

Santoryn — grecka piękność

Mirosław Słowakiewicz¹, Rie Motonaga², Artemios Atzemoglou³



M. Słowakiewicz



R. Motonaga



A. Atzemoglou

Santoryn — jeden z najczęściej fotografowanych na świecie wulkanów — tworzy na Morzu Egejskim pięć wysp — są to Thera, Therasia, Aspronisi, Palea Kameni i Nea Kameni. Wyspy te są najdalej na południe wysuniętą częścią archipelagu greckich Cyklad (ryc. 1) — leżą one w odległości 120 km na północ od Krety, pomiędzy wyspą Ios i Anafi. Santoryn zajmuje powierzchnię 96 km² i jest zasiedlony przez nieco ponad 11 tys. mieszkańców (Moysteraki, 2002). Długość największej wyspy, Thery, mierzona od przylądka Mavropetra na północy do przylądka Exomytis na południu, wynosi 18 km, a szerokość od 2 do 6 km. Stolicą Thery jest Fira (ryc. 2), a największym portem Athinios.

Ludzie zamieszkujący Santoryn nadawali mu różne nazwy, np. Strongyle (Okragły), Kalliste (Piękny), Philotera i w końcu Santoryn (gr. Santorini — św. Irena). Według mitologii, Santoryn został stworzony z grudki ziemi pochodzącej z dalekiej Libii, a francuski geolog Ferdinand Fouque nazwał wyspę Pompejami Morza Egejskiego (<http://www.santorini.com>). W XX w. wielu uczonych wiązało historię tej wyspy z tragicznym końcem legendarnej Atlantydy (Luce, 1973).

Archipelag Santorynu należy do południowoegejskiego łuku wulkanicznego. W podłożu Thery i sąsiadujących z nią wysp Anafi, Ios i Amorgos występują marmury, fylity i niebieskie łupki metamorficzne, które powstały z przeobrażenia mezozoicznych skał węglanowych i paleogeńskich szarogłazów (Friedrich, 2000). Metamorfizm zachodził w oligocenie i miocenie na skutek kolizji płyt podczas orogenezy alpejskiej (ryc. 3). Przed 3 mln lat w rejonie dzisiejszego Santorynu wynurzyła się mała niewulkaniczna wysępka. Skały podłoża odsłaniają się na powierzchni w



Ryc. 1. Lokalizacja Santorynu

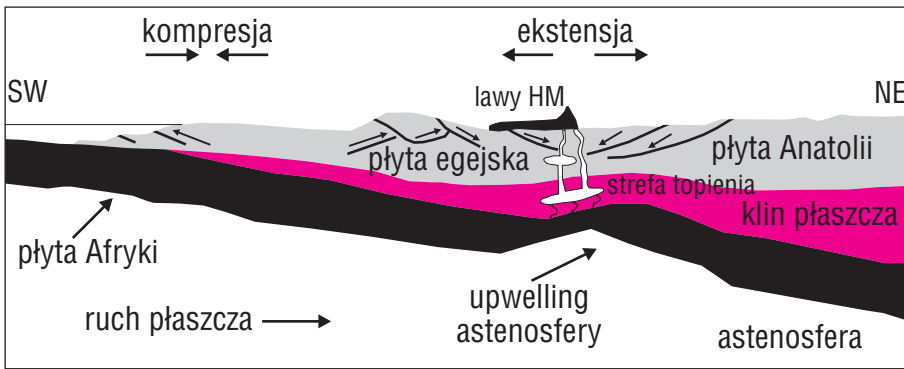


Ryc. 2. Stolica Santorynu — Fira. Fot. R. Motonaga

¹Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, mslo@pgi.gov.pl

²Higashiyamata 1-2-15, Tsuzuki-ku, 224-0023 Jokohama, Japonia, rie_motonaga@yahoo.com

³Institute of Geology and Mineral Exploration, 1 Fragon St., 54626 Thessaloniki, Grecja; matzem@thes.igme.gr



Ryc. 3. Schematyczny przekrój geologiczny przez płytę egejską w rejonie Santorynu; HM — lawy o wysokiej zawartości magnezu (Doglioni i in., 2002; Agostini i in., 2005)

