KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 60 2011
Numer 3–4 (292–293)
Strony 293–304

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

NORBERT SZCZEPARA

Uniwersytet Wrocławski
Instytut Nauk Geologicznych
Zakład Mineralogii i Petrologii
Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław
E-mail: norbert.szczepara@uni.wroc.pl

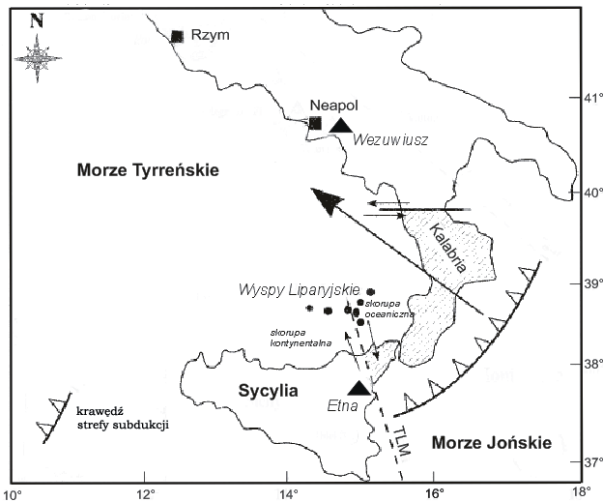
WULKANY WYSP LIPARYJSKICH

WSTĘP

Po około 30 minutach od wypłynięcia wodolotem z Milazzo, małego portu na północy Sycylii, zza burty wyłaniają się wyspy, których morfologia natychmiast sugeruje ich wulkaniczne pochodzenie. Te wystające na kilkaset metrów (najwyższy szczyt Monte Fossa delle Felci na wyspie Salina ma 968 m n.p.m.) ponad poziom morza lądy, stanowią jednak zaledwie fragmenty wulkanicznych struktur wyrastających z głębin dna morskiego. Tworzą one archipelag Wysp Liparyjskich, którego nazwa funkcjonuje chyba jedynie w języku polskim. Bierze swoją nazwę od największej z wysp — Lipari. W wielu innych językach archipelag ten znajdziemy pod nazwą Wyspy Eolskie (Aeolian Islands, Isole Eolie), która pochodzi od Eola, greckiego boga wiatrów. Odizolowanie od Sycylii i Półwyspu Apenińskiego, ciepły morski klimat, bogactwa naturalne oraz dreszcze emocji związane z sąsiedztwem magmowego żywiołu przyciągały i nadal przyciągają tu wielu turystów. Wyspy Liparyjskie od tysiącleci są miejscem zamieszkania ludzi o różnym etnicznym pochodzeniu. Obecnie, w dobie rozwoju ruchu turystycznego, przybywają tu głównie rzesze ludzi spragnionych malowniczych widoków i rozgrzanych słońcem plaż. Spora część turystów pragnie również skorzystać z atrakcji związanych z wulkaniczną aktywnością. W jaki sposób powstały Wyspy Liparyjskie? Czy tutejsze wulkany są bezpieczne? Co ciekawego jest tu dla geologów, jak i tych, którzy mają mniejsze pojęcie o procesach zachodzących pod powierzchnią ziemi?

GEOLOGICZNE UWARUNKOWANIA WULKANIZMU NA WYSPACH LIPARYJSKICH

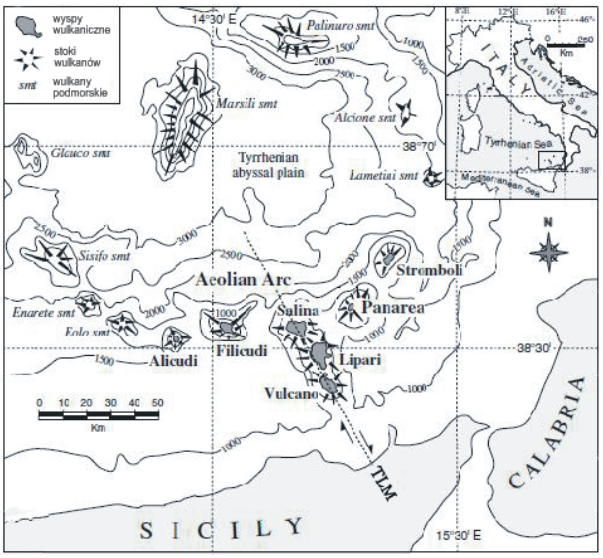
Skorupa ziemska podzielona jest na kilkanaście sztywnych płyt osadzonych na plastycznym płaszczu. Nie są one statycznymi strukturami, lecz bardzo powoli (ruch liczony w centymetrach na rok) przesuwają się względem siebie. W obszarze Morza Śródziemnego przebiega granica między dwiema wielkimi płytami. Płyta afrykańska zanurza się głęboko pod płytę euroazjatycką (Ryc. 1). Obszar, wzdłuż którego zachodzi wyżej wymieniony proces geolodzy nazywają strefą subdukcji. Dokładniej, archipelag wulkanicznych Wysp Liparyjskich powstał w miejscu zanurzania się północnej krawędzi płyty afrykańskiej, tzw. płyty jońskiej pod łańcuch sycylijsko-maghrebski, będący południowym fragmentem płyty euroazjatyckiej (PECCERILLO 2005). W Europie powierzchniowym dowodem na proces subdukcji jest szereg różnych pasm górskich (Apeniny, Alpy, Pireneje, Karpaty, a nawet Tatry). Dodatkowymi procesami geologicznymi zachodzącymi na styku płyt kontynentalnych są erupcje wulkaniczne i trzęsienia ziemi. W wyniku badań sejsmicznych oraz badań skał odsłaniających się



Ryc. 1. Sytuacja tektoniczna warunkująca aktywność wulkaniczną na Wyspach Liparyjskich.

