

wietrza do tej groty średnia temperatura pokryw krystalicznych wynosiła 11,74°C. W okresie, gdy powietrze przepływało przez tę pustkę temperatura wzrosła i wynosiła 11,77–11,84°C w zależności od pola obserwacyjnego, zaś po przywróceniu stanu poprzedniego – spadła do 11,73°C. Taki trend zmian sugeruje wniosek o większym oddziaływaniu powietrza na termikę pokryw krystalicznych w czasie jego wymuszonego przepływu przez dolną grootę niż w okresie jego swobodnego ruchu skierowanego do szybika wentylacyjnego. W czasie trwania wspomnianego wyżej eksperymentu, w grocie górnej nie obserwowano tendencji występujących w grocie dolnej.

#### 9.4. Wilgotność i temperatura skał płonnych

*Zofia Alexandrowicz*

Wśród utworów nazwanych ogólnie płonnymi, które towarzyszą skupieniom kryształów halitu i tworzą ich podłoże, wyróżniono 4 rodzaje (scharakteryzowane w rozdziale 6.2). Skały te, łatwo dostępne do obserwacji, odznaczają się różną wilgotnością wyczuwalną dotykiem. Wyniki pomiarów potwierdziły to spostrzeżenie. Celem badań było określenie stanu i zmienności powierzchniowej wilgotności i temperatury skał. Kontrola wilgotności skał w kopalni jest niezbędną czynnością dla przewidywania zagrożeń. Zarówno nadmierne zawilgocenie, jak i zbytne osuszenie ścian grot zwiększają niebezpieczeństwo odspojenia kryształów od ich skalnego podłoża. Stan nasycenia parą wodną geosrodowiska kopalni jest zależny od wielu czynników: naturalnych, związanych z warunkami hydrogeologicznymi oraz technicznych, przede wszystkim systemu wentylacji. Oddziaływanie ruchu turystycznego jest dodatkowym szkodliwym czynnikiem, niebezpiecznym zwłaszcza w odizolowanych małych obiektach, jakimi są Groty Kryształowe.

W 1993 roku i w pierwszej połowie 1994 r. wilgotność skał badano analitycznie w czterech cyklach poboru próbek w czasie wiosny, lata i jesieni czyli okresach, w których zaznaczają się wyraźne różnice termiczno-wilgotnościowe powietrza stwierdzone w części turystycznej kopalni. Próbkę były pobierane do szczelnie zamkniętych plastikowych pojemników ze stałych 16-tu miejsc ścian skalnych, wysokości 0,4–2,0 m od spągu. Reprezentowały one cztery główne rodzaje skał płonnych współwystępujących z kryształami soli. Oznaczenia procentowe wilgotności próbek uzyskano metodą wysuszenia 100 cm<sup>3</sup> materiału skalnego w temperaturze 110°C przez 36 godzin (analizy wykonał mgr M. Langer w laboratorium Instytutu Ochrony Przyrody PAN). W drugiej połowie 1994 r. zmieniono sposób oceny wilgotności skał. Było to konieczne z uwagi na niemożność uzyskiwania powtarzalności prób o tym samym składzie litologicznym oraz niebezpieczeństwo uszkodzenia kryształów w niektórych miejscach pobierania materiału do analizy. W kontynuacji badań zawartości wilgoci w skałach zastosowano aparat typu M49 Feuchtigkeits-Monitor. Mierzy on, na zasadzie pola magnetycznego, tzw. bazę wilgotności (Nassbasis) bez względu na rodzaj skały, w skali od 0% do 20%, z dokładnością do 0,1% w temperaturze 0°–70°C.

