

# Wiesław Domasłowski

---

## Problematyka konserwatorska Kolosów z Wyspy Wielkanocnej

---

Ochrona Zabytków 38/2 (149), 86-98

---

1985

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](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## PROBLEMATYKA KONSERWATORSKA KOŁOSÓW Z WYSPIY WIELKANOCNEJ

Małeńka wyspa (180 km<sup>2</sup>) na Oceanie Spokojnym, oddalona o ponad 3500 km od brzegu Chile, stała się przedmiotem zainteresowania od chwili jej odkrycia przez Jakuba Roggeveena w roku 1722. Zainteresowanie to należy głównie przypisać znajdującym się na niej rzeźbom kamiennym, które zadziwiały i zadziwiają swą wielkością, a także formą. Wymiary ich wynoszą od 1 do 21 m wysokości, przy czym największa rzeźba nie została ukończona, a szkoda, gdyż imponowałyby nie tylko wielkością, lecz także ciężarem (około 125 ton). Pierwotnie rzeźby (zwane *moai*) stały na kamiennych platformach (tzw. *ahu*) (il. 1), lecz z nie wyjaśnionych dotychczas przyczyn zostały z nich zrzucone (il. 2).

Obecnie na Wyspie Wielkanocnej (w języku tubylców – Rapa Nui, czyli Wielka Wyspa) znajduje się ponad 600 rzeźb. Część z nich (28) ustawiono ponownie na *ahu* (il. 3, 4, 5), część nadal leży na nich lub w pobliżu, część z kolei znajduje się na drogach prowadzących z kamieniołomu (il. 6), bądź też (najwięcej) w kamieniołomie, którym był wygasły wulkan Rano Raraku (il. 7, 8).

Stan zachowania rzeźb budził od dawna obawy, toteż w roku 1972, na zlecenie UNESCO, zostały one poddane badaniom przez p. G. Hyvert<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> G. Hyvert, *Les statues de Rapa Nui*, „Conservation et restauration”, UNESCO, Nr de serie: 2868/RDMO.RD/CLP, Paris, mars 1973.

Kolejne badania rzeźb przeprowadził autor artykułu przebywający na Wyspie Wielkanocnej z ramienia UNESCO w grudniu 1981 r. Na podstawie badań wykonanych na Wyspie oraz w laboratoriach UMK i PP PKZ w Toruniu opracowany został raport dla UNESCO, którego omówienie stanowi niniejszy artykuł.

W badaniach laboratoryjnych brali udział: prof. dr. hab. R. Bohr, mgr W. Domagalski, mgr M. Górzyńska, dr S. Krażewski, mgr J. Łukaszewicz, mgr R. Mirowski, dr J. Rauchfleisz, mgr D. Sobkowiak, mgr S. Skibiński, doc. dr hab. A. Strzelczyk oraz mgr J. Wiklend. Autor poczuwa się do miłego obowiązku złożenia wszystkim koleżankom i kolegom serdecznych podziękowań za pomoc w realizacji raportu.

### Stan zachowania rzeźb

Kamienne kolosy z Wyspy Wielkanocnej zostały wykonane z wulkanicznego tufu andezytowego o zabarwieniu brązowożółtym, w którym, obok właściwego ciasta skalnego, składającego się głównie ze szkliwa, plagio-klazów, augitu, perydotytu i alofanu, występują różnych wymiarów (od kilku milimetrów do kilkudziesięciu centymetrów) okruchy bazaltowe.

Skład skały zadecydował, że rzeźby uległy dużemu zniszczeniu. Polega ono na zanikaniu pierwotnej powierzchni kamienia, tworzeniu się wgłębień, bruzd, wy-



1. Rzeźby na Ahu Tahai

1. Moai sculptures on Tahai Ahu



2. Poprzewracane rzeźby na Ahu Vaihu

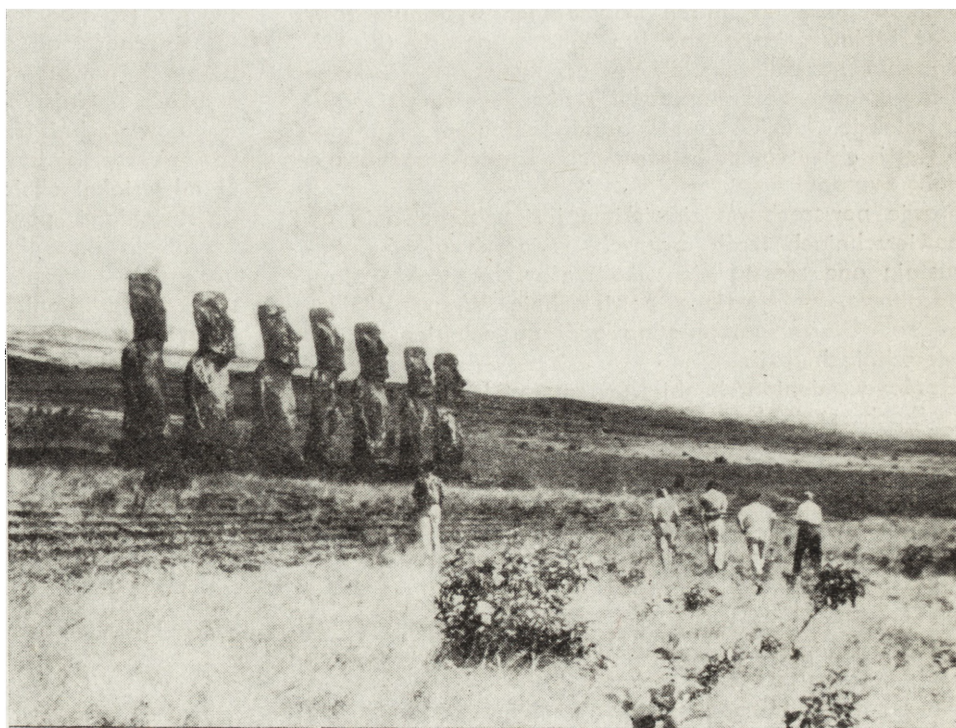
2. Overthrown sculptures on Vaihu Ahu

kruszeniu się okruchów, powstawaniu mikropęknięć, rozwarstwianiu się kamienia, zluszczeniu się jego warstw powierzchniowych oraz jego dezintegracji, osypywaniu się i wymywaniu składników (il. 9). Postęp zniszczenia jest zróżnicowany. Niektóre rzeźby utraciły całkowicie swoją pierwotną formę, a inne zachowały ją, pomimo powstałych ubytków powierzchniowych.

