Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 30 • Zeszyt 4 • 2006

Nikodem Szlązak, Dariusz Obracaj*, Marek Borowski**

WARUNKI MIKROKLIMATU W PODZIEMNYCH OBIEKTACH ZABYTKOWYCH KOPALNI SOLI

1. Wstęp

Zachodzące w środowisku podziemnych wyrobisk procesy wymiany wilgoci oraz ciepła powodują zmianę pędu masy i energii w przepływającym powietrzu. Podczas przepływu powietrza, przez wyrobiska podziemne kopalni soli, dochodzi do zmiany zawartości pary wodnej w powietrzu oraz zmian entalpii właściwej powietrza [7, 9]. Wymiana masy wilgoci i strumienia ciepła, pomiędzy solą kamienną a powietrzem, jest wynikiem procesów parowania wody w wyrobiskach podziemnych, absorpcji pary wodnej na powierzchni soli kamiennej oraz różnicy temperatur pomiędzy powietrzem a powierzchnią soli kamiennej. Oprócz wymiany ciepła i wilgoci na drodze skała-powietrze istnieje również wymiana wilgoci pomiędzy powietrzem a wodą (solanką). Dodatkowymi źródłami wilgoci w wyrobiskach podziemnych są przebywający ludzie [6].

Wymiana wilgoci pomiędzy powietrzem a powierzchnią solną prowadzić może do ługowania soli, czyli wytworzenia, w wyniku adsorpcji pary wodnej, na powierzchni soli ciekłej warstwy solanki.

W przypadku podziemnego muzeum kopalni soli o stanie i zabezpieczeniu eksponatów muzealnych w znacznym stopniu decydują procesy wymiany wilgoci. Muzeum takie istnieje w zabytkowej kopalni „Wieliczka". Zabezpieczenie tamtejszych eksponatów muzealnych jest kłopotliwe w związku z okresowymi zmianami parametrów powietrza atmosferycznego, a także w wyniku zmian jego parametrów na drodze przepływu przez wyrobiska podziemne.

W podziemnych obiektach zabytkowych kopalni soli powinny istnieć odpowiednie, określone przez zawartość wilgoci i temperaturę powietrza warunki mikroklimatu. Aby nie dochodziło do niszczenia zabytków solnych w postaci rzeźb, płaskorzeźb, posągów, które niejednokrotnie tworzą unikatowe w skali europejskiej muzeum sztuki, parametry te powinny być stabilne w czasie.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

W artykule określono warunki mikroklimatu, które powinny być zapewnione w celu zabezpieczenia solnych eksponatów muzealnych.

2. Wymiana ciepła i wilgoci w podziemnych kopalniach soli

Podczas przepływu powietrza przez wyrobiska wykonane w złożu soli dochodzi do wymiany ciepła i wilgoci pomiędzy skałami solnymi a powietrzem wentylacyjnym. Mechanizmy działania tych procesów są znane, brak jest jednak pomiarów charakteryzujących przebieg ilościowy tych zjawisk.

Na szybkość i jakość procesu wymiany wilgoci pomiędzy solą kamienną a powietrzem wentylacyjnym znaczny wpływ ma ciśnienie cząstkowe pary wodnej oraz temperatura powietrza.

W przypadku różnicy ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu i na powierzchni ciała stałego dochodzi do procesu adsorpcji cząstek pary. Jest to spowodowane przez istnienie sił van der Waalsa. Zarówno na powierzchni ciała stałego, jak i na powierzchni cieczy, występuje pewne ciśnienie pary. Jeżeli to ciśnienie jest niższe od ciśnienia pary wodnej w powietrzu, to para w powietrzu oddaje ostatnie molekuły gazu, aby wyrównać ciśnienie [9]. Para osadza się na powierzchni minerałów, tworząc powłokę zaadsorbowanej wilgoci.