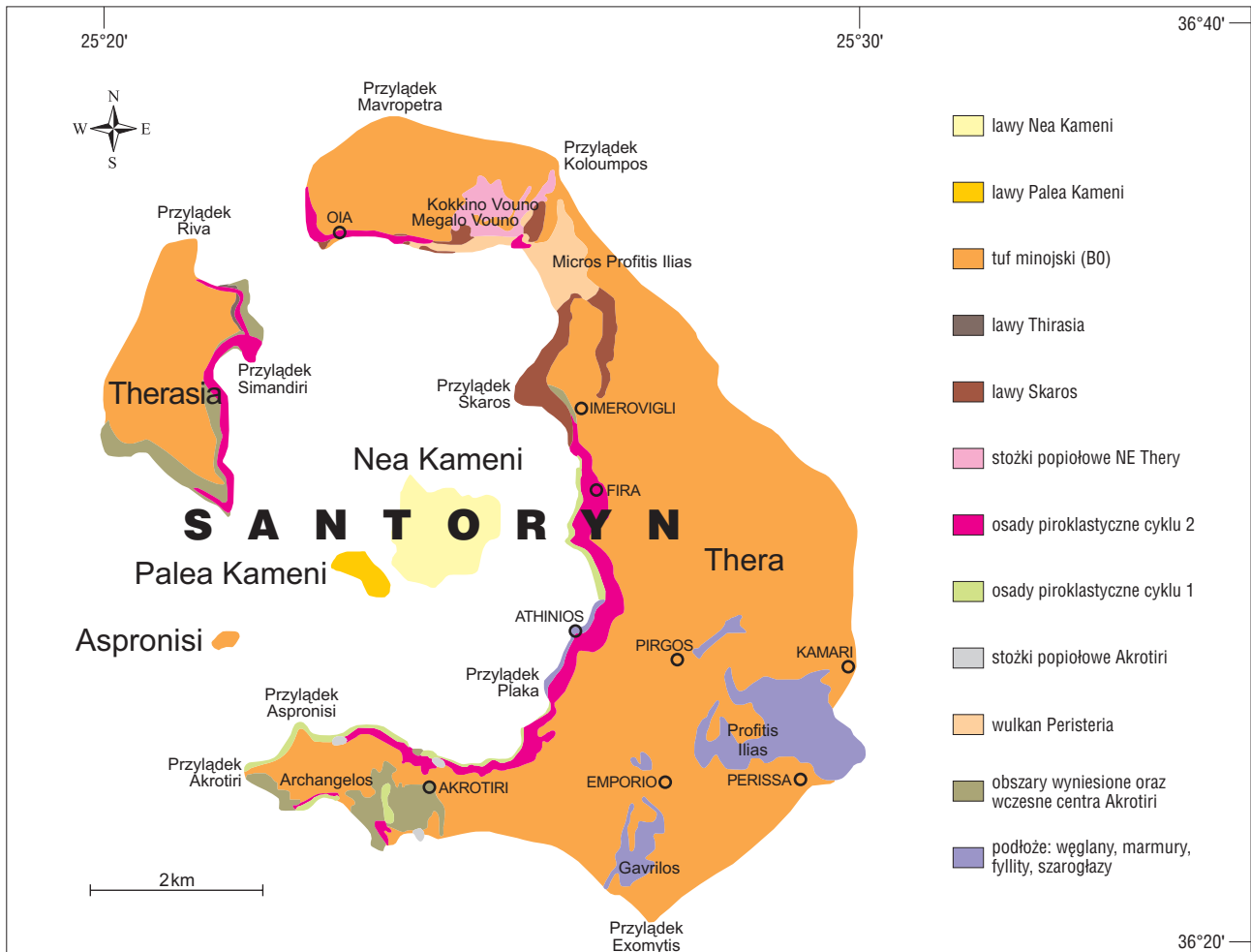
południowo-wschodniej części Thery, w okolicy góry Profitis Ilias, grzbietu Gavrilos i Pirgos oraz po wewnętrznej stronie kaldery, między przylądkami Plaka i Athinios. W rejonie Athinios znaleziono intruzję granitową, datowaną na około 9,5 mln lat, która stanowi część granitowej prowincji Cyklad. Jest ona źródłem kruszców i minerałów, m.in. chalcopirytu, chryzokoli i magnetytu.

