

Związek między porowatością a stanem zachowania materiału kamiennego wybranych budowli zabytkowych na Górnym Śląsku

Małgorzata Labus*

Na przebieg i intensywność procesów wietrzenia kamiennych elementów budowli znaczny wpływ mają migrujące w nich wodne roztwory soli. Mechanizm ich korozyjnego działania opiera się na procesach fizycznych i chemicznych, w których podstawową rolę odgrywa woda. Powoduje ona rozpuszczanie soli, ich przemieszczanie drogą migracji oraz w niektórych wypadkach powoduje ich hydrolizę (Skibiński, 1989).

Zakłada się, iż proces zamrażania-rozmrażania wody zawartej w porach oraz wpływ krystalizacji soli obecnych w wypełniającej pory wodzie mają największe znaczenie w procesie destrukcji skał (Fitzner & Kownatki, 1991). Stąd istotnym zagadnieniem jest określenie porowatości materiału kamiennego, a szczególnie, oprócz porowatości całkowitej — rozkładu porowatości, tj. udziału procentowego porów o różnych średnicach. Ze względu na możliwość migracji wody — z rozpuszczonymi w niej solami — znaczenie mają pory otwarte, o średnicach przekraczających 10^{-7} m. W porach o takich średnicach może nastąpić przepływ wody w postaci ciekłej. W porach o mniejszych średnicach — tzw. mikroporach i porach przejściowych (Hobler, 1977), porach subkapilarnych (Pazdro, 1983) mniejszych od $2 \cdot 10^{-7}$ m — może jedynie nastąpić kondensacja wody z pary wodnej.

Sole dostają się jednak do wody skondensowanej w porach przejściowych, wskutek dyfuzji jonów, zachodzącej ze względu na gradient stężenia roztworów soli obecnych w submakroporach (Skibiński, 1989). W przypadku usunięcia wody z submakroporów, niszczące działanie soli wykrystalizowanej w porach przejściowych jest szczególnie duże (Mirwald & Zallmanzig, 1989).

W artykule przedstawiono wyniki badań porozymetrycznych kamiennego materiału budowlanego, pochodzącego z wybranych budowli zabytkowych na Górnym Śląsku. W powiązaniu z makroskopowymi i mikroskopowymi obserwacjami zniszczeń mają one posłużyć jako przyczynek do rozpoznania procesów deterioracji budulca skalnego w tym regionie.

Materiał badawczy

Badania przeprowadzono na próbach skał, będących budulcem trzech obiektów zabytkowych, znajdujących się w zachodniej części GOP: zamku w Toszku, spichlerza w Starych Gliwicach i ruin zamku w Chudowie (ryc. 1).

1. Zamek w Toszku jest zlokalizowany na wzgórzu, w zachodniej części miasta. Pierwotne założenia architektoniczne pochodzą z lat 1163–1201. Zamek był wielokrotnie niszczone i odbudowywany. Swój obecny kształt zawdzięcza m.in. rozbudowie przeprowadzonej przez Colonnów w okresie 1665–1666. Prace zabezpieczające realizowano pod koniec XIX w. i w latach 1940.

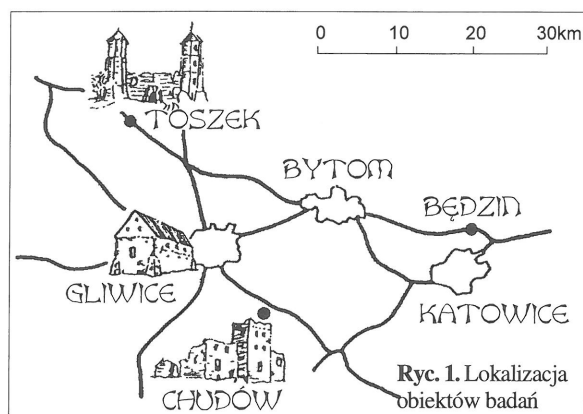
2. Zamek w Chudowie, o założeniu obronnym, został wzniesiony po 1600 r. Obiekt znajduje się w stanie ruiny od 1837 r. Od 1945 r. nie był poddawany renowacji.

3. XVII-wieczny spichlerz w Starych Gliwicach pierwotnie służył jako budynek mieszkalny. Obecnie jest wykorzystywany jako magazyn. Na temat jego historii brak bliższych danych, dostępnych w Archiwum Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Katowicach.