Duża strzałka wskazuje kierunek zanurzania się płyty afrykańskiej pod płytę euroazjatycką. TLM — uskok Tindari-Letojanni-Malta (wg CALANCHI i współaut. 2002, zmieniona)

na powierzchni ziemi, geolodzy wyróżnili dwa typy skorupy. Pierwsza z nich, skorupa oceaniczna zbudowana jest ze skał magmowych o średniej gęstości ok. 3g/cm^3. Tworzą ją głównie gabra i bazalty. Drugi typ skorupy, kontynentalny, tworzą skały o mniejszej gęstości (2,7–2,8 g/cm^3), np. granity, gnejsy, granulity. Mniejsza gęstość sprawia, że skorupa kontynentalna jest lżejsza od skorupy oceanicznej. Dodatkowo archipelag przedzielony jest strefą wzdłuż, której skorupa ziemska uległa pęknięciu, a warstwy skalne zostały przesunięte wobec siebie. Jest to uskok tektoniczny Tindari-Letojanni-Malta (TLM) o kierunku przebiegu NNW-SSE (Ryc. 1). Rozdziela on dwa wcześniej wymienione typy skorup. Subdukcja jest aktywna po obu jego stronach, z tą różnicą, że po stronie wschodniej uskoku skorupa ma charakter oceaniczny (bazaltowy), więc jej tempo zanurzania się płyty jest nieco większe. Kąt zapadania płyty ma także większą wartość. Po zachodniej stronie uskoku TLM skorupa jest typu kontynentalnego, co implikuje jej mniejszy ciężar i związane z nim wolniejsze tempo subdukcji oraz niższy kąt zanurzania płyty. Skorupa kontynentalna charakteryzuje się ponadto większą elastycznością, co sprawia, że trzęsienia ziemi występują tu rzadziej niż we wschodniej części archipelagu.



Ryc. 2. Mapa batymetryczna archipelagu Wysp Liparyjskich (wg LUCCHI i współaut. 2007, zmieniona)

Archipelag Wysp Liparyjskich tworzy siedem wysp i dziewięć gór podmorskich (Ryc. 2), czyli wulkanów, których szczyty nie sięgają ponad poziom morza. Morfologia wysp zdominowana jest przez stratowulkany, wygasłe — Salina, Alicudi, Filicudi, Lipari, Panarea, drzemiące — Vulcano oraz aktywne — Stromboli. Pod względem geologiczno-przestrzennym archipelag podzielono na trzy sektory:

- sektor zachodni (Salina, Alicudi i Filicudi) — wulkanizm rozwinął się tu najwcześniej — obecnie jest już nieaktywny;
- sektor centralny (Vulcano, Lipari) — związany z uskokiem TLM;
- sektor wschodni (Panarea, Stromboli) — obejmuje system uskoków o przebiegu NE-SW.

Sektory centralny i wschodni leżą na skorupie kontynentalnej, zachodni zaś na skorupie oceanicznej Morza Tyrreńskiego.

Początki aktywności wulkanicznej w obrębie Wysp Liparyjskich datowane są na pliocen (ok. 1,3 mln lat BP; ang. Before Present). W tym czasie tworzyły się pierwsze podmorskie wulkany (Sisifo, Enarete, Eolo) na północny-zachód od obecnych wysp. Najstarsze przejawy wulkanizmu widoczne na powierzchni samych wysp można odnaleźć w zachodnim sektorze archipelagu, na Filicudi. Są to bazalty, które metodą K-Ar (potas-argon) wydatowano na ok. 400 tys. lat BP. Najmłodsze skały wulkaniczne tworzą się podczas pisania tego tekstu, ponieważ na najbardziej wysuniętej na

wschód wyspie, na Stromboli, aktywność wulkaniczna ma miejsce nieprzerwanie od około 2500 lat.

Wyspy Liparyjskie nie są typowymi stożkami wulkanicznymi. Tworzenie się każdej z wysp miało charakter polifazowy, stąd ich wewnętrzna budowa i morfologia jest stosunkowo złożona. Na kilku z wysp można znaleźć pozostałości po dawnych stożkach wulkanicznych, które uległy zniszczeniu, a powstałe po opróżnieniu komór magmowych zapadliska (kaldery) zostały wypełnione przez młodsze produkty wulkaniczne. Komora magmowa zmieniała swoje położenie, co skutkowało powstawaniem nowych stożków w innych rejonach wysp. Niekiedy młodsze stożki wulkaniczne formowały nowe wyspy zlokalizowane obok starszych. W wyniku kolejnych erupcji dochodziło do akumulacji jej produktów, które utworzyły naturalnie powstałą płaską platformę łączącą oba stożki.

Tak w skrócie wygląda historia geologiczna każdej z siedmiu wysp archipelagu.

WULKANY SEKTORA ZACHODNIEGO

ALICUDI

Alicudi jest najbardziej na zachód wysuniętą wyspą. Jej powierzchnia wynosi 5,2 km^2. Historia jej aktywności wulkanicznej jest stosunkowo krótka, trwała ona od 60 tys. lat BP do 28 tys. lat BP (PECERILLO 2005). Najwyższy szczyt Alicudi sięga 675 m n.p.m., podczas gdy podnóże wulkanu umiejscowione jest 2000 m poniżej powierzchni morza. Wyspa powstała w wyniku trzech faz wulkanizmu. Każdy z etapów przedzielony był zapadnięciem ówczesnych szczytowych partii spowodowanych silnymi erupcjami (PECERILLO 2005). Pod względem strukturalnym Alicudi zbudowana jest z szeregu potoków lawowych i sekwencji tzw. utworów piroklastycznych. Te ostatnie są produktami powstającymi w wyniku silnych, eksplozywnych erupcji wulkanu. Wówczas, pod wpływem znacznego spadku ciśnienia, dochodzi do silnego rozpylenia magmy (tzw. defragmentacji magmy), podczas której rozpada się ona na drobne okruchy minerałów i szkliwa wulkanicznego. Dochodzi także do dużej emisji gazów i zniszczenia dawniej powstałych zastygłych kanałów magmowych. W zależności od siły erupcji i wielkości wyrzucanego materiału jest on deponowany bliżej lub dalej od krateru. Utwory piroklastyczne w dalszej części artykułu będą określane ogólnym mianem tefry.