Należy podkreślić, że niezależnie od stopnia zniszczenia, figury kamienne mają dużą twardość i wytrzymałość mechaniczną, a jedynie cienkie warstwy powierzchniowe wykazują w niektórych miejscach rozluźnienie spoiwości. Brak grubszych warstw osłabionych i dezintegrowanych znajduje uzasadnienie w mechanizmie procesów niszczenia, co zostanie później omówione. Największemu zniszczeniu uległy te partie figur, które są najbardziej narażone na działanie deszczu, przy

czym intensywność zniszczeń jest bardzo różnorodna. Do charakterystycznych należą wyżłobienia utworzone przez ściekającą wodę, co przypomina wymywanie lepiszcza z uwarstwionych skał osadowych, nieregularne zagłębienia i bardziej foremne dziury. Poza tym powierzchnie te są chropowate i wykazują cechy właściwe dla konglomeratów, z powierzchni których zostało wymyte lepiszcze (il. 10).

Fragmenty rzeźb chronione przed bezpośrednim wpływem wody deszczowej mają powierzchnię bardziej równą, a niekiedy wręcz gładką. Ma to swój bezpośredni związek z tworzeniem się na nich nawarstwień powierzchniowych, najczęściej koloru szarego. Nawarstwienia są zwykle cienkie, niemniej jednak na niektórych obiektach tworzą grube narośla gruzelkowate, przypominające zaprawę cementowo-piaskową.



3. Rzeźby postawione przez prof. Malloy na Ahu Akivi

3. Moai sculptures put by Professor Malloy on Akivi Ahu



4. Rzeźby postawione na Ahu Anakena

4. Moai sculptures put on Anakena Ahu

Na rzeźbach stojących najmniejsze zniszczenia obserwuje się w oczodołach, pod brodą, na szyi i innych partiach słabo obmywanych przez deszcz (il. 11). Na szyi i pod brodą występują zwykle twarde, przeświecające w cienkiej i kryjące w grubej warstwie nawarstwienia.

W wypadku rzeźb leżących na ziemi ich dolne partie nie stykające się z ziemią są lepiej zachowane niż górne i są zwykle bardzo twarde, wskutek utworzenia się wspomnianych nawarstwień.

Nie zniszczone i w ogóle nie zmienione powierzchnie rzeźb są zachowane jedynie na częściach zakopanych w ziemi na stokach wulkanu Rano Raraku.

Zniszczenie powierzchni rzeźb doprowadziło do zaokrąglenia pierwotnie ostrych konturów twarzy, rysunku dłoni czy też innych szczegółów anatomicznych lub ubioru (opaski). W szczątkowym stanie znajdują się także reliefy (tatuże?) na plecach figur.

Oprócz szarych nawarstwień w oczodołach figur stojących, a także na innych fragmentach występują również białawe, jasnoszare lub żółtawe porosty (il. 12). Badania pozwoliły ustalić, że są to porosty listkowe i skorupiaste. Pod pierwszymi z nich, tworzącymi naloty miękkie, kamień jest znacznie osłabiony. Pod porostami skorupiastymi, twardymi, kamień zachowuje dużą twardość i wytrzymałość.

Prawie powszechnym zjawiskiem jest występowanie na powierzchniach rzeźb czarnych, kryjących glonów. Porastają one zresztą nie tylko rzeźby, lecz także głazy bazaltowe, pokrywające powierzchnię Wyspy Wielkocennej. Głony występują na ogół na osłabionych powierzchniach rzeźb.

Oprócz wymienionych objawów zniszczeń, na niektórych rzeźbach stwierdzono pęknięcie powierzchni kamienia pokrytej nawarstwieniami, prowadzące do utworzenia się siatki spękań, która wypełniona jest białoszarawymi naciekami. Niekiedy nawarstwienia pękają i złuszcza się wraz z warstwą kamienia.

Innym specyficznym zjawiskiem jest pęknięcie rzeźb i odspajanie się dużych fragmentów. Ponieważ odspojone powierzchnie pokryte są zwykle wymienionymi już nawarstwieniami oraz rozpuszczalnymi w wodzie solami, można przypuszczać, że pęknięcie jest wynikiem osadzenia się ich w mikropęknięciach kamienia.

Należy podkreślić, że podobnym procesom zniszczeń jak rzeźby, ulegają skały w kamieniołomie Rano Raraku.

#### Przyczyny niszczenia rzeźb

W celu określenia przyczyn niszczenia rzeźb zbadano uszczelnienie powierzchni kamieni, zdolność podciągania wody i benzyny, określono zawilgocenie rzeźb, temperaturę ich powierzchni oraz poddano badaniom laboratoryjnym próbki nawarstwień, mikroflory, soli, kamieni i ziemi.

1. Stopień uszczelnienia kamieni, ich wilgotność i temperatura powierzchni

W celu określenia uszczelnienia kamieni zbadano – za pomocą kalibrowanej rurki szklanej<sup>2</sup>, jednostronnie zatopionej i zagiętej przy otwartym końcu pod kątem 90° – zdolność kapilarnego przemieszczania się cieczy (il. 13). Na podstawie wyników badań stwierdzono, że w zależności od stanu zachowania kamienia i występujących nawarstwień woda wnikała w pory z różną szybkością. Najszybciej chłonił ją kamień o zniszczonej powierzchni (średnio 1 ml przez 9 min.), wolniej kamień o mniejszym stopniu zniszczenia powierzchni (1 ml wsiąkał około 21 min), a w kamień pokryty nawarstwieniami powierzchniowymi woda w ogóle nie przenikała bądź bardzo wolno (w zależności od ich grubości). Znacznie szybciej od wody wnikała benzyna – w partie zniszczone od 18 do 47 sek. (1 ml), a w pokryte nawarstwieniami – około 2 min.

Także duże różnice w szybkości wnikania cieczy występowały na fragmentach, które odsłonięto z ziemi. Nie są one zniszczone i nie zawierają żadnych nawarstwień. Czas wnikania 1 ml wody wynosił 51 min., a benzyny 2 min. i 12 sek.

Ponieważ woda z uwagi na większe napięcie powierzchniowe powinna przemieszczać się w kapilarach szybciej niż benzyna, należy przypuszczać, że odwrotny wynik był spowodowany pęcznieniem składników ilastych kamienia.

<sup>2</sup> R. Mirowski, *Miernik szybkości kapilarnego nasycania materiałów porowatych*, Patent PRL, nr 125504.

5. Samotna rzeźba na Ahu Hanga Kio'e

5. A solitary moai sculpture on Hang Kio'e Ahu



6. Rano Raraku i wkopane w ziemię rzeźby

6. Rano Raraku and sculptures dug into the earth



7. Rzeźby wkopane w ziemię u podnóża wulkanu Rano Raraku

7. Moai sculptures dug into the earth at the foot of Rano Raraku volcano

Wnioski powyższe zostały potwierdzone przez badania wilgotności kamieni, które wykonano pobierając odwierty. Stwierdzono, że kamienie na głębokości 1–3 cm od powierzchni były mokre, pomimo iż w okresie poprzedzającym pomiary (grudzień) deszcz nie padał od 3 tygodni. Pogoda była słoneczna, temperatura powietrza wynosiła około 30°C, a kamień nagrzewał się w dzień do co najmniej 70°C. W zasadzie począwszy od sierpnia opady na Wyspie Wielkanocnej należą do rzadkości i są krótkotrwałe (największe opady: czerwiec, lipiec). Fakt niewysychania rzeźb świadczy, że kamienie z trudem oddają wodę, czego przyczyną może być silna adsorpcja przez składniki ilaste. Dzieje się to w myśl zasady, że woda tym trudniej odparowuje, im trudniej przenika w pory kamienia.