Aparat zasilany bateriami działa automatycznie wskazując procent wilgotności skały w miejscu przyłożenia go do jej powierzchni. Dla uzyskania prawidłowo powtarzanego pomiaru, stanowiska badawcze zostały wyrównane i oznaczone według orientacji przyłożenia aparatu zajmującego powierzchnię  $7 \times 4,5$  cm. Pomiary przeprowadzono w obrębie tych samych 16-tu stanowisk, z których pobierano uprzednio próbki do analiz metodą suszarkową (ryc. 9.1). Wykonywano je dwukrotnie w ciągu każdego miesiąca od połowy 1994 r. do końca 1996 r. (łącznie 46 serii pomiarów) oraz co tydzień w okresie 16.06.–18.08.1997 r. (9 serii pomiarów).

Od początku 1995 r. do końca badań monitoringowych mierzona była temperatura powierzchni skał na wszystkich stanowiskach w oznaczonych miejscach i w dniach pomiarów wilgotności. Do tego celu używano przylgowego czujnika temperaturowego TP 870 włoskiej firmy Delta OHM, wskazującego wartości temperatury w stopniach Celsjusza. Zakresy wahań parametrów wilgotności i temperatury poszczególnych typów skał w okresie rocznym, porównano w oparciu o wyliczone wartości współczynników zmienności ( $c_v$ ) tych cech.