FILICUDI

Powstała w czterech etapach aktywności wulkanicznej (SANTO 1999), Filicudi, jest nieco większą wyspą (9,5 km^2) od poprzedniej. Początki wulkanizmu datowane są tu na ok. 400 tys. lat BP. Obecnie od ok. 40 tys. lat nie ma na wyspie żadnych przejawów procesów magmowych. Filicudi także zbudowana jest z potoków lawowych i tefry. Jest to charakterystyczna sekwencja produktów wulkanicznych, z jakich złożone są tzw. stratowulkany. W ostatniej fazie wulkanizmu na zachód od Filicudi powstał niewielki stożek wulkaniczny. Uległ on jednak późniejszej erozji, a część komina wulkanicznego, która oparła się niszczącym siłom przyrody, wystaje 85 m ponad powierzchnię morza. Ta strzelista, malownicza formacja skalna nazywa się La Canna.

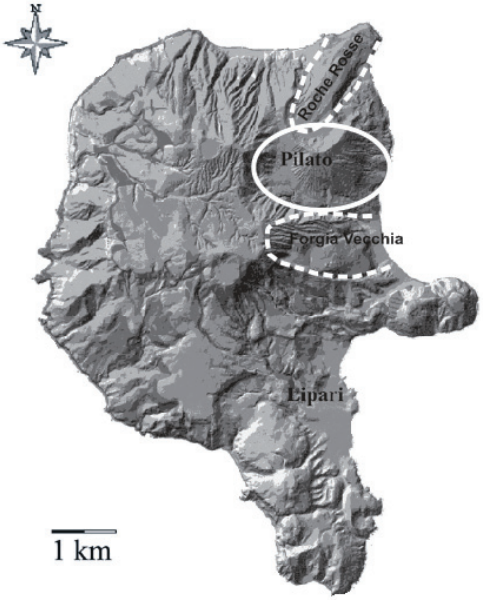
SALINA

Ta druga co do wielkości wyspa archipelagu ma 26,75 km^2 powierzchni. Powstała w dwóch głównych cyklach aktywności wulkanicznej (KELLER 1980). Pierwszy z nich miał miejsce w okresie 430–127 tys. lat BP. Powstały wówczas trzy oddzielne stożki wulkaniczne, z których tylko jeden nie uległ zerodowaniu. Po trwającym kilkadziesiąt tysięcy lat okresie spokoju, nastąpiła druga faza wulkanizmu trwająca od 67 do 13 tys. lat BP. Cechą charakterystyczną Saliny są dwa wysokie stożki wulkaniczne, Monte Porri i Monte Fossa delle Felci. Drugi z nich, powstały w pierwszym okresie aktywności wulkanicznej na Salinie, jest obecnie najwyższym szczytem całego archipelagu Wysp Liparyjskich. Osiąga on wysokość 962 m n.p.m., podczas gdy podnóże całego wulkanu leży 1500 m pod taflą wody.

WULKANY SEKTORA CENTRALNEGO

LIPARI

Ta największa wyspa (38 km^2), od której wzięła się polska nazwa archipelagu, jest jego centrum administracyjnym i kulturalnym. Geneza wulkaniczna Lipari jest złożona i obejmuje, według niektórych badaczy (CRISCI i współaut. 1991) 10 cykli aktywności wulkanicznej. Z geologicznego punktu widzenia można wyróżnić dwa zasadnicze typy tutejszego wulkanizmu. Pierwszy typ miał miejsce w okresie od 120 do 80 tys. lat BP. Następowały wtedy wylewy potoków lawowych i wyrzuty tefry o zasadowym i pośrednim chemizmie. Po trwającej około 40 tys. lat przerwie, wulkanizm zmienił swój charakter chemiczny na bardziej kwaśny, o większej zawartości krzemionki (GIONCADA i współaut. 2003). Utworzone zostały wówczas kopuły lawowe zbudowane z kwaśnych skał wulkanicznych, ryolitów. Inną charakterystyczną skałą z Lipari jest pumeks, którego znamienną cechą jest obecność dużej ilości pustych pęcherzyków. Powstał on w wyniku szybkiego odgazowywania w trakcie erupcji, a zastygająca w szybkim tempie lawa, utrwaliła pogazowe pustki. W ostatnich fazach aktywności wulkanicznej na Lipari powstała kopuła zbudowana z pumeksu (Monte Pilato) (Ryc. 3) . Ta duża, jasnoszara góra, pełna licznych wyrobisk pogórniczych i bruzd wyerodowanych przez spływające wody, łatwo rzuca się w oczy. Ostatnia erupcja na wyspie miała miejsce w czasach historycznych (1230±40 AD). Doszło wówczas do wylewu potoku lawowego, zbudowanego z obsydianu. Jest on najczęściej czarną skałą wulkaniczną, która wygląda jak czarne nieprzejrzyste szkło. Szkliwo to tworzy się dzięki bardzo szybkiemu ochładzaniu się kwaśnej lawy wylewającej się na powierzchnię. W północnej części Lipari znajduje się pole lawowe, Colale di Lava, gdzie można bez problemu znaleźć bloki obsydianu. Oprócz wspomnianego pola lawowego, szkliwo wulkaniczne buduje pobliskie formacje Roche Rosse i Forgia Vecchia (Ryc. 3). Wulkany na Lipari zaliczane są do kategorii wulkanów wygasłych, chociaż niewykluczony jest fakt, że są to tzw. wulkany drzemiące. Głęboko pod powierzchnią nadal zachodzi ciągłe odgazowywanie zastygłej komory magmowej i związana z tym procesem aktywność hydrotermalna.



Ryc. 3. Lokalizacja potoków lawy obsydianowej na wyspie Lipari (biała przerywana linia) i zasięg kopuły pumeksowej (biała ciągła linia), miejsca wydobycia tego surowca. (wg GIONCADA i współaut. 2003, zmieniona).

