



Ryc. 9.17. Specjalnie zaprojektowany statyw umocowany do obiektywu aparatu fotograficznego służący do wykonywania szczegółowych zdjęć dokumentacyjnych. Trzy nogi statywu teleskopowo wysuwane na odpowiednią odległość i ustawiane w oznaczonych punktach pozwalają na uzyskanie powtarzalnych ujęć fotograficznych dokumentowanego obiektu.

Fig. 9.17. Specially designed tripod attached to camera taking detailed documentary photographs. Three legs of tripod are telescopic, adjusted to desired distance and set in marked points enable gaining reproducible situation of documented object's photographs.

9.8. Podsumowanie i interpretacja wyników monitoringu

Zofia Alexandrowicz

Monitoring cech środowiska Grot Kryształowych był prowadzony od połowy 1992 do końca 1996 r., a następnie w okresie dwóch miesięcy lata 1997 r. Wyniki tych pomiarów zostały przedstawione w poszczególnych częściach rozdziału dotyczącego monitoringu (rozdziały 9.1–9.7; ryc. 9.2–9.17). Z całego okresu badań do ogólnego ich podsumowania, korelacji i interpretacji danych wybrano rok 1996 z uwagi na pełny cykl pomiarów w warunkach swobodnego przepływu powietrza wentylacyjnego i bez obniżania jego wilgotności za pomocą wykładania adsorbenta (ryc. 9.1). Ten sposób cyrkulacji powietrza okazał się bardziej korzystny dla zabezpieczenia grot w porównaniu do zamkniętego obiegu powietrza, jaki istniał do połowy 1995 r. na skutek zablokowanego szybika wentylacyjnego, a także w okresie ukierunkowanego i wymuszonego jego przepływu, eksperymentalnie zastosowanego w ciągu lata 1997 r.

(patrz – rozdział 9.5; ryc. 9.14, 9.15). Pomiaru termiczno-wilgotnościowe powietrza wypełniającego grotę i chodniki dojściowe oraz skał tworzących ich środowisko były wykonywane w 1996 r., podobnie jak w poprzednich latach, co dwa tygodnie i równocześnie na wszystkich stanowiskach monitoringu (ryc. 9.1). W sumie w omawianym okresie zarejestrowano 18–22 cykli pomiarów temperatur i wilgotności powietrza oraz powierzchni skał, a także temperatur kryształów halitu. Na podstawie stereoskopowej analizy zdjęć fotograficznych dokonano również oceny zmian morfologicznych powierzchni kryształów soli i ich otoczenia (ryc. 9.1, 9.8, 9.17).

9.8.1. Zakresy zmienności danych monitoringu

Poszczególne obiekty strefy Grot Kryształowych charakteryzują się swoistymi cechami środowiska uzależnionymi od oddziaływania powietrza wentylacyjnego, zróżnicowania litologicznego skał otoczenia i morfologii pustek. Zmienność parametrów termiczno-wilgotnościowych powietrza wypełniającego grotę pozostaje w związku z ogólnym rytmem transformacji powietrza atmosferycznego przenieszonego systemem wentylacji kopalni (patrz rozdział 9.1; ryc. 9.2–9.4). Pośrednio oddziałuje ono na stan wilgotności powierzchni skalnych. Warunki hydrogeologiczne złoża i duża zdolność higroskopijna soli znacząco wpływają na wzrost wilgotności powietrza wentylacyjnego. Charakterystyczna jest dwucykliczność zmian stanu wilgotności kopalni w ciągu roku. W czasie późnej wiosny i w lecie powietrze atmosferyczne wprowadzone do systemu wentylacyjnego ma wyższą temperaturę i wilgotność w stosunku do wnętrza kopalni. W podziemiach ochładza się ono, przez co następuje wytrącanie nadmiaru wilgoci relatywnie do spadku temperatury. W pozostałych porach roku chłodne powietrze wlotowe penetrujące wyrobiska kopalni ogrzewa się i pochłania parę wodną, usuwając tym samym poprzez szyb wydechowy jej nadmiar nagromadzony tu w czasie ciepłego i wilgotnego okresu.

Dwucykliczne zmiany klimatu grot w ciągu roku są trwale lub okresowo modyfikowane przez czynniki naturalne i antropogeniczne. Skały występujące w strefie grot, a zwłaszcza ich nasiąkliwość i przepuszczalność, mają zasadniczy wpływ na trwałe zróżnicowanie przestrzennego rozkładu wilgotności powietrza. Morfologia pustek stwarza możliwość stagnacji i stratyfikacji powietrza w istniejących warunkach niejednolitego i słabego przepływu (średnio około 4,5 m³/min). Zdarza się to często w obrębie dolnej grotę, wysokiej i wąsko sklepionej, a także w grocie górnej, dwupoziomowej o nieregularnym kształcie z kilkoma wnękami.