W tej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego zanieczyszczenie atmosfery nie jest tak wysokie, jak w części centralnej i wschodniej. Obniżoną zawartość pH (<5) wykazuje 67,7% opadów na stanowisku pomiarowym w Gliwicach i ok. 82,5% w Mikołowie, gdzie średnie stężenia SO_2 i NO_x w 1991 r. wynosiły

odpowiednio 41,0 i 44,0 $\mu g/m^3$. Przewodność wód opadowych w tych punktach jest przeważnie znacznie podwyższona i waha się w granicach 5–10 mS/m (Krawczyk & Leśniok, 1991).

Próbki skał, z wymienionych wcześniej obiektów, pobierano tak, aby reprezentowały możliwie wszystkie typy litologiczne skał, użytych do budowy. Najwięcej pobrano próbek piaskowców ze względu na zróżnicowanie ich budowy petrograficznej. Mniejsze zróżnicowanie wykazują użyte do budowy wapienie i skały magmowe (w większości granity, sporadycznie porfiry, dioryty, gabro). Badaniom porozymetrycznym poddano również próbkę zaprawy wapiennej, pochodzącej z ruin zamku w Chudowie. W przypadku



Ryc. 1. Lokalizacja obiektów badań

Tab. 1. Wykaz próbek poddanych badaniom porozymetrycznym

Miejsce pobrania próbek	Nr próbki	Typ litologiczny	
Zamek w Toszku	11p	piaskowce	
	12p		
	14p		
	11w	wapienie	
Ruiny zamku w Chudowie	1p	piaskowce	
	6p		
	13pw		
	13pz		
	15pw		
	15pz		
	21p	granity	
	2g		
	3g		
	11g		
	1w	wapienie	
	4w	gabro	
	18		
	zapr.		zaprawa wapienna
	Spichlerz w Starych Gliwicach	23p	piaskowce
		23p'	
25p			
21w		wapienie	
22w			
24w			
21g	granit		

*Katedra Geologii Stosowanej, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

dwóch piaskowców (13 i 15) do badań pobrano próbki z zewnętrznej oraz wewnętrznej powierzchni elementu budowlanego (symbol pz i pw). Strefy te różnią się między sobą barwą oraz zwięzłością. Próbkę oznaczoną „pw” pobrano w odległości ok. 2–3 cm od powie-

rzchni, gdzie makroskopowo nie są już dostrzegalne zmiany, jakie można zaobserwować na powierzchni zewnętrznej. W pozostałych przypadkach próbki pobierano z poziomu zachowanej w stanie pierwotnym wewnętrznej części elementu budowlanego.

Wykaz przebadanych próbek przedstawiono w tab. 1.

Tab. 2. Wyniki pomiarów porowatości próbek skał

Nr próbki	Gęstość [g/cm ³]	Porowatość wyznaczona w porozymetrze rtęciowym [%]	Porowatość całkowita [%]	Wielkość średniej kapilary [μm]	Powierzchnia właściwa przestrzeni porowej [m ² /g]
1p	2,30	10,92	12,32	0,81	0,24
6p	2,22	13,62	15,81	0,42	0,58
11p	2,56	3,48	3,68	0,10	0,55
12p	2,43	8,40	9,26	0,28	0,49
13pw	2,51	4,88	5,25	0,26	0,30
13pz	2,27	12,20	13,98	0,36	0,60
14p	2,43	8,78	9,62	0,21	0,70
15pw	2,26	13,06	13,64	0,40	0,57
15pz	2,25	15,53	18,18	0,47	0,59
21p	2,26	13,60	15,67	0,33	0,73
23p	2,59	(1,73)	(1,78)	(0,26)	0,10
23p'	2,17	(1,61)	(1,91)	(0,28)	0,11
25p	2,56	(1,20)	(1,24)	(0,31)	0,06
1w	2,47	7,27	7,86	0,23	0,51
4w	2,66	(0,51)	(0,52)	(50,78)	0,00
11w	2,64	(0,69)	(0,70)	(81,72)	0,00
21w	2,52	4,81	5,10	0,08	0,96
22w	2,37	8,73	9,79	0,08	1,87
24w	2,49	7,14	7,71	0,25	0,47
zapr.	1,92	9,50	12,03	0,11	3,80
18	2,11	2,68	3,23	0,27	0,19
2g	2,52	4,28	4,47	0,21	0,32
3g	2,57	(0,44)	(0,45)	(5,25)	0,00
11g	2,11	4,06	4,88	0,18	0,42
21g	2,59	1,47	1,51	0,75	0,03