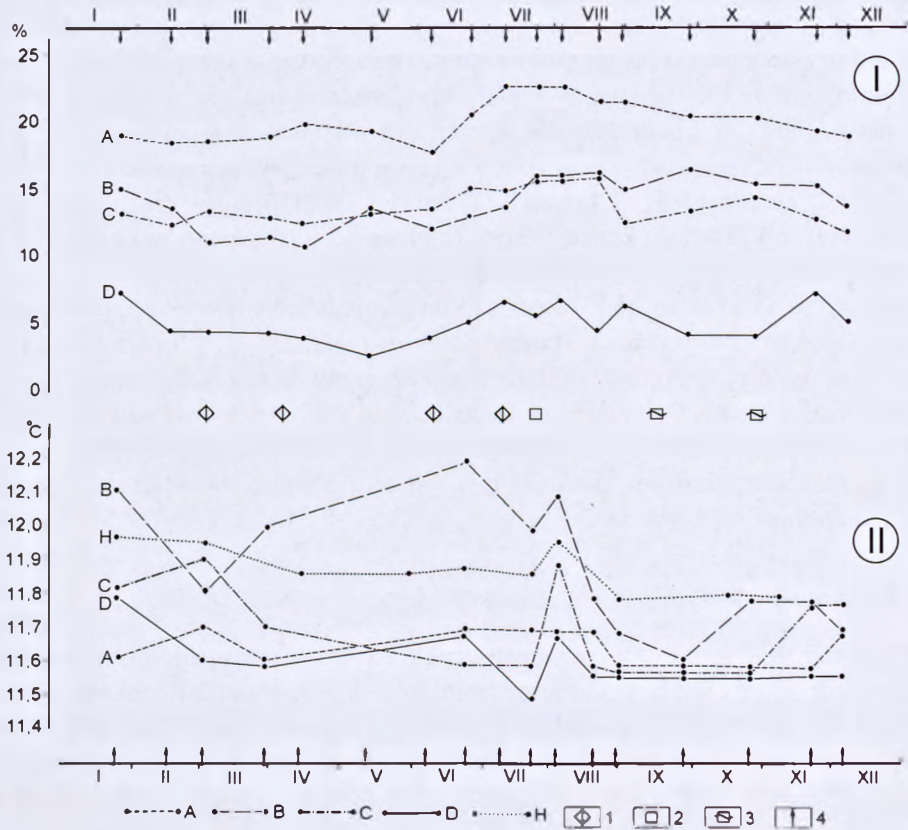
#### 9.4.1. Wilgotność skał

Wilgotność skał współwystępujących z pokrywami krystalicznymi, określana metodą analityczną, zawierała się w przedziale 3,4–24%, a wyjątkowo około 30%. Zróżnicowanie wilgotności, jak wykazały badania, było zależne od składu litologicznego próbek pobranych do analizy. Stosunkowo najniższym procentem wilgotności odznaczały się utwory piaszczysto-ilaste zawierające w rozproszeniu drobne ziarna soli i grudki anhydrytu (typ D), a najwyższym – duże płyty ciemnoszarych mułowców ilastych (typ A). Pozostałe rodzaje skał wykazywały pośrednie wartości omawianej cechy, mieszczące się na ogół w granicach 10–16%. Były to utwory o różnej proporcji składników ilastych i piaszczystych, zawierające małe klasty ilaste (typ B) oraz skała składająca się z grubych ziaren soli spojonych sedymentem piaszczysto-ilastym (typ C). Z uwagi na wyjaśnione wyżej ograniczenia pobierania próbek i wykonania stosunkowo nielicznych (4) cykli analiz w okresie niepełnych dwóch lat, nie można było jednoznacznie określić zróżnicowania wilgotności poszczególnych typów skał w stosunku do pór roku. Dopiero po zastosowaniu pomiaru automatycznego uzyskano możliwość takiej oceny. Wyniki analiz wykazały przede wszystkim różnice zakresów wilgotności skał badanego środowiska, które następnie zostały potwierdzone i uszczegółowione metodą automatycznego pomiaru.

Ostateczne podsumowanie monitoringu wilgotności skał oparto głównie na danych automatycznego zapisu uzyskanych w ciągu lat 1995–1996. Całoroczne pomiary wilgotności skał były wykonywane regularnie co dwa tygodnie. Zestawione wyniki wskazują na następujące prawidłowości rozkładu procentowego wilgotności medium skalnego (ryc. 9.11–I, 9.12–I).

W 1995 roku wartości wilgotności mieściły się w przedziale od 3% do ponad 20% (średnio około 23% wykazane analizami laboratoryjnymi) (ryc. 9.11–I). Największym zawilgoceniem (powyżej 18,8%) odznaczały się mułowce ilaste występujące w du-