W późnym pliocenie (ok. 2 mln lat temu) w rejonie dzisiejszego półwyspu Akrotiri nastąpiły pierwsze podmorskie erupcje law dacytowych (Friedrich, 2000). W ciągu ostatnich kilkuset tys. lat najbardziej charakterystycznym typem aktywności wulkanicznej były cykliczne efuzje wulkanów tarczowych, przeplatane dużymi wydarzeniami eksplozywnymi, których najmłodszym przykładem jest erupcja minojska. Ewolucję wulkaniczną Santorynu

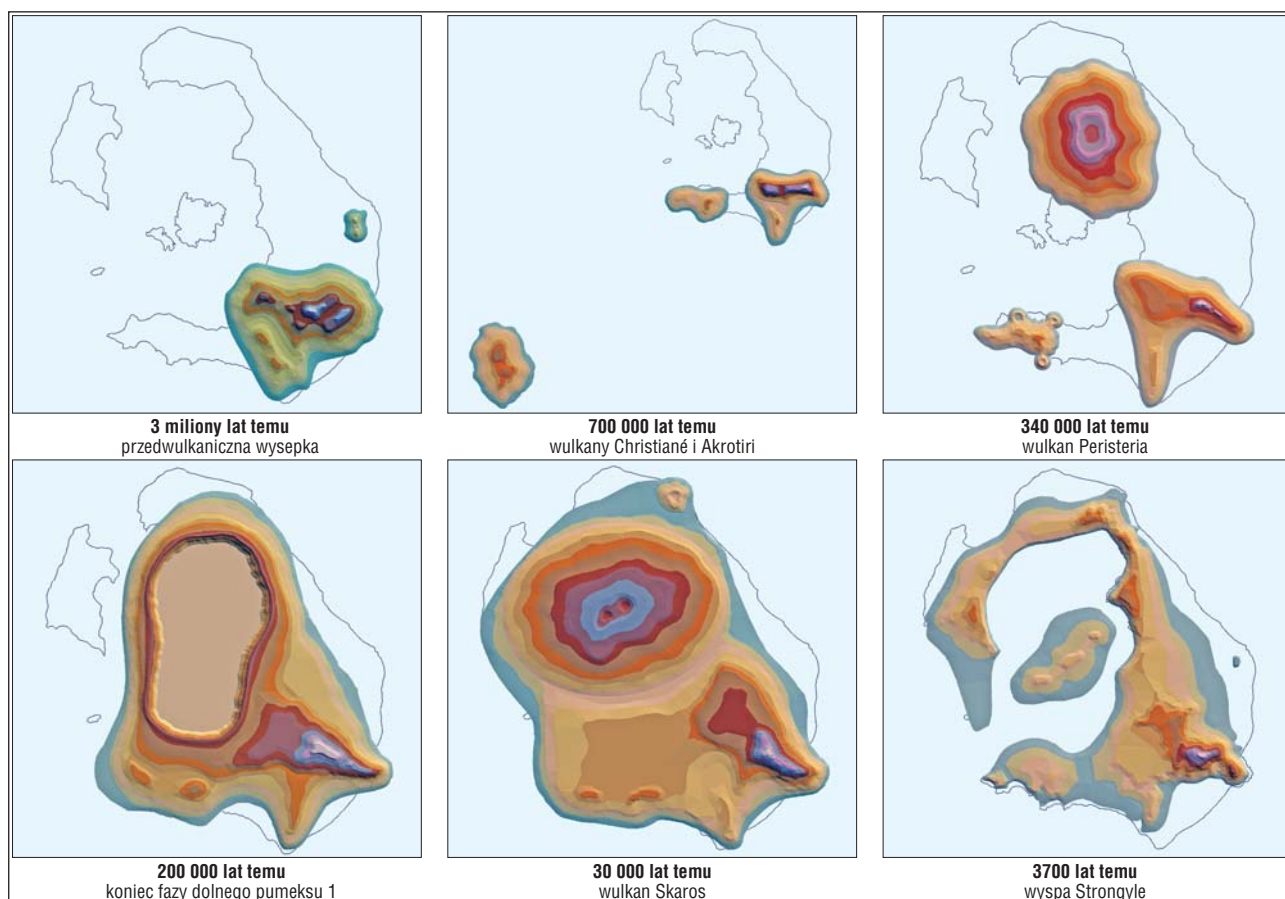
można podzielić na kilka etapów (Druitt i in., 1989; Friedrich, 2000; Lopes, 2005).

