



Petra – 2000 lat wietrzenia kamiennych zabytków

Robert Buciak^{1,2}



Kompleks archeologiczny Petry znajduje się w Górach Shera w południowej Jordanii, 300 km na południe od stolicy kraju Ammanu (ryc. 1). Kilka kilometrów na zachód od ruin znajduje się rów tektoniczny Jordanu. Południkowo rozciągające się zrębowe Góry Shera przecinane są licznymi uskokami. Najwyższe szczyty wznoszą się 2000 m ponad dno rowu. Sama Petra znajduje się w obniżającej się ku zachodowi suchej Dolinie Mojżesza (arab. *Wadi Musa*), szerokiej na około 1 km, zasypanej osadami plejstocenu i holocenu. Ponad zabytkami górują ponad dwustumetrowe, nierzadko pionowe ściany skalne. Ze względu na panujący w tym miejscu pustynny klimat, poza dnem dolin napotkamy niewiele roślinności. Dzięki temu budowa geologiczna jest doskonale widoczna na przestrzeni wielu kilometrów.

Obszar górski południowej Jordanii zbudowany jest przede wszystkim z piaskowców kambryjskich i dolnoordowickich, zapadających pod niewielkimi kątami w kierunku wschodnim. Arenity poprzedzielane są warstwami mułowców i wapieni. W samej Petrze występują prawie wyłącznie piaskowce systemu deltowego o miąższości kilkuset metrów. System ten składa się z licznych naprzemiennie leżących warstw, najczęściej 1–2 m miąższości, różniących się między sobą wielkością ziaren i ich ułożeniem, porowatością oraz składem mineralnym. Warstwy posiadają różne barwy, co dodaje im niezaprzeczalnego piękna. Dominuje czerwony i żółty, ale bez trudu można znaleźć piaskowce zabarwione na białe, szare, fioletowe czy czarne (ryc. 2 – patrz na str. 2). Przyczyną zabarwienia jest najprawdopodobniej obecność w spoiwie rozproszonych tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu, które w zależności od stopnia utlenienia metali zmieniają zabarwienie skały.

Zmienność parametrów fizycznych skał (średnicy ziaren, porowatości, współczynnika podciągania kapilarnego wody) pomiędzy różnymi warstwami w obrębie jednej budowli skutkuje różnicami w odporności na wietrzenie i powoduje selektywne niszczenie określonych części zabytków. Na to zróżnicowanie nakładają się intensywnie oddziałujące czynniki atmosferyczne, znaczenie ma również kierunek ekspozycji budowli. Wiatry wiejące z nad Morza Śródziemnego i Czerwonego przynoszą deszcze, stąd zachodnie i południowe fasady zabytków ulegają intensywniejszemu ich działaniu. Po stronie północnej i wschodniej budowli, w miejscach nie zabezpieczonych przed splotem wody, widoczne są ślady erozji liniowej. Nabatejczycy chronili wykute w piaskowcu budynki, pozostawiając ponad nimi nawisy i tworząc systemy odprowadzania wody. Jednakże wraz z upływem czasu konstrukcje te uległy częściowemu zniszczeniu.



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna

Sporządzony ponad 100 lat temu i powszechnie obecnie używany wykaz budowli znajdujących się na terenie Petry (Brünnow & von Domaszewski, 1904) wylicza ich ponad 800 sztuk. Przyпуска się, że były to głównie grobowce, choć samych śladów pochówku znaleziono zaledwie kilka. W jednym z najbardziej znanych zabytków znaleziono ukryte skrzynie z monetami, stąd nazywa się go Skarbcem (ryc. 3 – patrz na str. 2). Inny znany budynek z racji swego oddalenia od głównej części miasta określa się mianem Klasztoru (ryc. 4 – patrz na str. 2). Historia miasta dzieli się na 3 okresy, opisane poniżej.

W pierwszym z nich – od IV wieku p.n.e. do końca I wieku n.e. – istniało królestwo Nabatejczyków i z tego czasu pochodzi większość budowli oraz rozbudowany system nawadniania. Miasto miało duże znaczenie dla handlu, gdyż znajdowało się na skrzyżowaniu szlaków pomiędzy Palestyną i Arabią oraz Egiptem i Mezopotamią. Dolina została przegrodzona murami od północnego-wschodu i od zachodu. Jedyne powszechnie dostępne wejście do miasta prowadziło przez długi na 2 km i głęboki na kilkadziesiąt metrów wąwóz.