Adsorpcja pary wodnej na powierzchni soli najbardziej uwidacznia się w narożach i krawędziach kryształów soli. W czasie trwania adsorpcji pary wodnej na powierzchni minerału następuje powolny proces jego rozpuszczania. Na powierzchni soli pojawić się może cienka warstwa solanki, a wilgoć przechodzić może w stan kondesacji kapilarnej związanej z obecnością menisk wklęsłych na powierzchni soli. W pobliżu zakrzywionych powierzchni wklęsłych występuje obniżenie ciśnienia pary wodnej nasyconej, co opisane jest równaniem Younga i Laplacea. Dopóki nie nastąpi wypełnienie częściowo kapilar wodą, ruch wilgoci w tym obszarze może się odbywać tylko jako ruch oddzielnych molekuł pary wodnej. Jeżeli średnica porów będzie większa od drogi swobodnej cząsteczki pary w powietrzu (ok. 7×10^{-8} m w temperaturze 0°C), to proces ruchu wilgoci w tym ciele można rozpatrywać jako proces dyfuzji. Na prędkość kondensacji pary wodnej w objętości kapilar mają wpływ ciśnienie cząstkowe pary oraz temperatura.

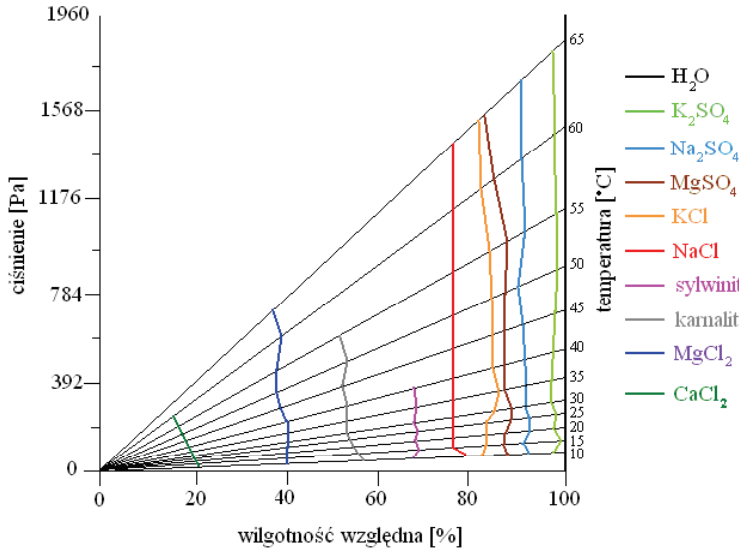
Solanka w dalszym ciągu będzie przyciągała molekuły pary wodnej z powietrza w wyniku istnienia różnicy ciśnienia cząstkowego pary pomiędzy powietrzem a warstwą powietrza nad solanką. Proces ten będzie trwał do momentu wyrównania ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu i nad warstwą solanki. Gdy nastąpi proces przenikania pary na powierzchnię solanki i dalsze wnikanie masy pary do solanki, można mówić absorpcji.

Jeżeli cząstka soli posiadać będzie kontakt z nasyconą solanką, to oprócz rozpuszczania kryształów soli (począwszy już od temperatury 0,1°C) następuje hydratyzacja soli lub innych minerałów (karnalit, syderyt itp.). Oba procesy rozpuszczanie i hydratyzacja, wpływają na siebie wzajemnie [4, 5, 9].

O przebiegu procesu adsorpcji pary wodnej i jej dalszej dyfuzji w kapilarach soli kamiennej decyduje, ze strony powietrza: ciśnienie cząstkowe pary wodnej w stanie nienasy-

cenia, ze strony złoża: zdolności adsorpcji pary wodnej wraz z siłami adhezji i kohezji oraz punkt higroskopijny soli kamiennej. Ten ostatni związany jest z wilgotnością sorpcyjną.

Każdy minerał soli posiada tylko jedno określone ciśnienie pary w danej temperaturze, na powierzchni, którego występuje rozpuszczanie [5]. Ciśnienie to związane jest z izotermą sorpcji i określa punkt higroskopijności danego minerału. Zależność ciśnienia pary nasyconej nad roztworami od wilgotności względnej przepływającego powietrza przy stałej temperaturze przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Krzywe zależności ciśnienia par nad roztworami od wilgotności względnej przy stałej temperaturze (wg [5])

Jak widać z wykresu, ciśnienie graniczne par wzrasta proporcjonalnie do wilgotności względnej powietrza. Dla każdego minerału zostały wykreślone linie pionowe, które odpowiadają krytycznej wilgotności względnej. Przebiegają one prawie niezależnie od temperatury. Są to ciśnienia graniczne dla rozpoczęcia zjawiska higroskopijności w zależności od temperatury. Jeżeli wilgotność względna powietrza utrzymuje się na lewo od tych krzywych, to wówczas nie dochodzi do kondensacji kapilarnej pary wodnej w mikroporach na powierzchni soli. Pomimo iż ciśnienie pary wodnej nasyconej zarówno nad wodą, jak i nad roztworem nasyconym soli wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, to zależność pomiędzy ciśnieniem pary wodnej nad wodą i nad roztworem pozostaje w stałym stosunku.