Tab. 3. Rozkład średnic porów materiału kamiennego

Nr próbki	Rozkład średnic porów [%]			
	Makropory			
	pory przejściowe 10 ⁻⁸ –10 ⁻⁷ m	submakropory 10 ⁻⁸ –10 ⁻⁶ m	makropory właściwe 10 ⁻⁷ –10 ⁻⁶ –10 ⁻⁴ m	pory nadkapilarnie > 10 ⁻⁴ m
1p	3	23	71	5
6p	5	62	28	5
11p	44	42	6	8
12p	11	50	30	9
13pw	3	64	18	9
13pz	6	62	28	4
14p	15	51	30	4
15pw	6	51	39	4
15pz	4	40	52	4
21p	10	34	51	5
1w	16	27	54	3
21w	49	34	13	4
22w	56	44	4	2
24w	13	66	18	3
zapr.	29	46	23	2
18	8	62	16	14
2g	15	37	36	12
11g	25	31	35	9
21g	–	36	38	26

do budowy piaskowców wyróżnić można dwie odmiany:

— piaskowce kwarcowe średnio- i gruboziarniste, o spoiwie żelazisto-ilasto-krzemionkowym (1p, 6p, 13p, 15p, 21p, 23p, 25p). Pochodzą one prawdopodobnie z eksploatowanego wcześniej dolnośląskiego złoża piaskowców kredowych Radków i Łączna;

— piaskowce kwarcowe drobnoziarniste, szare, o spoiwie krzemionkowo-ilastym. Makroskopowo są dostrzegalne słaboobtoczone ziarna kwarcu, skaleni, muskowitu i okruchy skał. Ich udział jako materiału budowlanego jest znacznie mniejszy niż piaskowców opisanych wyżej. Do tej grupy należą próbki: 11p, 12p i 14p.

Wapienie — pochodzą prawdopodobnie z warstw gogolińskich, z Opolszczyzny. W przypadku próbek pochodzących z ruin zamku w Chudowie, do budowy mogły zostać użyte wapienie (również z warstw gogolińskich) z pobliskiej odkrywki w miejscowości Mokre (obecnie dzielnica Mikołowa).

1w — to biosparyt z dużą ilością ziarn kwarcu,

4w — biosparyt,

11w — biomikryt,

21w i 22w — mikryty,

24w — mikryt (lekko zdolomityzowany).

Skały magmowe, oznaczone w tab. 1, jako gabro i granity — należą do głazów narzutowych złodowacenia południowopolskiego, charakterystycznych dla rejonu Górnego Śląska. Próbki 2g, 3g, 11g i 21g to porfirowate odmiany granitoidów, o zwięzłej i bezładnej teksturze i czerwonej barwie. Zwiertzałe, zaokrąglone zewnętrzne powierzchnie bloków skalnych świadczą o tym, iż przy budowie nie zostały one poddane obróbce kamieniarskiej.

Wykonane z piaskowca i wapienia, poddane opróbowaniu, elementy budowlane nosiły jedynie ślady wstępnej obróbki i należałyby je uznać za kamień łamany.

Część próbek została pobrana ze ścian suchych i nasłonecznionych, część natomiast z miejsc wilgotnych i zacienionych. Te ostatnie mają zwykle czarny lub szarozielonkawy nalot. Można do nich zaliczyć próbki oznaczone: 1p, 11p, 13p, 15p, 21p, 23p, 1w, 4w, 11w, 22w, 24w, 18, 2g i 11g.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono przy użyciu sprzętu analitycznego Instytutu Górniczego i Gazownictwa w Krakowie.

Gęstość skał poddanych badaniom porozymetrycznym została oznaczona za pomocą aparatu AccuPyc 1330. Pomiar porowatości próbek skał wykonywano na porozymetrze rtęciowym Auto-Pore 9220. Pomiar krzywej ciśnień kapilarnych polega na wstrzykiwaniu do próbki cieczy niezwilżającej (rtęci) pod ciśnieniem i wykorzystaniu równania Washborne'a (Kruczek & Such, 1994):

$$D = (4P) - 1 \cdot y \cdot \cos f$$

gdzie:

D — średnica porów,

P — przyłożone ciśnienie,

f — kąt kontaktu skała-płyn,

y — napięcie powierzchniowe.

