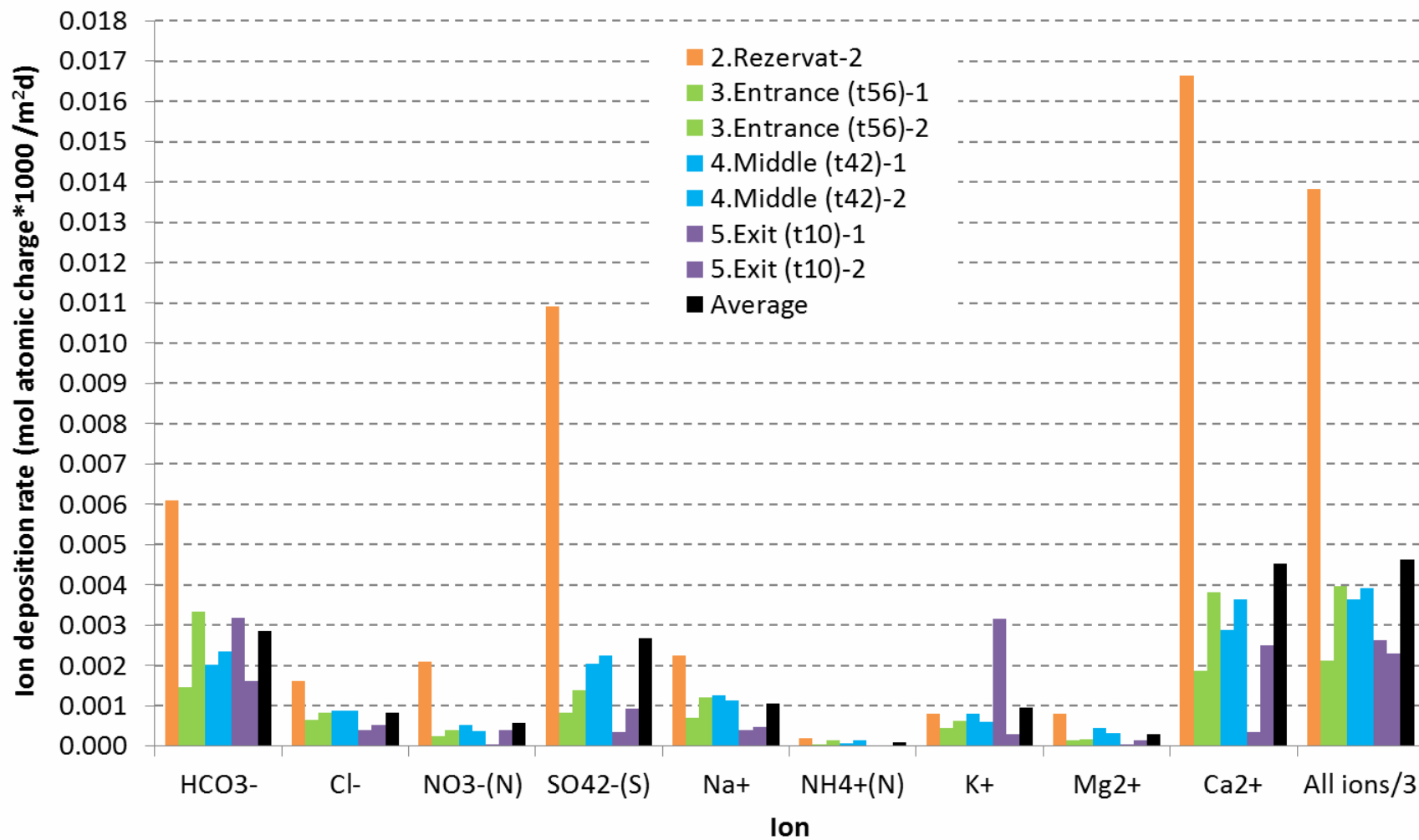
Punkt	Okres	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	SO ₄ ²⁻ (S)	Na ⁺	NH ₄ ⁺ (N)	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ogółem
Wyjście	2. „zima-wiosna”	40	15	7	39	19	2	10	6	62	100
	1. „lato”	80	10	1	9	10	0	80	1	9	100
	2. „zima-wiosna”	47	15	11	27	14	0	9	4	73	100
Średnie											
Rezerwat (2)	Rok	29	8	10	53	11	1	4	4	80	100
Wejście (3)	Rok	51	17	7	25	21	2	12	4	61	100
Część	Rok	38	16	8	38	21	2	13	7	57	100
Wyjście	Rok	63	13	6	18	12	0	44	2	41	100
Średnia	Rok	48	14	8	30	17	1	20	4	57	100



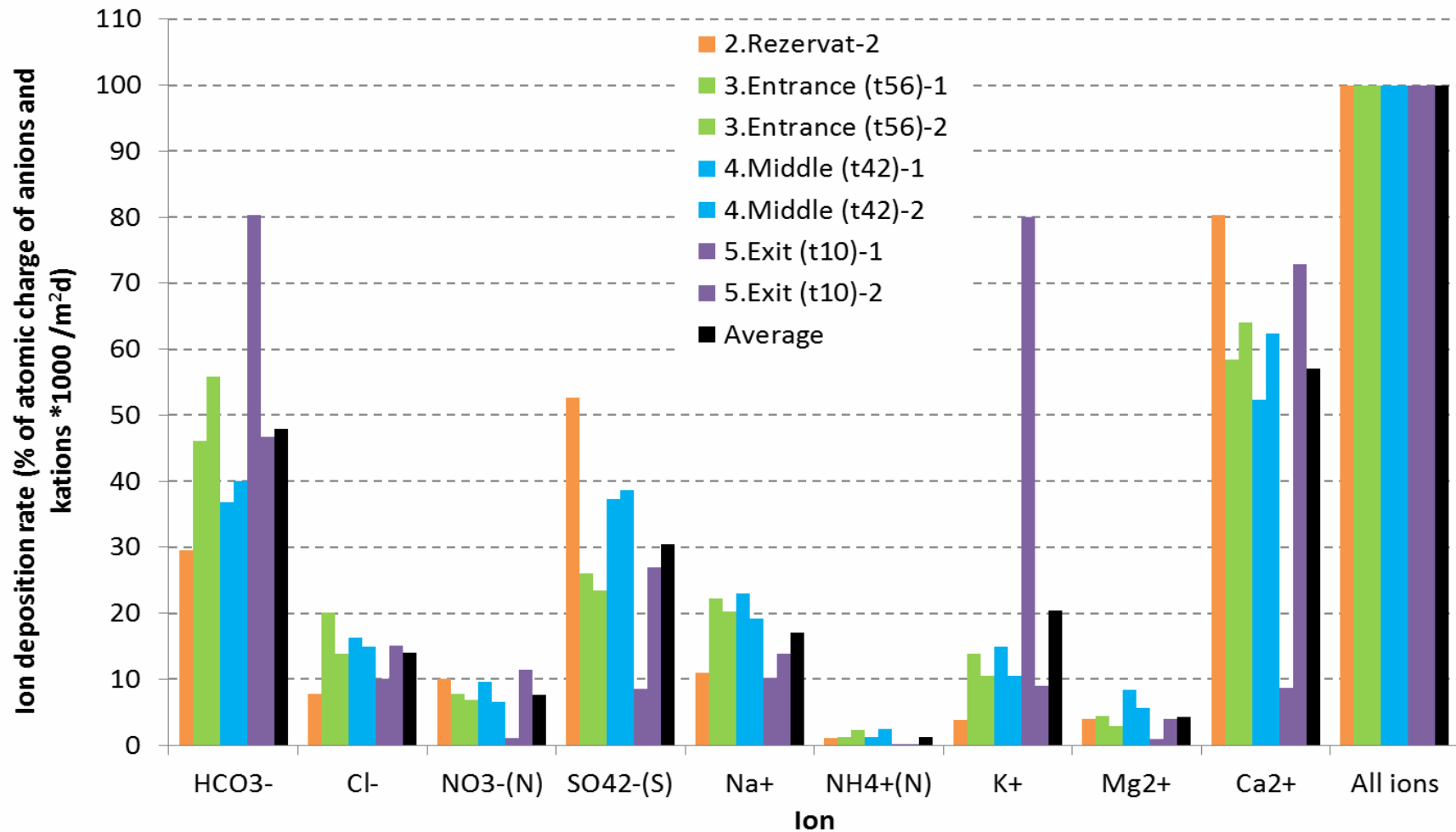
Rys. 32: Masa całkowita jonów rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w punktach pomiarowych w Smoczej Jamie, wyrażona w $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$



Rys. 33: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w punktach pomiarowych w Smoczej Jamie, wyrażone w $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$



Rys. 34: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w punktach pomiarowych w Smoczej Jamie, wyrażone w molowym ładunku atomowym*1000/m²d



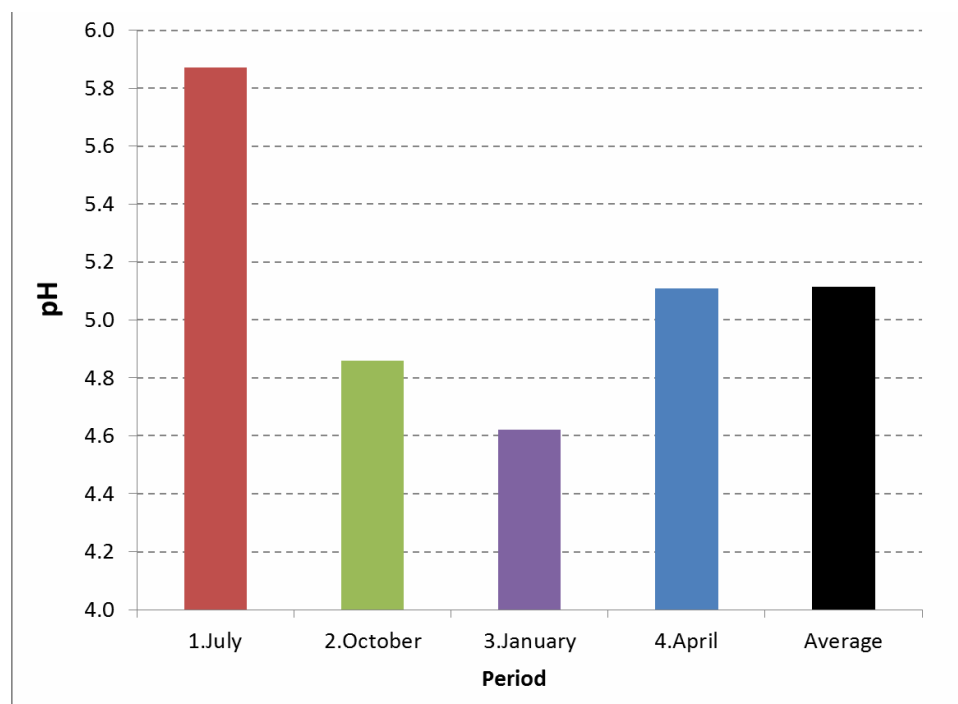
Rys. 35: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w pyłe gromadzącym się w punktach pomiarowych w Smoczej Jamie, wyrażone w % ładunku atomowego anionów i kationów *1000/m²d.