Okresowy wzrost temperatury, a następnie wilgotności powietrza, jest także konsekwencją obecności w grotach grup osób, zależny od ich liczby i czasu przebywania (patrz rozdział 9.6; ryc. 9.16). W 1996 r. tego czynnika nie udało się wyeliminować. Stosowanie adsorbenta (MgCl₂) pochłaniającego parę wodną z powietrza ma korzystny wpływ doraźny, ale równocześnie z uwagi na jego zmieniające się w czasie oddziaływanie, przyczynia się do zwiększenia częstotliwości wahań wilgotności (patrz rozdział 9.5; ryc. 9.13). W ciągu 1996 r. nie stosowano środków czasowo obniżających wilgotność powietrza.

Ogólne relacje w układzie czasowym i przestrzennym wilgotności i temperatury powietrza i skał środowiska strefy grot, analizowane w 1996 r., były podobne jak w latach poprzednich (patrz rozdziały 9.2, 9.3, 9.4; ryc. 9.5–9.12). W ciągu całego roku 1996 wilgotność powietrza utrzymywała się na korzystnym poziomie względnej wartości, co potwierdziło słuszność włączenia grot w obieg powietrza wentylacyjnego (tab. 9.I). W przedsionku, w dolnej grocie i w komorze pośredniej oscylowała ona w granicach 67–76%, w górnej grocie 66–75%, a w chodniku dojściowym 64–74%. Zatem w skrajnych przypadkach wilgotność tylko o 1% przekraczała równowagową wartość (75%), eksperymentalnie określoną dla soli wielickiej (Kozłowski i Hosker 1993). Powierzchniowa wilgotność różnych rodzajów skał tworzących geosrodowisko grot wahała się od około 3% do ponad 20% (tab. 9.I). Najbardziej wilgotnym medium skalnym (od 18,3% do ponad 20%) w skali automatycznego względnego pomiaru były zawsze solne utwory mułowcowo-ilaste (typ A), występujące w dużych płatach w komorze pośredniej, we wnętrzu przy wejściu do górnej groty, a przede wszystkim w przedsionku prowadzącym do grot. Stosunkowo najmniejszą wilgotnością (2,8–10,2%) odznaczają się utwory solne silnie zapiaszczone (typ D), występujące w obrębie wyższego poziomu górnej groty. Pośrednie zakresy są charakterystyczne dla utworów o różnej proporcji składników ilastych i piaszczystych z małymi klastami ilastymi (11,0–18,5%), występujące w dolnej grocie (typ B) oraz dla gruboziarnistej soli z klastami ilowców i przerostami piaszczysto-ilastymi (13,4–17,5%) w obrębie niższego poziomu górnej groty (typ C).

Temperatury zarówno powietrza jak i powierzchni skał płonnych oraz kryształów halitu, mieściły się w wąskich zakresach. Dla powietrza jest to przedział 11,7–12,6°C (tab. 9.I). Najwyższe temperatury były notowane w chodniku dojściowym (12,1–12,6°C) i w dolnej grocie (11,9–12,4°C), a najniższe w komorze pośredniej (11,7–12,1°C), w grocie górnej (11,8–12,1°C) i przedsionku (11,8–12,2°C). Temperatura powierzchni skał, pomimo dużych różnic ich wilgotności, zamykała się w wąskim przedziale 11,4–12,1°C (tab. 9.I). Najwyższe temperatury wartości (11,7–12,1°C) były notowane w dolnej grocie, a najniższe (11,4–11,8°C) w górnej grocie. Stosunkowo w najwęższym przedziale 11,65–11,97°C były zawarte uśrednione pomiary temperatur kryształów halitu, przy czym nieco niższe wartości były notowane w górnej grocie w porównaniu do dolnej (tab. 9.I).

9.8.2. Współzależność i interpretacja wyników monitoringu

Poszczególne obiekty strefy Grot Kryształowych, pomimo różnych geosrodowisk, odznaczają się wymiernymi i współzależnymi zmianami temperatury oraz wilgotności powietrza i skał w cyklu rocznym monitoringu. Dane uzyskane w 1996 roku ze stałych stanowisk usytuowanych w chodniku dojściowym (CH), przedsionku (PR), Dolnej Grocie Kryształowej (DGK), w komorze pośredniej (KP) i Górnej Grocie Kryształowej (GGK), świadczą o następujących prawidłowościach odnoszących się do całej strefy grot i nawiązujących do warunków klimatycznych kopalni (ryc. 9.1, 9.18, tab. 9.I).