Równanie Washborne'a zakłada walcowy model przestrzeni porowej. Wartości kąta kontaktu oraz współczynnika napięcia powierzchniowego przyjmowane są, zgodnie z instrukcją aparatu, za stałe. W czasie pomiaru są ustalane kolejne wartości ciśnienia i jest mierzona objętość rtęci, wnikażącej do próbki przy danym ciśnieniu. Rezultatem jest tabela zależności między przyłożonym ciśnieniem a objętością rtęci, która wnikała do próbki. Przy danej masie próbki (próbka jest ważona przed pomiarem) oraz jej obje-

tości (wyznaczonej w porozymetrze w trakcie pomiaru) otrzymuje się objętość zewnętrzną oraz objętość szkieletu skalnego. Po przeliczeniu otrzymanych wyników, za pomocą wzoru Washborne'a, uzyskuje się rozkład średnic porów w danej próbce, jej porowatość, a także gęstość szkieletową i pozorną. Dodatkowymi parametrami, które można wyliczyć przy pomiarze, są wielkość średniej kapilary oraz powierzchnia właściwa. Obliczenia i rysunki są wykonywane przez odpowiednio zaprogramowany terminal komputerowy porozymetru.

Wyniki badań

W wyniku pomiaru, wykonanego za pomocą aparatu AutoPore, uzyskuje się metrykę próbki, zawierającą m.in. zadane parametry pomiaru, stałe aparaturowe, a także rezultaty pomiaru, np.:

- całkowitą objętość rtęci, która wniknęła do próbki,
- całkowitą powierzchnię właściwą,
- medianę średnicy porów,
- przeciętną średnicę porów,
- gęstość pozorną,
- gęstość właściwą.

Wartość porowatości można otrzymać mnożąc objętość rtęci, która wniknęła do próbki, przez gęstość właściwą (szkieletową).

Uzyskany wykres przedstawia krzywą kumulacyjną objętości porów, w zależności od ich średnicy, otrzymaną przy rosnących i malejących ciśnieniach. Na ryc. 2 i 3 przykładowo przedstawiono krzywe, otrzymane dla próbek wapienia 22 w i piaskowca 23p.

Na osi x (logarytmicznej) umieszczono średnice porów [μm]. Na osi y — objętość przestrzeni porowej zajętej przez rtęć wstrzykiwaną do próbki. Oś y jest wyskalowana w mililitrach objętości rtęci, przypadającej na 1 g próbki (ml/g). Całkowita objętość rtęci wstrzykniętej do próbki daje porowatość efektywną badanej próbki.

W punkcie (0,0) rozpoczyna się przebieg krzywej kumulacyjnej dla wzrastających ciśnień (a); krzywą otrzymaną przy zmniejszających się ciśnieniach oznaczono b . Jest ona wskaźnikiem różnicy kształtu realnej przestrzeni porowej od przyjętego modelu

walcowego. Im obie krzywe leżą bliżej siebie (im mniejsza jest wartość histerezy H), tym badana przestrzeń porowa jest bardziej zbliżona do modelu walcowego, tzn. pory łączą się ze sobą umożliwiając transport płynów.

Jeśli krzywa b lokuje się znacznie powyżej krzywej a (jak na ryc. 2) świadczy to o obecności dużej ilości porów kapilarnych w badanej próbce. W sytuacji odwrotnej, gdy krzywa b znajduje się znacznie poniżej a (ryc. 3), można wnioskować o istnieniu w próbce znacznej ilości porów o lejkowatym kształcie, takich w których ruch płynów jest ograniczony (jednokierunkowy).

Dla próbek o niskiej porowatości duży wpływ na otrzymane wyniki ma tzw. efekt brzegowy. Jest to efekt polegający na niedokładnym oblaniu próbki rtęcią, przy próżniowym zalewaniu próbek, w porozymetrze. Rtęć układa się dokładnie na ściankach badanej próbki dopiero pod pewnym ciśnieniem, tym większym im większe nierówności na ściankach próbki.