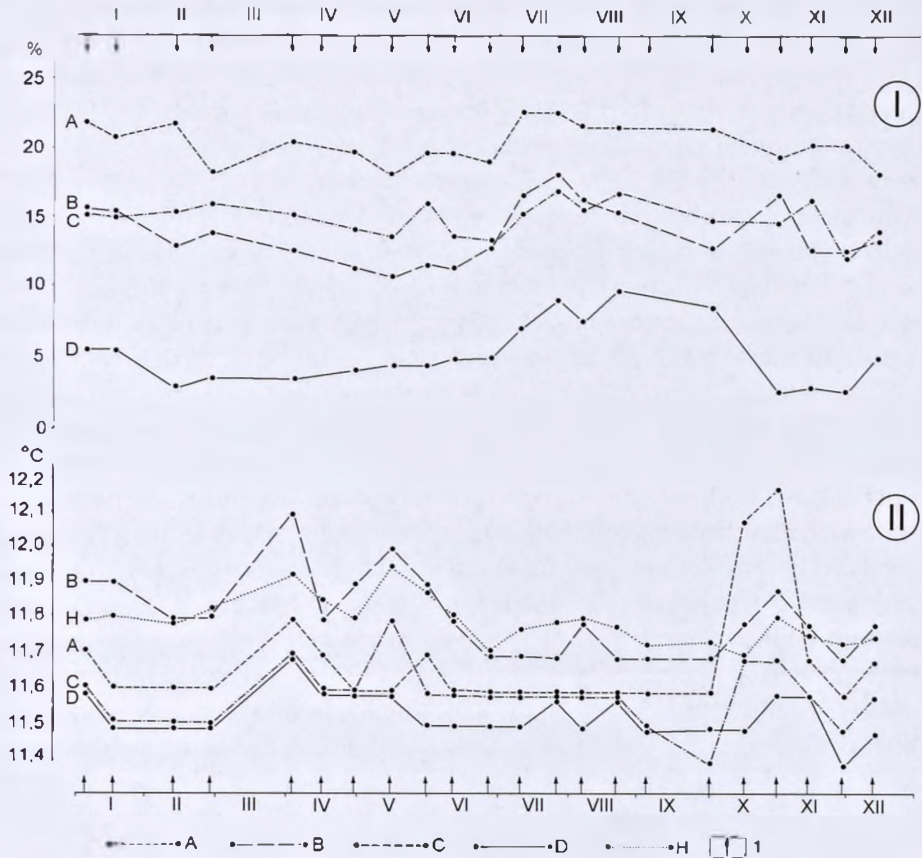


Ryc. 9.11. Rozkłady średnich wilgotności względnych (I) i temperatury (II) mierzonych w 1995 r. na powierzchni skal występujących w strefie Grot Kryształowych (ryc. 9.1). A – mułowce i ilowce w dużych płatach, B – utwory o różnej proporcji składników ilastych i piaszczystych zawierające małe klasty ilowców, C – gruboziarnista sól z klastami ilastymi i przerostami piaszczysto-ilastymi, D – utwory piaszczysto-ilaste w dużych płatach, H – kryształy halitu; 1 – wykładanie adsorbenta wilgoci  $MgCl_2$ , 2 – otwarcie szybika wentylacyjnego, 3 – pomiar przepływu powietrza wentylacyjnego, 4 – wyznaczniki dat pomiarów w miesiącach I–XII 1995 r.

Fig. 9.11. Distribution of mean relative humidity (I) and temperature (II) measured in 1995 on surfaces of rocks occurring in Crystal Caves' zone (Fig. 9.1). A – siltstone and claystone occurring in big patches, B – sediments with various ratio of argillous and sandy components containing small claystone clasts, C – coarse-grained salt with argillous clasts and sand-argillous intergrowths, D – sand-argillous sediments occurring in big patches, H – halite crystals; 1 – exposition of humidity adsorbate  $MgCl_2$ , 2 – removal of ventilation pit cover, 3 – measurement of ventilation air flow, 4 – arrows mark dates of measurements from January till December, 1995.

zych płatach (typ A), a najmniejszym (3–8%) solne utwory piaszczysto-ilaste (typ D). Pozostałe skały (typy B i C) miały pośrednie wartości (10–17%).

Zawartość wilgotności stref powierzchniowych poszczególnych typów utworów wahała się w różnym zakresie w ciągu roku. Najwyższe wartości współczynnika zmienności wykazywały solne utwory piaszczysto-ilaste (typ D) –  $c_v = 24,74$  oraz ilowce i mułowce (typ A) –  $c_v = 23,92$ . Pozostałe typy skał charakteryzowały się zdecydowanie mniejszymi wartościami wynoszącymi  $c_v = 13,38$  (typ B) oraz  $c_v = 9,24$  (typ C).



Ryc. 9.12. Rozkłady średnich wilgotności względnych (I) i temperatury (II) mierzonych w 1996 r. na powierzchniach skał występujących w strefie Grot Kryształowych (ryc. 9.1). A – mułowce i ilowce w dużych płatach, B – utwory o różnej proporcji składników ilastych i piaszczystych zawierające małe klasty ilowców, C – gruboziarnista sól z klastami ilastymi i przerostami piaszczysto-ilastymi, D – utwory piaszczysto-ilaste w dużych płatach, H – kryształy halitu; I – wyznaczniki dat pomiarów w miesiącach I–XII 1996 r.

Fig. 9.12. Distribution of mean relative humidity (I) and temperature (II) measured in 1996 on surfaces of rocks occurring in Crystal Caves' zone (Fig. 9.1). A – siltstone and claystone in big patches, B – sediments with various ratio of argillous and sandy components containing small claystone clasts, C – coarse-grained salt with argillous clasts and sand-argillous intergrowths, D – sand-argillous sediments occurring in big patches, H – halite crystals; I – arrows mark dates of measurements from January till December, 1996.