Wczesne centra erupcji — wulkany i stożki popiołowe Akrotiri (ok. 2 mln–580 tys. lat)

Najstarsze skały wulkaniczne znaleziono na Therze na półwyspie Akrotiri (ryc. 4) oraz na wyspie Christiané (ryc. 1 i 5). Są to lawy dacytowe o dużej zawartości krzemionki i osady piroklastyczne. Zostały one silnie zmienione wskutek późniejszej działalności hydrotermalnej. Można je dzisiaj obserwować na wzgórzach Lumaravi i Archangelos. Na podstawie badań skamieniałości znajdujących się w tufach półwyspu Akrotiri Seidenkrantz i



Ryc. 4. Uproszczona mapa geologiczna Santorynu (Druitt i in., 1999; Lopes, 2005)



Ryc. 5. Model ukazujący geologiczną historię Santorynu (według Androulakakisa & Vougioukalakisa, 1996, zmodyfikowany)

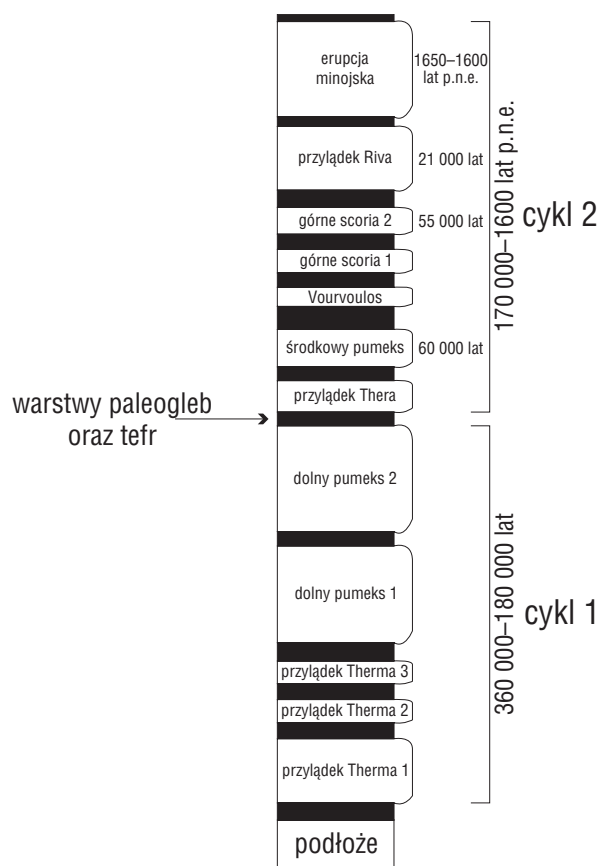
Friedrich (1992) ustalili, że wiek tych skał wynosi około 2 mln lat. Dzisiejszy półwysp Akrotiri 700 tys. lat temu był prawdopodobnie małą wulkaniczną wyspą odizolowaną od wyspy niewulkanicznej (ryc. 5).

Wulkan Peristeria (ok. 530–340 tys. lat)

Okolo 530–430 tys. lat temu w północnej części dzisiejszej kaldery powstał duży stratowulkan Peristeria. Jego pozostałości można dzisiaj oglądać na Therze, w rejonie Megalo Vouno i Micros Profitis Ilias — są to lawy i skały piroklastyczne, głównie o składzie andezytów. Efektem późniejszej działalności tego wulkanu są stożki popiołowe na półwyspie Akrotiri.

Pierwszy cykl erupcyjny (ok. 360–180 tys.)

Według Druitta i in. (1989) pierwszy z dwóch głównych cykli erupcyjnych Santorynu (ryc. 6) rozpoczął się 360 tys. lat temu. W centrum dzisiejszej kaldery powstał wówczas wulkan tarczowy Thera, który wraz z wysepką niewulkaniczną i Akrotiri utworzył jedną wyspę. Lawy i osady piroklastyczne pierwszego cyklu można dzisiaj obserwować na Therze w południowej części wewnętrznej ściany kaldery (ryc. 7). Cykl rozpoczęła faza erupcji nazwana *przyłądek Therna 1*, która pozostawiła dużej miąższości warstwę law dacytowych. W toku kolejnej fazy erupcji, *przyłądek Therna 2*, powstała warstwa białego pumeksu o miąższości 2,5 m, bardzo dobrze widoczna w profilu południowej ściany Thery. Efektem fazy *przyłądek Therna 3* jest warstwa zawierająca scoria, rozprzestrzeniona na półwyspie



Ryc. 6. Stratygrafia osadów piroklastycznych 1 i 2 cyklu erupcyjnego Santorynu (wg Druitta i in., 1999, zmodyfikowana)

Akrotiri. Pierwszy cykl zakończyły dwie fazy erupcji eksplozywnych *dolnego pumeksu*, datowane na około 200 do 180 tys. lat. W obu fazach *dolnego pumeksu* następowały erupcje typu pliniuszowskiego — z kominów ulokowanych w pobliżu dzisiejszych wysp Palea i Nea Kameni. Pod koniec fazy *dolnego pumeksu 1*, ok. 200 tys. lat temu, doszło do zapadnięcia się stożka i utworzenia kaldery.