Daje to efekt rzędu ułamków procenta porowatości i wpływa na zwiększenie wartości średniej kapilary. Przy próbkach porowatych efekt ten jest zaniedbywany, przy małej porowatości wpływ jego staje się coraz większy. Pomiar powierzchni właściwej pozwala stwierdzić kiedy mamy do czynienia z próbką porowatą o niskiej porowatości, a kiedy z próbką o porowatości praktycznie równej zero. Dla próbek, dla których wartość powierzchni właściwej jest bliska zero, cała wartość porowatości jest wynikiem efektu brzegowego.

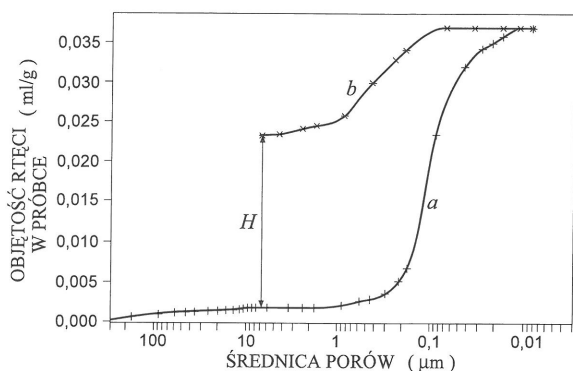
Wysoka w tych przypadkach, obliczona wielkość kapilary jest miarą nie średnicy kapilar, lecz wielkości nierówności na powierzchni próbki. Praktyczna porowatość takich próbek wynosi zero. Próbki o takich wynikach zostały zamieszczone w zestawieniu zbiorczym (tab. 2) i należy pamiętać, że dla próbek dla których powierzchnia właściwa przestrzeni porowej jest zbliżona do zera, inne wielkości — niezależnie od wyliczonych wartości (podanych w nawiasach) — również wynoszą zero.

W tab. 2 zestawiono wyniki pomiarów, przeprowadzonych za pomocą porozymetru rtęciowego oraz wielkość porowatości całkowitej, obliczonej przy użyciu wyników pomiarów gęstości, otrzymanych z piknometru AccuPyc 1330.

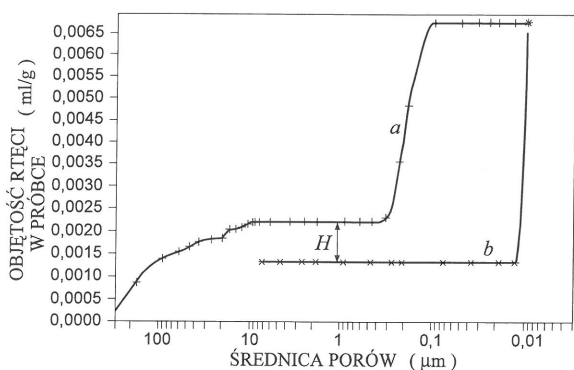
Gęstości próbek skał, uzyskane w tym aparacie, różnią się nieco od gęstości określonych w porozymetrze rtęciowym, ze względu na sposób wykonania pomiaru. W piknometrze AccuPyc medium wypełniającym pory jest metan, dlatego gęstość właściwa wykazuje wartości większe (ok. 0,1–0,2 g/cm³) od uzyskanych w porozymetrze rtęciowym. Na tej podstawie można obliczyć tzw. „porowatość całkowitą” — w tab. 2 umieszczono ją w celu porównania obok porowatości wyznaczonej za pomocą porozymetru. Różnica między tymi wartościami wskazuje na zawartość w próbce porów małych, nie spenetrowanych za pomocą porozymetru rtęciowego.

W zakresie dostępnym dla porozymetru, od 0,01 do 100 μm średnicy porów, procentowy udział porów w dowolnych przedziałach jest możliwy do odczytania z wykresu krzywej kumulacyjnej. W tym celu na osi y przyjmuje się za 100% całkowitą objętość rtęci wstrzykniętej do próbki (porowatość efektywna).