3.5.3 pH w opadającym aerozolu na zewnątrz badanego obiektu

Tabela 7 i Rys. 36 przedstawiają wyniki pomiaru dla pH w roztworze wodnym, przeprowadzonego z zastosowaniem bibuły filtracyjnej absorbującej aerozol po depozycji aerozolu na Wzgórzu Wawelskim - w punkcie pomiarowym Smoczej Jamy . pH tła wynosiło 4,7.

Tabela 7: Pomiar pH w roztworze wodnym, przeprowadzony z zastosowaniem bibuły filtracyjnej absorbującej aerozol

Punkt pomiarowy	Okres	Pomiar pH w roztworze wodnym, przeprowadzony z zastosowaniem
Na Zewnątrz	1. „lipiec”	5,87
	2. „październik”	4,86
	3. „styczeń”	4,62
	4. „kwiecień”	5,11
Średnia	Rok	5,12



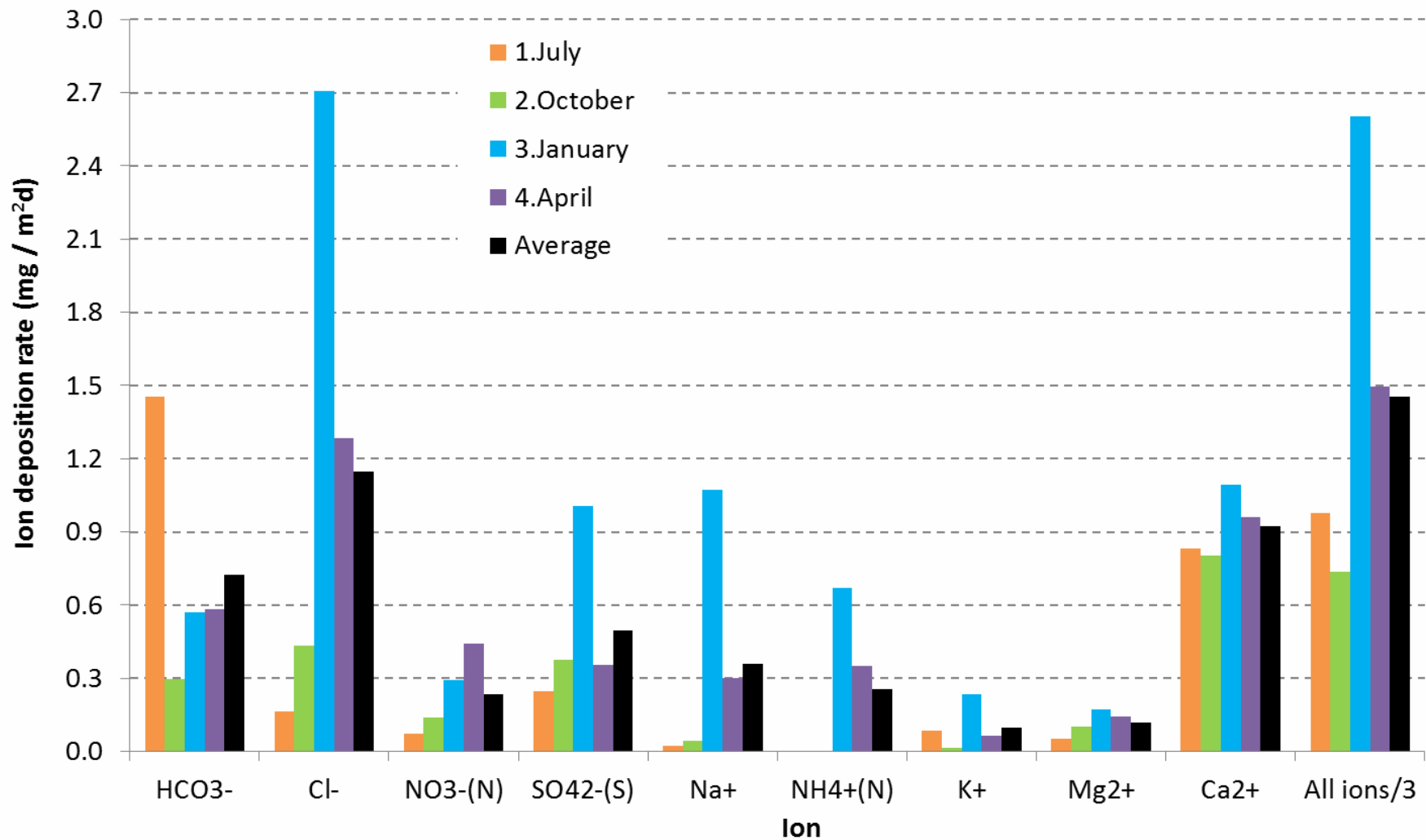
Rys. 36: pH w roztworze na podstawie pomiarów przeprowadzonych z zastosowaniem bibuły filtracyjnej absorbującej aerozol na zewnątrz obiektu

3.5.4 Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na zewnątrz badanego obiektu

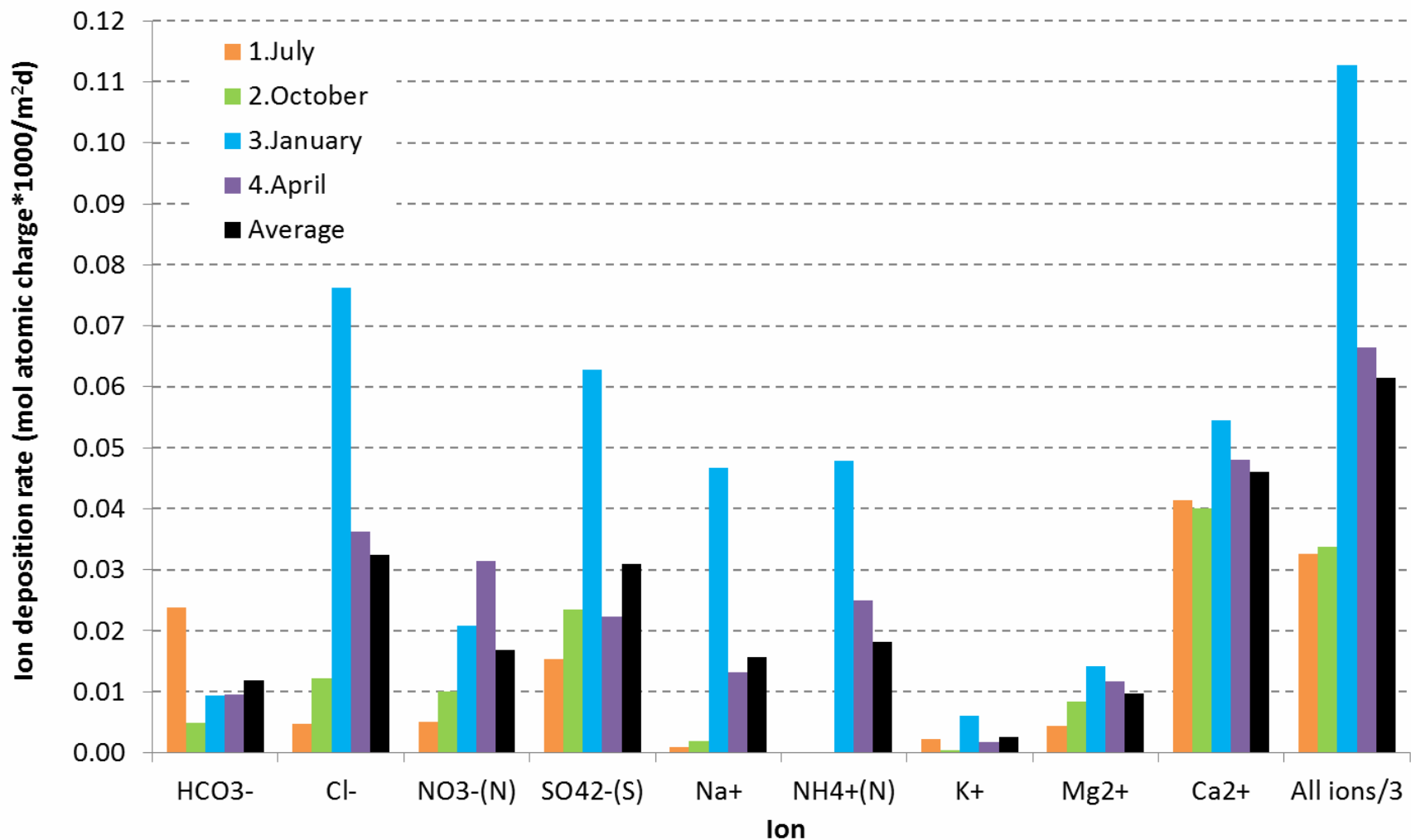
Tabela 8 i Rys. 37 do Rys. 39 przedstawiają zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na otwartym powietrzu na Wzgórzu Wawelskim - w punkcie pomiarowym Smoczej Jamy.

