GAWĘDY O KAMIENIU

Kamień budowlany w zabytkach czeskiej Pragi

Aleksandra Kozłowska[1]

Początki zastosowania kamienia w architekturze Pragi sięgają ponad 1000 lat wstecz. Materiał skalny, wykorzystywany w budowlach i pomnikach, musiał spełniać następujące warunki:

– nadawać się do obróbki, często przy użyciu niedoskonałych, niekiedy prymitywnych narzędzi;

– charakteryzować się trwałością bloków w wymaganym rozmiarze i kształcie;

– być wytrzymałym na przetaczanie po nim wozów, w przypadku kamieni wykorzystywanych do bu- dowy dróg;

– być łatwo dostępnym.

Dostępność materiału skalnego miała ogromne znaczenie. Budowniczowie i rzeźbiarze przeważnie wybierali materiał skalny znajdujący się w niedalekiej odległości od miejsca jego wykorzystania, a okolice Pragi były w niego zasobne. Sprowadzanie kamieni z odległych rejonów Czech lub innych miejsc w Europie odbywało się na niewielką skalę, aż do XIX wieku. Są jednak przypadki, że już w średniowieczu kamień stosowany w dekoracjach i rzeźbach wewnątrz budowli był sprowadzony z obszarów dalej położonych. W zabytkowych budowlach Pragi stosowano głównie cztery rodzaje materiału skalnego: „opukę", piaskowiec arkozowy, piaskowiec kwarcowy i fyllit.

CHARAKTERYSTYKA SKAŁ

„Opuka" (pol. opoka) jest lokalną nazwą górnokredowego czertu marglistego. Jest to skała drobnoziarnista, o barwie w odcieniach od biało-szarej do jasnobrunatnożółtej. Głównymi składnikami mineralnymi „opuki" są: kwarc, kalcyt, jasne łyszczyki, glaukonit, kaolinit oraz lokalnie getyt. Mechaniczna wytrzymałość i łatwość jej obróbki związane są z mikrokrystaliczną strukturą skały. Dodatkowo obróbkę „opuki" ułatwia zawartość kaolinitu w skale oraz wysoka porowatość wynosząca około 25% (ponad 90% porów ma średnicę 0,02–0,6 μm).

„Opuka" była praktycznie jedynym materiałem stosowanym w romańskich budowlach od X wieku. Ponadto, nadal jeszcze była wykorzystywana w gotyckich pracach kamieniarskich z XIV wieku. Niestety, wysoka nasiąkliwość powierzchniowa skały sprzyjała gromadzeniu się w niej wody. Opoka należy do materiałów drobnoporowatych, które charakteryzują się tym, że para wodna i woda długo utrzymują się w ich porach i odparowują powoli (Suchorab i in., 2008). Powtarzające się cykle zamarzania i odmarzania roztworów porowych były przyczyną pękania skały i w efekcie końcowym jej rozkruszenia. Dodatkowo, niszczenie „opuki" związane było z chemicznym rozkładem kalcytu na skutek oddziaływania kwaśnych deszczy (SO_2 z kominów fabrycznych), prowadząc do powstawania gipsu. Oryginalne płaskorzeźby portali wykonane z „opuki" możemy oglądać m.in. pod łukiem portalu głównego w Kościele Najświętszej Marii Panny przed Tynem. W stanie nienaruszonym zachowały się one do dzisiaj tylko dlatego, że były osłonięte przed czynnikami atmosferycznymi. Natomiast zwietrzałe bloki „opuki" z budynku Ratusza Miejskiego oraz Domu pod Kamiennym Dzwonem, na Rynku Staromiejskim, zostały niedawno zastąpione nowym materiałem skalnym.

Średniowieczni architekci i rzeźbiarze preferowali głównie lokalną „złotą opukę" o barwie jasnobrunatnożółtej, współcześnie znaną z kamieniołomu w Předníej Kopaninie, na zachód od Pragi (Kozłowska & Kuberska, 2005). „Opuka" była i nadal jest wydobywana w kilku miejscach w okolicy Pragi.

Piaskowiec arkozowy wieku karbońskiego charakteryzuje się barwami od żółtej do czerwonej lub od białej do różowej, w zależności od lokalizacji. Wielkość ziaren detrytycznych w piaskowcach jest bardzo różna, a lokalnie reprezentują one nawet odmiany zlepieńcowe. Ich skład mineralny najczęściej przedstawia się następująco: ziarna kwarcu i skaleni potasowych, lokalnie plagioklazów, blaszki łyszczyków (głównie muskowit) oraz minerały ciężkie. Skała spojona jest głównie cementami – kwarcowym i kaolinitowym. Porowatość skały wynosi 15–19%, a na przestrzeń porową składają się pory o wielkości powyżej 10 μm.