Przyjmując stosowane w badaniach skał przedziały porowatości (Hobler, 1977; Pazdro, 1983) w tab. 3 zestawiono procentowy rozkład średnic porów w przebadanych skałach. W tabeli nie zostały ujęte skały, których porowatość efektywna jest równa zero (3g, 4w, 11w, 23p i 25p). Powierzchnia właściwa przestrzeni porowej jest w tych przypadkach równa lub bliska 0 (tab. 2), a położenie krzywej kumulacyjnej — otrzymanej przy ciśnieniach malejących — świadczy o braku porowatości efektywnej. Przykładowo wybrany wykres krzywej kumulacyjnej dla piaskowca 23p przedstawia ryc. 3. Ujemna wartość histerezy wskazuje tu na obecność



Ryc. 2. Krzywa kumulacyjna dla próbki wapienia 22w (H — histereza, a — krzywa dla ciśnień rosnących, b — krzywa dla ciśnień malejących)



Ryc. 3. Krzywa kumulacyjna dla próbki piaskowca 23p o niskiej porowatości (H — histereza, a — krzywa dla ciśnień rosnących, b — krzywa dla ciśnień malejących)

porów o kształcie lejkowatym, w których płyn zostaje zatrzymany.

Interpretacja wyników badań

Badania makroskopowe i mikroskopowe próbek skał wskazują, iż grupą o najmniejszej odporności są piaskowce kwarcowe średnio- i gruboziarniste, o spoiwie żelazisto-ilasto-krzemionkowym (1p, 6p, 13p, 15p, 21p, 23p i 25p). Porowatość całkowita tych piaskowców jest stosunkowo duża; od 5,25 do 18,18%, jeśli nie brać pod uwagę próbek 23p i 25p, których porowatość efektywną można uznać za równą zero (tab. 2). Piaskowce, zaliczone umownie do grupy drobnoziarnistych, o spoiwie krzemionkowo-ilastym, wykazują porowatość całkowitą w przedziale 3,68–9,62%. Ponadto w ich przypadku znaczny udział procentowy mają pory przejściowe i submakropory.

Z obserwacji mikro- i makroskopowych wynika, że piaskowce tej drugiej grupy mają większą odporność na wietrzenie. Nie pokrywają się łatwo złuszczącą powłoką i zachowują dosyć dużą zwięzłość. Przyczynia się do tego prawdopodobnie mniejsza porowatość całkowita tych skał i mniejsze średnice porów; wielkość średniej kapilary waha się tu od 0,10 do 0,28 μm . Skały o większej porowatości całkowitej absorbują większą ilość substancji szkodliwych znajdujących się w atmosferze (Mirwald & Zallmanzig, 1986), co z kolei przyczynia się do intensywniejszego ich niszczenia. Z drugiej strony jednak, procesy wietrzenia powodują wzrost porowatości skał, o czym świadczą mogą wyniki uzyskane na podstawie badania dwóch stref tej samej próbki.

W przypadku analizowanych piaskowców 13p i 15p, z których pobrano próbki z części zewnętrznej (rozsypliwiej powłoki) oraz wewnętrznej (makroskopowo niezmiennionej), obserwuje się zmianę rozkładu średnic porów, w zależności od odległości od powierzchni (tab. 3). Rozkład ten różni się nieco od opisywanego przez Fitznera (1987) przykładu piaskowca, gdzie w części zewnętrznej, najbardziej zniszczonej, znacznie przeważają pory o średnicach $>10^{-6}$ m, natomiast w niezmiennionej części skały rozkład średnic porów jest bardziej równomierny. W próbkach 13p i 15p największy udział procentowy mają pory w przedziale 10^{-7} – 10^{-6} m, przy czym w partiach zewnętrznych obydwu próbek (13pz i 15pz) nieco zwiększa się udział makroporów właściwych, o przedziale średnic od 10^{-6} do 10^{-4} m. Równocześnie wzrost porowatości całkowitej — w częściach zewnętrznych — świadczyć może o częściowym wypłukiwaniu spoiwa i rozluźnieniu tekstury, spowodowanym zamarzaniem wody w porach.

Zakładając, że blok piaskowca użyty do budowy był pierwotnie jednorodny, należy uznać, iż zwiększenie porowatości całkowitej w jego części bezpośrednio narażonej na wpływ czynników zewnętrznych, jest efektem zmian zachodzących w wyniku wietrzenia.