Drugi okres zaczął się po podboju królestwa Nabatejczyków przez Rzymian w 106 roku, gdy miasto straciło

¹Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; r.buciak@uw.edu.pl.

²Główny Urząd Statystyczny, al. Niepodległości 208, 00-925 Warszawa.

swoje funkcje administracyjne i częściowo handlowe, ale powstawały kolejne budowle, m.in. teatr, świątynia (ryc. 5 – patrz na str. 2 – i Grobowiec Legionisty).

Trzeci okres nastąpił po podziale cesarstwa w 395 roku. Nastąpił wtedy dla Petry schyłkowy okres bizantyjski, po którym zachowały się ruiny kościoła. Miasto zostało całkowicie opuszczone w VIII wieku. Od tego czasu system nawadniania nie był naprawiany i наносzony podczas silnych ulew materiał zasypał niżej położone ruiny. U wylotu wąwozu wejściowego znajduje się obecnie ok. 7 m współczesnych osadów, co świadczy o bardzo intensywnym tempie sedimentacji.

Dominującymi formami deterioracji widocznymi na ścianach zabytków Petry są pęknięcia, tafoni, zagłębienia, łuszczenie i zaokrąglenia powierzchni, dezintegracja żarowa oraz mechaniczne nacięcia ostrymi przedmiotami (ICOMOS-ISCS, 2008).

Geneza pęknięć jest różna. Jako przyczyny można wymienić trzęsienia ziemi oraz ulewne deszcze. Petra znajduje się w strefie sejsmicznej. W ciągu ostatnich 2000 lat kilkakrotnie miały tam miejsce wstrząsy zagrażające stabilności konstrukcji. Bez wątpliwości wynikiem ich działania jest zniszczenie wolnostojących budowli rzymskich (świątynia, teatr, łuk triumfalny) i bizantyjskich (katedra). Kolumny świątyni zbudowane były z dopasowanych do siebie okrągłych plastrów piaskowca. Plastry z jednej strony posiadają wykusz, a z drugiej wcięcie, które dopasowane do siebie zwiększały stabilność konstrukcji. Obecnie większa kolumna leży powalona w wyniku trzęsienia ziemi (ryc. 5 – patrz na str. 2). Trzęsienia te doprowadziły także do zniszczeń obiektów wykutych w masywach skalnych. Widocznym ich skutkiem są oberwania i ześlizgi całych fasad kilku grobów.

Podobne do trzęsienia ziemi efekty wywołują deszcze torencjalne, w czasie których dochodzi do znacznych i gwałtownych zmian w wilgotności piaskowców. W wyniku intensywnych opadów na początku 2010 roku odpadła fasada grobu nr 609. Odróżnienie skutków trzęsienia ziemi od efektów działania deszczu, które miały miejsce kilkadziesiąt lat temu, jest niekiedy trudne. Oba czynniki współdziałają ze sobą w ujawnianiu i poszerzaniu wcześniej niewidocznych nieciągłości strukturalnych. Aby woda mogła doprowadzić do destrukcji budowli musi znaleźć drogę odpływu wewnątrz masywu skalnego i wypłukiwać materiał na powierzchnię terenu. Drogi przepływu wody wewnątrz skał zmieniają się w sposób dynamiczny, co można zaobserwować na fasadzie grobu nr 70 (ryc. 6 – patrz na str. 2). Jeszcze 20 lat temu budowlę oceniano jako mało zniszczoną. W wyniku zmian w systemie krążenia wody, która spływa obecnie kanałami wewnątrz zabytku, doszło w krótkim czasie do powstania szczelin szerokości kilkunastu cm widocznych na fasadach.

Na skutek przesiąkania wody przez skały i wypłukiwania słabiej związanego spoiwem materiału na fasadach powstają tafoni, czyli zagłębienia średnicy do kilkudziesięciu centymetrów. Charakterystyczne jest ich „zespolowe” występowanie w strefach zawilgocenia (ryc. 7 – patrz na str. 2). Rozwój tafoni prowadzi do stopniowej erozji ścian.