VULCANO

Vulcano, jak sama nazwa wskazuje, dała nazwę wszystkim "ognistym górom" na Ziemi oraz zjawiskom towarzyszącym ich aktywności. Według starożytnych Rzymian, w kraterze Vulcano i na Etnie miały znajdować się siedziby boga Wulkana, rzymskiego odpowiednika greckiego Hefajstosa (ZRALEK 2003). Vulcano, z powierzchnią 22km^2, jest trzecią co do wielkości wyspą archipelagu. Wyspa powstała w wyniku sześciu cykli aktywności wulkanicznej (KELLER 1980), począwszy od 120 tys. lat BP, praktycznie do dnia dzisiejszego (ostatnia erupcja w latach 1888-1890). W morfologii Vulcano dominuje w jego południowej części kaldera Piano wypełniona utworami wulkanicznymi. Innym elementem rzeźby wyspy, jest stożek Fossa di Vulcano (391 m n.p.m.), położony wewnątrz innej kaldery, Fossa. Powstał on w wyniku piątego etapu aktywności wulkanicznej. Na krańcu północnej części wyspy znajduje się półwysep Vulcanello, który tworzą zbocza mniejszego stożka wulkanicznego. Znane są jego erupcje w latach 183 BC–1550 AD. W wyniku ostatniej, Vulcanello zostało połączone z Vulcano. Obecnie obficie dymiące fumarole na szczycie krateru Fossa di Vulcano (Ryc. 4) są dowodem na ostatnią fazę wygasania wulkanu. Wokół otworów, z

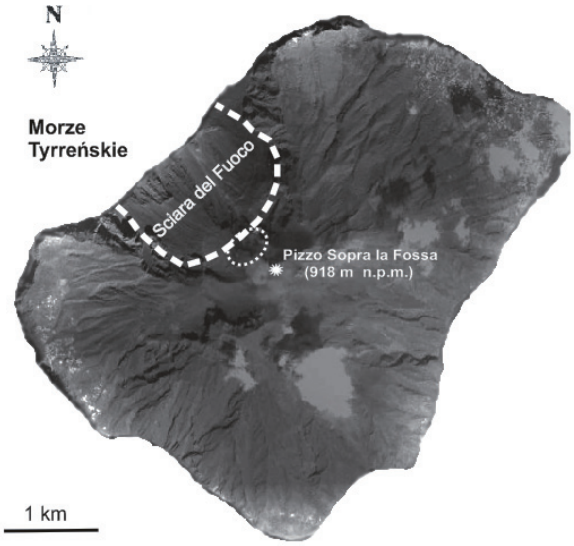
Ryc. 4. Fumarole na szczycie stożka *Fossa* na Vulcano. Na pierwszym planie bloki skał (ok. 0.5 m wielkości) pokryte żółtym nalotem siarki rodzimej.

których ulatniają się gazy, krystalizują piękne kryształy siarki rodzimej tworzące igiełki, ostrosłupy, które intensywnie żółtym kolorem pięknie kontrastują z błękitem nieba. Oprócz niej w dużych ilościach krystalizują salmiak rodzimy czy sassolin (kwas borowy). Ogólna liczba faz mineralnych krystalizujących z fumaroli w pobliżu krateru Vulcano wynosi kilkadziesiąt, z tego kilkanaście zostało po raz pierwszy odkryte właśnie na Vulcano (COMPOSTRINI i współaut. 2010). Zbliżanie się do wyziewów gazowych nie jest zalecane ze względu na niebezpieczeństwo poparzenia się, zatrucia, a nawet w skrajnych przypadkach utraty węchu. Głównymi składnikami fumaroli są: H_2O, CO_2, SO_2, H_2S, HCl, HF. Gazy te osiągają na wylocie wysokie temperatury dochodzące nawet do kilkuset stopni Celsjusza. Podobnie jak na Lipari, osobliwym zjawiskiem jest bardzo rzadko występujący na świecie ryolit w postaci potoku lawowego. Ze względu na bardzo wysoką lepkość lawy ryolitowe zazwyczaj nie tworzą potoków, lecz formują kopulaste formy. W morfologii zachodniej strony stożka widoczny jest jęzor potoku ryolitowego (Pietre Cotte) powstały podczas erupcji w 1739 r. Skała ta zastygła w postaci szklistego, czarnego obsydianu.

WULKANY SEKTORA WSCHODNIEGO

PANAREA

Jest najmniejszą (3,5 km^2) i jednocześnie najniższą (421 m n.p.m.) wyspą archipelagu. Jej podnóże wyrasta z dna oceanicznego na głębokości 1300 m pod poziomem morza. Na wschód i północ od niej rozrzucony jest szereg mniejszych wysepek (min. Basiluzzo, Formiche, Lisca Bianca). Pod powierzchnią morza, mniej więcej 130 m poniżej tafli wody, zanurzona jest duża, płaska platforma łącząca wynurzone fragmenty wulkanu. Aktywność wulkaniczna na Panarei objęła sześć faz eruptywnych (LUCCHI i współaut. 2007). W pierwszych pięciu cyklach, zbudowana została zasadnicza struktura wyspy. Zostały wówczas uformowane kopuły lawowe, dochodziło także do szeregu wylewów potoków lawowych. Eksplozywne erupcje i sedymentacja tefry była zjawiskiem rzadszym. W ostatniej fazie wulkanizmu powstała kopuła lawowa zbudowana z ryolitu,. Jej fragmentem jest Basiluzzo, największa z małych wysepek, wystająca znad wody na północ od Panarei. Aktywność wulkaniczna dobiegła końca ok. 40 tysięcy lat BP. Obecnie obserwować można jedynie ślady ucieczki nagromadzonych gazów w postaci fumaroli.



Ryc. 5. Charakterystyczne elementy rzeźby wulkanu i wyspy Stromboli — na podstawie obrazu satelitarnego z Google Earth.

Nisza osuwiskowa (przerywana linia) i lokalizacja głównego krateru (linia kropkowana). Białą gwiazdką oznaczono platofrmę z punktem obserwacyjnym.