Tabela 9.1. Wilgotność i temperatura powietrza i skal oraz temperatura kryształów halitu w strefie Grot Kryształowych – dane z monitoringu z 1996 r.
 Table 9.1. Humidity and temperature of air and rocks and temperature of halite crystals in Crystal Caves' zone – monitoring data from 1996

Strefa Grot Kryształowych Crystal Caves' zone	Powietrze air			Skala rock			Halite	
	wilgotność humidity		temperatura temperature	wilgotność humidity		temperatura temperature	temperatura temperature	
	%	c _v	°C	%	c _v	°C	°C	c _v
Chodnik Gallery	64-74	5,05	12,1-12,6					
Przedśionek Vestibule	67-76	4,44	11,8-12,2	18,3-23,0 [A]	6,49	11,6-11,8 [A]	1,39	
Dolna grota Lower cave	67-76* 67-76**	3,37* 4,30**	12,2-12,4* 11,9-12,3**	11,0-18,5 [B]	15,75	11,7-12,1 [B]	0,92	0,65
Komora pośrednia Middle chamber	67-76	4,02	11,7-12,1	18,8-23,0 [A]	4,85	11,5-11,9 [A]	0,82	
Górną grota Upper cave	66-75	4,56	11,8-12,1	2,8-10,2 [D] 13,4-17,5 [C]	40,12 7,77	11,4-11,7 [D] 11,4-11,8 [C]	0,57 0,75	11,65-11,96 0,63

Wilgotność względna i temperatura powietrza w dolnej grocie – relative humidity and temperature of air in lower cave:

* na wysokości 500 cm n.p.s. – at 500 cm above bottom,

** na wysokości 150 cm n.p.s. – at 150 cm a.b.,

w pozostałych obiektach analogiczne pomiary na wysokości 150 cm n.p.s. – in voids measurements performed at 150 cm a.b.

Wilgotność i temperatura typów skal – humidity and temperature of rocks:

[A] – duże płyty mułowców i ilowców – big patches of siltstones and claystones,

[B] – utwór o różnej proporcji składników piaszczystych i ilastych, zawierający okruchy soli i osad z różnymi proporcjami piasku i gliny – sediment with various proportions of sandy and argillaceous components containing salt chips and small argillaceous clasts,

[C] – gruboziarnista sól z klastami ilowców i przerosłymi utworami piaszczysto-ilastych – coarse-grained salt with claystone clasts and sand-argillaceous intergrowths,

[D] – duże płyty utworów piaszczysto-ilastych – big patches of sand-argillaceous sediments

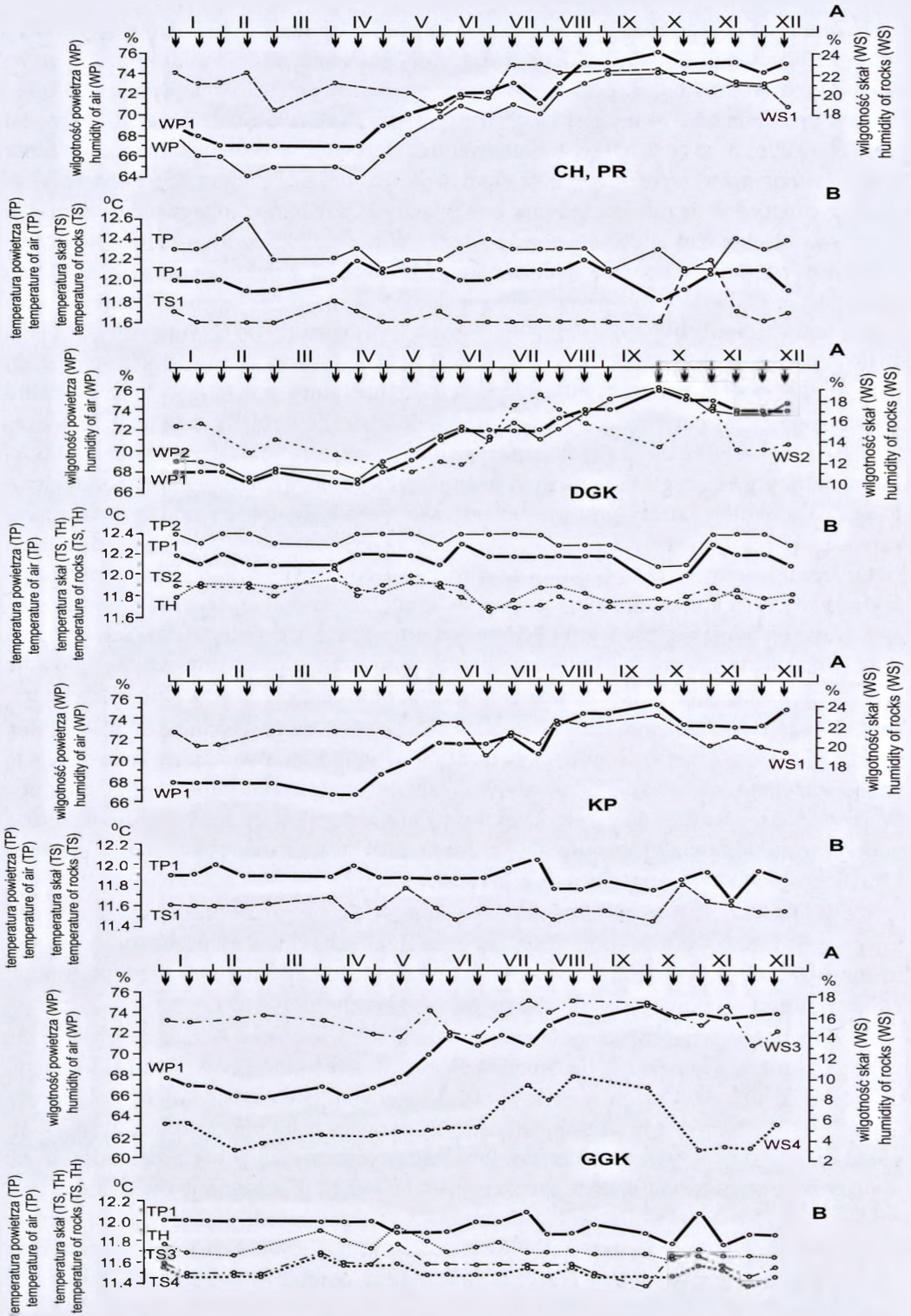
c_v – współczynnik zmienności – variation coefficient