Niszczące działanie ma również woda płynąca podczas ulew wąwozami. Przykładem jej siły niszczenia jest płaskorzeźba karawany znajdująca się w wąwozie wejściowym, która uległa znacznemu zatarciu w wyniku erozji bocznej (ryc. 8). Widoczne są na niej zagłębienia i zaokrąglenia powstałe na skutek działania płynącej wody. Na podstawie wyglądu płaskorzeźby możemy oszacować prędkość,

z jaką płynąca woda niszczy zabytki. Warto zauważyć, że Nabatejczycy zbudowali system odprowadzania wody tak, aby wąż wejściowy nie był w ogóle zalewany.

Woda działająca niszcząco na skały nie jest obojętna chemicznie. W roztworze obecne są głównie jony sodowy i chlorkowy pochodzące z wody opadowej. W trakcie wysychania powierzchni skał po deszczach, pod powierzchnią ścian w strefie odparowania do głębokości 5 mm, wytrąca się halit (Heinrichs, 2010). Stopniowy wzrost kryształów soli prowadzi do łuszczenia warstwy powierzchniowej około milimetrowej grubości. Rozwój kolejnych złuszczeń prowadzi do warstwowego odpadania partii skały. Ujawnione zostają głębsze jej partie, które w wyniku rozluźnienia struktury łatwiej poddają się kolejnej dezintegracji, tym razem granularnej. Częściowo odspojone ziarna piaskowca wystawione na działanie czynników zewnętrznych ulegają często wywianiu przez wiatr. W czasie częstych w Petrze burz piaskowych ziarna (przede wszystkim kwarcowe) przenoszone drogą powietrzną działają destrukcyjnie na zabytki. Wiele z budowli nosi widoczne ślady korazji w postaci szorstkich powierzchni i zaokrąglenia krawędzi. Mniejsze detale architektoniczne w miejscach nieosłoniętych od wiatru w ciągu 2000 lat uległy znacznemu lub całkowitemu zniszczeniu. Warto zauważyć, że budynki umieszczone w wąwozach wcale nie są mniej narażone na działanie wiatru. Podczas burzy piaskowej silny wiatr wieje także środkiem wąwozów, niszcząc znajdujące się na jego drodze fasady zabytków. Jedynymi mniej narażonymi na działanie wiatru miejscami są groty.

Ludzie także częściowo „przysłużyli się” do zniszczenia zabytków Petry. Starożytni żołnierze rzymscy oraz współcześni turyści są głównymi sprawcami nacięć na ścianach budowli. Stanowią one doskonałe miejsca do rozpoczęcia działania procesów erozji wodnej i wiatrowej.

Tempo niszczenia zabytków w Petrze zależy w głównej mierze od położenia i ekspozycji obiektu na różne czynniki deterioracji. Na przykład Skarbiec (ryc. 3 – patrz na str. 2), położony w miejscu nienarażonym na działanie wody płynącej oraz zabezpieczony przed deszczami nawisem, ulega jedynie powolnej korazji. Na jego ścianach nadal dobrze widoczne są niektóre detale architektoniczne, np. motywy roślinne kapitel kolumn. Tempo degradacji Skarbcza można szacować na podstawie obserwacji zniszczeń na pojedyncze milimetry na 1000 lat. Jedynie bardziej eksponowane elementy, takie jak płaskorzeźby i orły na szczycie, niszczą się szybciej – tempem około 1 cm na 100 lat. W miejscach bardziej narażonych na bezpośrednie działanie wiatru w takim tempie ulegają korazji całe fasady (ryc. 4 – patrz na str. 2), również w podobnym tempie w wyniku działania wody, podczas intensywnych opadów, zerodowana została płaskorzeźba karawany na ścianie wąwozu (ryc. 8).

Znacznie szybsze zniszczenia rozwijają się, gdy woda ma możliwość stałej penetracji skały, a fasady pozostają w stanie widocznego zawilgocenia. Szczeliny i tafoni rozwijają się wtedy w tempie znacznie szybszym, dochodzącym nawet do 1 cm na rok, jak to widać na przykładzie niektórych grobowców (ryc. 6–7 – patrz na str. 2).