STROMBOLI

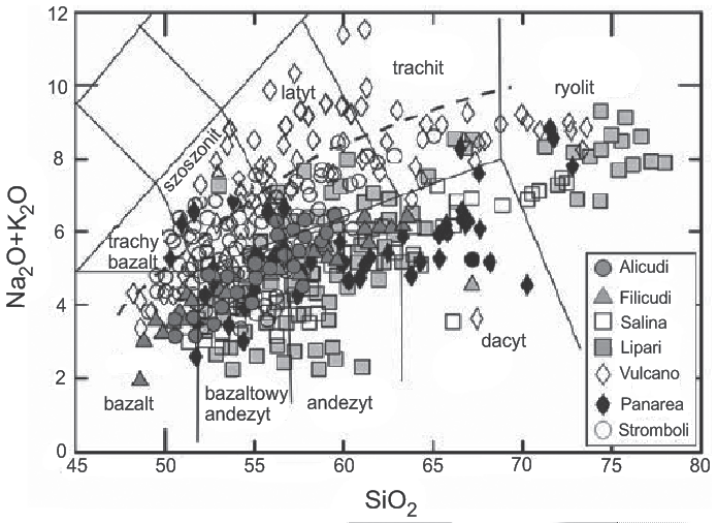
Pomimo niedużej wysokości (918 m n.p.m.), Stromboli jest ogromnym wulkanem. Większa jego część znajduje się bowiem poniżej poziomu morza i osadzona jest ponad 2000m poniżej powierzchni wody. To, co widzimy jako wyspę (12 km^2 powierzchni lądu), to zaledwie cząstka kolosa w przybliżeniu wielkości Etny (PECCERILLO 2005). Spośród wszystkich Wysp Liparyjskich, cechą, która najbardziej wyróżnia Stromboli, jest jego współczesna aktywność wulkaniczna. Jest to jedyna wyspa archipelagu, której powierzchnia się zwiększa, dzięki materiałowi wyrzucanemu podczas erupcji. Wulkanizm zapoczątkowany został około 200 tys. lat BP i zachodził w czterech fazach (FRANCALANCI i współaut. 1989). Śladem po pierwszej fazie jest widoczna na północ od Stromboli, wystająca z morza skalna wysepka Strombolicchio. Jest to fragment pierwotnego wulkanu, który nie uległ zniszczeniu przez procesy erozyjne. Obecna czwarta faza aktywności wulkanicznej rozpoczęła się 2–2,5 tysiąca lat temu i nieprzerwanie trwa do dziś. Wyrzucane fontanny lawy szczególnie dobrze widoczne są o zmroku i w nocy, stąd Stromboli od stuleci nazywany jest „śródziemnomorską latarnią". W morfologii wyspy (Ryc. 5), po jej zachodniej stronie zaznacza się wyraźnie wielka nisza osuwiskowa (Sciara del Fuoco). Jest to pozostałość po ogromnym osuwisku, jakie miało miejsce 5000 lat temu. Obecnie Sciara del Fuoco to naturalny tor, po którym czasami płyną cienkie potoki lawowe. Znacznie częściej toczą się po nim wyrzucone z krateru bomby wulkaniczne. Wielokrotnie koziołkując z ogromną prędkością pędzą ku morzu, gdzie kończą swą krótką „podróż". Od kilku tysięcy lat w ten sposób zasypywana jest misa powstała w wyniku pierwotnego osuwiska. Sięga ona aż 2000 m p.p.m.

WYSPY LIPARYJSKIE — RAJ DLA GEOLOGÓW

Aktywne wulkany Wysp Liparyjskich, sycylijska Etna i kontynentalny Wezuwiusz od dawna inspirowały rzesze geologów do badań naukowych zjawisk wulkanicznych. Dają one bezpośrednią możliwość obserwacji i analizy dynamicznych zjawisk związanych z powierzchniową emanacją procesów zachodzących głęboko pod powierzchnią Ziemi. Dokładne obserwacje wybuchów na Stromboli pozwoliły wulkanologom na określenie jego mianem jednego z charakterystycznych typów erupcji. Typ Stromboli charakteryzują mniej lub więcej regularne wyrzuty materiału piroklastycznego w formie fontann. Podczas normalnej aktywności, 3-5 razy na godzinę, z krateru wyrzucane są, na wysokość kilkudziesięciu metrów, bomby wulkaniczne i okruchy wulkanicznego żużlu, tzw. scoria. Gdy aktywność Stromboli jest wzmożona erupcje zachodzą z częstotliwością nawet do kilkuset na godzinę (VEGNIOLLE i MANGAN 1999). Sporadycznie, wulkan wyrzuca tefrę ze znacznie większą siłą niż zazwyczaj. Wówczas wysokość na jaką materiał jest wynoszony osiąga nawet kilkaset metrów. W przypadku erupcji typu Stromboli raczej nie następuje wylew lawy, chociaż takie zjawisko miało miejsce całkiem niedawno. Wiosną 2007 r. zniszczeniu uległo zachodnie obrzeżenie misy krateru, przez które przelały się pojedyncze wąskie potoki lawowe. Spłynęły one po powierzchni Sciara del Fuoco i w momencie kontaktu z wodą morską ulegały natychmiastowemu wychłodzeniu, któremu towarzyszyły drobne eksplozje gazów.

Drugi typ wulkanicznej erupcji, który bierze swoją nazwę od jednej z Wysp Liparyjskich, to tzw. typ Vulcano. W latach 1888-1890 doszło na tej wyspie do ostatniej, jak do tej pory, erupcji. Wtedy to ze stożka Cone della Fossa wyrzucony został materiał piroklastyczny w postaci drobnej tefry oraz bomb wulkanicznych typu „skórka od chleba", z charakterystycznymi spękaniami na zewnętrznej ich powierzchni. Erupcja ta została dokładnie opisana przez Giuseppe Mercalliego, który był jej naocznym świadkiem. Erupcja typu Vulcano charakteryzuje się pojedynczymi krótkimi wyrzutami gazów i materiału piroklastycznego. Przypomina to akustycznie i wizualnie kawalkady salw armatnich. Wyrzucone bomby wulkaniczne spadają w promieniu kilkuset metrów od krateru. Materiał piroklastyczny w formie pyłu, wynoszony jest na wysokość nawet kilku kilometrów. Uważa się, że główną przyczyną eksplozji jest wdarcie się wód gruntowych do kanału magmowego (MORRISEY i MASTIN 1999).