Tabela 8: Zawartość jonów rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na zewnątrz badanego obiektu

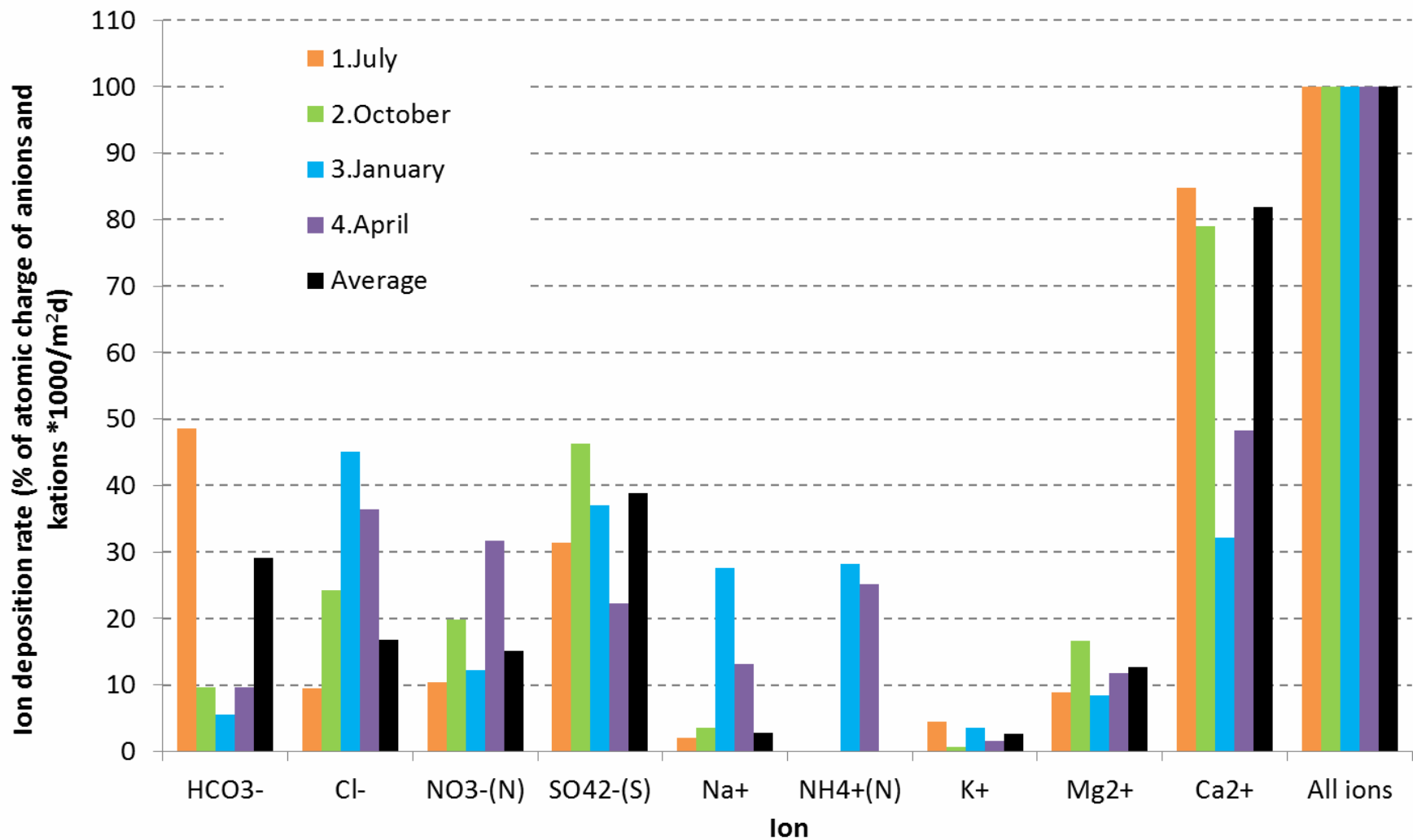
Punkt	Okres	Dni	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	SO ₄ ²⁻ (S)	Na ⁺	NH ₄ ⁺ (N)	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ogółem
mg/m ² d												
Na Zewnątrz	1. „lipiec-	92	1,45	0,17	0,07	0,25	0,02	0	0,09	0,05	0,83	2,9
	2. „październik”	36	0,30	0,44	0,14	0,38	0,04	0	0,02	0,10	0,80	2,2
	3. „styczeń”	30	0,57	2,71	0,29	1,01	1,07	0,67	0,24	0,17	1,09	7,8
	4. „kwiecień”	31	0,58	1,29	0,44	0,36	0,30	0,35	0,07	0,14	0,96	4,5
Średnia	Rok		0,73	1,15	0,24	0,50	0,36	0,26	0,10	0,12	0,92	4,4
Mol ładunek atomowy*1000/m ² d												
Na Zewnątrz	1. „lipiec-	92	0,024	0,005	0,005	0,015	0,001	0	0,002	0,004	0,041	0,098
	2. „październik”	36	0,005	0,012	0,010	0,023	0,002	0	0,0004	0,008	0,040	0,101
	3. „styczeń”	30	0,009	0,076	0,021	0,063	0,047	0,048	0,006	0,014	0,055	0,338
	4. „kwiecień”	31	0,010	0,036	0,032	0,022	0,013	0,025	0,002	0,012	0,048	0,199
Średnia	Rok		0,012	0,032	0,017	0,031	0,016	0,018	0,003	0,010	0,046	0,184
% ładunku atomowego												
Na Zewnątrz	1. „lipiec-	92	49	10	10	31	2	0	4	9	85	100
	2. „październik”	36	10	24	20	46	4	0	1	17	79	100
	3. „styczeń”	30	6	45	12	37	28	28	4	8	32	100
	4. „kwiecień”	31	10	36	32	22	13	25	2	12	48	100
Średnia	Rok		29	17	15	39	3	0	3	13	82	100



Rys. 37: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na wolnym powietrzu na Wzgórze Wawelskim, wyrażone w mg/m²d



Rys. 38: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na wolnym powietrzu na Wzgórzu Wawelskim, wyrażone w molowym ładunku atomowym *1000/m²d.



Rys. 39: Tempo depozycji jonów frakcji rozpuszczalnych w wodzie w aerozolu gromadzącym się na wolnym powietrzu na Wzgórzu Wawelskim, wyrażone w % ładunku atomowego anionów i kationów *1000/m²d.

4 Standardy środowiskowe

Standardy środowiskowe dla światła widzialnego, UV, T, RH i zanieczyszczenia powietrza podano w Tabeli 9 do Tabeli 15 poniżej.

Tabela 9: Sugerowane wartości graniczne dla ekspozycji na światło dla obiektów o różnej wrażliwości. Na podstawie CIE 157:2004 «Zapobieganie uszkodzeniom obiektów muzealnych pod wpływem promieniowania świetlnego».

Category of light sensitivity Corresponding BWS Category (ISO classification)	Illuminance limit (Lux)	Total annual light exposure (lux.hours per year)
1. irresponsive BWS cat. : none	No limit	No limit
2. Low responsivity BWS cat.: 7, 8	200	600000
3. Medium responsivity BWS cat.: 4, 5, 6	50	150000
4. High responsivity BWS cat. : 1,2,3	50	15000

Tabela 10: Wrażliwość na światło danych materiałów. Na podstawie CIE 157:2004 «Zapobieganie uszkodzeniom obiektów muzealnych pod wpływem promieniowania świetlnego».

Category	Description
1. Irresponsive	The object is composed entirely of materials that are permanent , in that they have no light responsivity. Examples: most metals, stone, most glass, genuine ceramic, enamel, most minerals.
2. Low responsivity	The object includes durable materials that are slightly light responsive . Examples: oil and tempera painting, fresco, undyed leather and wood, horn, bone, ivory, lacquer, some plastics.
3. Medium responsivity	The object includes fugitive materials that are moderately light responsive . Examples: costumes, watercolours, pastels, tapestries, prints and drawings, manuscripts, miniatures, paintings in distemper media, wallpaper, gouache, dyed leather and most natural history objects, including botanical specimens, fur and feathers.
4. High responsivity	The object includes highly light responsive materials. Examples: silk, colorants known to be highly fugitive, newspaper.

Tabela 11: Wartości graniczne dla maksymalnych akceptowalnych poziomów napromieniowania UV w archiwach i muzeach.

Źródło	Maksymalny poziom UV	Wartość
Archiwa - BS5454:2000, wartość najniższa	10 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 50 lx ($1\text{m}/\text{m}^2$)	0,5 mW/m^2
Archiwa - BS5454:2000, wartość najwyższa	10 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 200 lx	2 mW/m^2
Thomson ¹ /wytyczne English Heritage, wartość najniższa	75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 50 lx	3,75 mW/m^2
Thomson ¹ /wytyczne English Heritage, wartość najwyższa	75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 200 lx	15 mW/m^2
„British Museum Guidelines”, wartość najniższa (materiały organiczne)	75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 50 lx	3,75 mW/m^2
„British Museum Guidelines”, wartość najwyższa (drewno niekryte)	75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 500 lx	37,5 mW/m^2
Bardzo zachmurzone niebo (Anglia, przykładowo, na wolnym powietrzu)	800 $\mu\text{W}/\text{lm}$ przy 5000 lx	400 mW/m^2

¹Thomson, 1986.

Tabela 12: Sugerowane środowisko dla obiektów muzealnych wykonanych z różnych materiałów. Więcej materiałów omówiono w tabeli źródłowej (South East Conservation&Restoration, 2014).

Materiał	Temperatura	Wilgotność względna	Światło max. (lx)	UV max. $\mu\text{w}/\text{lm}$	Maksymalny okres wystawienia
Skóra	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	50 (barwiona)	30 (barwiona)	3 miesiące 6 miesięcy
Obiekty metalowe (niewymie)	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$< 35\%$	300	bez ograniczeń	bez ograniczeń
Obiekty plastikowe (niewymie)	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	50 (wystawa) Brak w zbiorach	30 (wystawa) Brak w zbiorach	3 miesiące
Guma (miękka)	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	50 (wystawa) Brak w	30 (wystawa) Brak w	3 miesiące
Płótno	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	50	30	3 miesiące
Materiały kompozytowe (stosowane np. w	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	200	80	6 miesięcy
Gesso	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	200	80	6 miesięcy
Złoto (w tym złoto	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$< 35\%$	300	bez ograniczeń	bez ograniczeń
Farba olejna	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 10\%$	200	80	6 miesięcy
Drewno (niewymienione)	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 5\%$	200	80	6 miesięcy
Tekstylna	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$50 \pm 5\%$	50	30	3 miesiące

Tabela 13: Obszary stabilności (białe pole) dla wilgotności względnej dla procesów częściowego niszczenia i materiałów (Mecklenburg, 2010).