W 1996 r. uzyskane dane wilgotności wszystkich typów skał mieściły się, podobnie jak w poprzednim roku, w przedziale od 2,8% do ponad 20% w skali pomiaru zastosowanego aparatu (ryc. 9.12–I). Najbardziej wilgotne medium stanowiły płyty ilowców i mułowców ilastych (typ A) – powyżej 18,3%. Najmniejszym zakresem wilgotności, wynoszącym 2,8–10,2% charakteryzowały się utwory solne z dużym udziałem frakcji piaszczystej (typ D), a w pozostałych rodzajach skał odpowiednie wartości mieściły się w przedziale 11–18,5%. Współczynniki zmienności omawianej cechy poszczególnych

typów skał różniły się w stosunku do uprzedniego roku. Znacznie zmniejszyły się wahania wilgotności dużych płytów iłowców (typ A), dla których  $c_v = 6,49$  (ok. 3,5 razy mniej w stosunku do wartości z 1995 r.), a równocześnie w obrębie utworów z przewagą frakcji piaszczystej (typ D) współczynnik zmienności wzrósł z 24,74 do 40,12. Porównywalne dane utrzymały się dla pozostałych typów skał:  $c_v = 15,75$  – utwory ilasto-piaszczyste (typ B),  $c_v = 7,77$  – gruboziamista sól (typ C).

Wilgotność wyróżnionych czterech typów skał współwystępujących z pokrywami krystalicznymi i tworzących ich podłoże pozostaje w stałych relacjach wykazanych już w poprzednich cyklach badań laboratoryjnych (1993–1994 r.). Różnice zaznaczyły się w skali wahań wilgotności poszczególnych typów skał. Parametry wilgotności skał w skali roku miały rozkład nierównomierny. We wszystkich typach badanych utworów zaznaczyło się wyraźne zwiększenie ich wilgotności w okresie lata. Jest to stała tendencja pojawiająca się w każdym roku monitoringu. W 1996 roku nieco dłużej niż w poprzednim, bo do końca września a nawet dłużej (w przypadku skał typu B i C), utrzymywały się podwyższone wartości. Obserwowano wówczas miejscowe zawilgocenia powierzchni kryształów halitu zwłaszcza występujących w małych skupieniach lub tworzących cienkie pokrywy na skałach ilastych i piaszczystych. Na powierzchniach kryształów pojawiała się niekiedy wilgotna koloidalna substancja ilasta pochodząca z podłoża.

Seria pomiarów wykonana w okresie lata 1997 r. wykazała wyraźną tendencję wzrostu wilgotności wszystkich typów skał płonnych, podobnie jak w analogicznym sezonie 1996 r.

#### 9.4.2. Temperatura powierzchni skał

Temperatura powierzchni skał płonnych była mierzona synchronicznie z ich wilgotnością w obrębie tych samych stanowisk (ryc. 9.1). W 1995 r. odnośne temperatury mieściły się w przedziale 11,5 – 12,2°C (ryc. 9.11-II). Pomimo tak małej różnicy temperatur notowanych w ciągu roku, zaznaczyło się wyraźnie ich zróżnicowanie w odniesieniu do poszczególnych typów skał. W wąskim przedziale niskich wartości (11,5–11,8°C) mieściły się mułowce i iłowce (typ A) oraz utwory silnie zapiaszczone (typ D). Wskaźniki zmienności wynosiły odpowiednio 0,43 i 0,62. Stosunkowo największe zróżnicowanie tej cechy (11,6–12,2°C) osiągały utwory piaszczysto-ilaste z małymi klastami iłowców (typ B), dla których współczynnik  $c_v = 1,53$ . Pośrednie wartości temperatury (11,6–11,9°C) były charakterystyczne dla gruboziamistej soli o spoiwie piaszczysto-ilastym (typ C); współczynnik zmienności wynosił tu 0,95. W stosunku do przedstawionych danych średnie temperatury mierzone na powierzchniach kryształów halitu były prawie stałe i mieściły się w wąskim przedziale wartości 11,8–11,96% ( $c_v = 0,53$ ).