Drugi cykl erupcyjny (ok. 170 000–1600 lat p.n.e.) i północne pokrywy lawowe

Drugi cykl erupcyjny składał się z 7 faz (ryc. 6):

- *przylądek Thera*;
- *środkowy pumeks* (ok. 60 000 lat temu);
- *Vourvoulos*;
- *górne scoria 1*;
- *górne scoria 2* (ok. 55 000 lat temu);
- *przylądek Riva* (ok. 21 000 lat temu);
- *erupcja minojska* (ok. 1650–1600 lat p.n.e.).

Produkty pierwszych czterech faz określa się często jednym terminem — *środkowy tuf*. W trakcie każdej z tych faz powstało co najmniej kilka km³ piroklastyków. Oprócz dużej aktywności wulkanicznej w centrum dzisiejszej kaldery równocześnie dochodziło do erupcji w jej północnej części, w okolicach starego wulkanu Peristeria, w wyniku których powstały stożki popiołowe Megalo Vouno i Kokkino Vouno. Fazę *środkowego tufu* zakończyło kolejne zapadnięcie się kaldery. Po tym wydarzeniu drugi cykl wszedł w spokojniejszą fazę *górne scoria 2* (ok. 55 tys. lat temu), podczas której wzrosła objętość pokryw lawowych tarczowego wulkanu Skaros. Ocenia się, że ówczesny kom-

pleks lawowy tworzył wyspę o wysokości ok. 350 m n.p.m. i średnicy 9 km (ryc. 5). Pozostałości tego kompleksu można dzisiaj oglądać wzdłuż klifów przylądka Skaros i na wyspie Therasia. Większa część wyspy uległa zniszczeniu podczas erupcji kończącej fazę *przylądek Riva* (ok. 21 tys. lat temu), która spowodowała zapadnięcie się tarczy Skaros. Była to erupcja eksplozywna typu pliniuszowskiego. Po niej nastąpiło kilkanaście tysiącleci względnego spokoju.

Erupcja minojska. Na podstawie znalezisk archeologicznych na półwyspie Akrotiri (ryc. 8) stwierdzono, że pierwsi osadnicy przybyli na Therę około 3200 lat p.n.e. W epoce brązu wyspa przeżywała rozkwit osadnictwa kultury minojskiej. W tym czasie wyspę nazywano Strongyle lub Strongili (Okragła). Sielanka wyspiarzy została przerwana przez ogromną katastrofę (tzw. erupcję minojską), która według datowań C¹⁴ i dendrologicznych wydarzyła się około 1650–1600 lat p.n.e., choć archeolodzy datują ją na 1550–1500 lat p.n.e. (Lopes, 2005). Katastrofa ta często jest utożsamiana z zagładą mitycznej Atlantydy, opisywaną ok. 360 r. p.n.e. przez Platona w dialogach *Timaeus* oraz *Critias* (mimo że Platon lokował Atlantyde na Oceanie Atlantyckim).

Wybuch wulkanu został poprzedzony silnym trzęsieniem ziemi, które, jak wydedukowano na podstawie nasion znalezionych w ruinach minojskich domostw na Akrotiri, nastąpiło około jednego roku przed erupcją wulkanu. Po trzęsieniu ziemi większość mieszkańców opuściła wyspę, a ci, którzy zdecydowali się na niej pozostać, zamieszkali w ruinach domów. Podczas erupcji minojskiej wulkan



Ryc. 7. Osady piroklastyczne cyklu 1 — ściana kaldery pomiędzy Firą a przylądkiem Athinios na Therze. Fot. R. Motonaga



Ryc. 8. Tuf minojski na przylądku Akrotiri; na szczycie latarnia morska z 1892 r. Fot. R. Motonaga



Ryc. 9. Na pierwszym planie osady piroklastyczne i lawy Daphne na Nea Kameni; w tle panorama Thery. Fot. A. Atzemoglou



Ryc. 10. Mapa geologiczna Nea Kameni i Palea Kameni (Friedrich, 2000)

wyrzucał ogromne bomby bazaltowe, pumeks i popioły (erupcja typu pliniuszowskiego). Kolumna erupcyjna sięgała 36 km wysokości, a gorące potoki piroklastyczne miały temperaturę 200–400°C. Cała wyspa została pogrzebana pod grubą warstwą tufów i pumeksu (ponad 100 m miąższości). Ocenia się, że w trakcie erupcji minojskiej Santoryn wyrzucił z siebie 30 km³ materiałów piroklastycznych (Lopes, 2005). Stożek wulkaniczny wraz z większą częścią wyspy zapadł się. Około 83 km² powierzchni wyspy zniknęły pod wodą. Powstała kaldera o średnicy 10 km i głębokości 390 m p.p.m. (Perissoratis, 1989). Wyspa została podzielona na trzy części — Therę, Therasię i Aspronisi.