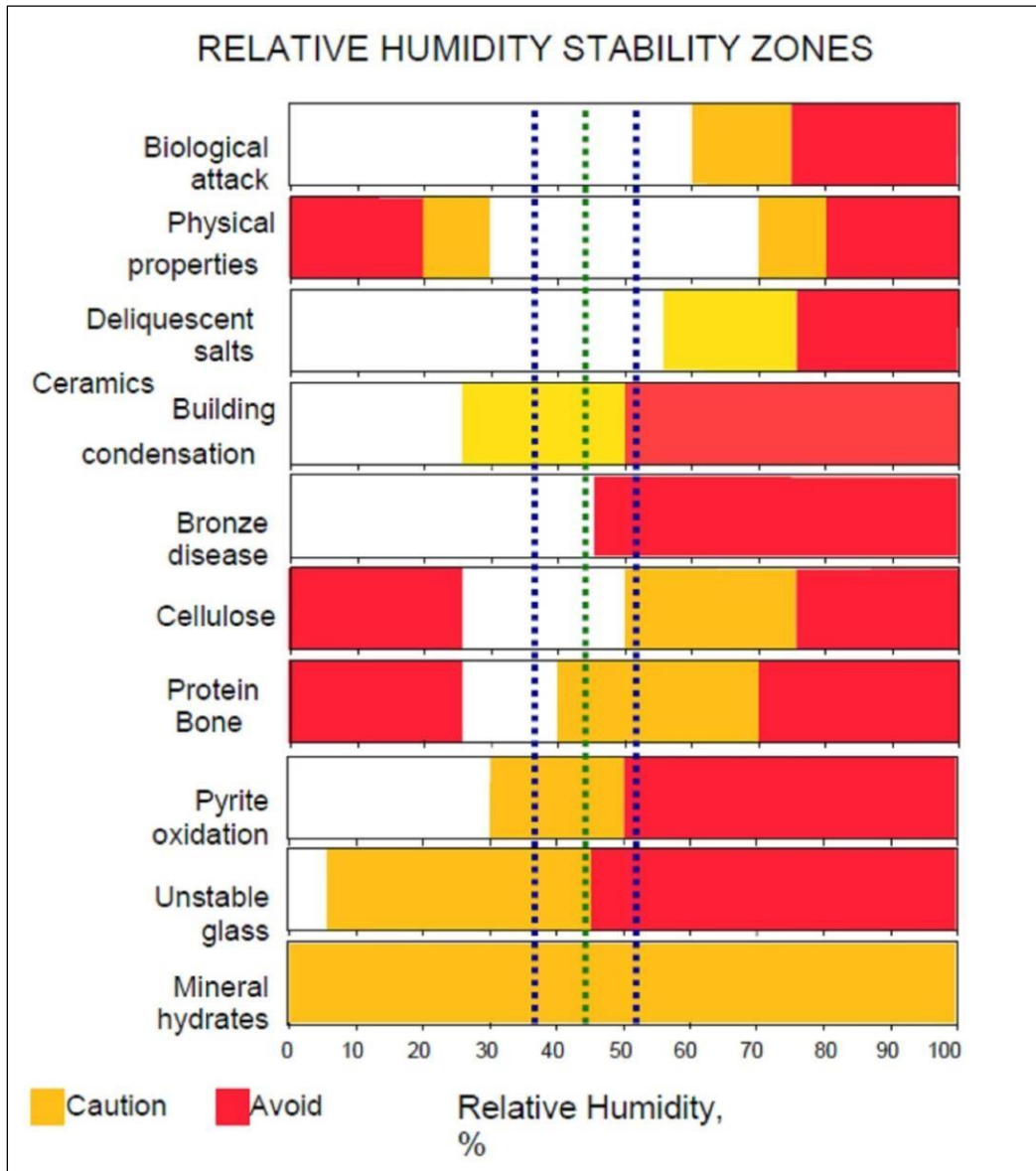


Tabela 14: Poziomy stężenie dla wrażliwości materiałów organicznych na NO₂, O₃ i SO₂, określone w ramach projektu MASTER. Na podstawie ASHRAE (2007) i Tétreault (2003). Poziomy oceny (1-5) to po prostu ranking zaobserwowanych uszkodzeń w porządku rosnącym, wynikających z odnotowanej ekspozycji materiałów na rosnące stężenie zanieczyszczeń gazowych.

Pozio m oceny	Wartość ć granicz na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Efekt - wrażliwość materiału
Dwutlenek azotu		
1	< 3,8	Właściwości najbardziej wrażliwych organicznych barwników jedwabiu lub bawełny zmieniają się w ciągu 3 miesięcy, zmiany właściwości typowych barwników roślinnych bawełny następują w ciągu pięciu lat. Granica wykrywalności dla dozymetru PPO wynosi
2	< 9,5	Właściwości typowych barwników roślinnych jedwabiu lub bawełny zmieniają się w ciągu jednego roku.
3	< 19	Właściwości naturalnych barwników organicznych Papier traci wytrzymałość w ciągu dwóch lat, typowe barwniki roślinne bawełny i jedwabiu blakną w ciągu
4	< 38	Papier traci wytrzymałość fizyczną po jednym roku. Kolor papieru zmienia się po dwóch latach.
5	< 57	Kolor drewna zmienia się po jednym roku. Papier traci wytrzymałość fizyczną w ciągu sześciu miesięcy. Właściwości naturalnych barwników organicznych
Ozon		
1	< 4,6	Właściwości najbardziej wrażliwych barwników organicznych zmieniają się w ciągu sześciu miesięcy.
2	< 12	Właściwości papieru i barwników organicznych papieru zmieniają się w ciągu pięciu lat. Właściwości barwników organicznych papieru akwarelowego, jedwabiu i papieru
3	< 26	Właściwości barwników błon fotograficznych i zdjęć zmieniają się w ciągu dwóch lat. Również na podstawie papierowych materiałów archiwalnych amerykańskiego Narodowego Biura Standaryzacji. Właściwości papieru i
4	< 50	Właściwości papieru i barwników organicznych papieru akwarelowego i jedwabiu zmieniają się w ciągu dwóch lat. Właściwości barwników błon fotograficznych i zdjęć
5	< 100	Właściwości papieru i barwników organicznych papieru akwarelowego i jedwabiu zmieniają się w ciągu jednego roku. Właściwości barwników błon fotograficznych i
Dwutlenek siarki		
1	< 0,2	Dobre zachowanie właściwości przez co najmniej 100 lat.
2	< 1,0	Wartość graniczna sugerowana przez amerykańskie Narodowe Biuro Standaryzacji dla papierowych
3	< 6,5	Znaczne uszkodzenie po 100 latach.
4	< 10,4	Wartość graniczna sugerowana przez Gary'ego Thomsona w publikacji pt. „Muzeum Environment”.
5	< 26	Znaczne uszkodzenie po 25 latach.

Tabela 15: Wartości graniczne MEMORI (EWO, przy RH = 55%, i GSD) dla lokalizacji o różnym stopniu ochrony przed powietrzem zewnętrznym (Rys. 30).

EWO		GSD	
Wartość	Punkt pomiarowy	Wartość	Ocena
1: 0,6	Rama mikroklimatyczna, przechowalnia, archiwum	1: 0,75	Wartość dopuszczalna
2: 2,1	Specjalnie wybudowane muzeum	2: 1,5	Wartość
3: 3,5	Budynek historyczny		
4: 6,0	Otwarta struktura wewnątrzowa	3: 3	Wartość
5: 9,3	Przechowalnia zewnętrzna bez		

5 Omówienie

Światło/UV

Jaskinia to miejsce na ogół dość ciemne, oświetlone sztucznym światłem w równych odstępach, dzięki czemu możliwe jest zwiedzanie jej wnętrza i podziwianie jej naturalnych atrakcji; w ciągu jaskini występują ciemniejsze zagłębienia i okazjonalne załamania, które nadają jej tajemniczego charakteru. Do części wyjściowej jaskini przedostaje się trochę światła naturalnego, które widać już z pewnej odległości z wewnątrz.

Wartości natężenia światła widzialnego (lx) i UV były mierzone jedynie przy niektórych transektach, na początku pomiarów (tj. 9 lipca 2014 roku). Jaskinia oświetlona jest stale zapewne przez cały rok, zależnie od ustawienia włącznika światła. Wartości oświetlenia przedstawione poniżej zostały opracowane na podstawie powyższego założenia. Roczna wartość światła naturalnego występującego przy wyjściu nie została obliczona.

Rys. 6 i Rys. 7 pokazują, że natężenie światła widzialnego i UV wewnątrz jaskini jest na ogół dość niskie poza wyjątkiem transektu 30, gdzie pomiary zostały przeprowadzone kilka metrów z dala od jednej z lamp oświetlających jaskinię. Zbadane natężenie światła widzialnego w ciemniejszych partiach jaskini nie przekraczało nigdy poziomu 5 lx (co dawałoby wartość ~8415 luksogodzin rocznie, zakładając, że w jaskini jest całkowicie ciemno poza godzinami zwiedzania i przy wyłączonych lampach), natomiast w przypadku światła UV, natężenie wynosiło 0. W pobliżu lampy, natężenie światła widzialnego wynosiło od 13 lx (21879 luksogodzin rocznie) do 21 lx (35343 luksogodzin rocznie), zaś natężenie UV wynosiło do 0,5 mW/m³. Oczywiście jeśli pomiar wykonywany był bliżej lampy, tym wyższe wartości osiągał badany parametr. Przy większych odległościach od lampy, wartości były zbliżone do wartości tła badanego obiektu. Natężenie światła UV u wyjścia jaskini było nieco wyższe niż w przypadku pomiaru przy lampie przy transekcji 30, zaś natężenie światła widzialnego u wyjścia było wciąż dużo niższe niż w przypadku punktu pomiarowego przy transekcji 30, zbliżone wręcz do wartości tła wnętrza jaskini, co wskazuje na duży udział UV w ogóle światła - w stosunku do wartości wyników pomiarów przeprowadzonych przy lampach wewnątrz jaskini.

Wartości natężenia punktowego światła widzialnego i UV, mierzonego w tle i blisko lampy, okazały się niższe niż wartości zalecane dla wysoko- i średnio-reaktywnych i różnych innych rodzajów materiałów (Tabela 9 i Tabela 12) - oraz

ogólnie dla archiwów (Tabela 11). Wartość lx zidentyfikowana przy transekcie 30, blisko lampy, była jednak wyższa niż wartość zalecana (15000 luksogodzin rocznie) dla większości materiałów reaktywnych (Tabela 9). Wartość UV przy transekcie 60, w pobliżu wyjścia, okazała się być wyższa niż wartość graniczna zalecana dla archiwów.

Oczywiście każde zbliżenie do lamp czy do wyjścia, na odległość 1-2 metrów lub bliższą, powodowałoby przekroczenie zalecanych wartości dla światła widzialnego i UV, jednak oświetlenie generowane przez lampy oraz światło z obszaru wyjścia z jaskini rozrzedzają się szybko, w miarę oddalania się od swoich źródeł, osiągając wartości niezagrażające obiektom kultury.

Warunki klimatyczne

Wilgotność względna (RH) oraz temperatura (T) były badane w kilku punktach transektowych na początku pomiarów, a potem konsekwentnie przez cały rok w trzech punktach pomiarowych wewnątrz Rezerwatu i jaskini, a także w jednym punkcie na zewnątrz obiektu (Rys. 3). (Dane pomiarowe z tego ostatniego punktu zostały utracone z uwagi na awarię rejestratora)

Według pomiarów, wartości RH były na ogół wysokie. Wartości RH badane 9 lipca 2014 roku w ciągu jaskini oscylowały pomiędzy 77 a 87%, osiągając niższy poziom przy wejściu (transekt 10) i znacząco wyższy przy wyjściu (transekt 60). Wartości w ujęciu rocznym (2014-2015) również dowodzą, że obszar wejścia do jaskini jest mniej wilgotny (średnia = 95,1%, min. = 68,1%) niż jej część centralna (średnia = 96,1%, min. = 75,3%). Rezerwat okazał się miejscem dużo mniej wilgotnym (średnia = 87,1%, min. = 54,1%), podobnie jak Część Zewnętrzna jaskini (średnia = 84,5%, min. = 22,2%).

