

Alina Jarmontowicz

Studium trwałości piaskowca w obiekcie zabytkowym w warunkach zanieczyszczenia atmosfery

Ochrona Zabytków 51/1 (200), 35-37

1998

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

STUDIUM TRWAŁOŚCI PIASKOWCA W OBIEKCIE ZABYTKOWYM W WARUNKACH ZANIECZYSZCZENIA ATMOSFERY

Piaskowiec był powszechnie stosowanym kamieniem w krajowych obiektach zabytkowych. Najstarsze zabytki z piaskowca istnieją na ziemiach polskich od 500–700 lat. Można tu wymienić kościół i klasztor oo. cystersów w Wąchocku, kościół i ratusz w Lwówku, kościół w Chęcinach, gotyckie fragmenty katedry w Strzegomiu, a także wiele innych zabytkowych obiektów wykonanych z piaskowca.

Dla zachowania obiektu bardzo duże znaczenie ma trwałość piaskowca użytego do jego wykonania. Trwałością kamienia przyjęto określać jego zdolność do niezmiennego utrzymywania swych cech i funkcji, walorów użytkowych oraz odporności na zniszczenie lub uszkodzenie. Miarą trwałości jest czas niezawodnego użytkowania obiektu kamiennego. Czas ten jest różny dla poszczególnych odmian piaskowca, zależny od budowy wewnętrznej tego kamienia.

Piaskowce są to skały osadowe zbudowane z okruchów skalnych scementowanych spoiwem. Okruchami skalnymi są przeważnie kwarc, rzadziej skalenie bądź węglany w postaci kalcytu i dolomitu.

Spoiwo może zawierać kwarc, krzemionkę w postaci chalcedonu lub opalu, minerały ilaste, węglany, składniki żelaziste i inne.

Zależnie od rodzaju spoiwa piaskowce są określane jako kwarcowe, krzemionkowe, wapniste, margliste, ilaste, żelaziste lub krzemionkowo-węglanowe, węglanowo-ilaste oraz ilasto-żelaziste.

Zawartość spoiwa w piaskowcach może wahać się w szerokich granicach. W niektórych piaskowcach spoiwo występuje w ilościach nieznacznych, w innych natomiast jego zawartość jest duża.

Badania krajowych piaskowców pochodzących z różnych rejonów wykazały, że próbki pobrane z rejonu sudeckiego zawierały spoiwo w ilości od 2 do 10% masy. W próbkach piaskowców natomiast pochodzących z rejonu Bielska-Białej spoiwo stanowiło od 16 do 35% masy¹.

Skład mineralny poszczególnych odmian piaskowca, a także ich cechy strukturalne i teksturalne są bardzo zróżnicowane. Cechy strukturalne obejmują: wielkość okruchów i ziaren, stopień obtoczenia okruchów i ziaren oraz ich kształt, a także charakter ich powierzchni.

Cechy teksturalne charakteryzują sposób ułożenia i upakowania składników okruchowych, ich orientację, a także wzajemne proporcje między składnikami. Zależnie od stopnia zagęszczenia składników okrucho-

wych piaskowce mogą być zwarte lub porowate. Zwarte są piaskowce o spoiwie kwarcowym, opalowym lub chalcedonowym. Najmniej zwarte są piaskowce zawierające spoiwo ilaste, ilasto-żelaziste lub margliste.

Tekstura piaskowców jest zwykle bezładna. Niekiedy jednak występuje tekstura równoległa piaskowca, co uwidacznia się tylko pod mikroskopem. Rodzaj spoiwa i jego ilość, a także cechy strukturalne i teksturalne piaskowca wpływają na jego właściwości fizyko-mechaniczne i trwałość. Niektóre składniki, np. piryty, obniżają trwałość piaskowca. Piryty bowiem ulegają utlenieniu i uwodnieniu, przechodząc w tlenki lub wodorotlenki żelaza. Zawarta w pirytych siarka również utlenia się, a jej tlenki przy uwodnieniu tworzą kwas siarkowy i siarczany. Procesom tym towarzyszą naprężenia wewnętrzne w strukturze kamienia, związane ze zmianą objętości powstających utworów w stosunku do stanu wyjściowego. Utworzony przy tym limonit występuje w postaci rudych plam i wykwitów na powierzchniach kamienia. Piryty mogą znajdować się w piaskowcu w postaci większych skupień i wtrąceń. Piaskowiec taki użyty był do wykonania płyt i elementów rzeźbionych grobowca Potockich w Wilanowie. Wtrącenia o rudym zabarwieniu w cokole z piaskowca widoczne są także w rzeźbie parkowej *Gladiator*, znajdującej się na północno-zachodnim tarasie Pałacu na Wodzie w Łazienkach Królewskich.