1. Zmiany cykli pogodowych powietrza atmosferycznego wprowadzonego w obieg systemu wentylacji kopalni oddziałują z opóźnieniem na jej mikroklimat i ujawniają się tu w innym zakresie ich wartości mieszczących się w stosunkowo zawężonych przedziałach. W miarę przepływu powietrza od szybu wdechowego do szybu wydechowego, jego cechy fizyczne ulegają transformacji. Polega ona na zmniejszeniu wahań parametrów i stopniowym zaniku wpływu zmian sezonowych powietrza atmosferycznego. W rezultacie jedynie w wilgotności powietrza kopalnianego zaznacza się w sposób wyraźny dwucykliczność zmian. W zimie, a niekiedy również na przedwiośniu występują w kopalni średnio najniższe wartości wilgotności powietrza, które następnie w porze lata lub na początku jesieni osiągają wartości maksymalne. Natomiast temperatura powietrza kopalnianego w porównaniu do zewnętrznego, ulega znacznej transformacji w kierunku ujednoczenia jej wartości w niskich zakresach. Przedstawiony charakter zmian wilgotności i temperatury powietrza na powierzchni i w kopalni został potwierdzony monitoringiem w strefie Grot Krysztalowych. Niezależnie od tych ogólnych prawidłowości, w omawianej strefie następuje lokalna transformacja dopływającego tu powietrza wentylacyjnego. Powietrze w chodniku dojściowym do zamkniętej strefy grot ma stosunkowo niską wilgotność i podwyższoną temperaturę. Ulega ono dosyceniu parą wodną w przedsionku grot na skutek osuszania silnie zawilgoconych mułowców i iłowców. Stąd powietrze swobodnie przepływa do szybika wentylacyjnego znajdującego się w komorze pośredniej (ryc. 9.1). Groty dolna i górna znajdują się poza głównym nurtem powietrza i w tych warunkach wahania oraz różnice termiczne i wilgotnościowe powietrza są uwarunkowane głównie kształtem pustek i oddziaływaniem skał, ich chłonnością i przepuszczalnością wilgoci.

2. W słabo przewietrzanych miejscach strefy grot może zaistnieć okresowe lub trwale pionowe zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza. Taką sytuację stratyfikacyjną – niezależnie od pory roku – stwierdzano wielokrotnie w grocie dolnej. W jej wysoko i wąsko sklepionej części przystropowej powietrze wykazuje wówczas podwyższoną temperaturę i wilgotność. Miejsce to jest zapewne pułapką wilgotnego i ciepłego powietrza, migrującego z przedsionka.

3. Wilgotność skał w strefie grot wykazuje w ciągu roku rozkład dwucykliczny a jego najwyższe wartości pojawiają się wcześniej niż odpowiednie wartości maksymalne rozkładu wilgotności powietrza wentylacyjnego. Świadczy to o bezpośrednim oddziaływaniu środowiska skalnego na stan higryczny powietrza.

4. Zmienność wilgotności powietrza w skali roku jest niewielka i synchroniczna w poszczególnych obiektach badań. Współczynnik zmienności c_v zamyka się w przedziale 3,37–5,05, przy czym w drugim półroczu stwierdzono stosunkowo większe wahania tego wskaźnika niż w poprzedzającym okresie. Natomiast zróżnicowanie wilgotności skał towarzyszących krysztalom halitu jest znacznie większe i mieści się w przedziale współczynnika zmienności (c_v) 4,85–40,12. Szczególnie duża zmienność wilgotności jest typowa dla skał o dominujących składnikach piaszczystych, warunkujących ich zwiększoną nasiąkliwość i przepuszczalność. Takie skały występują w przyspągowej części dolnej groty (typ B) oraz w obrębie wyższego poziomu groty górnej (typ D).