Oba wymienione typy erupcji nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla mieszkańców obu wysp. Występują jednak pojedyncze wyjątki, które opisane zostały w następnym rozdziale.



Ryc. 6. Pozycja petrograficzna skał – produktów wulkanicznych Wysp Liparyjskich (PECCERILLO 2005) na diagramie TAS stosowanym przez geologów do klasyfikacji chemicznej skał wulkanicznych.

Pozioma oś wskazuje procentową zawartość krzemionki. Oś pionowa oznacza procentową wartość sumy alkaliów.

Młody wiek utworów wulkanicznych powoduje, że nie uległy one jeszcze przeobrażeniom fizycznym i chemicznym zacierającym pierwotne ich cechy. Ułatwia to geologom odtworzenie historii geologicznej archipelagu. Możliwy do określenia jest również rodzaj, przebieg, zasięg i potencjalne zagrożenie, jakie obecnie mogłyby spowodować tamte, historyczne erupcje.

Łuk Wysp Liparyjskich jest także intrygującym przykładem współzależności procesów magmowych i procesów geodynamicznych związanych z lokalną tektoniką (PECCERILLO i współaut. 2006). Nawet w obrębie pojedynczych wysp, zróżnicowanie składu chemicznego skał jest wyjątkowo duże. Świadczy to o szerokim spektrum czynników wpływających na różnicowanie się składu tzw. pierwotnych magm, czyli o bogactwie i intensywności procesów zachodzących głęboko w komorach magmowych. Lokalne reżimy tektoniczne, a w szczególności uskok Tindari-Letojanni-Malta oddziela dwie skorupy różniące się wyraźnie składem chemicznym i właściwościami fizycznymi. Powoduje to przestrzenną zmienność aktywności wulkanicznej i różnice w typie skał, jakie powstają w jej wyniku. Dodatkowym czynnikiem, na który wpływa uskok TLM jest lokalne (sektor centralny archipelagu) podwyższenie się granicy między skorupą a górnym płaszczem, co znacznie zwiększa przyrost temperatury wraz z głębokością, tzw. gradient geotermiczny. Uskok TLM ponadto wspomaga wytworzenie się płytko umiejscowionych zbiorników magmowych. W tych wyżej położonych komorach magmowych mogą powstawać warunki do powstawania lżejszych kwaśnych magm o podwyższonej zawartości krzemionki. Z tego powodu na wyspach sektora centralnego (Lipari i Vulcano), powszechne są ryolity (Ryc. 6) i potoki lawowe zbudowane z obsydianu. Wyjaśnienie procesów, które wpływają na różnorodność skał (w skali archipelagu i pojedynczych wysp) oraz przedstawienie izotopowych wskaźników na podstawie, których wyciągnięto takie wnioski, wkraczałoby jednak tematycznie w zaawansowane zagadnienia petrologii i geochemii.

Ryc. 6 przedstawia różnorodność typów skał wulkanicznych jakie można znaleźć na Wyspach Liparyjskich. Na używanym do klasyfikacji skał wulkanicznych diagramie TAS (ang. Total Alcalis-Silica Diagram) można zauważyć, że skały występujące w obrębie archipelagu, wypełniają wszystkie pola klasyfikacyjne, od kwaśnego ryolitu po zasadowy bazalt. Jest to niezwykłe zjawisko, świadczące o złożonej sytuacji geologicznej i tektonicznej tego obszaru. Z powyższych powodów, łuk Wysp Liparyjskich jest bardzo ciekawym obszarem badań dla szerokiej rzeszy wulkanologów, mineralogów i geochemików.

ZAGROŻENIA GEOLOGICZNE

Wyspy Liparyjskie są aktywnym łukiem wulkanicznym rozwiniętym w strefie kolizji płyt kontynentalnych. Jak znaczna większość wysp położonych na Morzu Śródziemnym, są atrakcyjnym miejscem do wypoczynku. Gminę Lipari obejmującą osiem z dziewięciu

wysp, zamieszkuje na stałe ponad 11 tysięcy mieszkańców. Wyspa Salina (należąca do Prowincji Messina) ma około 2300 stałych mieszkańców. W sezonie letnim wyspy odwiedzają setki tysięcy turystów. Czy położenie wysp w strefie subdukcji stanowi zagrożenie wystąpienia trzęsień ziemi i groźnych wybuchów wulkanów? Czy obecne erupcje na Stromboli są niebezpieczne? Czy możliwe są erupcje na pozostałych wyspach? Jakie dawne katastrofalne zdarzenia geologiczne są zapisane w warstwach law i tefry? Czy istnieją opisy tych zdarzeń dokonane przez ludzi w czasach historycznych?

TRZĘSIENIA ZIEMI I WYBUCHY WULKANÓW

Aktywność sejsmiczna ograniczona jest do wschodniego sektora archipelagu. Sztywniejsza i cięższa skorupa oceaniczna, stanowi potencjalne źródło wystąpienia wstrząsów sejsmicznych. Brakuje jednak opisu zniszczeń wywołanych przez trzęsienia ziemi, którego hipocentrum zlokalizowane było we wschodniej części archipelagu. Jedyne znane niszczycielskie trzęsienia ziemi związane były z ruchami tektonicznymi w skorupie pod Sycylią (np. zniszczenie Catanii w 1669 r.).