Wartość RH wewnątrz jaskini (Wejście i Część Centralna, Rys. 16 i Rys. 19) była znacząco niższa zimą niż latem. Od ok. połowy października, wartość RH stopniowo malała - przeważnie z poziomu 100%, choć i z wieloma wahaniami - aż do momentu osiągnięcia wartości minimalnych, zmierzonych pod koniec grudnia, a potem w okolicach 1 lutego. Następnie wartość ta stopniowo rosła, ponownie przy wielokrotnych wahaniami, od około początku maja; prowadzone wówczas pomiary wskazywały na poziom 95 - 100%. Wartości czasowe dla RH mierzonej w Wejściu i Części Centralnej (Rys. 16 do Rys. 21) były bardzo zbliżone, choć w Części Centralnej RH była nieco wyższa. W Części Centralnej, RH osiągało wartość 100% RH w „letniej połowie” roku, natomiast w Wejściu, wartość ta zawierała się w przedziale 95 - 100%. Minimalna wartość RH, zmierzona w Wejściu w okresie zimowym, wynosiła 75,3% na tle poziomu 68,1% dla Wejścia. Wyniki te odpowiadają pomiarom niższej wartości RH przy transektach, gdzie wartość RH wynosiła ok. 80% w Wejściu (Rys. 8). Wartości pomiarów transektowych przeprowadzonych w Wejściu w okresie letnim, wskazujących na RH na poziomie ok. 80%, są znacznie niższe niż pomiary ciągłe, według których RH wynosiła 95 - 100%. Sytuacja ta może mieć miejsce dlatego, że pomiary transektowe były realizowane w warunkach swobodnego przepływu powietrza w części centralnej jaskini, natomiast pomiary ciągłe były wykonywane z użyciem miernika montowanego na mokrej ścianie skalnej.

Różnice w poziomie temperatury wewnątrz jaskini w Wejściu i w Części Centralnej były zbliżone, choć u Wejścia odnotowano nieco wyższy poziom temperatury w okresie letnim, przy maksymalnej wartości 15,6 °C w Wejściu i 14,6 °C w Części Centralnej (Tabela 2). Wyższa temperatura w Wejściu przyczynia się na ogół do niższego poziomu wilgotności względnej powietrza w Części Centralnej.

Pomiary wilgotności względnej i poziomu temperatury na zewnątrz i wewnątrz jaskini dowodzą, że istnieje korelacja pomiędzy temperaturą na zewnątrz i

a poziomem wilgotności względnej zarówno dla Wejścia, jak i Części Centralnej (Rys. 18 i Rys. 21, A do C). Nie widać tu jednak korelacji pomiędzy wilgotnością względną zewnętrzną i wewnętrzną dla tych lokalizacji (Rys. 18 i Rys. 21, D).

Warunki klimatyczne panujące w Rezerwacie są inne niż wewnątrz jaskini. Stwierdzono duże krótkookresowe rozbieżności poziomów RH i T, co odpowiada za większą rozpiętość ich wartości (odchylenie standardowe), a także niższe minimalne wartości (ok. 1 stycznia i w połowie kwietnia) wilgotności względnej, ale też mniejsze rozbieżności długookresowe w ciągu roku niż w innych miejscach w jaskini. Wilgotność względna w okresie zimowym przybiera podobną wartość co w przypadku jaskini, ale w okresie letnim nigdy nie osiąga poziomu 100%. Stąd też różnica poziomów wilgotności względnej dla zimy i lata jest niewielka. W Rezerwacie, tak samo jak w przypadku jaskini, zachodzi korelacja pomiędzy poziomem temperatury w Części Zewnętrznej i wewnątrz obiektu, a także pomiędzy poziomem temperatury wewnątrz obiektu a poziomem wilgotności (Rys. 15, A do C). Korelacje te są jednak mniej wyraźne w przypadku Rezerwatu, natomiast tutaj - w przeciwieństwie do jaskini - widać delikatną korelację pomiędzy wilgotnością względną w Części Zewnętrznej i wewnątrz obiektu (Rys. 15, D), co dowodzi bezpośredniego wpływu wilgotnego powietrza, które dochodzi do Rezerwatu z zewnątrz, na lokalny klimat.

Pomiary klimatyczne przeprowadzone wewnątrz jaskini dowodzą, że wilgotność względna jest na ogół bardzo wysoka, sięgając często poziomu 100% wzdłuż ścian w „letniej połowie” roku. Możliwe jest, że w warunkach swobodnego przepływu powietrza w środkowej części jaskini poziom wilgotności względnej jest niższy, sięgając ok. 80 % w lecie. W „zimowej połowie” roku, poziom wilgotności względnej spada do wartości w przedziale 80 - 90%, osiągając też niższe wartości w partiach o swobodnym przepływie powietrza, zgodnie z oczekiwaniami. Wyższy poziom wilgotności względnej w lecie wydaje się mieć związek z występowaniem wyższej temperatury na zewnątrz obiektu, a zwłaszcza z dość znacznym ochładzaniem się - i wyższą wilgotnością względną - powietrza wpadającego z zewnątrz do środka jaskini, choć dodatkową częściową przyczyną może być również wzmożone parowanie wewnątrz jaskini, kiedy lato jest wyjątkowo ciepłe. Zimą, powietrze wewnątrz jaskini jest zazwyczaj cieplejsze niż to na zewnątrz, a wilgotność względna powietrza wpadającego do jaskini zmniejsza się, co sprawia, że powietrze w jaskini staje się bardziej suche.

Powietrze w Wejściu jest bardziej suche niż w Części Centralnej czy u Wyjścia (Rys. 8), za co odpowiadać może fakt, że suche powietrze, które wpada do jaskini od strony wejścia, staje się wilgotniejsze w efekcie ogrzania, a także nasycy się wilgocią powodowaną parowaniem w miarę przepływu w stronę wyjścia (patrz niżej: omówienie kwestii zanieczyszczenia powietrza).

Wygląda na to, że Rezerwat pozostaje pod dużym wpływem powietrza napływającego z zewnątrz obiektu. Korelacja pomiędzy poziomem temperatury wewnętrznej a wilgotnością względną jest niska, ale występuje tu też korelacja pomiędzy poziomem wilgotności względnej wewnątrz i na zewnątrz obiektu, co dowodzi, że efekt chłodzenia ciepłego powietrza letniego czy parowania wewnątrz obiektu jest tu mniejszy, a bezpośredni efekt wymiany wewnętrznych mas powietrza na powietrze napływające do Rezerwatu z zewnątrz jest nieco bardziej widoczny.

Rys. 13 i Rys. 16 przedstawiają typowe wartości graniczne dla właściwości klimatu, mierzonych zgodnie z CEN/TC 346: EN 15757 (2010). Wartości te oparte są na założeniu, że dobra kultury są odporne na oryginalne, historyczne warunki klimatyczne (według wczesnych pomiarów), ale wysokie wahania parametrów klimatycznych mogą być dla nich szkodliwe. Norma ta nie bierze jednak pod uwagę faktu, że zarówno wysoki, jak i niski poziom wilgotności może mieć niszczący wpływ na dobra kultury. Przykładowo, wilgotność względna na poziomie ~70%

sprawia, że powierzchnie stają się mokre, co z kolei zwiększa ryzyko korozji metalu oraz wystąpienia aktywności mikrobiologicznej na obiektach organicznych - np. na drewnie. Według badań, ogólna (średnia) wilgotność względna wewnątrz jaskini wynosi ok. 95%, a w Rezerwacie - ok. 85%. Poziom ten będzie nieco niższy w przypadku przestrzeni o wolnym przepływie powietrza, z dala od ścian. Wartości te są bardzo wysokie; wykraczają poza obszary stabilności (Tabela 13) i poziomy zalecane (Tabela 12) dla niemal wszystkich materiałów zabytkowych, może za wyjątkiem kilku mineralogicznie stabilnych okazów, które mogą występować naturalnie w środowisku jaskiniowym. Co więcej, według przywołanej tu normy, zbadane wahania w zakresie RH, zwłaszcza zimą wewnątrz jaskini oraz przez cały rok w Rezerwacie, przy nawet 20% skokach poziomu RH w ciągu 10 godzin, nie są dopuszczalne i mogą mieć niszczący wpływ na dobra kultury.

Szybkie schnięcie materiałów nasyconych wodą (przy RH bliskiej 100%) w stopniu sięgającym (co najmniej) 55% (Rezerwat) lub 70% (jaskinia) może prowadzić do zmiany kształtu czy deformacji i np. do łuszczenia powłok lub pęknięcia materiałów organicznych. Stąd też przy obecnych warunkach wilgotnościowych panujących wewnątrz Smoczej Jamy, eksponowanie bądź przechowywanie dóbr kultury innych niż ewentualnie te, które mogą pojawiać się w takim środowisku naturalnie, jest zdecydowanie niewskazane.

Gazowe zanieczyszczenie powietrza

Poziomy stężenie SO_2 , NO_2 i O_3 zbadane na zewnątrz obiektu były znacznie wyższe niż te stwierdzone wewnątrz jaskini (Tabela 3, Rys. 22, Rys. 23, Rys. 24). Nie znano, ani też nie spodziewano się znaleźć źródeł któregośkolwiek z wyżej wymienionych gazów w jaskini. Za najbardziej prawdopodobne źródła tych gazów uznano procesy spalania zachodzące w ruchu ulicznym, systemy ogrzewania domów w okresie grzewczym oraz emisje przemysłowe. Na poziomy stężenia NO_2 i O_3 mają wpływ reakcje zachodzące w atmosferze. O_3 z kolei występuje w troposferze naturalnie w pewnych ilościach.

Dla każdego z trzech gazów stwierdzono malejące stężenie na linii od Zewnątrz do Rezerwatu i do Wejścia, następnie w stronę Wyjścia, co dowodzi, że powietrze przepływa od wejścia do wyjścia, zaś cząsteczki gazów osiadają na ścianach jaskini wzdłuż jej ciągu, zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza.

Zidentyfikowany spadek zawartości zanieczyszczeń powietrza na linii 'zewnątrz - wewnątrz' jaskini można głównie przypisać depozycji gazów na powierzchniach wewnętrznych (wewnątrz jaskini). Rekombinacja NO i O_3 napływających z zewnątrz może zwiększyć stężenie NO_2 wewnątrz obiektu w lecie, ale akurat tego zjawiska nie odnotowano w przypadku Smoczej Jamy. Reaktywność powierzchni, odpowiadająca za redukcję stężenia gazów w powietrzu wewnątrz jaskini przyjmuje następującą kolejność: $\text{O}_3 > \text{NO}_2 > \text{SO}_2$. Jaskinia jest miejscem dość otwartym na zewnątrz, jednak redukcja stężenia gazów w powietrzu jest tutaj dość znaczna. Tłumaczy to wysoki poziom wilgotności oraz to, że ściany są na ogół mokre, dzięki czemu gazy wytrącają się efektywnie z powietrza; znaczenie ma tu również niski poziom wymiany powietrznej zachodzącej w jaskini.