5. Rozkład temperatury powietrza w odróżnieniu od rozkładu jego względnej wilgotności w strefie Grot Kryształowych nie wykazuje dwudzielności sezonowej. Współzależność tych parametrów zaznacza się natomiast wyraźnie w inny sposób, a mianowicie niskie temperatury powietrza przypadają na okresy o jego podwyższonej wilgotności względnej.

6. Zmienność temperatury powietrza w skali roku jest mała; odpowiedni współczynnik c_v mieści się w przedziale 0,63–0,96. Większe wahania tego parametru były rejestrowane w pierwszym półroczu w porównaniu do drugiego, zwłaszcza w chodniku dojściowym przy tamie wentylacyjnej. Małe różnice termiczne powietrza w ciągu roku są charakterystyczne dla rejonów kopalni oddalonych od szybów wdechowych, ze względu ujednoczenie się jego cech w czasie wydłużonej drogi przepływu.

7. Niewielką zmiennością współczynnika c_v odznacza się również temperatura wszystkich typów skał współwystępujących z kryształami halitu. Mieściła się ona w przedziale 0,57–1,39, przy czym szerszy zakres zróżnicowania temperatury przypadał na drugie półrocze. W rozkładzie czasowym i przestrzennym na ogół niskie wartości temperatury skał odpowiadają okresom podwyższonej ich wilgotności. Synchroniczność tych zmian, stwierdzona zarówno w rozkładzie temperatury i wilgotności powietrza, jak i skał świadczy, o niezmiennym rytmie klimatycznym uwarunkowanym wzajemnym oddziaływaniem tych czynników środowiska.

8. Temperatury powierzchni skał w rozkładzie czasowym i przestrzennym mają zawsze niższe wartości w porównaniu do tego samego parametru powietrza. Zatem powietrze przepływając przez strefę grot, jako nieco cieplejsze (do 0,7°C), osusza powierzchnie skalne z ich naturalnej i ustawicznie odnawianej wilgotności pochodzącej

Ryc. 9.18. Zmienność wilgotności (A) i temperatury (B) powietrza i skał w strefie Grot Kryształowych w okresie styczeń (I) – grudzień (XII) 1996 roku, pomiary na stałych stanowiskach monitoringu (ryc. 9.1) w dniach oznaczonych na wykresach strzałkami. CH – chodnik wejściowy do strefy grot, przed drzwiami (tamą) zabezpieczającymi, PR – przedsionek prowadzący do grot, DGK – Dolna Grota Kryształowa, KP – komora pośrednia, GGK – Górna Grota Kryształowa; względna wilgotność powietrza (%): WP – w chodniku (CH), WP1 – na wysokości 150 cm od spągu, WP2 – na wysokości 500 cm od spągu (DGK); temperatura powietrza (°C): TP – w chodniku (CH), TP1 – na wysokości 150 cm od spągu, TP2 – na wysokości 500 cm od spągu (DGK); wilgotność (%) powierzchni skał (wartości średnie): WS1 – iłowce solne (typ A), WS2 – utwory solne z małymi klastami ilastymi i różnej proporcji udziału składników ilastych i piaszczystych (typ B), WS3 – gruboziarnista sól z klastami iłowców i przerostami utworów piaszczysto-ilastych (typ C), WS4 – utwory solne piaszczysto-ilaste (typ D); temperatura powierzchni skał: TS1 – typ A, TS2 – typ B, TS3 – typ C, TS4 – typ D, TH – kryształy halitu.

Fig. 9.18. Variability of humidity (A) and of temperature (B) of air and rocks in zone of Crystal Caves from January (I) till December (XII), 1996; measurements at permanent monitoring points (Fig. 9.1) on days marked by arrows. CH – entrance passage to caves' zone, preceding protective door, PR – vestibule leading to caves, DGK – Lower Crystal Cave, KP – middle chamber, GGK – Upper Crystal Cave; relative air humidity (%): WP – in passage (CH), WP1 – at 150 cm above bottom, WP2 – at 500 above bottom of Lower Crystal Cave (DGK); air temperature (°C): TP – in passage (CH), TP1 – at 150 cm above bottom, TP2 – at 500 above bottom of Lower Crystal Cave (DGK); humidity (%) of rock surfaces (mean value): WS1 – salt siltstone (type A), WS2 – salt sediment with small argillous clasts and varying proportion of argillous and sand components (type B), WS3 – coarse-grained salt with claystone clasts and sand-argillous intergrowths (type C), WS4 – sand-argillous salt sediment (type D); temperature of rock surfaces: TS1 – type A, TS2 – type B, TS3 – type C, TS4 – type D, TH – halite crystals.

ze złoza. Stały przepływ powietrza wentylacyjnego umożliwia obniżanie wilgotności skał, co zaznacza się rytmiczną zmiennością i współzależnością w rozkładzie wartości parametrów objętych monitoringiem.