Piaskowce arkozowe zaczęto wykorzystywać w praskiej architekturze od XIV wieku. Początkowo były używane w konstrukcjach drzwi i okien oraz w celu wzmocnienia krawędzi w gotyckich budowlach. Natomiast, datowane na połowę XIV wieku filary i przęsła Mostu Karola są już w 100% wykonane z piaskowca arkozowego. Ze względu na niższą porowatość oraz dużo większe rozmiary porów, piaskowiec arkozowy, w porównaniu z „opuką", lepiej znosił powtarzające się cykle: zawilgocenie – wysuszenie oraz zamarzanie – odmarzanie. Ponadto piaskowce te zwykle nie zawierają węglanów, skutkiem czego SO_2 z atmosfery nie spowodował takich zmian w skale, jak w przypadku „opuki". Krystalizacja gipsu w piaskowcach arkozowych była obserwowana tylko w przypadku występowania kwaśnych deszczy. Mogły być one źródłem kwasu siarkowego, który wchodzi w reakcję z wapnem zaprawy murarskiej łączącej bloki skalne budowli. Czasami, intensywniejsze wietrzenie piaskowców arkozowych mogło być wywołane podwyższoną zawartością kaolinitu w skale. Wiąże się to z właściwością tiksotropową kaolinitu, w wyniku czego dochodzi do kruszenia się

[1]Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; aleksandra.kozlowska@pgi.gov.pl

skały na skutek zamarzania i odmarzania wody porowej (Čichovský i in., 1988).

Piaskowce arkozowe wykorzystywane w gotyckich budowlach pochodziły głównie z kamieniołomów usytuowanych na południowy zachód od Kladna. Zniszczone karbońskie piaskowce arkozowe w zabytkowych budowlach są zastępowane kredowymi piaskowcami arkozowymi z terenów północnych Czech.

Piaskowce kwarcowe górnokredowe charakteryzują się najczęściej barwą jasnobrunatno-żółtą. Jednakże odmiany piaskowca zawierające cement kaolinitowy mają barwę od białej do żółtej. Skała charakteryzuje się porowatością całkowitą około 26–28%. Piaskowce kwarcowe występują rzadko jako elementy dekoracyjne w gotyckich budowlach. Jednym z przykładów jest gotycki wykusz dawnej kaplicy wykonany z drobnoziarnistego piaskowca kwarcowego, w latach 1370–1380. Zachował się on w fasadzie południowej pałacu Rotleva, zwanym Karolinum, który stanowi centrum kompleksu Uniwersytetu Karola, założonego w 1348 r. (David i in., 2006). Barokowi rzeźbiarze oraz artyści w późniejszych okresach preferowali jako materiał piaskowiec kwarcowy drobnoziarnisty, natomiast budowniczowie wykorzystywali również piaskowce średnio- i gruboziarniste. Do klejnotów czeskiego rzeźbiarstwa barokowego należą wykonane z piaskowca kwarcowego posągi muskularnych Herkulesów, autorstwa M.B. Brauna. Umieszczone są one w portalu wejściowym pałacu Clam-Gallasów, gdzie ramionami podtrzymują balkon (David i in., 2006). Piaskowce kwarcowe są odporne na wietrzenie, ponieważ głównym ich składnikiem mineralnym jest kwarc, który charakteryzuje się wysoką odpornością na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych. Głównymi zagrożeniami dla tych skał są:

– kontakt z wapnistą zaprawą murarską (uwolniony z niej wapń może wchodzić w przestrzeń porową piaskowca i w wyniku reakcji z jonem siarczanowym z zanieczyszczonego powietrza krystalizować głównie jako gips);

– gwałtowne zmiany okresów wilgotnych i suchych;

– powtarzające się cykle zamarzania i odmarzanie wody absorbowanej w porach.

Piaskowce kwarcowe początkowo były przywożone do Pragi z pobliskich kamieniołomów, natomiast w późniejszym okresie z rejonu północnych Czech (okolice Horzic).

Fyllit oraz łupek były używane głównie jako materiały pokryć dachowych już w średniowieczu. Dzisiaj znane są trzy lokalizacje skąd materiał ten był dostarczany do Pragi:

– proterozoiczny ciemnoszary łupek z okolic Plzňa;

– kambryjsko-ordowicki zielony fyllit z północnych Czech;

– kulmski ciemnozielono-szary łupek z północnych Moraw.