Jednym z najważniejszych źródeł dochodów Jordanii jest turystyka. Zagraniczni turyści odwiedzający ten kraj najczęściej kierują się do Petry, gdyż znajdujący się tam kompleks archeologiczny został w 1985 roku wpisany na listę Światowego Dziedzictwa Ludzkości UNESCO, a w 2007 roku internauci wybrali go na jeden z siedmiu nowożytnych cudów świata. Liczba turystów odwiedzających



Ryc. 8. Płaskorzeźba karawany w wąwozie wejściowym. W wyniku działania bocznej erozji wodnej podczas deszczów torencjalnych pozostały jedynie zarysy kształtów wielbłąda i przewodnika. Fot. R. Buciak

rocznie Petrę wzrosła z ok. 1 tysiąca w latach 60. XX wieku (Heinrichs, 2008) do 400 tysięcy (średnia z lat 1995–2000) i aż 975 tysięcy w rekordowym 2010 roku (Petra National Trust, 2011). W sezonie turystycznym, trwającym od marca do maja i od września do listopada jednego dnia potrafi wejść na teren kompleksu nawet ponad 5 tysięcy osób. Turystyka jest bezpośrednim lub pośrednim źródłem dochodów niemal wszystkich mieszkańców, powstałego przy wejściu do kompleksu archeologicznego, kilkutyśięczonego miasta Wadi Musa. Z drugiej strony turyści powodują znaczną degradację zabytków, które stanowią podstawę miejscowej gospodarki. Intensywny ruch turystyczny przyspiesza proces niszczenia piaskowców. Powstają wytarcia, nacięcia, wzrosło również zawilgocenie skał. W celu ochrony Petry władze Jordanii zdecydowały się ograniczyć ruch turystyczny poprzez drastyczną podwyżkę cen biletów. O ile w 2009 roku jednodniowy wstęp kosztował 20 dinarów (około 85 zł), to w 2010 roku było to już 50 dinarów (około 210 zł). W związku z niemalejącym zainteresowaniem turystów planowana jest dalsza podwyżka cen biletów, nawet do 90 dinarów (około 380 zł!). W ten sposób zabytki wykute w piaskowcu stałyby się najprawdopodobniej najdroższą atrakcją turystyczną świata. Wzrost dochodów z turystyki pozwoli między innymi zapewnić podstawowe wykształcenie dla najuboższych miejscowych dzieci, które obecnie pracują na straganach na utrzymanie rodziny. W związku z przemianami politycznymi, jakie dotknęły kraje arabskie w tym roku, w tym także Jordanię (Król Abdullah II pod wpływem nacisków społecznych zmienił premiera), nastąpił spadek wielkości ruchu turystycznego w Petrze o około 1/3 w stosunku do roku poprzedniego.

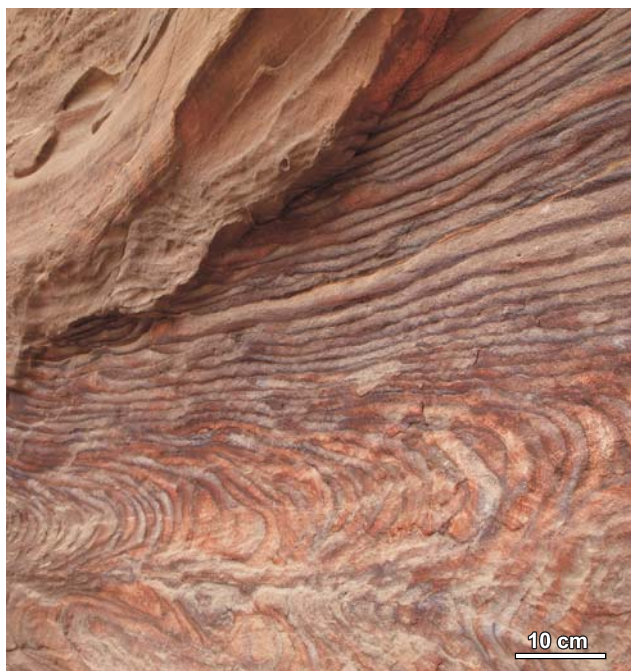
Proces rozpadu zabytków kompleksu Petry jest nieunikniony. Tempo, w jakim dochodzi do niszczenia, można zniwelować poprzez utrzymywanie właściwego, dostosowanego do występujących deszczy torencjalnych, systemu odprowadzania wody, która jest najbardziej istotnym czynnikiem odpowiedzialnym za powstające formy erozji. Prowadzone działania ochronne zmiernają nie tylko do ocalenia zabytków dla przyszłych pokoleń, ale także pośrednio do utrzymania miejsc pracy i uzyskania z nich skromnych środków finansowych do życia dla miejscowej ludności.