Również próbki 1p i 21p, makroskopowo wykazujące szczególną rozsypliwłość, zawierają najwięcej porów w przedziale makroporów właściwych. Ich cechą charakterystyczną jest pokrywająca je łatwo odpajająca się powłoka o grubości ok. 3–4 mm. Trudno natomiast, na podstawie tej liczby próbek, ze względu na ich duże zróżnicowanie litologiczne, wnioskować o prawidłowości wiążącej miejsce z jakiego próbka została pobrana (eksponowane lub zacienione), z wynikami badań, takimi jak: wielkość porowatości, czy rozkład średnic porów. Makroskopowe obserwacje skał węglanowych, użytych do budowy spichlerza, ujawniły iż najsilniejszym zmianom uległ wapień 22w (z silnie wypre-

parowaną powierzchnią); fakt ten można powiązać z dużą powierzchnią właściwą przestrzeni porowej i porowatością tej skały (tab. 2) oraz związanym z tym dużym udziałem porów przejściowych (tab. 3).

Szczególnie dużą powierzchnię właściwą przestrzeni porowej wykazuje próbka zaprawy wapiennej, mimo iż większość porów stanowią makropory (71%). Łatwo więc mogą tu migrować wody opadowe, których obecność umożliwia wietrzenie bloków skalnych także w strefie kontaktu z zaprawą.

Wnioski

1. Stosunkowo wysoką porowatość całkowitą wykazują próbki piaskowców (od 3,68–18,18%). Porowatość wapieni waha się od 5,1–9,79%, skał magmowych: 1,51–4,88%.

2. Piaskowce o pierwotnie większej porowatości są bardziej podatne na wietrzenie.

3. Wapienie, których porowatość oraz powierzchnia właściwa przestrzeni porowej jest stosunkowo wysoka, wykazują słabszą odporność na wietrzenie niż te o mniejszej porowatości.

4. Porowatość piaskowców w ich partii zewnętrznej, wyeksponowanej na działanie czynników atmosferycznych, jest większa; w części wewnętrznej (ok. 2–3 cm od powierzchni) — mniejsza. Równocześnie wyższa porowatość w badanych piaskowcach (13p i 15p) jest związana z większą średnicą średniej kapilary i powierzchnią właściwą przestrzeni porowej. Procentowy rozkład średnic porów wykazuje, iż w partiach zewnętrznych szczególnie wzrasta udział makroporów właściwych.

5. Większość przebadanych skał charakteryzuje się dużą zawartością makroporów właściwych i większych (10^{-6} m), gdzie woda i roztwory soli są łatwo transportowane. Stosunkowo niewielki udział procentowy porów w tym przedziale wykazują próbki 11p i 22w (tab. 3.).

6. Wszystkie badane próbki skał mają znaczny udział submakroporów, gdzie roztwory soli mogą utrzymywać się stosunkowo długo, rozpuszczając mineralne składniki skał. Stąd, w sprzyjających warunkach, zachodzi dyfuzja jonów do wody kondensowanej w porach przejściowych, gdzie niszczące działanie soli jest bardzo duże.

7. Duża porowatość (z przewagą makroporów) zaprawy wapiennej może powodować przenikanie agresywnych roztworów wodnych do powierzchni kamiennych bloków w strefie ich kontaktu z zaprawą.

L i t e r a t u r a

- FITZNER B. 1987 — Erfassung und Beurteilung von Verwitterungsschaden an Sandsteinen, Bautenschutz und Bausanierung: 1–4.
 FITZNER B., KOWNATZKI R. 1991 — Bauphysik, 13:111–119.
 HOBLER H. 1977 — Badania fizykochemicznych właściwości skał. PWN.
 KRAWCZYK E., LEŚNIOK M. 1991 — Człowiek i jego środowisko w Gómośląsko-Orawskim regionie przemysłowym, Sosnowiec.
 KRUCZEK J., SUCH P. 1994 — Nafta-Gaz, 12: 525–531.
 PAZDRO Z. 1983 — Hydrogeologia ogólna, Wyd. Geol.
 SKIBIŃSKI S. 1985 — Ochrona Zabytków, 3–4: 244–258.
 SKIBIŃSKI S. 1989 — Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Warszawa, ser. B, 84.
 MIRWALD P.W., ZALLMANZIG J. 1986 — Goldschmidt Informiert, 64: 10–19.
 MIRWALD P.W., ZALLMANZIG J. 1989 — WFEO Techn. Congr., Conservation Histor. Monuments, their Role in Modern Soc., Proc. sec. 2, Praha: 128–152.