Wartości dla SO_2 na zewnątrz obiektu, przy średniej $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rys. 22) są o wiele niższe niż wartości historyczne dla różnych miast europejskich w ostatnim wieku, jednak wyższe niż aktualne wartości dla większości większych miast we

współczesnej Europie (Guerreiro et al. 2013; Tidblad et al. 2012; Tidblad et al. 2009). Jako wartości akceptowalne dla stężenia SO₂ na wolnym powietrzu zaleca się w Europie zakres od 5 do 13 µg/m³, co ma na celu chronić dobra kultury wykonane z kamienia i metalu

przed niszczeniem (Tidblad, 2015; Tidblad et al. 2012). Poziomy stężenia NO₂ i O₃ na zewnątrz badanego obiektu są dość typowe, podobne do tych występujących w większości europejskich miast. W przypadku SO₂, wysokie stężenie tego gazu na zewnątrz obiektu sprawia, że jego stężenie wewnątrz jaskini jest również dość wysokie na tle europejskich reprezentatywnych wartości dla wewnątrz (Dahlin, 2010). Maksymalne poziomy stężenia SO₂, mierzone w styczniu, były ok. 4 razy wyższe niż poziomy tego gazu mierzone w lipcu. Sytuacja ta odzwierciedlona jest wewnątrz jaskini, jednak różnice są mniejsze, a poziomy maksymalne odnotowano w kwietniu, nie w styczniu, w 3 punktach pomiarowych na 4. Podobnie, wyższy poziom stężenia odnotowano w zimie także dla NO₂, jednak najwyższy poziom stężenia na zewnątrz obiektu przypada na październik, zaś najwyższy poziom stężenia wewnątrz jaskini zaobserwowano w styczniu. Wyższe poziomy stężenia SO₂ i NO₂ odnotowane zimą można zapewne przypisać większej intensywności procesów spalania, np. ogrzewanie na bazie węgla. Roczne cykle stężenia O₃ (Rys. 24) przedstawiają się inaczej niż dla SO₂ i NO₂, a podobieństwo zachodzi w przypadku cyklu rocznego i najwyższych poziomów stężenia mierzonych w lipcu i kwietniu. Na Zewnątrz i w Rezerwacie, co jasno dowodzi, że powietrze z zewnątrz obiektu przepływa do Rezerwatu. O₃ wytwarzany jest w efekcie aktywności światła słonecznego, przy czym zakłada się, że jego stężenie na zewnątrz obiektu jest wyższe latem niż zimą. Punkty pomiarowe wewnątrz Smoczej Jamy nie wskazują na taki sam cykl roczny, a wykryte poziomy stężenia są bardzo niskie, przez co trudno jest zinterpretować roczne wahania.

Stężenie SO₂ wewnątrz jaskini wynosi ~4µg/m³. Średnie stężenie dla NO₂ i O₃ wynosi pomiędzy 5 a 10 µg/m³ w Rezerwacie, a na ogół < 5 µg/m³ dla NO₂ i < 2,5 µg/m³ dla O₃ wewnątrz jaskini. ASHRAE (2007) zaleca poziom 1 µg/m³ dla SO₂, NO₂ i O₃ dla okresu 10 lat ekspozycji wewnątrz obiektu w miejscach obecności dóbr kultury. Poziom stężenia NO₂ może być zapewne 3 razy wyższy (3 µg/m³) (MEMORI 2014), jednak poziomy te są nadal wyjątkowo rygorystyczne.

Stężenie SO₂ na poziomie ~4µg/m³ wewnątrz Rezerwatu i jaskini może mieć wyjątkowo niszczący wpływ na wiele rodzajów obiektów pochodzenia organicznego i nieorganicznego, którego efekty mogą być widoczne w ciągu ~100 lat (Tabela 14), biorąc pod uwagę wysoki poziom wilgoci, który dodatkowo wpływa na reaktywność SO₂ i na zakres potencjalnego zniszczenia obiektów. Stwierdzone poziomy stężenia NO₂ i O₃ mogą mieć niszczący wpływ na barwniki tkanin, którego efekty mogą być widoczne w ciągu ok. jednego roku (Tabela 14). Biorąc pod uwagę wysoki poziom wilgoci oraz znaczny poziom redukcji gazów napływających z powietrzem z zewnątrz do Rezerwatu i Wejścia, zakłada się, że większość depozycji gazów odbywa się zaraz po napływie nowej masy powietrza, stąd też ryzyko związane z efektami działania zanieczyszczeń powietrza jest dużo wyższe bliżej wejścia do obiektu. Rezerwat wydaje się być miejscem bardziej otwartym na zewnątrz niż jaskinia, dlatego też poziomy stężenie wspomnianych trzech gazów zanieczyszczających powietrze są tu nieco wyższe niż w jaskini. Mimo to, Rezerwat cechuje się nieco bardziej suchym klimatem niż jaskinia, co zmniejsza ryzyko (ciągłej) kondensacji na jego powierzchniach wewnętrznych, dzięki czemu ryzyko związane z efektami działania zanieczyszczeń powietrza jest nieco niższe niż w przypadku jaskini.

Stężenie kwasu octowego i mrówkowego wewnątrz jaskini okazało się niskie, na ogół poniżej $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, z uwzględnieniem standardowego odchylenia mierzonego w oparciu o dwie próby, które okazało się być w kilku przypadkach tak wysokie, jak sama różnica pomiędzy wynikami pomiarów. Jedyne wyraźną różnicą w ciągu roku było to, że poziomy stężenia kwasu mrówkowego był wyższy w Części Centralnej w lipcu i październiku. W przypadku tej lokalizacji pomiarowej, szafka pomiarowa była zamontowana na częściowo nasiąkniętej wodą i nadgniętej podporze drewnianej, stąd też możliwe jest, że pomiar objął również emisję z drewna podpory. Poziomy stężenia kwasów organicznych są bardzo

niskie, dużo poniżej jakichkolwiek poziomów zagrożenia dla dóbr kultury. Reakcje kwasów organicznych zależne będą od poziomu wilgotności, a w przypadku Rezerwatu i jaskini, reakcja niszcząca pomiędzy kwasami organicznymi (oraz nieorganicznym SO_2) a powierzchniami tych miejsc może nasilać się z uwagi na wysoki poziom wilgotności.

Wyniki pomiarów przeprowadzonych z użyciem dozymetrów MEMORI dowodzą, że wpływ aktywności gazów utleniających (NO_2 i O_3), w połączeniu z efektem działania UV i T, byłby podobny jak w przypadku innych - wewnątrzmiejskich - domów historycznych o otwartej strukturze. Uznano jednak, że aktywność gazów kwaśnych - w połączeniu z lokalnym poziomem wilgotności - może być sklasyfikowana jako „niebezpieczna” (Rys. 27 do Rys. 30 i *Tabela 15*), o potencjalnie niszczącym wpływie nanp. lakiery, szkło i kamień wapienny, którego efekty mogą uwidocznić się w ciągu 3 lat (pole czerwone, Rys. 29). Inne materiały, jak np. stopy miedzi, również cechowałyby się wrażliwością na jakość powietrza wewnątrz Smoczej Jamy. Całość wyników dla 21 materiałów przedłożono w postaci raportu do lidera projektu Smoczej Jamy w formie raportu MEMORI dostępnego online (MEMORI-2, 2015).

Zanieczyszczenie powietrza - cząstki stałe

Wewnątrz jaskini, stężenie jonów rozpuszczalnych w wodzie wynosiło ok. 10% stężenia badanego na zewnątrz obiektu, ale całkowita zawartość cząstek może być znacznie wyższa.

(Tabela 5, Rys. 31, Rys. 33 oraz Rys. 37). Luźne cząsteczki trafiają do powietrza z piasku/ziemi znajdujących się wewnątrz Rezerwatu/jaskini, natomiast aerozole mogą docierać do obiektu wraz z powietrzem z zewnątrz. W Rezerwacie stwierdzono obecność głównie wapnia (Ca), wodorowęglanów (HCO_3) i siarczanów (SO_4), a także pewnych ilości sodu (Na) i chlorków (Cl). W pozostałych miejscach wewnątrz obiektu, rozkład zawartości jonów był bardziej zrównoważony, choć też z przewagą wapnia i węglanów (Rys. 33). Na zewnątrz obiektu, rozkład zawartości głównych jonów był również dość jednolity, ale tu też całoroczne pomiary wykazały nieco większą obecność wapnia (Rys. 38).

Tabela 16 prezentuje współczynniki korelacji dla zbadanych jonów rozpuszczalnych w wodzie dla wszystkich punktów pomiarowych wewnątrz obiektu - dla wszystkich okresów (na podstawie mol ładunku atomowego*1000 / m^2d , Tabela6), z wartościami dla Rezerwatu oraz bez nich.

Tabela 16: Współczynniki korelacji dla jonów stwierdzonych wewnątrz Rezerwatu i jaskini.

Rezerwat i jaskinia	HCO3	Cl	NO3-N	SO4-S	Na	NH4-N	K	Mg	Ca
HCO3-	1,00	0,78	0,84	0,87	0,79	0,74	0,20	0,70	0,87
Cl		1,00	0,94	0,95	0,99	0,89	-0,34	0,96	0,95
NO3-N			1,00	0,99	0,91	0,76	-0,24	0,92	0,99
SO4-S				1,00	0,91	0,78	-0,17	0,92	0,99
Na					1,00	0,91	-0,31	0,94	0,91
NH4-N						1,00	-0,33	0,77	0,81
K							1,00	-0,29	-0,24
Mg								1,00	0,90
Ca									1,00

Wyłącznie jaskinia	HCO3	Cl	NO3-N	SO4-S	Na	NH4-N	K	Mg	Ca
HCO3-	1,00	-0,02	-0,30	-0,09	0,16	0,37	0,59	-0,25	-
Cl		1,00	0,80	0,93	0,98	0,83	-0,59	0,86	0,85
NO3-N			1,00	0,79	0,75	0,49	-0,78		0,85
SO4-S				1,00	0,87	0,75	-0,53	0,91	0,81
Na					1,00	0,84	-0,46	0,81	0,81
NH4-N						1,00	-0,39	0,48	0,83
K							1,00	-0,44	-0,77
Mg								1,00	0,61
Ca									1,00

Tabela 17 prezentuje współczynniki korelacji dla zbadanych jonów rozpuszczalnych w wodzie dla wszystkich okresów na zewnątrz obiektu (na podstawie mol ładunku atomowego*1000 /m²d, Tabela 8)

Tabela 17: Współczynniki korelacji dla jonów stwierdzonych na zewnątrz obiektu.