Z wymienionych materiałów skalnych najważniejszy był fyllit, który charakteryzuje się najniższą porowatością, najwyższą ściśliwością, doskonałą łupliwością oraz dobrą odpornością na ujemne temperatury. Głównymi składnikami mineralnymi fyllitu są kwarc i serycyt, w mniejszej ilości występują chloryt i albit, w niewielkiej apatyt, turmalin i minerały rudne, a śladowo chlorytoidy. Wietrzenie fyllitów i łupków było głównie związane z ich porowatością wynoszącą od 1 do 5% oraz zawartością albitu i chlorytu, które są mniej odporne w porównaniu z kwarcem i serycytem. Ponadto kontakt skały z wapnistą zaprawą murarską, czy prostopadle ułożenie płytek łupku dachówkowego do powierzchni „źródła wody", przyśpieszało procesy wietrzenia. Przemiany zachodzące w skale początkowo były widoczne w zmianie jej barwy i połysku. Następnie na powierzchni skały pojawiały się wykwity soli siarczanowych. W dalszej kolejności następowało przyśpieszone łuszczenie się skały, aż do całkowitego jej zniszczenia.

MOST KAROLA

Zabytkiem Pragi, który gromadzi w sobie wszystkie wymienione rodzaje skał jest Most Karola nad rzeką Wełtawą. Łączy on Malą Stranę po jego stronie zachodniej ze Starym Miastem po stronie wschodniej. Budowę mostu w stylu gotyckim rozpoczęto w 1357 r. na miejscu wcześniejszego Mostu Judyty (pierwszy kamienny most w Pradze wybudowany w stylu romańskim w 1165 r.; Mráz, 1985). Most Judyty, do budowy którego wykorzystano „opukę", runął pod naporem wody w lutym 1342 r. (Ripellino, 1997). Projekt budowy nowego mostu Karol IV powierzył 27-letniemu architektowi Piotrowi Parlerowi. Długość mostu wynosi 516 m, a szerokość poniżej 10 m. Jego 16 filarów wspiera się na masywnych dębowych słupach. Do budowy użyto bardziej trwałego materiału skalnego. Głównym kamieniem budowlanym mostu jest piaskowiec arkozowy, natomiast granitowy chodnik wykonano dopiero w XX wieku. Z podań praskich dowiadujemy się, że mieszkańcy Velvarów przysyłali ugotowane jaja na twardo, które miały wzmocnić zaprawę murarską do mostu (Krejči, 1974). Na końcu mostu po jego obu stronach znajdują się wieże. Staromiejska Wieża Mostowa, na wschodnim końcu mostu, ozdobiona jest gotyckimi rzeźbami, m.in. postaciami cesarza Karola IV i jego syna Wacława IV, które datowane są na koniec wieku XIV. Natomiast na zachodnim końcu mostu znajdują się dwie wieże Malostranskie. Niższa z dwóch wież, wzniesiona w drugiej połowie XII wieku, była częścią romańskich wałów obronnych Mostu Judyty. Wyższa wieża, zbudowana dopiero w XV wieku, jest architektoniczną kopią Staromiejskiej Wieży Mostowej. Wieże mostowe zbudowane zostały głównie z piaskowca arkozowego i „opuki", natomiast dach wykonano z fyllitu. Barokowe oraz późniejsze rzeźby ustawione w szeregu w dwóch rzędach stanowią ciekawy kontrast z surową, gotycką konstrukcją mostu. Ponad 20 z 30 rzeźb, które przedstawiają głównie świętych, datowanych jest na lata 1706–1714. Większość z nich zbudowana jest z piaskowca kwarcowego, natomiast pozostałe odlane są z brązu. Najstarszy, z 1683 r., jest posąg z brązu św. Jana Nepomucena, wykonany przez J.W. Heroldta. Oryginalne, odnowione rzeźby znajdują się w zbiorach lapidarium Muzeum Narodowego, natomiast ozdobą mostu są ich kopie.

PROBLEM WIETRZENIA KAMIENI W ZABYTKOWYCH BUDOWLACH

Niszczenie kamieni w zabytkowych budowlach, będące efektem procesu wietrzenia, stanowi poważny problem ekonomiczny. Jest to zjawisko naturalne wszędzie tam, gdzie skały są narażone na działanie czynników zewnętrznych. Wietrzenie skał zaliczane jest do najszybciej działających procesów geologicznych (Press & Siever, 1978). Dodatkowo do wzrostu jego tempa działania przyczyniają

Ryc. 1. Wieża Staromiejska z XIV wieku na wschodnim końcu mostu Karola. Głównym kamieniem budowlanym mostu oraz wieży jest piaskowiec arkozowy, natomiast dach wieży wykonany jest z fyllitu. Fot. J. Byliniak-Kozłowska

się rozwój przemysłu oraz inne formy działalności człowieka (Winkler, 1973).