9. Temperatury powierzchni kryształów halitu w grocie dolnej i górnej wykazują bardzo małe wahania w ciągu roku, niemal identyczne w obu grotach. W grocie dolnej współczynnik zmienności c_v wynosił 0,65, a w grocie górnej 0,63. Uśrednione wartości temperatury powierzchni kryształów są niższe od temperatury powietrza. W przypadku grotki dolnej, temperatura kryształów ma zbliżone wartości do temperatury skał, natomiast w grocie górnej jest wyższa (do 0,4°C) w porównaniu do występujących tu utworów płonnych. Stwierdzona różnica jest prawdopodobnie wynikiem odmiennej morfologii i rodzaju medium skalnego grot, ciągłości pokrywy krystalicznej i obiegu powietrza.

10. Przedstawione prawidłowości i zależności w rozkładzie parametrów wilgotności i temperatury powietrza oraz skał zaznaczyły się synchronicznie w poszczególnych latach prowadzenia monitoringu w warunkach stosowania różnych zabiegów ochronnych. Różnice dotyczyły zakresów zmienności badanych cech, co miało znaczenie przy wyborze sposobów zabezpieczania grot. Najkorzystniejszy układ osiągnięto w warunkach swobodnej cyrkulacji powietrza wentylacyjnego za pomocą szybika, znajdującego się w komorze pośredniej strefy grot. Duże okresowe wahania wilgotności powietrza i skał, jakie zaznaczyły się w ciągu 1996 r., należy wiązać przede wszystkim z częstą obecnością grup osób zwiedzających grotki, a być może także z bardzo zmiennymi warunkami atmosferycznymi na zewnątrz kopalni. W pierwszym przypadku reakcja jest prawie natychmiastowa, a w drugim występuje z opóźnieniem.

11. Strefa Grot Kryształowych jest przewietrzana przepływowym powietrzem, nurtem o małej prędkości, wyodrębnionym w systemie wentylacji wschodniego rejonu kopalni pomiędzy szybem wdechowym Regis a wydechowym Wilson. Omówione wyniki monitoringu środowiska grot wskazują na swoisty charakter chronionej tu przestrzeni, w której istnieje ścisła współzależność między stosunkami termicznymi i higrycznymi powietrza wentylacyjnego a tymi parametrami zróżnicowanego medium skalnego. Ich zmiany w cyklu rocznym są niewielkie, a nie zaburzone czynnikiem antropogenicznym dokonują się niemal synchronicznie we wszystkich badanych obiektach w obrębie zabezpieczonej strefy grot.

Recapitulation and interpretation of monitoring data

Monitoring of features of the Crystal Caves' environment was performed since the first half of 1992 till the end of 1996, and next during July and August, 1997. Results of measurements were described in particular parts of the chapter concerning the monitoring (see – chapters 9.1–9.7; Figs. 9.2–9.17). From the whole period of investigation to the general recapitulation, correlation and data interpretation, 1996 was chosen considering complete course of measurements in ventilation conditions of the caves zone by unrestricted flow of ventilation air without reducing its humidity by adsorbate exposition (Fig. 9.1). This type of air circulation was the best to protect the caves in comparison to closed air circulation existing till the half of 1995 due to the covered inlet of ventilation pit, as well as at the time of its extorted flow applied in summer 1997 (Figs. 9.14, 9.15). Thermal and humidity measurements of

rocks and the air filling the caves and galleries leading to them, were performed in 1996, similarly to former years once per two weeks and simultaneously at the same measuring points (Fig. 9.1). During the period in question 18–22 cycles of measurements of air humidity and rock surface humidity, their temperatures and temperatures of halite crystals were registered. Estimation of changes in crystal surfaces morphology and their surroundings was performed only once on the basis of analysis of stereoscopic photographs taken in autumn on six permanent observation fields within the caves (Figs. 9.1, 9.8, 9.17). No changes were stated in comparison to the former photographs taken in earlier period.

Ranges of variation of monitoring data

Specific features of the environment controlled by ventilation air influence, lithology of rocks and by morphology of voids characterize the particular objects of protected zone of Crystal Caves. Variability of thermal-humid parameters of the air filling the caves, is connected with the general rhythm of atmospheric air transformation in ventilation system of the mine (Figs. 9.2–9.4). Free air controls humidity of rock surfaces. Hydrogeological conditions of salt deposit and big hygroscopicity of rocks significantly influence on increase of ventilation air humidity. There are two cycles of changes in humidity of the mine during the whole year. In late spring and in summer the free air introduced into ventilation system of the mine has higher temperature and humidity in the relation to mine interior. Humidity excess in relation to the increase of temperature of free air causes condensation of steam. In autumn and winter cool intake air penetrating mine workings warms up and absorbs steam removing, via upcast shaft, its excess accumulated during warmer and humid periods.