Na Zewnątrz	HCO3-	Cl	NO3-N	SO4-S	Na	NH4-N	K	Mg	Ca
HCO3-	1,00	-0,39	-0,47	-0,37	-0,29	-0,32	0,07	-0,68	-0,24
Cl		1,00	0,61	0,94	0,98	0,99	0,86	0,92	0,98
NO3-N			1,00	0,31	0,47	0,68	0,23	0,79	0,67
SO4-S				1,00	0,97	0,88	0,90	0,79	0,86
Na					1,00	0,96	0,93	0,84	0,96
NH4-N						1,00	0,85	0,91	1,00
K							1,00	0,60	0,87
Mg								1,00	0,87
Ca									1,00

Związki chemiczne (sole) obecne w Rezerwacie to głównie dwuwęglan wapnia ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) i siarczan wapnia (CaSO_4), podczas gdy węglany obecne w jaskini to prawdopodobnie głównie dwuwęglan potasu (KHCO_3). Analiza korelacji dowodzi obecności szeregu soli ($\text{SO}_4/\text{Cl}/\text{NO}_3$) wewnątrz jaskini, jednak obecne tam chlorki to zapewne głównie chlorek sodu (NaCl). Główne związki chemiczne stwierdzone na zewnątrz obiektu to różne chlorki i siarczany, a także sól, amon i

70
magnez. Analiza wskazuje również na obecność

dwuwęglanu wapnia ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Azotany stwierdzone na zewnątrz i wewnątrz obiektu mogą stanowić różne rodzaje soli (Rys. 34, Rys. 38, Tabela 16 i Tabela 17).

Współczynnik korelacji pomiędzy całkowitą roczną depozycją różnych jonów na zewnątrz obiektu i w Rezerwacie wynosi 0,76, ale już tylko 0,43 dla zewnątrz obiektu i jaskini (bez Rezerwatu). Różnica ta bierze się głównie z braku korelacji pomiędzy potasem i dwuwęglanem na zewnątrz i wewnątrz jaskini. Wygląda na to, że wewnątrz jaskini znajduje się źródło dwuwęglanu potasu, a brak go natomiast w Rezerwacie i na zewnątrz obiektu. Wartości dla depozycji amonu, badane wewnątrz Rezerwatu i jaskini, okazały się niskie i nie korelowały z wartościami stwierdzonymi na zewnątrz obiektu. Wygląda na to, że amon ma swoje źródło na zewnątrz obiektu i charakteryzuje się bardzo niskim współczynnikiem przenikania do wnętrza obiektu.

Ryzyko zniszczenia materiałów wiąże się głównie z zabrudzeniem materiału, trwałym kontaktem materiału z jonami rozpuszczalnymi w wodzie (SO_4^{2-} , Cl) oraz reakcją materiału z takimi jonami w warunkach bardzo wysokiej wilgotności. Przy ekspozycji na wysoki poziom wilgotności, niektóre sole, np. siarczan wapnia lub chlorek sodu, będą przechodzić przemiany fazowe wiążące się z krystalizacją/dekrystalizacją (i desorpcją/absorpcją energii), co może prowadzić do wzmożonych mikrospektań, do proszkowania, etc.

6 Wnioski

Zarówno Rezerwat, jak i Smocza Jama to miejsca naturalnie ciemne, a oświetlenie sztuczne rozświetla ich wnętrza jedynie w ciągu godzin zwiedzania w porze letniej; źródła światła sztucznego znajdują się blisko lamp, a niewielka ilość światła dziennego dostaje się do tego miejsca w okolicy wejścia. Rezerwat i Smocza Jama stanowią miejsca bardzo wilgotne. W okresie letnim, od ok. połowy kwietnia do końca października, poziom wilgotności względnej (RH) wynosi zazwyczaj 100%, a skroplona para osadza się na ścianach jaskini. Przez pozostałą część roku, poziom RH w jaskini (a w przypadku Rezerwatu - przez cały rok) utrzymuje się w granicach 80% - 95%, przy dość gwałtownych wahaniami tych wartości. Zauważa się wzrost poziomu RH od strony wejścia w kierunku wyjścia jaskini, a także od strony przestrzeni charakteryzującej się swobodnym przepływem powietrza do pobliża ścian. Zawartość dwutlenku siarki (SO_2) na w powietrzu na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego jest nieco wyższe niż w przypadku większości zurbanizowanych obszarów Europy. Poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz jaskini jest dość niski, ale stężenie SO_2 jest dość wysokie. Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu maleje od części zewnętrznej w kierunku Rezerwatu, a potem od wejścia - poprzez jaskinię - po wyjście, co sugeruje, że przepływ powietrza przebiega od wejścia do wyjścia. Wewnątrz jaskini, depozycja jonów rozpuszczalnych w wodzie stanowiła ok. 10% depozycji badanej na zewnątrz obiektu, ale całkowita depozycja cząstek może być znacznie wyższa. Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono w Rezerwacie, to: wodorowęglan wapnia ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), siarczan wapnia (CaSO_4) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono wewnątrz Smoczej Jamy to: sole wapnia - siarczan wapnia i azotan wapnia ($\text{CaSO}_4/\text{CaNO}_3$), wodorowęglan potasu (KHCO_3) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono na zewnątrz obiektu, na Wzgórzu Wawelskim, to: chlorek wapnia, chlorek sodu i chlorek amonu (CaCl , NaCl , NH_4Cl), siarczan wapnia (CaSO_4) i prawdopodobnie wodorowęglan wapnia ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$).

Natężenie światła (widzialnego i UV) w jaskini jest na ogół poniżej poziomu mogącego stwarzać zagrożenie nawet dla wyjątkowo delikatnych materiałów. Im bliżej włączonych lamp lub wyjścia, w odległości kilku metrów lub mniejszej, oddziaływania światła staje się stopniowo silniejsze i wyższe niż dopuszczalne wartości graniczne.

Wysoki poziom wilgoci w jaskini i w Rezerwacie może mieć szkodliwy wpływ na materiały znajdujące się w obiektach, głównie z uwagi na możliwość wystąpienia pleśni, gnicia, aktywności alg czy bakterii, itp., korozji chemicznej i odkształceń, także w związku z wahaniami poziomu RH i zmianami rozmiarów. W przypadku jaskini, która sama w sobie jest miejscem wilgotnym, a jej wnętrza bywają często i wilgotne, i mokre, rozsądnym jest założyć, że SO_2 tam obecny może mieć znaczny niszczący wpływ na wszelkie materiały delikatne. Zastosowany w badaniu czuły dozymetr (MEMORI-1) wskazuje, że lokalne warunki klimatyczne są „niebezpieczne” dla przechowywania dóbr kultury.

Zawartość cząsteczek stałych na różnych powierzchniach wewnątrz Rezerwatu i jaskini może być wysoka; co więcej, istnieje ryzyko, że cząsteczki te mogą uszkadzać co bardziej wrażliwe powierzchnie w efekcie osiadania na tych powierzchniach czy też w efekcie reakcji z jonami rozpuszczalnymi w wodzie, zwłaszcza z siarczanami (SO_4^{2-}) i chlorkami (Cl) w warunkach wysokiej

wilgotności.

7 Materiały źródłowe

- ASHRAE (2007) Rozdział 21: Museum, galleries, archives and libraries. W: *2007 ASHRAE handbook-HVAC Applications*. Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- CEN/TC 346: EN 15757 (2010) Konserwacja dóbr kultury – Specyfikacja temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu. Bruksela, Europejski Komitet Normalizacyjny (EN 15757).
- CIE (2004) Zapobieganie uszkodzeniom obiektów muzealnych pod wpływem promieniowania świetlnego. Wiedeń, Commission Internationale de L'Eclairage (CIE 157:2004).
- Dahlin, E., ed. (2010) MASTER. Preventive conservation strategies for protection of organic objects in museums, historic buildings and archives. Final report. Kjeller, NILU (NILU OR, 76/2010).
- Ferm, M. (1991) A sensitive diffusion sampler. Göteborg, Swedish Environmental Research Institute (IVL Report B-1020).
- Grøntoft, T., Odlyha, M., Mottner, P., Dahlin, E., Lopez-Aparicio, S., Jakiela, S., Scharff, M., Andrade, G., Obarzanowski, M., Ryhl-Svendsen, M., Thickett, D., Hackney, S., Wadum, J. (2010) Pollution monitoring by dosimetry and passive diffusion sampling for evaluation of environmental conditions for paintings in microclimate frames. *J. Cult. Herit.*, 11, 411-419.
doi:10.1016/j.culher.2010.02.004.
- Guerreiro, C., de Leeuw, F., Foltescu, V. (2013) Air quality in Europe - 2013 report.
Copenhagen, European Environment Agency (EEA report, 9/2013).
- Mecklenburg, M. (2010) Oral communication. Z prezentacji PP przedstawionej podczas: Warsztatów Międzynarodowych zatytułowanych 'Allowable microclimate variations for polychrome wood' Oslo, 18 - 19 lutego 2010. URL: <http://www.icom-cc.org/52/event/?id=110> [Accessed 12 August 2014].
- MEMORI-1 (2015) <http://memori.nilu.no/> [Dostęp: 25 września 2015].
- MEMORI-2 (2015) <http://memori.nilu.no/> Wszystkie wyniki dla badań 21 materiałów zostały przedstawione liderowi projektu - „Zamkowi Królewskiemu na Wawelu” w ramach raportu MEMORI, dostępnego on-line [Treść poufna, dostęp: 24 września 2015].
- Tétreault, J. (2003) Airborne pollutants in museums, galleries, and archives: Risk assessment, control strategies and preservation management. Ottawa, Canadian Conservation Institute.
- Tidblad, J. (2015) ICP Mapping manual. Revised 2014-05-19 from initial text by V. Kucera. URL: <http://www.corr-institute.se/icp-materials/web/page.aspx?refid=19> [Accessed April 2015].
- Tidblad, J., Kucera, V., Ferm, M., Kreislova, K., Brüggerhoff, S., Doytchinov, S., Screpanti, A., Grøntoft, T., Yates, T., de la Fuente, D., Roots, O., Lombardo, T., Simon, S., Faller, M., Kwiatkowski, L., Kobus, J., Varotsos, C., Tzanis, C.,

Krage, L., Schreiner, M., Melcher, M., Grancharov, I., Karmanova, N. (2012)
Effects of air pollution on materials and cultural heritage: ICPMaterials

celebrates 25 years of research. *Internat. J. Corrosion*, 2012, Art. ID 496321. doi:10.1155/2012/496321.

Tidblad, J., Kucera, V., Grøntoft, T., Larssen, S., Svenningsen, G., Hamilton, R., Ionescu, A., le Fèvre, R. (2006) Final assessment model for cultural heritage. EU project CULT-STRAT (SSPI-CT-2004-501609), Deliverable no. 9.

Thomson, G. (1986) *The museum environment*. Wydanie drugie. Oxford, Butterworth-Heinemann.

South East Conservation & Restoration (2014) Recommended environmental conditions for museum objects.

URL: <http://www.southeastconservation.com.au/conditions.html> [Accessed 26 June 2014].