## 2. Badania nawarstwień

W celu określenia składu chemicznego i tekstury nawarstwień, przeprowadzono badania naszlifów próbek kamieni pod mikroskopem stereoskopowym oraz badania okruchów w mikroskopie skaningowym; wykonano też analizy na drodze spektrofotometrii w podczerwieni, fotokolorymetrii i dyfrakcyjnej analizy rentgenowskiej.

**Badania optyczne.** Na podstawie naszlifów można było stwierdzić, że nawarstwienia mają w zasadzie charakter powierzchniowy, lecz tworzą się również w porach przypowierzchniowych i mikroszczelinach (il. 14). W strefie zewnętrznej mają one teksturę zbitą oraz barwę mlecznobiałą. Natomiast w strefie kontaktowej z kamieniem wykazują teksturę nieco porowatą, mają zabarwienie żółtawe i zawierają domieszki wodorotlenków żelaza oraz inkluzje pelitu lub aleurytu o składzie skały macierzystej. Ich grubość waha się w granicach od 0,2 do 1,5 mm.

Podobne nawarstwienia utworzyły się na powierzchni skał we wnękach i szczelinach wulkanu Rano Raraku, do których infiltrowuje woda deszczowa.

Badania w mikroskopie skaningowym (Novoscan 30) pozwoliły na dokładniejsze prześledzenie tekstury nawarstwień zewnętrznych, strefy kontaktowej i nawarstwień wewnętrznych. Wynika z nich, że kamień ma teksturę porowatą i występują w nim wyraźne mikroszczeliny. Umożliwia to przemieszczanie się roztworów. Nawarstwienia tworzą się nie tylko na powierzchni, lecz także w porach warstwy wewnętrznej (przypowierzchniowej) i mikroszczelinach kamienia. Są one pozornie zbite i mają teksturę mikroporowatą i uwarstwioną (il. 15), co świadczy o ich stopniowym i powolnym (cienkie warstewki) powstawaniu.

Na il. 16 widać wyraźnie trzy strefy: kamień bez substancji wtórnych („czyste” pory), kontaktową strefę przejściową, w której pory są początkowo wypełnione w niewielkim stopniu substancją wtórną, a następnie w dużym, tworząc porowate nawarstwienia wewnętrzne, oraz strefę zewnętrzną utworzoną przez zbite, mało porowate nawarstwienia.

Badania skaningowe pozwoliły ustalić, że identyczne procesy tworzenia się nawarstwień zachodzą na powierzchniach rzeźby oraz na skałach kamieniolomu Rano Raraku. Fakt stopniowego odkładania się materiału wtórnego w porach wewnętrznych kamienia z postępującym zagęszczaniem, aż do utworzenia się mało porowatej warstwy na powierzchni, świadczy, że tworzenie się nawarstwień może zachodzić jedynie w strefie odparowywania wody.

**Badania instrumentalne.** Na podstawie badań rentgenostrukturalnych przy użyciu dyfraktometru Dron-1 (prod. ZSRR) stwierdzono, że nawarstwienia nie mają struktury krystalicznej. Ustalono jedynie obecność

niewielkich ilości  $\beta$ -kwarcu oraz metahaloizytu. Ponadto w jednej z próbek występował (także w bardzo małej ilości) kryptokrystaliczny getyt.

Badania spektrofotometryczne natomiast (IR Specord 75 C. Zeiss, NRD) pozwoliły na stwierdzenie, że głównym składnikiem masy wtórnej tworzącej nawarstwienia o bezpostaciowej strukturze jest opal. Stwierdzono także obecność niewielkich ilości tlenku glinowego. Badania kolorymetryczne („Specol” z przystawką EK 5 C. Zeiss, NRD) pozwoliły na stwierdzenie, że występuje on średnio w ilości 3,2%.

### 3. Badania mikroflory

Na podstawie mikroskopowych badań odpowiednio przygotowanych preparatów stwierdzono, że na rzeźbach występują czarne nitkowate glony z gromady sinic (Cyanophyceae) – rodzaj zbliżony do *Phormidium* i *Oscillatoria*. Oprócz powyższych rozpoznano występujące w niewielkich ilościach nitkowate zielenice (*Chlorophyceae*) oraz liczne bakterie.

Porosty listkowe są zbliżone do rodzaju *Physcia*. Są one białe, od spodu czarne i przylegają do podłoża częścią swej plechy. Porosty skorupiate natomiast są rodzajem zbliżonym do *Rhizocarpon*. Tworzą one nawarstwienia, które w przeciwieństwie do glonów i porostów listkowych bardzo mocno przylegają do podłoża.

### 4. Badania soli rozpuszczalnych w wodzie

Obserwacje rzeźb nie pozwoliły na stwierdzenie udziału rozpuszczalnych w wodzie soli w procesie niszczenia kamieni. Nie są widoczne na ich powierzchni wykwyty czy inne oznaki obecności soli. Wyjątkowym przypadkiem było występowanie skupisk na rzeźbach w Ahu Vaihu.

Z wymienionego obiektu oraz kilku innych pobrano próbki w postaci odłamków, odwiertów i kompresów. Poza tym zbadano obecność soli w glebie pobranej z pobliza obiektów. Na podstawie przeprowadzonej



8. Rano Raraku – zniszczona głowa moai

8. Rano Raraku – a destroyed head of moai

9. Rozmyta przez deszcz górna powierzchnia leżącej rzeźby; dolna partia, na której wytworzyła się twarda powłoka krzemionkowa jest zachowana lepiej

9. Rain-washed upper surface of the lying sculpture; lower part with hard silica deposits has been better preserved





10. Rzeźba częściowo odsłonięta z ziemi przez Heyerdahla w 1956 r.; widać różnicę w stanie zachowania partii górnej oraz dolnej, która była zakopana

10. The sculpture partially uncovered from the earth by Heyerdahl in 1956; a visible difference in the condition of upper and lower parts

analizy stwierdzono, że w ziemi oraz w próbkach kamieni pobranych z krateru Rano Raraku sole nie występują w znaczących ilościach (poniżej 0,1%) i nie mogą mieć decydującego wpływu na proces niszczenia kamieni. Duże natomiast ilości soli stwierdzono w próbkach z rzeźb stojących na Ahu Vaihu (4,8–18,9%). W skład ich wchodzi siarczany i chlorki sodu, wapnia i magnezu.

Należy podkreślić, że Ahu Vaihu jest umiejscowione na brzegu morza, podczas gdy pozostałe rzeźby, z których pobrano próbki, w głębi lądu.