During the course of the year two cycles of changes in caves climate are permanently or periodically modified by natural and antropogenic factors. Rocks occurring in the caves zone, especially their absorbability and permeability have principal influence on permanent differentiation of spatial distribution of air humidity. Morphology of voids causes stagnation and stratification of the air in existing conditions of its various and weak flow (mean about 4.5 m³/min). This frequently happens within a high and narrow-vaulted lower cave as well as in the upper cave, which has two levels and irregular shape because of several niches. Periodical increase of temperature and of humidity of the air appeared in consequence of human presence. That varied according to the number of visitors and the time of their stay (Fig. 9.16). It was impossible to eliminate this factor. Use of stream adsorbent (MgCl₂) has profitable immediate influence, but at the same time considering its varying influence in time, it causes increase in frequency of humidity oscillation (Fig. 9.13). In 1996 no means temporary decreasing the air humidity were applied.

General time and space relations of humidity and temperature of the air and rocks in caves' zone analysed in 1996 are similar to those gathered in the former years (Figs. 9.5–9.12). Changes refer to variability ranges of some parameters, especially to the air humidity, which in 1996 remained on the good level of relative value, proved rightness of including the caves into mine ventilation system (Tab. 9.1). In the caves' vestibule, in the lower cave and in the middle chamber the air humidity oscillated in range 67–76%, in the upper cave – 66–75% and in the gallery leading to the caves – 64–74%. Therefore in extreme instances, humidity value exceeded by only 1% the equilibrium one experimentally determined for wielician salt at 75% (Kozłowski and Hosker 1993). Surface humidity of different types of rocks which form caves' geoenvironment varied from ca. 3% to over 20% (Tab. 9.1). Silt-argillous sediments (type A) were always the most humid rocky medium (18.3% to over 20%) in automatic relative measurement range. They occur in big lobes in the middle chamber, in the niche at the entrance to the upper cave and first of all in the caves' vestibule. Relatively the lowest humidity (2.8%–10.2%) characterises salt deposits strongly sand-laden (type D) occurring at the upper level of the upper cave. Intermediate ranges of humidity value characterise deposits of various proportion of argillous and sandy components containing small argillous clasts (11.0%–18.5%), which occur in the lower cave (type B). Those ranges also characterise thick-grained salt with claystone clasts and sand-argillous intergrowths (13.4%–17.5%) at the lower level in the upper cave (type C).

Temperature ranges of the air, of the surfaces of the waste-rocks and of halite crystals were narrow. For the air it was 11.7–12.6°C (Tab. 9.1). The highest temperatures were in the leading gallery

(12.1–12.6°C) and in the lower cave (11.9–12.4°C); the least temperatures were in the middle chamber (11.7–12.1°C), in the upper cave (11.8–12.1°C) and in the vestibule (11.8–12.2°C). Temperature of the rock surfaces in spite of great differences in their humidity was in narrow range 11.4–12.1°C (Tab. 9.I). The highest values of temperature 11.7–12.1°C were in the lower cave and the lowest (11.4–11.8°C) in the upper cave. Average temperatures of halite crystals are placed in a very narrow range 11.65–11.97°C, but the lower values of temperature characterise the upper cave (Tab. 9.I).

Correlation and interpretation of monitoring results

Particular objects of protected Crystal Caves' zone in spite of various geoenvironments are characterised by measurable and interrelated changes of temperature and humidity of the air and rocks when investigated in annual monitoring. Data gathered in 1996 on permanent points in the leading gallery (CH), in the vestibule (PR), in the Lower Crystal Cave (DGK), in the middle chamber (KP) and in the Upper Crystal Cave (GGK) prove the following regularity referring to the whole zone of caves and to the climate conditions of the mine (Figs. 9.1, 9.18, Tab. 9.I).

1. Changes of weather cycles of free air introduced into ventilation system of the mine influence with retardation on its climate and appear in the other range of values placed in relatively narrow intervals. During the air flow from downcast to upcast shaft, values of its physical features transform. Parameters oscillation diminish, influence of seasonal air changes gradually vanishes. In the result only two cycles of weather changes distinctly appear in the humidity of mine air. In winter, sometimes in the early spring average lowest values of the air humidity occur in the mine while in summer or at the beginning of autumn they reach maximum values, the temperature of the mine air compared to free air is significantly transformed towards unification of its values in narrow and low ranges.