Zawarta w piaskowcu krzemionka, jeżeli występuje w stanie dużego rozdrobnienia, także niekorzystnie wpływa na trwałość tego kamienia. Powoduje ona bowiem powolne i niecałkowite wysychanie piaskowca, a w wyniku tego jego stałe zawilgocenie w warunkach zewnętrznych. Minerały ilaste również mogą obniżać trwałość kamienia. Pod wpływem wody minerały te pęcznieją, a w konsekwencji osłabiają strukturę kamienia. Przy dużej zawartości w piaskowcu (rzędu 20%), minerały ilaste przy zawilgoceniu mogą powodować rozwarstwienia, a nawet sproszkowanie kamienia. Kamienie zawierające większe ilości minerałów ilastych są stale zawilgocone, gdyż trudno wysychają. Struktura, a zwłaszcza porowatość piaskowców, również istotnie wpływa na ich trwałość. Porowatość kamienia, zawartość porów i ich rozkład według wielkości, a także rozdrobnienie i rozwinięcie powierzchni właściwej niektórych minerałów, wpływają na takie ważne cechy kamienia, jak nasiąkliwość, kapilarność, higroskopijność i zdolność wysychania, a w konsekwencji na trwałość.

1. R. Krzywobłocka-Laurów, A. Jarmontowicz, J. Lehmann, *Niszczenie kamienia w architekturze i rzeźbie w rejonach zagrożenia eko-*

logicznego. Raport z projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w okresie 1991–1994, Warszawa 1994, mpis.

Kamienie w ekspozycji zewnętrznej nasiąkają wodą atmosferyczną, podciągają ją z podłoża i pochłaniają wilgoć z powietrza, a oddają ją przy wysychaniu. Czas i wysokość kapilarnego podciągania wody, czas i ilość pochłanianej wilgoci z otoczenia do uzyskania stanu równowagi, oraz czas wysychania i ilość wody zatrzymanej w kamieniu w określonych warunkach, są różne dla różnych kamieni. Wysokość kapilarnego podciągania wody zależy od sił kapilarnych, które są tym większe, im mniejsze są pory materiału. Duża zdolność sorpcyjna kamienia związana jest z obecnością w ich składzie minerałów w postaci bardzo rozdrobnionej, o silnie rozwiniętej powierzchni, np. minerałów ilastych czy określonej formy krzemionki. Czas wysychania i ilość wody jaka pozostaje w kamieniu, a nie wysycha w naturalnych warunkach, podobnie jak higroskopijność, zależą od obecności minerałów o znacznie rozwiniętej powierzchni.

Na trwałość obiektów kamiennych wpływają bardzo znacząco także czynniki zewnętrzne. Są to zmiany temperatury i wilgotności powietrza, mróz, opady deszczu, śniegu, gradu i szadzi. Siła i kierunek wiatru, ciśnienie powietrza oraz czynniki biologiczne — bakterie, pleśnie, grzyby, rośliny, zwierzęta — również wpływają na trwałość kamieniarki. Czynniki te wywołują różne zmiany w materiale kamiennym. Często są to drobne rysy i spękania, powstałe w wyniku wpływu zmiennych czynników klimatycznych, które prowadzą do osłabienia spójności struktury, a nawet do kruchości kamienia. Kamień staje się bardziej porowaty i ujawniają się jego ubytki. Obserwowane zniekształcenia profili architektonicznych i rzeźb oraz występowanie raków i bruzd w piaskowcu powodowane jest głównie działaniem tych czynników.

Znaczne zmiany w materiale wywoływane są wpływem wody w wyniku procesów fizycznych i chemicznych. Często są to procesy wzajemnie związane. Zniszczenia na skutek działania wody infiltrującej z podłoża ujawniają się w postaci powstawania pasa o zmiennej barwie kamienia, zróżnicowanej szerokości i wysokości. Często uwidoczniają się w tym miejscu wykwyty lub obwódka w najwyższej części pasa zniszczeń. Powierzchnia kamienia w pasie zniszczeń jest pokryta twardą patyną, która miejscami odstaje warstwami o różnej grubości. Warstewka zewnętrzna może być spękana, a także może rozpadać się na drobne łuski. Łuski odpadając odsłaniają zamieniony w proszek kamień, który osypuje się. Głębsze warstwy kamienia podlegają działaniu czynników niszczących. Działanie niszczące wody przeważnie współwystępuje z niszczącym wpływem soli rozpuszczalnych i uszkodzeniami mechanicznymi. Wpływy tych czynników ujawniają się najwyraźniej na cokółach różnych obiektów zabytkowych. Zawilgocenie kamienia stanowi pierwszy etap jego niszczenia. Woda przenikając do wnętrza materiału powoduje pęcznienie niektórych składników kamienia, najczęściej minerałów ilastych.