### Wnioski

Na podstawie badań przeprowadzonych *in situ* oraz w laboratoriach wydaje się niewątpliwe, że głównymi czynnikami niszczącymi rzeźby są: woda deszczowa, zmiany temperatury oraz mikroorganizmy.

Działaniu wymienionych czynników sprzyja skład mineralogiczny, struktura i tekstura skały. Należy przypuszczać, że składniki ilaste mogą być usuwane z kamieni przez opady deszczu, co powoduje rozluźnienie spistości ich warstw powierzchniowych. Proces ten za-





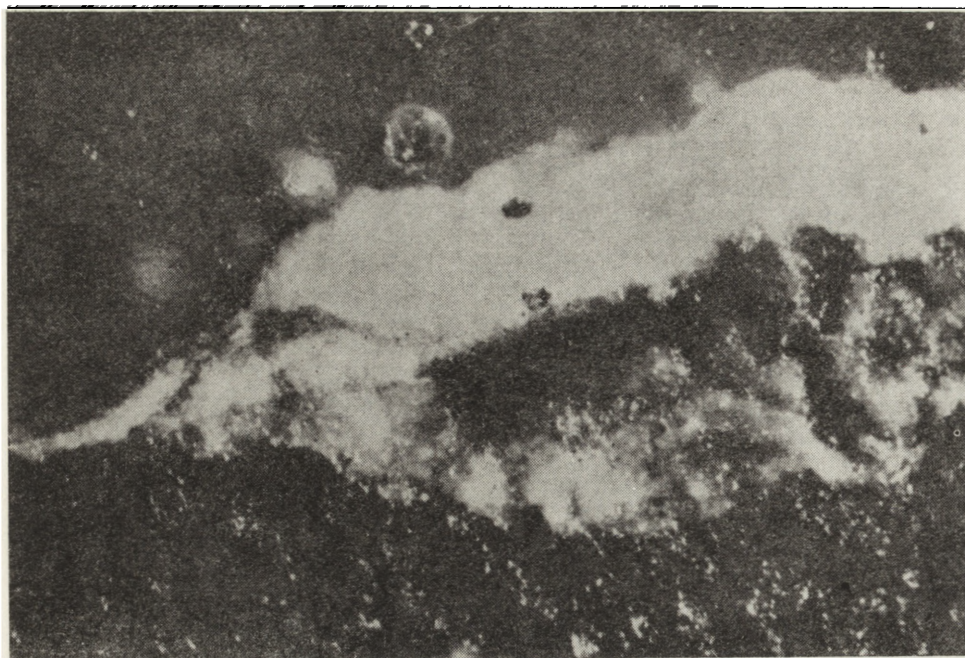
11. Rzeźba pokryta porostami (Ahu Akivi)

11. Moai sculpture covered with lichens (Akivi Ahu)



12. Pomiarzy zdolności kapilarnego wnikania cieczy w pory kamienia prowadzone na szyi rzeźby pokrytej nawarstwieniami opalowymi (mała plama) oraz na partii o zniszczonej powierzchni

12. Measurements of the ability of a capillary penetration of fluids into stone pores on the neck of the sculpture covered with opal deposits (a small spot) and on impaired surface



13. Badania mikroskopowe, przekrój próbki kamienia zatopionej żywicy; na górnej powierzchni widoczne grube nawarstwienia opalowe, występują one także w szczelinie równoległej do powierzchni próbki

13. Microscopic examinations, a cross-section of the sample of the stone immersed resin; the top surface shows thick opal deposits; they appear also in a crevice parallel to the surface of the sample

chodzi w sposób cykliczny, tzn. po wylugowaniu z powierzchni kamienia – pewnej ilości spoiwa, w czasie następnym opadów usunięte zostają dalsze.

Wymywanie lepiszcza zachodzi z różną intensywnością, o czym świadczy zróżnicowany stan zachowania obiektów bądź poszczególnych ich fragmentów.

O wpływie intensywności działania opadów świadczy także stan skał w kamieniołomie Rano Raraku. Zwielokrotnionemu przepływowi wody po stokach krateru w ukształtowanych w sposób naturalny ściekach i rynnach towarzyszą bardzo duże ubytki materiału kamiennego.

Drugim bardzo ważnym zjawiskiem wiążącym się z działaniem deszczu jest tworzenie się twardych i uszczelniających kamienie nawarstwień powierzchniowych.

Badania właściwości kapilarnych kamieni, składu i tekstury nawarstwień oraz ich stref kontaktowych z kamieniem wskazują, że powstają one wskutek kumulacji krzemionki na powierzchni oraz w porach przypowierzchniowych kamieni. Wniosek ten potwierdzają obserwacje zarówno figur, jak i skał w kamieniołomie.

Sprzyja tym procesom stałe nasycenie kamieni wodą.

Biorąc pod uwagę powyższe założenie, można przyjąć następujący mechanizm tworzenia się nawarstwień:

W czasie długotrwałych opadów deszczu, woda, pomimo powolnej penetracji, nasycza warstwę powierzchniową kamieni, wskutek czego pory całego obiektu zostają nią wypełnione (woda padająca + woda znajdująca się już w obiekcie). Po ustaniu opadów woda z kamienia odparowuje, przy czym znacznie szybciej schną nasłonecznione powierzchnie obiektu. Proces ten zachodzi początkowo wyłącznie na powierzchni kamienia i wolno postępuje w głąb. Przyczyną takiego mechanizmu schnięcia jest wąskoporowata tekstura nasyczonego wodą kamienia, zmniejszająca się wskutek pęcznienia substancji ilastych. W rezultacie szybkość odparowywania wody jest większa niż jej zdolność kapilarnego przemieszczania się do porów powierzchniowych kamienia i kamień wysycha „w głąb”.

Takie zjawisko ogranicza możliwość wnoszenia (migracji) substancji rozpuszczonych w wodzie na powierzchnię kamienia, z której następuje odparowywanie wo-

dy. Gdyby wnoszenie było możliwe, to i tak najbliższy opad spowodowałby ich zmycie z powierzchni.

Możemy zatem stwierdzić, że tworzenie się nawarstwień na powierzchniach intensywnego wysychania i obmywania jest niemożliwe. Możliwość taka istnieje natomiast na powierzchniach chronionych przed deszczem i do których przemieszcza się woda niosąca rozpuszczone składniki. Partie takie (dolne leżących rzeźb, oczodoły stojących itp.) wysychają wolniej, gdyż są chronione przed bezpośrednim działaniem słońca, a poza tym woda w ich porach jest uzupełniana wskutek przemieszczania się jej z warstw głębszych (szybkość schnięcia jest mniejsza bądź równa szybkości kapilarnego przenikania wody). Istnieją także warunki dla pionowego przemieszczania się wody przez całe przekroje, co powinno mieć decydujący wpływ na szybkość tworzenia się nawarstwień.