Monitoring performed in the Crystal Caves's zone confirmed the character of changes of humidity and temperature of the air at the ground level and in the mine. Independently of these general regularities in the zone under the question the local transformation of ventilation air takes place. The air in the gallery leading to the closed zone of the caves has relatively low humidity and raised temperature. In the caves' vestibule the air is saturated with steam in consequence of drying the walls built of strongly moistured argillous claystones. From there the air flows unrestrictedly to the ventilation pit in the middle chamber (Fig. 9.1). The lower and upper caves are outside the main stream of the air. In such conditions oscillation and differences in temperature and humidity are mainly controlled by shape of voids and influence of rocks, their absorptivity and humidity permeability.

2. In poorly ventilated, periodic or permanent vertical differentiation of the air temperature and humidity can occur. Such stratified situation, season independence, was repeatedly found in the lower cave. In its narrow-vaulted roof part the air has relatively higher temperature and humidity. Probably it is a trap for the humid and warm air migrating from the vestibule.

3. Distribution of data of rock humidity in the caves' zone, similarly to the air humidity, has two cycles in the year, but maximum values appear earlier than in the instance of the compared parameter. That proves the influence of rock humidity on the air humidity.

4. Variability of data of the air humidity in the year is in general low and synchronous in particular objects of investigation variation coefficient c_v is contained in the interval 3.37–5.05, but in the second half of a year relatively higher oscillation of this indicator was found in comparison to the previous period. In comparison to them differences in data of humidity of the rock occurring together with halite crystals are much higher and are in the variation coefficient (c_v) interval 4.85–40.12. Especially its high ranges are typical of rocks where sandy components predominate. These components cause the higher absorbability and permeability of the rocks. In the bottom part of the lower cave (type B) and within the higher level of the upper cave (type D) such rocks occur.

5. Distribution of the air temperature in comparison to its relative humidity in the Crystal Caves' zone is not of seasonal bipartite in character. Interdependence of these parameters distinctly occur i.e. low values of oscillation of the air temperature are in the periods of higher relative humidity of the air. Such a correlation is conformable to the physics law referring to the relation between the air temperature and humidity.

6. Variability of the air temperature by the year is low; the variation coefficient c_v is in the interval 0.63–0.96. In the first half of a year in comparison to the second one relatively highest oscillation of this parameter, especially in the leading gallery near ventilation stopping was recorded. Low differences of the air temperature are characteristic of the mine parts which are away from the downcast shafts.

7. The low variability of coefficient c_v characterises the temperature of all types of rocks occurring together with the halite crystals. It is in interval 0.57–1.39, but wider range of temperature of variation was in the second half of a year. In general low oscillation of temperature of rocks occurs in the period of higher parameters of their humidity when investigated in time and spacial distribution. Synchronization of such changes found in distribution of temperature and humidity of the air and rocks proves steady climatic rhythm controlled by the mutual relation of these elements of the environment.

8. Temperatures of rock surfaces in time and space are always lower than of the air. The air flowing trough the caves' zone as warmer one (up to 0.7°C) dries the rock surfaces of their natural and constantly renewed humidity coming from the deposit. Gradual flow of ventilation air enables humidity reduction of rocks and that is marked by rhythmic variation and correlation in distribution of values of parameters investigated by monitoring works.

9. Temperatures of halite crystals surfaces in the lower and upper caves show slight oscillation in the year and hardly different data ranges. In the lower cave the variation coefficient was 0.65 and in the upper one 0.63. Time and spacial distribution of average data is lower than the temperature of the air. In the lower cave temperature of crystals is close to temperature of the rocks, while in the upper cave it is higher (up to 0.4°C) in comparison to barren rocks occurring there. This dispropotion probably results from existing differences in morphology of rock medium of the caves, continuity of crystal-line cover and the air circulation.

10. Regularities and dependences in distribution of humidity and temperature of the air and rocks marked synchronically in particular years when monitoring was performed when different protective treatments were applied. Differences concerned variability of ranges of studied features which was important during the selection of ways to protect the caves. Diminution of divergences was reached in situation of free circulation of the ventilation air by means of ventilation pit situated in the middle chamber. Too big periodical oscillations of humidity of the air and rocks, which occurred in 1996 should be connected first of all with frequency of people visits to the caves. It could take place in the result of contrast variability of free air outside the mine. In the first instance the reaction is nearly immediate, the delay occurs in the second one.

11. Crystal Caves' zone is ventilated with the airflow, a stream of low velocity isolated in ventilation system of the eastern area of the mine between the Regis downcast and the Wilson upcast shafts. Results of monitoring of the caves' environment point at specific character of protected space where close correlation between temperature and humidity of ventilation air and these parameters of differentiated rock medium exist. Their changes in annual monitoring are small and not disturbed by human factor, happen almost synchronically in all investigated objects within protective zone of the Crystal Caves.