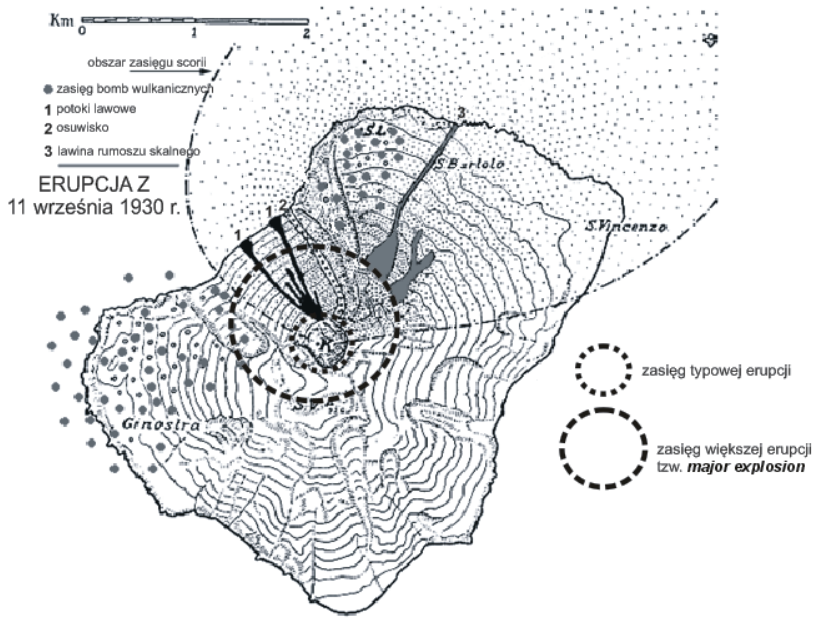
Jedyną wyspą, na której dochodzi do erupcji w obecnych czasach, jest Stromboli. Nieprzerwana aktywność wulkanu od ponad 2 tysięcy lat jest rzadkością na skalę światową. Przybywający tu tłumnie turyści, dość bezpiecznie mogą ją obserwować tylko ze względu na jej łagodny charakter, opisany wcześniej. Wyrzucane z krateru fontanny lawy i bomby wulkaniczne najczęściej opadają do misy krateru lub wyrzucane są do wielkiej niszy osuwiskowej, Sciara del Fuoco. Podczas typowych erupcji, materiał nie jest wyrzucany na tyle wysoko by mógł bezpośrednio zagrozić oglądającym je ludziom. Obecna morfologia Stromboli dodatkowo zwiększa bezpieczeństwo świadków eksplozji. Sam krater (Ryc. 7) położony jest ponad 100 m niżej od oddalonej od niego 300 m na wschód platformy Pizzo Sopra la Fossa (918 m n.p.m.). Jest to miejsce, z którego turyści oglądają aktywność wulkaniczną. Typowy wyrzut lawy na Stromboli nie powoduje zagrożenia spadającymi bombami wulkanicznymi. Jednakże raz do roku, raz na dwa lata eksplozja jest na tyle silna, że wyrzucany materiał osiąga partie szczytowe (Ryc. 8). Często dochodzi też do lokalnych pożarów roślinności na zboczach w okolicy krateru. Takie erupcje czasami są poprzedzone tygodniami wzmożonej siły aktywności wulkanu. Powoduje to zamknięcie tras turystycznych prowadzących w stronę krateru, więc maleje prawdopodobieństwo bycia uderzonym przez spadające rozżarzone bloki lawy. Jednakże, bez wcześniejszego ostrzeżenia, na przestrzeni ostatnich dwudziestu kilku lat, miało miejsce kilka groźnych w skutkach erupcji. Zagrożeni wówczas byli ich świadkowie przebywający w okolicy krateru, szczególnie ci, którzy spędzali noc na platformie Pizzo Sopra la Fossa. Spadające bomby wulkaniczne zraniły wtedy kilkoro z nich. Znacznie częściej rany spowodowane były złamaniami lub zwichnięciami kończyn w wyniku upadku w trakcie panicznej ucieczki z zagrożonej strefy. Niestety w latach 1986 i 2001 w wyniku uderzenia bombami wulkanicznymi zginęły dwie osoby. Pierwszą z nich był biolog[1] badający rośliny na zboczach w okolicy Sciara del Fuoco, drugą była niemiecka turystka[2] spędzająca z grupą ludzi noc ponad kraterem.

Ryc. 7. Krater wulkanu Stromboli widziany z Pizzo Sopra la Fossa.

W XX w. dwukrotnie doszło jednak do znacznie większych wybuchów od wcześniej opisywanych. 22 maja 1919 r. bloki skalne wyrzucone z krateru zniszczyły kilkanaście domów, zabijając czworo mieszkańców wyspy. Kolejna duża erupcja (Ryc. 7) miała miejsce 11 września 1930 r. Wzniecone wte-

[1]ALEAN J., CARNIEL R., FULLE M., sierpień 2006. *Accidents on Stromboli volcano*. Wyszukane 29 września z http://www.swisseduc.ch/stromboli/volcano/accidents/expl01-en.html

[2]ALEAN J., CARNIEL R., FULLE M., sierpień 2006. *Accidents on Stromboli volcano*. Wyszukane 29 września z http://www.swisseduc.ch/stromboli/volcano/accidents/acc86-en.html



Ryc. 8. Mapa zasięgu opadu materiału piroklastycznego i pozostałych zagrożeń powstałych w trakcie największej erupcji na Stromboli w XX wieku. (wg RITTMANN 1931, zmieniona)