Popiół wulkaniczny wypalił florę okolicznych wysp. Na Krecie warstwa pumeksu wyrzuconego przez Santoryn ma 5 mm miąższości (Callender, 1999).

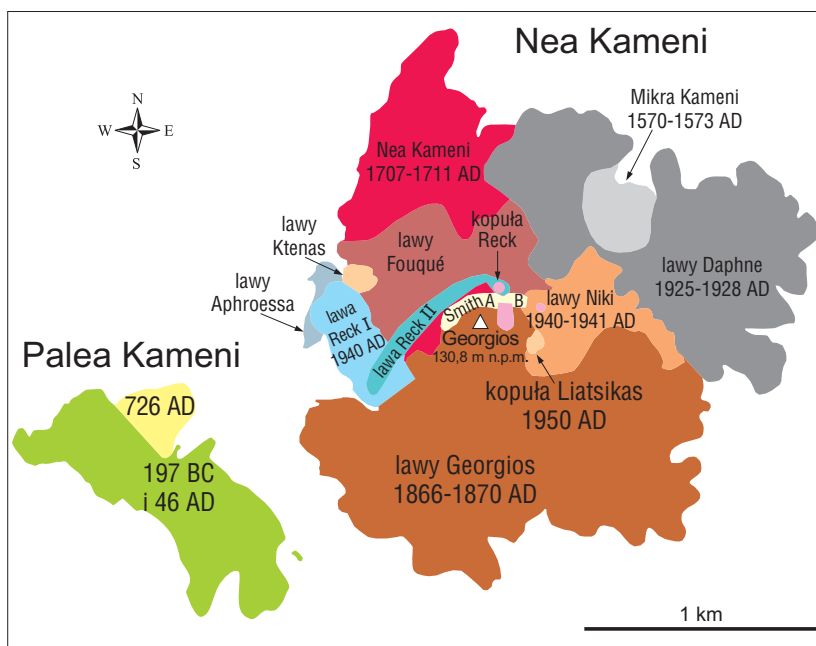
W wyniku osunięcia się pod wodę mas skalnych powstała ogromna fala tsunami, osiągająca około 210 m wysokości, która z impetem uderzyła w wybrzeża wysp Morza Egejskiego, m.in. oddaloną o 120 km Kretę, na której zniszczyła pałace w Knossos (na wysokości 100 m n.p.m.), Malia i Zakro oraz wiele nadmorskich osad minojskich (Antonopoulos, 1992; LaMoreaux, 1995; Pareschi i in., 2006). Według prof. Marinatos (1972), odkrywcy i badacz osady na Akrotiri, katastrofa ta przyczyniła się do upadku cywilizacji minojskiej, który nastąpił około 1500 r. p.n.e.

Po erupcji minojskiej, w XIII wieku p.n.e. wyspy Santorynu zasiedlili Fenicjanie — ponoć pozostawali na nich przez pięć pokoleń. Następnie objęli je we władanie Grecy Dorowie, którzy od imienia swojego króla Therasa nazwali największą wyspę Thera (Forsyth, 1997; Friedrich, 2000).

Stożki Kameni (197 lat p.n.e. — dziś)

W wyniku erupcji w 197 r. p.n.e., co skrętnie zanotował starożytny historyk Strabo, powstała nowa wysepka; przez starożytnych Greków zwana Hiera (Święta Wyspa), a obecnie — Palea Kameni. W efekcie kolejnych erupcji law dacytowych została ona nadbudowana w roku 46 i 726 n.e. (Friedrich, 2000).