Punktem higroskopijnym nazywamy stosunek nasyconej pary wodnej nad solanką do nasyconej pary wodnej nad powierzchnią wody. Stała wartość tego stosunku dla halitu wynosi 75% [9].

Jeżeli przepływające powietrze o wilgotności względnej powyżej 75% ma kontakt z solą o zawartości NaCl równej 100% (halit), to wówczas sól zacznie przyjmować wilgoć

od powietrza. Nastąpi zatem osuszanie powietrza, a wraz z nim pobranie ciepła z powietrza w ilości 41,868 kJ/mol [9].

Jeżeli natomiast wilgotność względna powietrza będzie mniejsza niż 75%, to sól zacznie oddawać wilgoć do przepływającego powietrza. Część wilgoci z roztworu zostanie oddana do powietrza. Wzrost wilgotności właściwej o 1 g/kg kosztem entalpii powietrza powoduje spadek jego temperatury o około 2,5 °C [6, 9].

Do wyparowywania wody — nasycania solanki — dochodzi w przypadku, kiedy ciśnienie cząstkowe pary nad solanką jest większa niż w powietrzu (zwiększenie stężenia solanki). Dalsze wyparowywanie wody z nasyconego roztworu solanki powoduje krystalizowanie się soli. Wahania ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu nad warstwą solanki powodują rozpuszczanie i krystalizowanie się soli. Uwidacznia się to w postaci narostów solnych na powierzchni soli. Powiązania krystaliczne, które wytwarzają się pomiędzy cząstkami przy jej wysuszaniu, będą tym silniejsze, im dłużej sól będzie nawilżana.

Zanieczyszczenia soli wywierają duży wpływ na zjawiska higroskopijności oraz krystalizacji. Stężenie solanki czystego halitu (NaCl) nie zależy od jej temperatury, lecz od domieszki soli magnezu, takiej jak: kizeryt ($MgSO_4 \cdot H_2O$), karnalit ($KClMgSO_4 \cdot 3H_2O$ lub $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$). Występują one często w pokładach soli kamiennej. Generalnie do obniżenia punktu higroskopijności soli przyczyniają się również zanieczyszczenia nierozpuszczalne w soli oraz zawartość chlorków wapnia i magnezu [7, 9].

W procesie tym duże znaczenie odgrywa również temperatura powietrza. Ilość jednostek wody, które są pochłaniane przez jednostkę soli, zależy nie tylko od wilgotności względnej powietrza, ale także od czasu trwania reakcji i od temperatury powietrza. Im temperatura powietrza jest wyższa, tym więcej wilgoci może przejąć sól. Ilość pochłanianej wody w temperaturze otoczenia 37°C wzrasta dziesięciokrotnie w porównaniu z pochłanianiem jej w temperaturze 0°C. Wówczas cząstki soli szybciej ulegają rozpuszczeniu [4].

3. Warunki mikroklimatu w pomieszczeniach z solnymi zabytkami

3.1. Ustalenie parametrów powietrza

Można ograniczyć niszczące działanie zmian parametrów powietrza na zabytkowe komory solne wraz z eksponatami wykonanymi z soli. W pierwszej kolejności należy ustalić wymagany poziom zawartości wilgoci oraz temperatury powietrza, a dopiero później rozpoznać zakres występujących zmian temperatury i wilgotności powietrza w ciągu roku. Konieczne jest wyznaczenie ilości wymienianego ciepła i wilgoci w poszczególnych porach roku. Można to uzyskać poprzez monitoring parametrów powietrza na głównych drogach przepływu.