W wypadku występowania ostatniego zjawiska warstwy powierzchniowe, do których następuje przemieszczanie się wody, zgodnie z przyciąganiem ziemskim powinny być mokre przez długi okres. Potwierdzają to obserwacje niszy, grot skalnych w kamieniołomie oraz leżących figur na *ahu*, pod którymi tworzą się odpowiednie komory umożliwiające powolne odparowywanie wody. Sklepienia nisz oraz dolne powierzchnie leżących rzeźb (brzuchy) były wilgotne, a niektóre wręcz mokre. Partie te są najczęściej pokryte mchami, a także małymi roślinami liściastymi, co świadczy o stałym ich zawilgoceniu. Na powierzchniach takich utworzyły się nawarstwienia dochodzące do bardzo dużej grubości. Przyjmują one formę małych, ostrych igieł i stożków, powłok o mniejszej lub większej gładkości bądź też nieregularnych gruzelków.

Wszystkie figury leżące podlegały i nadal podlegają tym samym procesom. Oglądając postawione ponownie figury w ostatnim 25-leciu można bezbłędnie określić, jaką powierzchnią skierowane były do ziemi.

Należy także nadmienić, że nawarstwienia nie mogą powstawać na powierzchniach rzeźb znajdujących się w ziemi, gdyż zawarte w roztworze wodnym substancje przemieszczają się z kamienia do gleby.

Omówione nawarstwienia, które zgodnie z ekspertyzą

G. Hyvert i naszymi badaniami składają się z krzemionki w postaci opalu, mogą powstawać wyłącznie bardzo wolno, gdyż szybkość ich tworzenia się jest uzależniona zarówno od szybkości rozkładu glinokrzemianów, jak też od rozpuszczalności krzemionki w wodzie, która jest bardzo mała (0,006‰ krzemionki krystalicznej i 0,012‰ bezpostaciowej). Przy tak małej rozpuszczalności i bardzo powolnym przemieszczaniu się roztworu wewnątrz kamienia, proces ten, prowadzący do powstania widocznych nawarstwień, powinien trwać od kilkudziesięciu do kilkuset lat.

Biorąc pod uwagę słabą rozpuszczalność składników kamienia, można przypuszczać, że do znacznych zniszczeń obiektów przyczyniły się także inne czynniki. Należy do nich zaliczyć temperaturę oraz jej zmiany. W okresie słonecznej pogody rzeźby nagrzewane są nierównomiernie. Nasłonecznione partie osiągają temperaturę wysoką, podczas gdy pozostające w cieniu zbliżoną do temperatury powietrza. Na przykład, gdy temperatura powietrza wynosiła 28°C, strona nasłoneczniona kamienia osiągała temperaturę około 70°C, a pozostająca w cieniu 36–38°C. Nierównomierne nagrzewanie różnych części rzeźb jest przyczyną powstawania pomiędzy nimi naprężeń ścinających. Jeszcze większe powstawać powinny pomiędzy nagrzaną silnie powierzchnią a głębszymi partiami rzeźby, które z uwagi na niski współczynnik przewodzenia ciepła kamienia nagrzewają się powoli. Poza tym należy wziąć pod uwagę fakt, że naprężenia mogą powstawać wskutek nierównomiernego nagrzewania się składników kamieni (okruchy bazaltowe, lepiszcze) w czasie spadku temperatury po zachodzie słońca czy też podczas krótkich opadów deszczu powodujących gwałtowne ochłodzenie nagrzanej powierzchni kamienia.

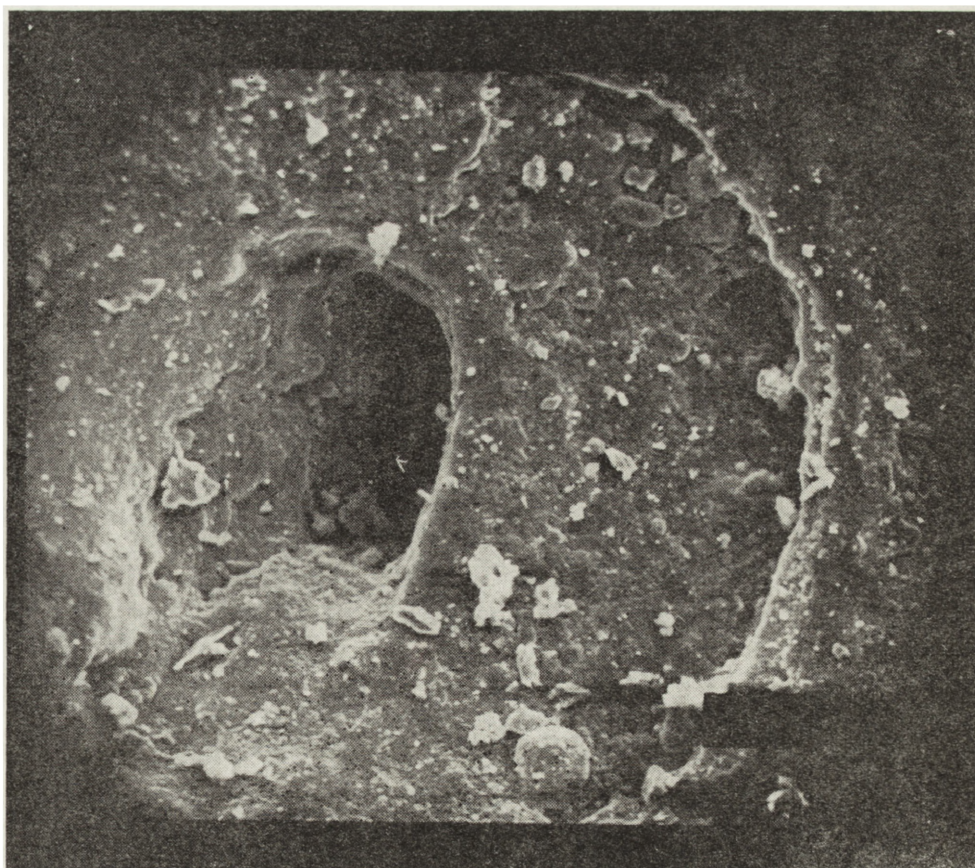
Omawiane naprężenia ścinające, powstające na granicy nierównomiernie nagrzanych warstw oraz zachodzące wskutek ich rozszerzania się i kurczenia wraz ze zmianą temperatury, prowadzą do rozluźnienia spistości skały, do jej dezintegracji, pęknięcia, wykruszania się okruchów oraz złuszczenia warstewek pokrytych nawarstwień.

Następnym czynnikiem niszczącym są wiatry i niesiony przez nie pył rozdrobnionych skał. Działają one jak dmuchawa piaskowa, usuwając rozluźnione i osłabione cząstki kamienia.