Stopniowo też rozpuszcza niektóre rodzaje spoiwa w piaskowcach. Przeciekająca woda przyczynia się do mechanicznego „wypłukiwania” — ługowania ziaren słabiej spójnych.

W czasie zamarzania wody, zamieniającej się w lód, następuje zwiększenie jej objętości o około 9%. Powoduje to znaczny wzrost ciśnienia na otaczający materiał. W konsekwencji narusza się zwięzłość struktury, powstają pęknięcia i oddzielanie się warstewek materiału kamiennego.

Gwałtowne osuszenie silnie zawilgoconego kamienia powoduje kurczenie się poszczególnych składników kamienia, co prowadzi do pękania, powstawania i rozwoju rys, rozwarstwiania, łuszczenia się i odpadania powierzchniowych, a następnie głębszych warstw materiału.

Wilgoć przyczynia się także do rozwoju bakterii, grzybów i roślin mających wpływ na trwałość zabytków kamiennych. Niektóre bakterie powodują przekształcanie węgla wapnia w azotany wapnia. Są też bakterie, które przekształcają zawarte w wodzie deszczowej lub infiltracyjnej siarczany w siarczki lub nadsiarczki. Inne natomiast bakterie utleniają siarczki i nadsiarczki do siarczanów. Proces przekształcania siarczanów w siarczki i nadsiarczki odbywa się w całej masie kamienia. Natomiast przemiana tych związków do postaci siarczanów zachodzi głównie w szczelinach, blisko powierzchni kamienia.

Mchy i glony działają na kamień mechanicznie i chemicznie. Działanie mechaniczne polega na wnikanii cieniutkich korzonków w szczeliny kamienia. Efektem tego jest kruszenie się kamienia. Chemiczne działanie mchów i glonów związane jest z wydzielaniem się kwasów organicznych działających niszcząco na kamień. Rośliny działają głównie mechanicznie. Ich korzenie przenikają w pęknięcia i szczeliny w kamieniu, powodując rozsadzanie i kruszenie. Powstające w wyniku działań żywych organizmów kwasy organiczne w swym działaniu są słabsze od nieorganicznych, ale podobnie reagują ze składnikami spoiwa piaskowców. Ługują je, osłabiając tym samym strukturę wewnętrzną kamienia.

Obiekty zabytkowe zlokalizowane w dużych miastach lub w ośrodkach przemysłowych, czy na terenie nadmorskim, ulegają dodatkowo niszczeniu wskutek oddziaływania zanieczyszczeń środowiska.

W atmosferze szkodliwymi zanieczyszczeniami są kurz, pyły, dymy, gazy i pary wydzielane z kominów, a także zanieczyszczenia powietrza spalinami silników pojazdów mechanicznych.

W wodach powierzchniowych i gruntowych agresywne związki chemiczne mogą pochodzić z rozpuszczonych gazów znajdujących w powietrzu, ze ścieków, z cząstek sadzy i pyłów oraz ze składników zawartych w gruncie i wodzie gruntowej.

Zanieczyszczenia powietrza występują w postaci cząstek stałych, gazowych i ciekłych. Stałymi składni-

kami pyłów są: cząstki niespalonego węgla, cząstki smoły i sadzy oraz rozpuszczalne i nierozpuszczalne składniki mineralne. Zanieczyszczenia pochodzące z węgla pokrywają obiekt kamienny ściśle przylegającą, gąbczastą warstwą. Zatrzymuje ona wilgoć i absorbuje siarkowodór i dwutlenek siarki, a także inne gazy z zanieczyszczonego powietrza. W skład cząstek mineralnych pyłu wchodzi ziarenka kwarcu i innych minerałów, okruchy szkliska oraz różnego rodzaju włókna. Aerozole mogą zawierać takie same jakościowo cząstki stałe, lecz drobniejsze, oraz cząstki substancji agresywnych, głównie kwasów i soli, takich jak: kwas siarkowy i solny, jedno i dwuzasadowy siarczan amonu i chlorek sodu. Składnikami zanieczyszczeń gazowych są: tlenek i dwutlenek węgla, tlenki siarki i azotu, kwas azotowy i solny, kwasy organiczne i ozon. Składnikami ciekłymi zanieczyszczeń powietrza są jony: wodorowy, amonowy, kwaśny siarkawy, siarkowy, azotynowy i azotowy oraz kwaśny węglanowy.