Wyjazd autora do Petry na 7th *International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation* w grudniu 2010 roku został sfinansowany ze stypendium konferencyjnego Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej oraz stypendium Fundacji Uniwersytetu Warszawskiego.

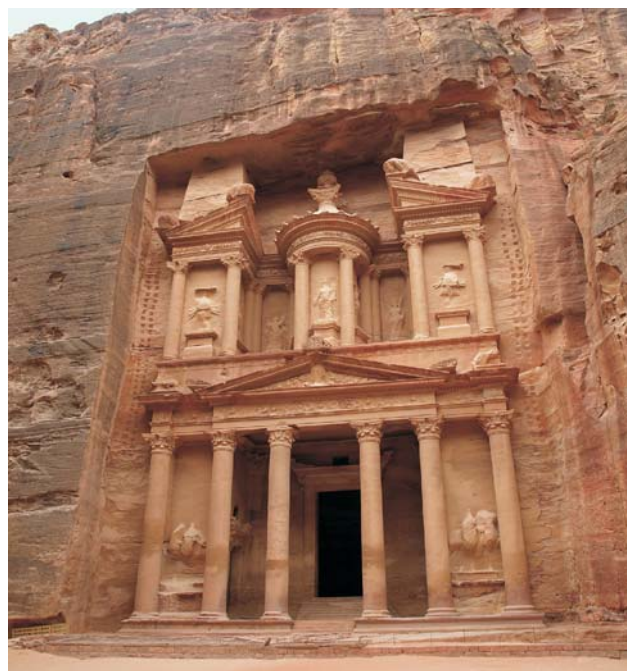
Literatura

- BRÜNNOW R. & VON DOMASZEWSKI A. 1904 – *Die Provincia Arabia*, vol. 1, Trübner, Strassburg.
 HEINRICHS K. 2008 – Diagnosis of weathering damage on rock-cut monuments in Petra, Jordan, *Environ. Geol.*, 56: 643–675.
 HEINRICHS K. 2010 – Investigation of salt weathering on stone monuments by use of modern wireless sensor networks exemplified for the rock-cut monuments in Petra, Jordan, 7th Int. Conf. on Science and Techn. in Archaeology and Conservation, Petra, Jordania, 7–11.12.2010: 55–56.
 ICOMOS-ISCS 2008, Illustrated glossary on stone deterioration patterns. Monuments and Sites XV, Paryż. <http://www.iccrp.fr/docs/icomos-iscs-glossary.pdf>
 PETRA NATIONAL TRUST 2011, www.petrationaltrust.org, dostęp 7 czerwca 2011 r.

Petra – 2000 lat wietrzenia kamiennych zabytków (patrz str. 23)



Ryc. 2. Zróżnicowanie kolorystyczne warstw górnokambryjskich piaskowców, z których zbudowane są zabytki w Petrze



Ryc. 3. Skarbiec – najsłynniejszy zabytek Petry wykuty przez Nabatejczyków. Na płaskorzeźbach widoczne są efekty erozji



Ryc. 4. Klasztor. Intensywne działanie korazji widoczne jest do wysokości 3 metrów



Ryc. 5. Rzymska świątynia. Po lewej stronie widoczne kolumny przewrócone podczas jednego z trzęsień ziemi



Ryc. 6. Grobowiec nr 70. Efekt zniszczeń spowodowany zmianą kierunków krążenia wód w skale, około 20 lat temu. Widoczny jest dobrze rozwinięty system szczelin



Ryc. 7. Grobowiec nr 67. Tafoni związane ze strefą zawilgocenia. Wszystkie fot. R. Buciak