Strona internetowa Zamku Królewskiego na Wawelu (2015). URL: <http://wawel.krakow.pl/en> [Dostęp: 25 września 2015].

SERIA RAPORTU Raport naukowy	RAPORT NR OR 25/2015	ISBN:978-82-425—2801-8 (wersja drukowana) ISSN:0807-7207	
DATE 10/11/2015	PODPIS 	LICZBA STRON 68	CENA NOK 150.-
TYTUŁ Zachować dziedzictwo Smoczey Jamy na Wawelu Pomiar jakości powietrza i ocena warunków konserwatorskich		LIDER PROJEKTU Terje Grøntoft	
		PROJEKT NILU NR 0-114056	
AUTOR/AUTORZY Terje Grøntoft		KATEGORIA * B	
		OZNACZENIE REFERENCYJNE EEA	
KONTROLA JAKOŚCI: Claudia Hak			
PODMIOT, NA RZECZ KTÓREGO ZOSTAŁ OPRACOWANY NINIEJSZY RAPORT Zamek Królewski na Wawelu - Państwowe Zbiory Sztuki, Wawel 5, 31-001 Kraków, Polska			
<p>STRESZCZENIE</p> <p>Pomiary właściwości światła (Luks i UV), właściwości klimatycznych (wilgotność względna i poziom temperatury) oraz stopnia zanieczyszczenia powietrza (gazy i cząstki stałe) były prowadzone przez okres jednego roku, od lipca 2014, na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego oraz wewnątrz Rezerwatu i Smoczey Jamy (tzw. jaskini smoka), w podziemnej części Wzgórza Wawelskiego. Do realizacji pomiarów wykorzystano z elektronicznych mierników natężenia światła i właściwości klimatycznych, a także z próbników pasywnych i dozometrów.</p> <p>Wyniki badań dowodzą, że zarówno Rezerwat, jak i Smocza Jama to miejsca naturalnie ciemne, a oświetlenie sztuczne rozświetla jaskinię jedynie w ciągu godzin zwiedzania w porze letniej; źródła światła sztucznego znajdują się blisko lamp, a niewielka ilość światła dziennego dostaje się do tego miejsca w okolicy wejścia. Rezerwat i Smocza Jama stanowią miejsca bardzo wilgotne. W okresie letnim, od ok. połowy kwietnia do końca października, poziom wilgotności względnej (RH) wynosi zazwyczaj 100%, a skroplona para osadza się na ścianach jaskini. Przez pozostałą część roku, poziom RH w jaskini (a w przypadku Rezerwatu - przez cały rok) utrzymuje się w granicach 80% - 95%, przy dość gwałtownych wahaniami tych wartości. Zauważa się wzrost poziomu RH od strony wejścia w kierunku wyjścia jaskini. Zawartość dwutlenku siarki (SO₂) na w powietrzu na zewnątrz Wzgórza Wawelskiego jest nieco wyższe niż w przypadku większości zurbanizowanych obszarów Europy. Poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz jaskini jest dość niski, ale stężenie SO₂ jest dość wysokie. Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu maleje od części zewnętrznej w kierunku Rezerwatu, a potem od wejścia - poprzez jaskinię - po wyjście, co sugeruje, że przepływ powietrza przebiega od wejścia do wyjścia. Wewnątrz jaskini, stężenie jonów rozpuszczalnych w wodzie wynosiło ok. 10% stężenia badanego na zewnątrz obiektu, ale całkowita zawartość cząstek może być znacznie wyższa. Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono w Rezerwacie, to: wodorowęglan wapnia (Ca(HCO₃)₂), siarczan wapnia (CaSO₄) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono wewnątrz Smoczey Jamy, to: sole wapnia - siarczan wapnia i azotan wapnia (CaSO₄/CaNO₃), wodorowęglan potasu (KHCO₃) i chlorek sodu (NaCl). Główne rodzaje soli, których zawartość stwierdzono na zewnątrz obiektu, na Wzgórzu Wawelskim, to: chlorek wapnia, chlorek sodu i chlorek amonu (CaCl, NaCl, NH₄Cl), siarczan wapnia (CaSO₄) i prawdopodobnie wodorowęglan wapnia (Ca(HCO₃)₂).</p> <p>Natężenie światła (widzialnego i UV) w jaskini jest na ogół poniżej poziomu mogącego stwarzać zagrożenie nawet dla wyjątkowo delikatnych materiałów. Im bliżej włączonych lamp lub wyjścia, w odległości kilku metrów lub mniejszej, oddziaływania światła staje się stopniowo silniejsze i wyższe niż dopuszczalne wartości graniczne.</p> <p>Wysoki poziom wilgoci w jaskini i w Rezerwacie może mieć szkodliwy wpływ na materiały znajdujące się w obiektach, głównie z uwagi na możliwość wystąpienia pleśni, gnicia, aktywności alg czy bakterii, itp., korozji chemicznej i odkształceń, także w związku z wahaniami poziomu RH i zmianami rozmiarów. W przypadku jaskini, która sama w sobie jest miejscem wilgotnym, a jej wnętrza bywają często i wilgotne, i mokre, rozsądnym jest założyć, że SO₂ tam obecny może mieć znaczny niszczący wpływ na wszelkie materiały delikatne. Zastosowany w badaniu czuły dozymetr (MEMORI-1) wskazuje, że lokalne warunki klimatyczne są „niebezpieczne” dla przechowywanych dóbr kultury.</p> <p>Zawartość cząsteczek stałych na różnych powierzchniach wewnątrz Rezerwatu i jaskini może być wysoka; co więcej, istnieje ryzyko, że cząsteczki te mogą uszkadzać co bardziej wrażliwe powierzchnie w efekcie osiadania na tych powierzchniach czy też w efekcie reakcji z jonami rozpuszczalnymi w wodzie, zwłaszcza z siarczanami (SO₄) i chlorkami (Cl) w warunkach wysokiej wilgotności.</p>			

TYTUŁ W JĘZYKU NORWESKIM

Bevaringavkulturarven i "Dragebolet" (Dragensgrotte) ved Wavel.
Luftkvalitetsmålinger og vurdering av konserveringsforhold.

SŁOWA KLUCZOWE

Dziedzictwo kulturowe

Jakość powietrza

Środowisko wewnętrzne

STRESZCZENIE (w języku norweskim)

Målinger av lys (synlig og UV), klima (relativfuktighet (RF) og temperatur) og luftforurensning (gasser og partikler) ble gjort over tidsrommet fra juli 2014, utendørs på Wavel-åsen og inne i «Rezervat» rommet og «Dragens Bol» (Dragensgrotte) under Wavel-åsen, med elektronisk lys og klima-målere, og med passive prøvetakere og dosimetre.

Resultatene viste at Reservat-rommet og «Dragens Bol» (Dragensgrotte) er mørke, med betydelig kunstig lysgrotten bare i åpningstidene sommerhalvåret nærlampene, og noen dagslys nær utgangen. Klimaet i Reservat-rommet og «Dragensgrotte» er meget fuktig. I sommerhalvåret fra om trent midt i april til slutten av oktober er RF for det meste 100%, med kondensering på overflaten i grotten. Resten av året i grotten, og hele året i «Rezervat»-rommet, er RF for det meste mellom 80% og 95%, med noen raskesvingninger. RF øker når inngang til utgangen i grotten. Konsentrasjonen av svoveldioksid (SO₂) ute på terrassen på Wavel-åsen er noe høyere enn vanlige europeiske byer. Luftforurensningen i grotten er relativt lav, men med en betydelig mengde svoveldioksid (SO₂). Konsentrasjonen av luftforurensning synker utenfor til Reservatrommet, og videre til inngang til grotten, og gjennom grotten til utgangen. Dette indikerer at ventilasjon er fra inngang til utgangen. De viktigste saltene som ble målt i partikkelavsetningene i Reservat-rommet var kalsiumbikarbonat (Ca(HCO₃)₂), kalsiumsulfat (CaSO₄) og natriumklorid (NaCl). Avsetningen av vannløselige ioner i grotten var om trent 10 % av avsetningen ute, men den totale partikkelavsetningen i grotten kunne være betydelig høyere. De viktigste saltene som ble målt i avsetningene i Dragensgrotte var kalsiumsalter med sulfat og nitrat (CaSO₄/CaNO₃), kaliumbikarbonat (KHCO₃) og natriumklorid (NaCl). De viktigste saltene som ble målt ute på terrassen på Wavel-åsen var kalsium, natrium og ammonium klorid (CaCl, NaCl, NH₄Cl), kalsiumsulfat (CaSO₄) og sannsynligvis bikarbonat med kalsium (Ca(HCO₃)₂).

Lysnivåene (synlig og UV) var generelt lave i grotten, under grenseverdier for skadeeffekter selv på følsomme materialer. Ved å nærme seg lampene eller utgangen, til distanser på noen få meter og mindre, vil lysnivåene gradvis bli høyere enn disse grensenivåene.

Den høye fuktigheten i grotten og Reservat-rommet kan føle seg som materialer inkludert kulturarv ved å gi grunnlag for biologisk aktivitet som sopp/råte, alger, bakterier etc., kjemisk korrosjon og ved fysisk deformering, også på grunn av svingninger i RF og dimensjonsendringer i materialer. I den fuktige grotten, der overflaten ofte er våte, kan det forventes at den SO₂ som er til stede kan bidra til å føle seg som materialer. Effekten av miljøet i grotten på glassdosimetre (MEMORI) indikerte et «farlig» luft-miljø for kulturarv gjenstander.

Partikkelavsetning i overflaten i Reservatrommet og grotten kan være høy, og kan sannsynligvis forårsake skade på sårbare overflater ved verting, «fastgroing» og reaksjon med vannløselige ioner, spesielt sulfat (SO₄) og klorid (Cl) under de meget fuktige forholdene.

- * *Kategoria*
- | | |
|----------|---|
| <i>A</i> | <i>Bez kategorii (materiał możliwy do zamówienia od NILU)</i> |
| <i>B</i> | <i>Dystrybucja ograniczona</i> |
| <i>C</i> | <i>Materiał poufny (nie podlega dystrybucji)</i> |

OZNACZENIE: O-114056
DATA: Październik 2015
ISBN: 978-82-425-2801-8 (wersja drukowana)

NILU - Norweski Instytut Badań Powietrza to niezależna instytucja badawcza non profit, założona w 1969 roku. Badania prowadzone przez NILU przyczyniają się do rozwoju wiedzy na temat zjawiska zmiany klimatu, budowy i składu atmosfery, jakości powietrza, a także wszelkich substancji niebezpiecznych. Dzięki realizowanym projektom badawczym, NILU jest w stanie zaoferować usługi i rozwiązania z zakresu analityki, monitoringu i konsultingu środowiskowego. Misją NILU jest zwiększanie świadomości publicznej w kontekście zmiany klimatu i zanieczyszczenia środowiska.