Wietrzenie skał osadowych spowodowane jest wieloma czynnikami wewnętrznymi oraz zewnętrznymi. Działanie czynników wewnętrznych zależy głównie od: składu mineralnego skały, jej struktury, tekstury oraz porowatości. Intensywność wietrzenia wzrasta w wyniku:

– spadku ściśliwości suchej skały;

– wzrostu porowatości skały;

– wzrostu absorpcji danej substancji przez skałę w temperaturze 20˚C przy prostopadłym ułożeniu do źródła pochłanianej substancji;

– spadku odporności minerałów na korozję w środowisku wodnym.

Dodatkowo błąd wykonawstwa – niewłaściwy wybór czy sposób ułożenia kamienia, powoduje intensyfikację czynników wewnętrznych. Czynniki zewnętrzne związane są z warunkami środowiska. Na przyśpieszenie wietrzenia mają wpływ:

– wielokrotnie powtarzająca się absorpcja wody przez skałę;

– intensywność nasłonecznienia;

– powtarzające się cykle zamarzania i odmarzania w skale;

– wzrost zakwaszenia środowiska (głównie SO_2 i CO_2);

– drgania wywołane ruchem miejskim;

– długość czasu ekspozycji skały na wymienione czynniki.

Ponadto inne, o mniejszym znaczeniu czynniki, mogą również odgrywać rolę w niektórych procesach wietrzenia kamieni budowlanych.

Ryc. 2, 3 i 4 znajdują się na str. 126

Zamieszczone w artykule informacje zostały przedstawione przez profesora Jiří Konte (2004) podczas wycieczki po zabytkowej części Pragi. Więcej informacji o kamieniach stosowanych w zabytkowych budowlach Czech można znaleźć w publikacjach Březinovej i in. (1996) oraz Rybaříka (1994).

LITERATURA

BŘEZINOVA D., BUKOVANSKÁ M., DUDKOVÁ I.& RYBAŘÍK V. 1996 – Praha kamenná. Národní Muzeum. Praha. 287 s.

ČICHOVSKÝ L., PAULI J. & ZÁMEK J. 1988 – Influence of Clay matter on strength and ultrasonic behaviour of Permo-Carboniferous arkosic sandstones. XXth Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Ostrava. (ed. J. Konta), Univ. Karlova, Praha, 177–185.

DAVID P., SOUKUP V. & THOMA Z. 2006 – Praga. Najpiękniejsze miejsca, zabytki. Świat Książki, Warszawa, 207 s.

KONTA J. 2004 – Weathering of stones in buildings and status of Prage's historical city core. Materiały konferencyjne, XVIIth Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Praga.

KOZŁOWSKA A.& KUBERSKA M. 2005 – XVII Konferencja z cyklu Mineralogia i Petrologia Skał Ilastych – Praga, Czechy, 13–17.09.2004. Prz. Geol., 53: 368–369.

KREJČÍ K. 1974 – Praga. Legenda i rzeczywistość. Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa, 264 s.

MRÁZ B. 1985 – Praga w sercu Europy. Wydwnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa, 254 s.

PRESS F. & SIEVER R. 1978 – Earth. W. H. Freeman, San Francisco, 649 s.

RIPELLINO A.M. 1997 – Praga magiczna. Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa, 460 s.

RYBAŘÍK V. 1994 – Ušlechtile stavební a sochařské kameny České republiky. Nadace střední průmyslové školy kamenické a sochařské v Hořicích v Podkrkonoší. 218 s.

SUCHRAB Z., BARNAT-HUNEK D. & SOBCZUK H. 2008 – Pomiary wilgotności murów z kazimierskiej opoki wapnistej przy zastosowaniu metody TDR. Budownictwo i Architektura, 2: 125–140.

WINKLER E. M. 1973 – Stone: Properties, durability in man's environment. Springer, New York, 230 s.

Kamień budowlany w zabytkach czeskiej Pragi (patrz. str. 145)

Ryc. 2. Kościół Najświętszej Marii Panny przed Tynem zbudowany z „opuki". Fot. J. Byliniak-Kozłowska

Ryc. 3. Dwie Malostranskie wieże na zachodnim końcu mostu. Zbudowane głównie z piaskowca arkozowego i „opuki", dach wykonany z fyllitu. Niższa z XII w., wyższa z XV w. Fot. A. Kozłowska

Ryc. 4. Most Karola, zbudowany z piaskowca arkozowego, łączący dwie najstarsze części Pragi: Malą Stranę (dolna część zdjęcia) i Stare Miasto (górna część zdjęcia). Fot. J. Byliniak-Kozłowska