W dobie renesansu, w latach 1570–1573, pojawił się kolejny kawałek suchego lądu, zwany Mikra Kameni. Następnie w latach 1707–1711 nad powierzchnię wód Morza Egejskiego wynurzył się kolejny, nowy stożek wulkaniczny. Wkrótce osiągnął on wysokość 130,8 m n.p.m. i połączył się z Mikra Kameni, tworząc w centrum kaldery Santorynu wyspę nazywaną dzisiaj Nea Kameni (ryc. 9–10 i 11–12 na str. 264). Santoryn nadal jest wulkanem aktywnym — pomiędzy 1500 rokiem p.n.e. a 1950 r. n.e. wybuchła kilkanaście razy. Ostatnia erupcja Nea Kameni nastąpiła w roku 1950, pozostałością po niej są potoki lawowe zwane Liatsikas (Friedrich, 2000). Jest to najmłodszy kawałek lądu na Santorynie.



Autorzy dziękują N. Androulakisowi za pomoc w przygotowaniu artykułu.

Literatura

- AGOSTINI S., DOGLIONI C., INNOCENTI F., MANETTI P., SAVASCIN M.Y. & TONARINI S. 2005 — Tertiary high-Mg volcanic rocks from Western Anatolia and their geodynamic significance for the evolution of the Aegean area. [W:] Fytikaz M., Vougioukalakis G.E. (ed.), *The South Aegean Active Volcanic Arc: Present knowledge and future perspectives*. *Developments in Volcanology*, 7: 345–362.
- ANDROULAKAKIS N. & VOUGIOUKALAKIS G. 1996 — The evolution of Santorini Island, Greece. Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME), Internal Report.
- ANTONOPOULOS J. 1992 — The great Minoan eruption of Thera volcano and the ensuing tsunami in the Greek Archipelago. *Natural Hazards*, 5: 153–168.
- CALLENDER G. 1999 — *The Minoans and the Mycenaeans: Aegean Society in the Bronze Age*. Oxford University Press.
- DOGLIONI C., AGOSTINI S., CRESPI M., INNOCENTI F., MANETTI P., RICUZZI F. & SAVASCIN M.Y. 2002 — On the extension in western Anatolia and the Aegean sea. *J. Virtual Explorer*, 8: 169–183.
- DRUITT T.H., MELLORS R.A., PYLE D.M. & SPARKS R.S.J. 1989 — Explosive volcanism on Santorini, Greece. *Geol. Mag.*, 126: 95–126.
- DRUITT T.H., DAVIES M.S., EDWARDS L., SPARKS R.S.J., MELLORS R.M., PYLE D.M., LANPHERE M. & BARREIRO B. 1999 — Santorini volcano. *Geol. Soc. Spec. Mem.*, 19: 1–165.
- FORSYTH P.Y. 1997 — *Thera in the Bronze Age*. Grove/Atlantic, New York.
- FRIEDRICH W.L. 2000 — *Volcanism and the Natural History of Santorini*. Cambridge Univ Press, Cambridge.
- LAMOREAUX P.E. 1995 — Worldwide environmental impacts from the eruption of Thera. *Environment. Geol.*, 26: 172–181.
- LOPES R. 2005 — *The volcano adventure guide*. Cambridge University Press.
- LUCE J.V. 1973 — *The End of Atlantis*. Book Club Associates.
- MOYSTERAKI R. 2002 — *Santorini: between legend and history*. Full Tourist Guide. Editions Hailalis.
- MARINATOS S.N. 1972 — Life and art in prehistoric Thera. *Proceedings of the British Academy*, 57.
- PARESCHI M.T., FAVALLI M. & BOSCHI E. 2006 — Impact of the Minoan tsunamis of Santorini: Simulated scenarios in the eastern Mediterranean. *Geophysic. Res. Lett.*, 33: L18607.
- PERISSORATIS C. 1989 — Marine geological research on Santorini: preliminary results. *Proceedings of the Third International Congress, Santorini, Greece*, 3–9.09.1989, 305–311.
- SEIDENKRANTZ M.S. & FRIEDRICH W.L. 1992 — Santorini, Part of The Hellenic Arc: Age Relationship of Its Earliest Volcanism. [W:] Seidenkrantz M.S. (ed.), *Foraminiferal Analyses of Shelf Areas*. Stratigraphy, Ecology and Taxonomy. University of Aarhus, 41–65.