W ciągu 1996 r. dane z pomiarów temperatur wszystkich typów skał zawierały się w przedziale 11,4–12,2°C (ryc. 9.12-II), czyli niemal takim samym jak w roku poprzednim. Stosunkowo najszerszym przedziałem temperatur (11,6–12,2%) odznaczały się duże płyty skał ilastych (typ A), a najwęższym (11,4–11,7%) – utwory o przewa-



żającym udziale frakcji piaszczystej (typ D). Obliczone współczynniki zmienności temperatury dla poszczególnych typów skał były podobne jak w roku poprzednim, jedynie dla skał scharakteryzowanych jako typy D i C, które osiągnęły odpowiednio wartości  $c_v = 0,57$  oraz  $c_v = 0,75$ . Duże wahania temperatur stwierdzono w obrębie stanowisk iłowców (typ A). Miały one współczynnik zmienności  $c_v = 1,39$ , a więc przeszło trzykrotnie większy niż w 1995 r. Mniejszymi wahaniami temperatur w stosunku do porównywalnego okresu, odznaczały się utwory ilasto-piaszczyste (typ B), których wartość  $c_v$  zmalała z 1,53 do 0,92. W stosunku do przedstawionych danych średnie temperatury powierzchni kryształów halitu podlegały małym wahanom ( $c_v = 0,53$ ) i mieściły się, podobnie jak w 1995 r., w wąskim przedziale wartości (11,72–11,95°C).

Temperatury skał w skali roku wykazywały rozkład nierównomierny. W okresie lata 1996 r. wahania termiczne wszystkich typów skał zmniejszyły się i ograniczyły do przedziału wartości 11,5–11,8°C. Równocześnie w okresie lata nastąpiło wyraźne zwiększenie wilgotności wszystkich badanych typów skał. Wyniki pomiarów temperatury skał z okresu lata 1997 r. nie wykazywały istotnych różnic w stosunku do analogicznego okresu 1996 r.

## 9.5. Wpływ zabiegów ochronnych na warunki termiczno-wilgotnościowe grot

*Zofia Alexandrowicz i Eligiusz Brzeźniak*

W okresie międzywojennym i tuż po drugiej wojnie światowej, kolejno działające komisje ochrony Grot Kryształowych stwierdzały w czasie wizji lokalnych wyraźne zawilgocenia kryształów halitu. W związku z tym zalecono służbie kopalni wykładanie chlorku wapnia ( $\text{CaCl}_2$ ), służącego do wchłaniania nadmiaru pary wodnej z powietrza. Adsorbent ten był jednakże stosowany tylko okazjonalnie, a jego oddziaływanie nie podlegało ocenie. Wobec pogarszającego się ogólnego stanu grot, Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej w Krakowie wydało w 1956 r. zarządzenie ograniczające wstęp do nich i zobowiązujące dyrekcję kopalni do okresowego przeprowadzania pomiarów wilgotności powietrza oraz wykonania dokumentacji fotograficznej kryształów halitu.

W bliżej nieznanym czasie, prawdopodobnie pod koniec lat sześćdziesiątych lub na początku następnego dziesięciolecia, grot zostały wyłączone z obiegu powietrza wentylacyjnego wskutek szczelnego zakrycia wlotu szybika łączącego komorę pośrednią z poprzeczną Schwind. Od tej pory ich przewietrzanie odbywało się na zasadzie dyfuzji i bardzo ograniczonej penetracji powietrza otworami (w liczbie 18 o średnicy 2 cm każdy) w metalowych drzwiach zabezpieczających wejście do grot i spełniających również rolę tamy wentylacyjnej.

W okresie 1993–1994 nastąpiło zmniejszenie ilości powietrza przepływającego systemem wentylacyjnym w rejonie Grot Kryształowych (Bednarczyk 1994). Stało się to