Nie stwierdzono natomiast, z jednym wyjątkiem (Ahu Vaihu), niszczącego wpływu na rzeźby rozpuszczalnych w wodzie soli, pomimo że niewielka wyspa otoczona jest silnie zasolonym Pacyfikiem (około 3,5‰). Tymczasem z niszczącym działaniem soli można się spotkać prawie w każdym murowanym domu na Wyspie Wielkanocnej; na murach widoczne są silne wykwyty. Z możliwością niszczącego działania soli liczą się od początku i ze szczególną wnikliwością szukano dowodów ich działania destrukcyjnego. Wpływu takiego jednak nie stwierdzono.

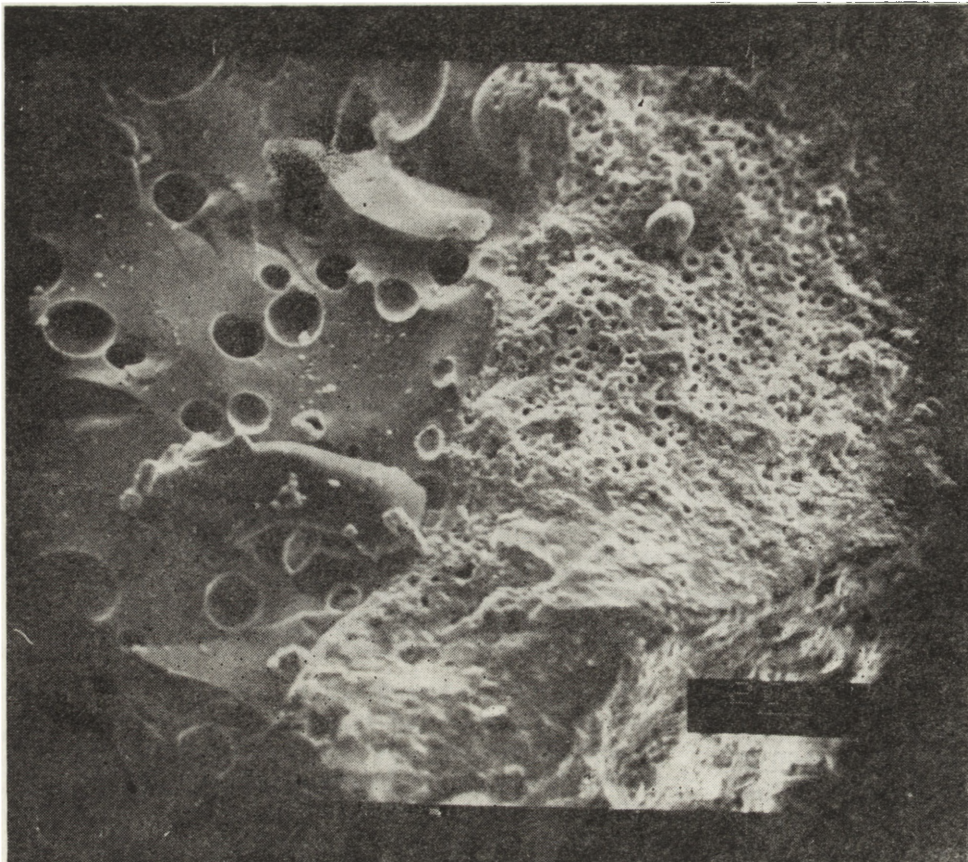
Jeżeli chodzi o mikroorganizmy, to ich wpływ na proces niszczenia kamieni należy uznać za zróżnicowany. Nie są prawdopodobnie szkodliwe porosty skorupiaste, pod którymi kamienie nie wykazują oznak niszczenia. Duży wpływ natomiast wydają się mieć glony oraz porosty listkowate, pod którymi powierzchnia kamienia jest osłabiona w cienkiej warstewce, dochodzącej do 1 mm.

Nie można także wykluczyć udziału mikroorganizmów w tworzeniu się nawarstwień krzemionkowych wskutek biochemicznego rozkładu glinokrzemianów.



14. Badania skaningowe, nawarstwienia na powierzchni kamienia; widoczna ich warstewkowa tekstura oraz odizolowany od innych pojedynczy por

14. Scanning tests, deposits on the surface of the stone; we can see their bedded texture and an isolated pore



15. Badania skaningowe, widoczne trzy strefy: a – kamień nie zmieniony (duże pory), b – kontakto-wa strefa przejściowa (drobne pory), w której pory są częściowo wypełnione substancją wtórną (tzw. nawarstwienia wewnętrzne), c – nawarstwienia zbite (dolna partia z prawej strony) z rzadko rozmieszczonymi bardzo małymi porami

15. Scanning tests, three zones to be seen: a – unchanged stone (big pores), b – contact interim zone (fine pores), in which the pores are filled with secondary substance (the so-called internal beds), c – compact deposits (lower part on the right) with very fine pores sparsely distributed

## Propozycje konserwatorskie

Opracowując program prac konserwatorskich wzięto pod uwagę przyczyny niszczenia rzeźb, ich stan zachowania oraz środowisko, w jakim się one znajdują bądź w jakim mają być eksponowane.

Główną uwagę zwrócono na ochronę rzeźb przed działaniem wody, jako największego czynnika niszczącego. Odizolowanie obiektów od wpływu wody zapobiegnie działaniu mikroorganizmów i ewentualnych soli rozpuszczalnych w wodzie, uniemożliwi wymywanie i rozkład glinokrzemianów, a więc także tworzenie się nawarstwień powierzchniowych.

Niestety, nie można zapobiec niszczącemu działaniu temperatury. W pewnym stopniu osłabi to działanie usunięcie czarnych glonów (przy temperaturze powietrza 26°C kamienie czarne nagrzewają się do temperatury około 65°C, a żółto-brązowe do około 45°C), Ochrona przed działaniem wody musi być poprzedzona wstępnymi zabiegami konserwatorskimi, do których należy wzmocnienie fragmentów rzeźb, usunięcie nawarstwień i soli rozpuszczalnych w wodzie (Ahu Vaihu i ewentualnie inne nie zbadane dotychczas obiekty), klejenie i uzupełnienie ubytków.

### 1. Wzmocnienie kamienia

Celem zabiegu jest wzmocnienie osłabionych, zdezintegrowanych, popękanych i rozwarstwiających się warstewek kamieni. Do wzmocnienia zaproponowano częściowo zhydrolizowany i skondensowany czteroetoksy-silan, który po zakończeniu reakcji tworzy produkty o właściwościach hydrofilowych.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały przydatność do tego zabiegu preparatu firmy Wacker Steinfestiger OH. Bardzo osłabiony kamień z Rano Raraku został znacznie wzmocniony. Dzięki małej lepkości preparat dość dobrze przenikał w głąb kamienia (do wysokości 5 cm około 23 min.).