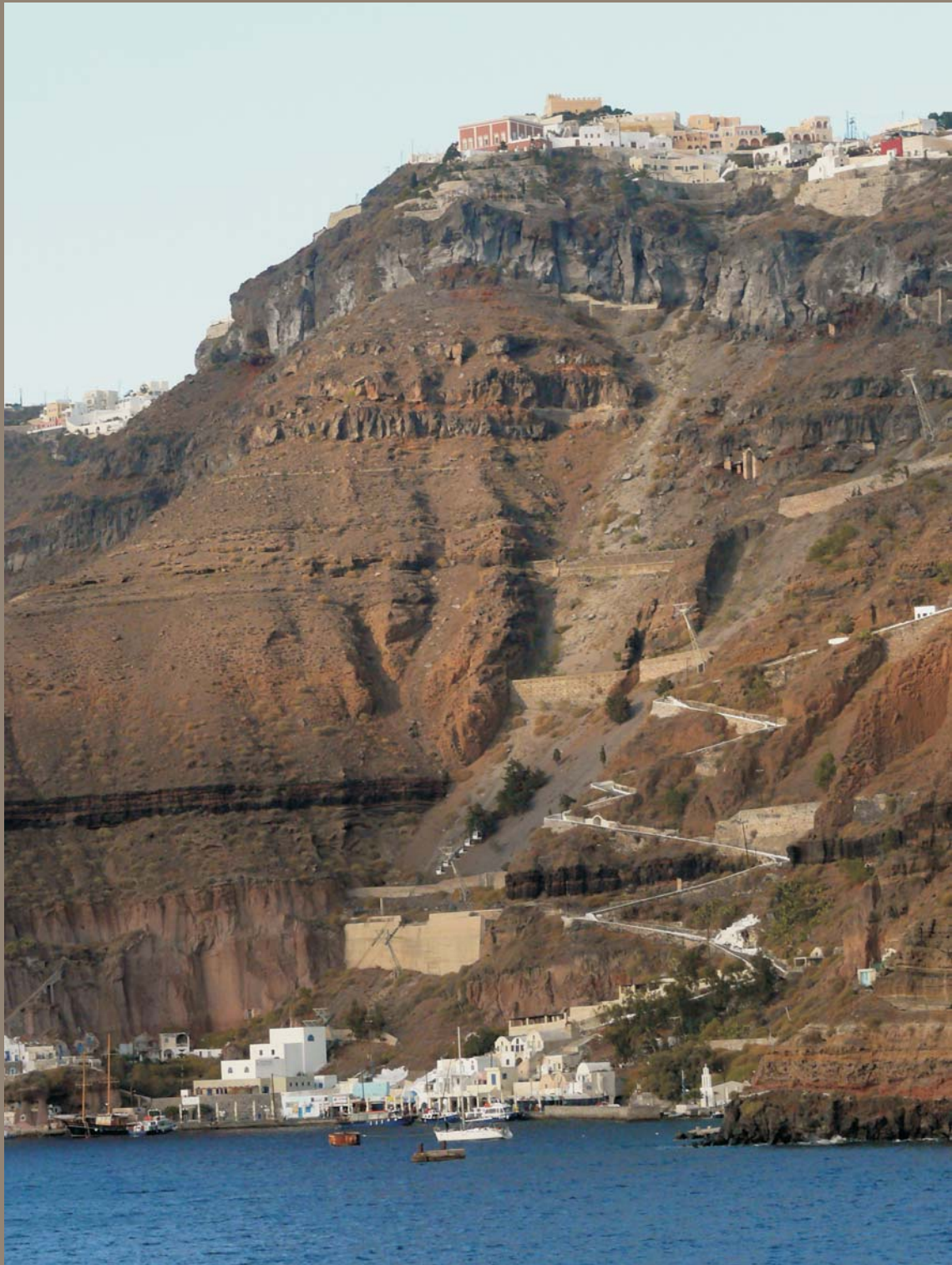
Praca wpłynęła do redakcji 11.01.2009 r.

Po recenzji akceptowano do druku 09.02.2009 r.



Ministerstwo Środowiska

przegląd **GEOLOGICZNY**



TOM 57 • NR 3 (MARZEC) • 2009

Cena 12,00 zł
(w tym 0% VAT)

Indeks 370908
ISSN-0033-2151

Zdjęcie na okładce: Skąły wulkaniczne Santorynu odsłaniające się obok schodów prowadzących z portu do Firy — stolicy największej wyspy archipelagu, Thery. Fot. M. Słowakiewicz (patrz str. 228 — *Santoryn — grecka piękność*)

Santoryn — grecka piękność (patrz str. 228)



Ryc. 11. Na pierwszym planie najmłodsze dzieło Santorynu — wyspa Nea Kameni; w oddali przylądek Mavropetra. Fot. R. Motonaga



Ryc. 12. Stożek wulkaniczny Georgios (130,8 m n.p.m.) na wyspie Nea Kameni. Fot. A. Atzemoglou