Proces adsorpcji pary wodnej na powierzchni soli zachodził będzie powyżej wilgotności względnej powietrza 75% i w zależności od porowatości powierzchni soli prowadzić może do kondensacji kapilarnej. Aby nie dochodziło do wymiany wilgoci pomiędzy powietrzem a solą, musi być utrzymany właściwy poziom różnicy ciśnień cząstkowych pary

w powietrzu i na powierzchni soli. Ciśnienia cząstkowe pary wodnej związane są bezpośrednio z wilgotnością właściwą i temperaturą przy danym ciśnieniu bezwzględnym powietrza.

Wilgotność względna i temperatura powietrza z uwagi na rozpuszczanie soli pod wpływem wilgoci kapilarnej, powinny być utrzymywane na takim poziomie, aby zmiany wilgotności względnej nie przekraczały ±1%. Dla zabytków z halitu wahania wilgotności względnej nie powinny przekroczyć zakresu 72÷75%.

Parametry wymaganego mikroklimatu przedstawione zostaną na przykładzie Groty Kryształowej w KS „Wieliczka".

3.2. Wymagane parametry powietrza na przykładzie Groty Kryształowej w KS „Wieliczka"

Grota Kryształowa w KS „Wieliczka" składa się z Groty Dolnej i Górnej, które różnią się nie tylko wielkością i kształtem, ale także stanem pokrycia ich powierzchni przez kryształy halitu [2].

Na całym sklepieniu oraz ociosach Dolnej Groty zalega pokrywa grubokrystalicznego halitu, którego grubość wynosi około 10÷30 cm. Widoczne są także ślady po odspojonych fragmentach kryształów. Średnia wielkość poszczególnych kryształów waha się w granicach 10 cm. Około 90% występujących kryształów posiada krawędzie o wymiarach od 8 do 20 cm. W Grocie Dolnej znajdują się też kryształy o maksymalnych rozmiarach, których krawędzie osiągają długość 26÷30 cm.

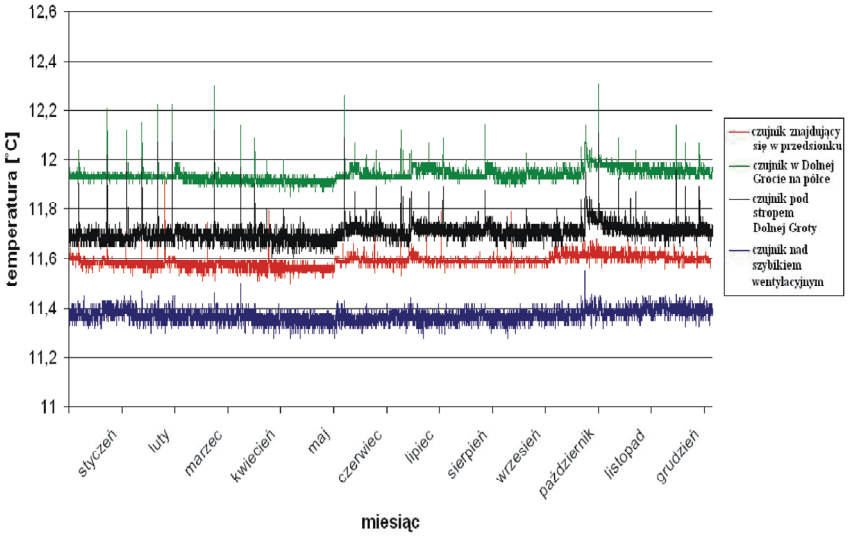
Kryształy w Grocie Górnej zajmują około 50% powierzchni ścian i stropu. Występują one zarówno jako luźno przerastające się kryształy, jak i bardziej zbite płaty o grubości dochodzącej średnio do 20 cm, a w niektórych miejscach nawet 40 cm. Największe kryształy osiągają długość krawędzi rzędu 27 cm. Widoczne są tu jednak powierzchnie łupliwości o krawędziach wynoszących 50 cm. Kryształy tej groty są skorodowane w formie jamek i wżerów. Owalne zagłębienia powierzchni kryształów są prawdopodobnie efektem korozji [1].