### 2. Usuwanie nawarstwień i mikroorganizmów

Biorąc pod uwagę negatywny wpływ nawarstwień na kamienie zalecano ich usunięcie, jednak jedynie wówczas, jeżeli to będzie możliwe bez uszkodzenia kamienia. Możliwości takich w zasadzie nie ma w wypadku nawarstwień opalowych i porostów skorupiastych. Tworzą one warstwy o badzo dużej wytrzymałości mechanicznej, dużej twardości oraz mają dobrą przyczepność do kamienia. Zarówno użycie środków chemicznych (HF), jak i mechanicznych (piaskowanie, dłutowanie) mogłoby doprowadzić do zniszczenia kamienia. Woda w ogóle ich nie rozmiękcza. Podjęte próby ich usunięcia po 24-godzinnym działaniu mokrych kompresów nie dały żadnych rezultatów, pomimo użycia twardej drucianej szczotki.

W przeciwieństwie do wyżej omówionych nawarstwień, można dość łatwo usunąć glony oraz porosty listkowate. Za pomocą wody i miękkiego pędzla usunięto je bez trudu z powierzchni osłabionych, jednak uszkadzając cienką warstewkę kamienia. Występujące natomiast glony na powierzchniach dobrze zachowanego kamienia były trudniej usuwalne i trzeba było je rozmiękczać kompresami bądź pocierać dość mocno pędzlem. Porosty listkowate były we wszystkich wypadkach łatwo usuwalne.

Do niszczenia organizmów żywych nie zaproponowano żadnych środków chemicznych, wychodząc z założenia, że skuteczność znanych preparatów jest ograniczona i krótkotrwała, a zarazem wprowadzanie znacznych ich ilości w postaci soli może mieć negatywny wpływ na kamień. Wzięto pod uwagę także fakt, że po zabiegu hydrofobizacji powstaną warunki uniemożliwiające rozwój biologiczny.

Nawarstwienia zalecono usunąć za pomocą zimnej wody pod zwiększonym ciśnieniem oraz pary wodnej.

### 3. Klejenie kamienia i uzupełnianie ubytków

Zaledwie 28 rzeźb jest ustawionych na *ahu*. Pozostałe są wkopane w ziemię na stokach wulkanu Rano Raraku lub leżą na ziemi w pobliżu *ahu*, na których poprzednio stały i z których zostały strącone. Rzeźby te na ogół są popękane i niektóre z nich mają liczne ubytki powstałe na drodze mechanicznej. W wypadku decyzji o postawieniu rzeźb na *ahu* zachodzić będzie konieczność ich łączenia (klejenia) i uzupełniania ubytków, które mają wpływ na statyczność rzeźb, ich wytrzymałość mechaniczną oraz odporność na działanie procesów niszczących. Zabieg uzupełniania ubytków powinien być wykonany na większości rzeźb (szczeliny, dziury).

Podkreślić należy, że z uwagi na znaczne niekiedy ubytki powierzchni elementów, łączenie ich (klejenie) wymaga jednoczesnego wypełniania wolnych przestrzeni.

Ze względu na duże nasłonecznienie i zmiany temperatury, jakie występują na Wyspie Wielkanocnej, do łączenia kamieni i uzupełniania ubytków powinny być stosowane materiały o zbliżonym do kamienia współczynnikiem rozszerzalności cieplnej i odporności na podwyższoną temperaturę. Poza tym powinny mieć zbliżoną (nie większą!) wytrzymałość mechaniczną oraz lepszą zdolność kapilarnego podciągania i oddawania wody (wysychania).

Podane warunki eliminują możliwość użycia zapraw na bazie żywic sztucznych. Spośród tworzyw nieorganicznych natomiast zastosować można jedynie zaprawę z cementu portlandzkiego.

Badania prowadzone od ponad 10 lat w Laboratorium Naukowo-Badawczym Konserwacji Kamienia PP PKZ w Toruniu pozwalają ustalić skład zapraw, o optymalnych właściwościach, na bazie białego cementu oraz odpowiednich kruszyw<sup>3</sup>. Warunkiem uzyskania dobrych rezultatów jest użycie odpowiedniej jakości cementu, wody i kruszyw, które nie powinny zawierać soli rozpuszczalnych w wodzie oraz innych zanieczyszczeń. Dalším warunkiem jest dobór odpowiednich kruszyw, ich granulacji oraz ilości w stosunku do cementu. Do łączenia dużych elementów zalecono stosowanie zapraw o stosunku  $c : k = 1 : 2$ , a do uzupełniania ubytków  $1 : 3$  i  $1 : 4$  (w zależności od stopnia osłabienia kamienia).

<sup>3</sup> W. Domasłowski, A. Młyński, R. Mirowski, D. Sobkowiak, H. Gałkowski, W. Majewski, *Badania nad technologią zapraw cementowych przeznaczonych do uzupełniania obiektów zabytkowych*, „Studia i Materiały”, PKZ, 1977, s. 1.

<sup>4</sup> W. Domasłowski, D. Kwiatkowski, M. Kęsy-Lewandowska, J. Łukaszewicz, *Sposób barwienia i hydrofobizacji materiałów porowatych*, wynalazek UMK w Toruniu.

Z uwagi na to, że pigmenty w dużym stopniu obniżają wytrzymałość zapraw, zaproponowano ich powierzchniowe barwienie.

Łączniki metalowe (kotwy, bolce) zalecono wykonać z tytanu lub jego nierdzewnych stopów z żelazem.

Dla nadania zaprawom odpowiedniego zabarwienia zaproponowano zastosowanie metody opracowanej i zgłoszonej do opatentowania przez zespół UMK<sup>4</sup>.

### 4. Hydrofobizacja rzeźb

Podstawowym zabiegiem mogącym powstrzymać destrukcyjny wpływ wody oraz innych omówionych czynników jest hydrofobizacja. Zapobiegnie ona rozmywaniu lepiszcza, zachodzeniu reakcji chemicznych oraz niszczeniu kamienia przez mikroorganizmy. Zhydrofobizowane rzeźby powinny stopniowo wysychać, aż do osiągnięcia stanu powietrzno-suchego. Stwierdzenie to dotyczy rzeźb stojących na kamiennych *ahu*. Rzeźby leżące na ziemi lub w nią zakopane zostaną zabezpieczone jedynie przed bezpośrednim wsiąkaniem wody deszczowej, gdyż będą nadal zawilgacane wodą infiltrującą z ziemi. Istnieje prawdopodobieństwo, że rzeźby te będą zawsze zawilgocone z uwagi na bardzo powolne odparowywanie wody z obiektów, jednak nie powinno to mieć negatywnego wpływu na kamień. Potwierdzeniem tego jest bardzo dobry stan zachowania fragmentów rzeźb zakopanych w glebie. Są one zawsze nasycone wodą i nie wykazują żadnych oznak zniszczenia.

Zastosowane do hydrofobizacji preparaty powinny odznaczać się bardzo niską zdolnością zwilżania przez wodę (co uniemożliwi przebicie zhydrofobizowanej warstwy kamienia wskutek hydrostatycznego ciśnienia słupa wody), mieć doskonałą przyczepność do kamienia, być bezbarwne i nie zmieniać zabarwienia pod wpływem ultrafioletu, nie mięknąć w podwyższonej temperaturze i nie brudzić się. Poza tym roztwory związków hydrofobizujących powinny mieć małą lepkość, aby łatwo przenikać w głąb porów kamienia oraz nie migrować do powierzchni kamieni w czasie odparowywania rozpuszczalników.