Zanieczyszczenia środowiska wpływają na piaskowce zależnie głównie od rodzaju znajdującego się w nich spoiwa. Na przykład w piaskowcach zawierających węglan wapnia pod działaniem kwasu węglowego, występującego w wodzie, powstaje kwaśny węglan wapnia. Roztwór tego węglanu in filtruje do powierzchni kamienia, gdzie w trakcie parowania rekrystalizuje w postaci bezwodnego węglanu wapnia. Charakteryzuje się on mniejszą rozpuszczalnością niż odmiana kwaśna tego węglanu. Niszczące działanie dwutlenku węgla polega więc na wylugowaniu z kamienia pierwotnego węglanu wapnia, a następnie wytrącenia go jako materiału wtórnego w warstwach powierzchniowych kamienia.

Inne kwasy zawarte w wodzie również wstępują w reakcje chemiczne ze spoiwem węglanowym piaskowców, prowadząc do dezintegracji struktury tych kamieni. Oprócz typu spoiwa istotna jest także porowatość kamienia. Kamienie bardziej porowate szybciej niszczą się.

Ocena trwałości kamienia znajdującego się w środowisku zanieczyszczonym jest zagadnieniem złożonym. Z tego względu w praktyce materiałoznawczej stosowane są uproszczone metody określania trwałości kamienia. Jedną z nich jest metoda podana w Polskiej Normie PN-84/B-01080. Zgodnie z tą normą wyróżnia się piaskowce średnio i mało odporne na działanie

zanieczyszczonej atmosfery. Do średnio odpornych zaliczono piaskowce zawierające spoiwo krzemionkowe. Nie ulegają one niszczeniu w środowisku agresywnym charakteryzującym się zawartością dwutlenku siarki wynoszącą w granicach od 0,5 do 10 mg/m³. Piaskowce natomiast o innych typach spoiwa według tej normy klasyfikowane są jako mało odporne. Piaskowce te nie ulegają niszczeniu w środowisku, w którym zawartość dwutlenku siarki nie przekracza 0,5 mg/m³. Jest to jednak bardzo orientacyjna klasyfikacja dotycząca odporności wszystkich skał w ogóle. Nie daje ona możliwości uwzględnienia cechy charakterystycznej piaskowca, jaką jest zmienna zawartość w nim spoiwa. Ma to istotne znaczenie przy doborze piaskowca odpowiedniego do potrzeb konserwatorskich. Z tego względu trwałość piaskowca proponuje się oceniać na podstawie nie tylko typu, ale również ilości zawartego w nim spoiwa. W tym celu może być wykorzystany wskaźnik odporności piaskowca oparty na ilości zawartych w nim składników rozpuszczalnych w roztworze wodnym kwasu solnego. Wskaźnik ten oznacza się jako stosunek masy składników piaskowca rozpuszczalnych w roztworze wodnym kwasu solnego do masy badanej próbki tego kamienia. Wartość wskaźnika dla krajowych piaskowców mieści się w granicach 0,01 do 0,4.

Piaskowce o najmniejszych wartościach tego wskaźnika charakteryzują się największą odpornością na działanie kwaśnych zanieczyszczeń atmosferycznych. W miarę wzrostu podanego wskaźnika odporność piaskowca maleje. Na przykład dla piaskowca z Wartowic, charakteryzującego się dużą odpornością, wartość tego wskaźnika wynosi 0,02, a dla piaskowca z Barwałdu Dolnego o małej odporności, wskaźnik ten wynosi 0,3.

Obserwowane często niszczenie piaskowca w obiektach zabytkowych, ujawniające się w postaci dezintegracji i osypywania się kamienia, przeważnie powodowane jest nakładaniem się różnych czynników niszczących. Ustalenie trwałości tego kamienia wymaga wszechstronnych badań jego składu i struktury oraz uwzględnienia całokształtu synergicznych oddziaływań czynników niszczących.

Na podstawie szczegółowych danych o składzie mineralnym i podstawowych cechach fizyko-mechanicznych piaskowca możliwe jest prognozowanie jego trwałości w określonych warunkach środowiska.

A Study on the Durability of Sandstone in a Historical Object and in Conditions of Air Pollution

The rapidity of the damage incurred to stone monuments depends on the resistance of the material and the surrounding environmental conditions. Polish professional literature and conservation practice lack a complex approach to stone material as regards its durability. Global tendencies aim at an all-sided familiarity with the features of the material and the phenomena occurring therein in the course of exploitation. The reaction of the stone material in a historical object depends predominantly on its structure and resultant

physical and mechanical properties. The structure and mineral composition of the material decide when and how it should be applied. From the practical point of view, predictions concerning the reaction of material in the course of time is ascribed considerable meaning.

The author presents the structure and mineral composition of examples of domestic sandstones under the impact of air pollution.