Stan zachowania znajdujących się tu kryształów, w porównaniu z Grotą Dolną, jest na ogół dobry. Krawędzie kryształów są ostre, a ich powierzchnie gładkie. Są także bardzo przejrzyste i widać w nich inkluzje ciekłe i gazowe. Wynika to z odległości wlotu powietrza do przedsionka grot, które wpierw przepływa przez Grotę Dolną, a następnie dopływa do Groty Górnej [1].

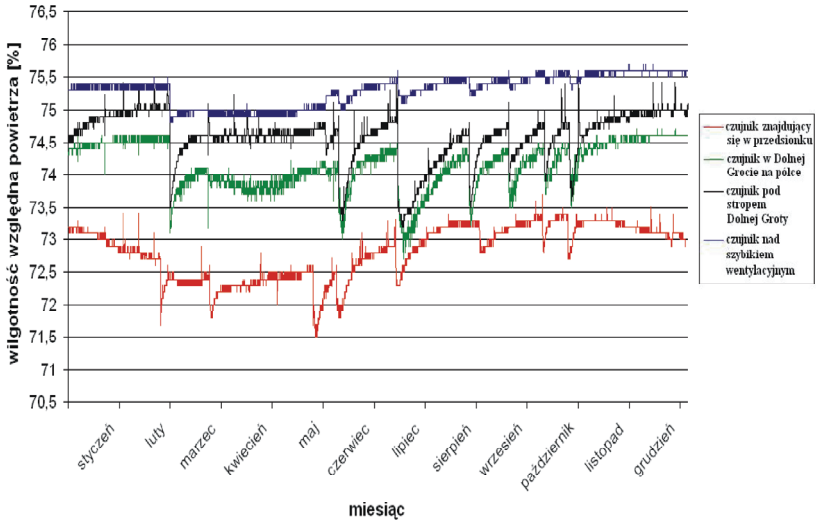
Przed nadmiernym poziomem wilgotności względnej w obu grotach zabezpiecza $MgCl_2$, który jest wysypywany do drewnianych rynienek w postaci proszku. Punkt higroskopijności $MgCl_2$ jest znacznie niższy od punktu dla halitu (rys. 1).

Najważniejszym kryterium parametrów termodynamicznych powietrza opływającego Grotę Kryształową jest utrzymanie na stałym poziomie wilgotności względnej poniżej 75%. Nie powinna ona być mniejsza od 72%. Obniżenie dolnej granicy wilgotności względnej powietrza podyktowane jest występowaniem materiałów ilastych, koloidalnych, a także pochodzących z podłoża. Te ostatnie mogą zanieczyszczać kryształy i obniżać punkt higroskopijności.

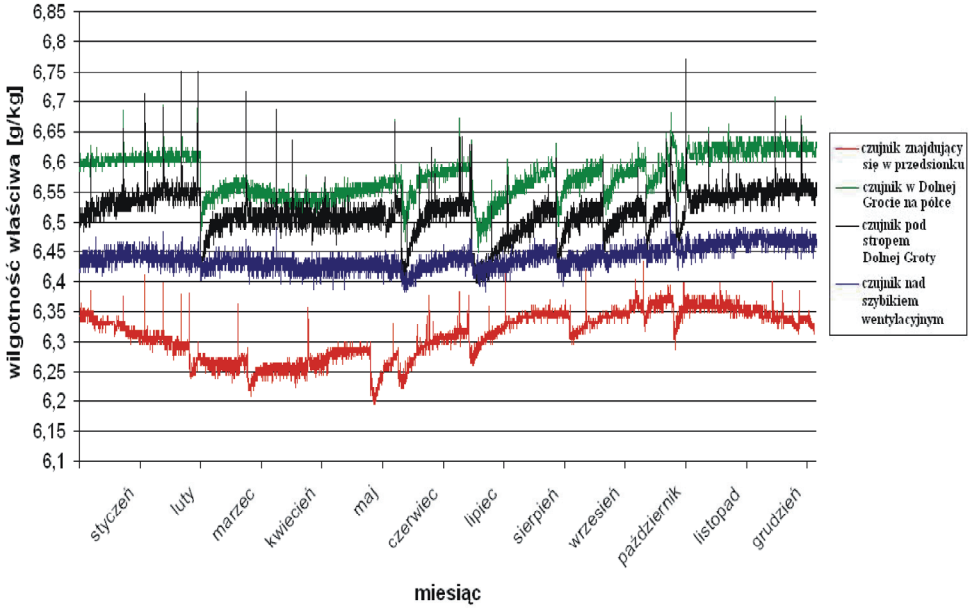
Analizując wyniki pomiarów parametrów powietrza w roku 2004 należy stwierdzić, że parametry mikroklimatu utrzymywane są na właściwym poziomie. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiarów z czujników wilgotności i temperatury, a na rysunku 4 obliczone wartości wilgotności właściwej [3].