Większości wymienionych postulatów odpowiadają związki krzemorganiczne, a spośród nich najczęściej stosowane arylo- i alkiloalkoksylany. Ich wadą jest jednak zbyt krótki okres działania ochronnego; ich właściwości hydrofobowe zanikają po kilku latach.

Znacznie lepszymi właściwościami hydrofobowymi odznaczają się kauczuki silikonowe na bazie metylopolisiloksanów z częściowo zestyfikowanymi grupami kwasem octowym. Pod wpływem wilgoci (z powietrza, z kamienia) łatwo ulegają hydrolizie i przy katalitycznym wpływie wydzielającego się kwasu następuje ich szybka polikondensacja, prowadząca do utworzenia usieciowanego polimeru krzemorganicznego.

Hydrofobizacja kamieni wymienionymi kauczukami oraz barwienie zapraw i kamieni z jednoczesną ich hydrofobizacją są przedmiotem wymienionego już wniosku patentowego zgłoszonego w Urzędzie Patentowym przez UMK w Toruniu.

Stosując rozcieńczone roztwory preparatu, zalecono hydrofobizować kamienie wraz z zaprawami na głębokość 2–3 cm. Hydrofobizacja powinna zabezpieczyć obiekty przed zniszczeniem na co najmniej kilkanaście lat. Ponieważ stosuje się roztwory rozcieńczone, zabieg można powtarzać wielokrotnie. Jest on nieszkodliwy, gdyż w wypadku rozkładu preparatu jako produkt ostateczny powstaje krzemionka.

## Uwagi końcowe

Raport dotyczący przyczyn niszczenia rzeźb na Wyspie Wielkanocnej oraz ich konserwacji został przekazany do UNESCO w roku 1982 wraz z postulatem, aby prace zostały podjęte natychmiast. Każdy rok zwłoki wywołuje niepowetowane straty, prowadzące do przekształcenia figur w bezkształtną bryłę kamieni.

Sądzę, że z uwagi na brak odpowiednich fachowców w Chile, prace konserwatorskie powinny być prowadzone pod egidą UNESCO przez ekipę międzynarodową, składającą się z wybitnych, doświadczonych konserwatorów. Wykonywanie prac przez niefachowców może być groźniejsze w skutkach niż brak interwencji.

prof. dr hab. Wiesław Domasłowski  
Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa  
UMK w Toruniu

## PROBLEMS OF THE CONSERVATION OF THE COLOSSUSES FROM THE EASTER ISLAND

The Easter Island, an islet (180 m<sup>2</sup>) situated on the Pacific, has become a point of interest already since its discovery by Jacob Roggeven in 1722. This interest should in the first place be ascribed to stone sculptures which are there and which strike with their forms and dimensions.

Original sculptures (known as moai) stood on stone platforms (the so-called ahu — photo 1) but due to some unexplained reasons they got thrown down (photo 2).

At present there are over 600 moai sculptures on the Easter Island (called Rapa Nui by the natives). Part of them (28) have been placed anew on ahu (photos 3, 4, 5), others rest on them or in their vicinity, while some of them are on the roads leading from quarries (photo 6) or (the biggest number) in a quarry which had been an extinct volcano of Rano Ravahu (photos 7, 8).

The condition of the sculptures gave rise to concern and therefore upon the recommendation of UNESCO studies were made on them by G. Hyvert in 1972 and by the author of this article in 1981.

This article presents an outline of the report passed on to UNESCO in 1982. The report gave a description of the condition of the sculptures (photos 9, 10, 11) and explained reasons for the decay of the stones. It also put forward proposals for conservation.

In order to define causes of the decay studies have been made on a degree of the tightening of the stones (photo 13), ability to lift up water and organic fluids, humidity, dampness of sculptures, temperature of their surface, composition and texture of stratifications, kind of microflora as well as the quantity and kind of soluble salts in water contained in stones and in soil.

The stratification was determined on the basis of the examination of grindings of stone samples under a stereoscope microscope (photo 14), examination of scraps in a scanning microscope (photos 15 and 16) as well as on the basis of a spectrophotometric infrared analyses, photocolourimetry and diffractonal X-ray analysis.

On the basis of the studies made it has been found out that the main factors destroying the sculptures include rain

water, changes of temperature, microorganisms and, in some cases, water-soluble salts. The action of the above-mentioned factors is enhanced by a mineralogical composition, structure and texture of the rock of which the sculptures were made (volcanic andesite tuff, in which, apart from proper rock components such as glaze, plagioclases, angite, peridotite and allophane there also appear basalt scraps of a different size).

It has been assumed that silt components are removed by rain, which brings about the loosening of the cohesion of surface layers. Rain water is also a factor enabling the formation of tight and hard deposits on the surface of sculptures, whose main component is silica in form of opal. This silica is formed due to decomposition of aluminosilicates and it is possible that microorganisms parasitizing on the surface of sculptures participate in this process (photo 12). The following species have been distinguished: the algae (Cyanophyceae), leafy lichens (close to Phizocarpon species). The algae and leafy lichens affect the stones very strongly — the surface in which they are is markedly impaired in a 1 mm layer.

In working out a programme of conservation work attention has been paid to the causes of stones' decay. The main emphasis has been put on the protection of sculptures against the effect of water, which will make it possible to restrain a decomposition of stone components, prevent the development of microorganisms and curtail a destructive action of the salt. Techniques of consolidating the impaired parts of the stones, removal of deposits and microorganisms as well as cementing the stones and making up the missing parts have been discussed as well.

In conclusion it has been stated that conservation works on sculptures should be undertaken as soon as possible, as every year of delay brings about irretrievable loss leading to the transformation of statues into a shapeless block of stones.

It has also been proposed that the works should be carried out by outstanding conservators under the auspices of UNESCO.

ANTONI KOZIELSKI

## FORT SANT' ANDREA W WENECJI I PROBLEMY JEGO KONSERWACJI

W rozwoju nowożytniej sztuki fortyfikacyjnej Wenecja odegrała rolę szczególną. Wiek XVI — to czas wielkiego wysiłku obronnego republiki, zagrożonej z jednej strony przez Turków, z drugiej przez europejskich konkurentów.

Budując liczne fortece chroniące przed najazdem, szukano jednocześnie skutecznych sposobów obrony przed

nowymi środkami zniszczenia, które pojawiły się w końcu XV w. Środki te — to artyleria strzelająca metalowymi pociskami i dysponująca działami o ujednoliconym ciężarze. Jej bombardowaniom nie mogły się oprzeć dawne umocnienia bastionowe. Skutecznym środkiem obrony okazał się natomiast tzw. bastionowy system fortyfikacji, wynaleziony we Włoszech na przeło-