Rys. 2. Wykres przedstawiający różnice temperatur odnotowane na poszczególnych czujnikach pomiarowych w roku 2004 [3]



Rys. 3. Wykres przedstawiający różnice wilgotności względnej odnotowane na poszczególnych czujnikach pomiarowych w roku 2004 [3]



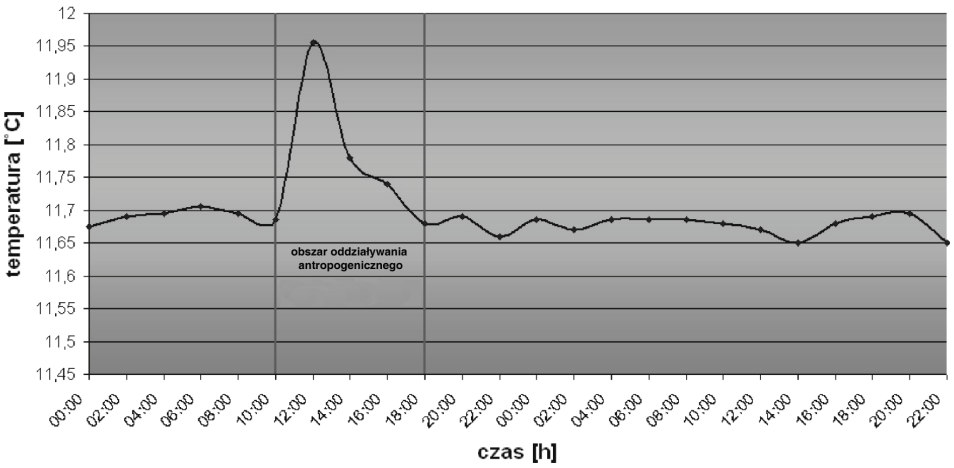
Rys. 4. Wykres przedstawiający różnice wilgotności właściwej odnotowane na poszczególnych czujnikach pomiarowych w roku 2004 [3]

W komorze pośredniej występuje niewielkie przekroczenie wartości wilgotności względnej 75%. Wskazują na to wyniki pomiarów parametrów powietrza zanotowane przez czujnik zainstalowany nad szybikiem wylotowym. Sporadyczne przypadki przekroczenia górnej granicy wilgotności względnej zachodzą również pod stropem Groty Dolnej. Kryształy znajdujące się w tej części groty są najbardziej zniszczone. Spowodowane jest to kondensacją kapilarną pary wodnej.

Potwierdza się zatem fakt, iż przekroczenie wartości wilgotności względnej przynosi negatywny wpływ na zachowanie kryształów halitu.

Wilgotność względna powinna zawierać się w granicach 72÷75%. Temperatura powietrza wlotowego poprzez cały rok jest stała i utrzymuje się na poziomie 11,3 ± 0,2°C. Różnica pomiędzy temperaturą powietrza wlotowego i wylotowego wynosi zaledwie 0,6°C, co wskazuje na to, że o zmianach wilgotności względnej decyduje tylko zawartość wilgoci. Zmienia się ona od 6,5 do 6,6 g_{H2O} na każdy kilogram powietrza suchego.

Należy stwierdzić, że w Grocie Kryształowej utrzymywane są właściwe i poprawne warunki mikroklimatu. Jednak pod wpływem wilgoci, dopływającej do wnętrza grot z wycieków wodnych, a także ze względu na przebywanie człowieka mogą ulec zmianie bardzo szybko. Każda ludzka obecność, czy to związana z pracami badawczymi i górniczymi, czy też zwiedzaniem, zaznacza się wyraźnymi zmianami warunków termiczno-wilgonościowych. Zostało to przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Przebieg zmiany temperatury pomierzonej na czujniku pod stropem Groty Dolnej w dniach 20–21 lutego 2004 roku [3]

Związek pomiędzy ciałem człowieka a środowiskiem gazowym zachodzi poprzez wymianę energii cieplnej, która stymuluje zmiany mikroklimatu. Obecność ludzi w dniu 20 lutego w Grocie Kryształowej, jak widać, zaznaczyła się niewielkim przyrostem temperatury, który odnotowany został na wszystkich czujnikach pomiarowych. Największe wartości w tym dniu wystąpiły (jak zazwyczaj) na czujniku znajdującym się pod stropem w Grocie Dolnej. Nastąpiła tutaj zmiana temperatury z 11,7°C na 11,96°C, czyli o wartości ± 0,25°C. Wartość ta została osiągnięta już po pierwszych minutach przebywania w grocie. Mimo iż czas „zwiedzania" groty wynosił niespełna 5÷10 minut, to od czasu opuszczenia groty do chwili, kiedy temperatura osiągnęła wartość wyjściową, upłynęło około 7 godzin. Natomiast całkowity czas wpływu oddziaływania antropogenicznego wyniósł około 8 godzin. Dzięki ścisłej rejestracji osób, odnotowywanej w specjalnej księdze przechowywanej u Dyrekcji Kopalni, wiemy, że 20 lutego grotę odwiedziły trzy osoby. Zgłoszenia wizyt są także notowane przez Wojewódzkiego Konserwatora Przyrody i każdorazowo konfrontowane z zapisem w głównej księdze.

Zmiany wilgotności względnej, odnotowane w czasie przebywania ludzi, są większe i długotrwalsze niż w przypadku temperatury. Wzrost wilgotności względnej uległ zmianie z 75 do 75,5%, czyli o 0,5%. Należy zauważyć, że od momentu, kiedy została osiągnięta wartość maksymalna do momentu ustabilizowania się upłynęło około 26 godzin. Całkowity czas wpływu oddziaływania antropogenicznego wynosił około 30 godzin. Tak więc obecność ludzi przez około 5–10 min powoduje zakłócenie warunków wilgotnościowych nieco dłużej niż w przypadku warunków termicznych. Wilgotność względna jest zależna od temperatury, której podwyższona wartość dzięki dostarczaniu dodatkowej ilości ciepła do powietrza, przyczynia się do obniżenia wilgotności względnej.

4. Zabezpieczenie Groty Kryształowej

Przez obszar Groty Dolnej (przedsionek, chodniki dojściowe, Grota Dolna oraz komora pośrednia) przepływa strumień powietrza w ilości około 5 m^3/min. Przepływ ten należy uznać za laminarny, a stan przewietrzania komór za poprawny. Zmiana parametrów termodynamicznych powietrza następuje w trakcie wejścia ludzi do komór.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń bilansu masy wilgoci w Grocie Kryształowej bez ludzi i z ich udziałem.

TABELA 1

Bilans strumienia masy i ciepła na drodze przepływu powietrza przez Grotę Kryształową w KS „Wieliczka"

Parametr powietrza	Bez przebywania ludzi	Podczas przebywania 3 osób w ciągu 1 godziny
Maksymalny przyrost temperatury powietrza, ^oC	0,6	4,0
Maksymalny przyrost wilgotności właściwej, g/kg	0,3	0,5
Przyrost strumienia wilgoci, g/h	107	176
Strumień ciepła przyjmowany przez powietrze w sposób jawny, W	60	405
Strumień ciepła przyjmowany przez powietrze w sposób utajony, W	90	213

Przyjęto jednostkowe strumienie wilgoci oraz ciepła suchego od osoby wolno poruszającej się w temperaturze 12°C wg [6]. Z obliczeń wynika, że podczas przebywania trzech osób w ciągu godziny temperatura powietrza przepływającego przez grotę mogłaby zwiększyć się o 4°C, a wilgotność właściwa o 0,5 g/kg.

Zwiększenie strumienia ciepła spowodowałoby w konsekwencji spadek wilgotności względnej powietrza do 65%. Należy jednak zaznaczyć, że obliczenia odnoszą się do punktów wlotu i wylotu powietrza z komory. W konsekwencji w miejscu przebywania ludzi strumień objętości powietrza 5 m^3/min nie będzie usuwał wydzielanej od nich wilgoci i ciepła. Strumienie te mogą być pochłaniane przez kryształy wiszące w pobliżu ludzi. Oczekiwanego rezultatu również nie przyniosłoby zwiększenie prędkości przepływu powietrza. Strumień powietrza przede wszystkim przepływałby najkrótszą drogą do szybiku wentylacyjnego.

Także zastosowanie klimatyzatora na wlocie do Komory Dolnej nie przyniosłoby oczekiwanego skutku z uwagi na znaczne osuszenie. Nie wpłynie to również korzystnie na stan kryształów w momencie wejścia ludzi.

Korzystną stabilizację fizycznych cech mikroklimatu, w warunkach Groty Kryształowej, można by osiągnąć jedynie poprzez odizolowanie kryształów od grupy ludzi zwiedzających.

5. Podsumowanie

Właściwe warunki mikroklimatu w obiektach podziemnych kopalń soli z zabytkami solnymi uzależnione są od ciśnienia cząstkowego pary wodnej w stanie nienasycenia. Ciśnienie to jest funkcją temperatury i ciśnienia.

W przypadku jednakowej temperatury powietrza i powierzchni soli kamiennej graniczną wartością jest parametr wilgotności względnej powietrza na poziomie 75% dla halitu. Wartość ta może być obniżona w przypadku soli kamiennej z domieszkami innych minerałów.

Dla halitu optymalne warunki zapewnia wilgotność względna, która waha się w przedziale 72÷75%. Takie warunki muszą być na przykład zachowane w Grocie Kryształowej w KS „Wieliczka". Stosowany obecnie adsorbent $MgCl_2$ zapewnia parametry powietrza nieoddziałujące szkodliwie na stan kryształów. Obecność w grocie nawet niewielkiej grupy ludzi powoduje okresowe wzrosty temperatury oraz przekroczenia normatywnej wartości wilgotności względnej powietrza. Pomimo określonych wartości zysków ciepła i wilgoci, jakie emitowane są od ludzi przebywających w grocie, aktualnie nie ma technicznych możliwości zapewnienia wymaganych parametrów powietrza podczas jej zwiedzania. Również klimatyzowanie groty w pełni nie zapewniłoby bezpieczeństwa dla wszystkich znajdujących się w niej kryształów. Rozwiązaniem może być odizolowanie kryształów od przebywających ludzika pomocą przezroczystej przegrody.

LITERATURA.

[1] *Aleksandrowicz Z.*: Groty Kryształowe w Kopalni Soli Wieliczka. PAN, 2000

[2] *Charkot J., Jaworski W., Wiewiórka J.*: Odkrycie Groty Kryształowej w Wieliczce. Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce. 1996

[3] *Dąbrowski M.*: Ocena możliwości zapewnienia parametrów powietrza oddziałujących nieszkodliwie na stan Groty Kryształowej w Kopalni Soli Wieliczka. Kraków, KGP, AGH 2004 (praca magisterska)

[4] *Kaufmann D.W.*: Solidum Chloride. The Production and Properties of Salt and Brine. London 1956

[5] *Spacker G.*: Lehrbuch des Kali und Steinsalzbergbaues. 1957

[6] *Szlązak N., Obracaj D., Borowski M.*: Procesy wymiany ciepła i wilgoci w wyrobiskach kopalni soli. Kraków, AGH 2000

[7] *Szlązak N., Obracaj D., Borowski M.*: The influence of changes in humidity and temperature of air on the rock salt mine museum. Proceedings materials of „8th World Salt Symposium", The Hague, the Netherlands May 7–11 2000

[8] *Szlązak N., Obracaj D., Borowski M.*: Klimatyzacja jako sposób zabezpieczenia zabytkowej części kopalni soli. Materiały Konferencyjne nt.: „Zabezpieczanie i rewitalizacja podziemnych obiektów zabytkowych", Konferencja Naukowo-Techniczna, Kraków – Bochnia 21–22 września 2001

[9] *Szlązak N., Obracaj D.*: Wybrane zagadnienia z wentylacji kopalń soli kamiennej. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN 2002