dy przez nią rozległe pożary roślinności zdewastowały duży obszar, do dziś nie zarośnięty. Zniszczonych zostało kilkanaście domów. W wielu z nich zniszczeniu uległy wszystkie szyby. Zginęło wówczas sześcioro mieszkańców, z czego czterema ofiarami byli rybacy. Po północnym zboczu, doliną Valonazzo zeszła ogromna lawina rumoszu skalnego (ang. debris avalanche), która po zsunięciu się do morza wywołała kilkumetrowe fale. To one były przyczyną wywrócenia łodzi i zatopienia rybaków[3]. Obie duże erupcje nastąpiły bez wcześniejszego ostrzeżenia. Na szczęście miały miejsce w czasach małej popularności turystycznej Wysp Liparyjskich. W obecnych czasach, w szczególności w szczycie sezonu turystycznego, tak duża erupcja byłaby fatalna w skutkach. Przy podobnym braku symptomów wskazujących na większą erupcję niż zazwyczaj, organy odpowiedzialne za bezpieczeństwo turystów na Stromboli, nie zamknęłyby dostępu dla turystów do krateru. Każdego dnia i nocy na platformie Pizzo Sopra la Fossa przesiaduje w szczycie sezonu ponad 100 osób. Przy tak silnej erupcji jak w 1930 roku, cały obszar ponad szczytem znalazłby się w zasięgu rażenia bloków lawy około metrowej wielkości, a tefra przykryłaby ten obszar na grubość 20 cm. Przeżycie takiej erupcji na Pizzo Sopra la Fossa graniczyłoby z cudem. Upadek dużych bomb wulkanicznych na miasteczko zniszczyłoby wiele pizzerii, restauracyjek i domów, zwiększając liczbę ofiar. Kolejnymi ofiarami byliby turyści przebywający na plaży na północnej stronie Stromboli. Lawiny rumoszu, które mogłyby zejść doliną Valonazzo, wypadłyby dokładnie na zatłoczoną plażę.

Na innych wyspach archipelagu w czasach historycznych doszło do co najmniej kilku erupcji opisanych przez Strabona, Pliniusza Starszego, Juliusa Obsequensa. Przede wszystkim chodzi o relacje z erupcji w północnej części Vulcano. Aktywność wulkaniczna, w czasie której powstała wysepka Vulcanello, miała miejsce w 183 r. AD i została opisana przez Strabona i Pliniusza Starszego na podstawie przekazów ustnych ówczesnych mieszkańców archipelagu. W wyniku erupcji w 1550 r. doszło do połączenia Vulcanello z główną wyspą. Kolejnym geologicznym wydarzeniem był wylew potoku obsydianowego w 1739 r., którego przebieg był łagodny. Jego zasięg oddziaływania ograniczył się do najbliższego sąsiedztwa potoku. W opisie erupcji w latach 1888–1890 nie ma żadnego przekazu na temat zniszczeń. Zasięg potencjalnego zniszczenia ograniczony był do krateru stożka la Fossa.

Erupcje na Lipari w czasach nowożytnych również miały lokalny zasięg i nie stanowiły bezpośredniego zagrożenia dla mieszkańców miasteczek na tej wyspie.

[3]ALEAN J., CARNIEL R., FULLE M., sierpień 2006. *Uusual eruptions*. Wyszukane 29 września z http://www.swisseduc.ch/stromboli/volcano/beso/bes3007-en.html

Podsumowując zagrożenia związane z wybuchami wulkanów, można powiedzieć, że przy najsilniejszych erupcjach zanotowanych w czasach historycznych, ich niszczący lub nawet śmiertelny zasięg, ograniczony jest tylko do obszaru pojedynczej wyspy. Jest jednak jedno potencjalne zagrożenie geologiczne, którego niszczycielskie skutki dosięgłyby nie tylko całego archipelagu, ale również wybrzeży Sycylii, Sardynii i zachodnich wybrzeży kontynentalnej Italii.

TSUNAMI

W dniu 30 grudnia 2002 r., wzdłuż niszy osuwiskowej Sciara del Fuoco, dwukrotnie doszło do osunięcia się zachodniego zbocza Stromboli. W konsekwencji osunięcia się sporego fragmentu zbocza do morza powstała fala tsunami. Spowodowała ona duże zniszczenie na Stromboli oraz na sycylijskim wybrzeżu. Przez dwa dni po tym wydarzeniu w powietrzu unosiła się chmura wulkanicznego pyłu, która w kontakcie z wodą deszczową utworzyła tzw. deszcz błotny. To wydarzenie stanowi jednak preludium do potencjalnie niszczycielskiego tsunami, jakie może nastąpić, gdy do morza osunie się cały zachodni sektor wyspy. W wyniku osuwiska, do którego doszło 5000 lat temu powstała Sciara del Fuoco. Gdyby doszło do niego w dzisiejszych czasach, kilkumetrowa fala tsunami zniszczyłaby wiele miasteczek w całym archipelagu. Co więcej, niszczycielskie fale wdarłyby się w przybrzeżne strefy północnego wybrzeża Sycylii oraz zdewastowałyby porty w Mesynie i Reggio di Calabria.

WULKANICZNE PROFITY

Wulkany nie stanowią jedynie destrukcyjnego żywiołu. Można odnieść takie wrażenie po obejrzeniu programów popularno-naukowym emitowanym w kanałach tematycznych, jak Discovery, National Geographic czy Nature. Od tysiącleci produkty aktywności wulkanicznej przynosiły ludziom znacznie więcej zysków niż strat, które powstawały jedynie podczas sporadycznych dużych erupcji. Nie inaczej wygląda to na Wyspach Liparyjskich. Od zamierzchłych czasów są one obiektem zainteresowania człowieka. Do najstarszych śladów działalności ludzi na wyspach są obrobione, ostrokrawędziste obsydianowe narzędzia z epoki neolitu. To właśnie z Lipari wiele artefaktów, wytworzonych ze szkliwa wulkanicznego, było przedmiotem wymiany na inne towary z obszaru śródziemnomorskiego. Strategiczne położenie archipelagu wykorzystywali starożytni Grecy, lokując tu swoje pierwsze osiedla w roku 580 p.n.e., administrowane z sycylijskich Syrakuz (ANDREWS i BROWN 2005). Żyli z handlu, uprawy ziemi i napadów na statki. To dzięki Grekom niektóre z wysp, jak i cały archipelag zawdzięczają swoje nazwy.

Innym produktem wulkanicznym o znaczeniu ekonomicznym, także w czasach współczesnych jest pumeks. Surowiec ten używany jest przy produkcji instalacji budowlanych, instalacji podwodnych, wchodzi w skład past do zębów, nawozów oraz służy do „spierania" dżinsów i garbowania skóry. Pumeks z Lipari intensywnie był wydobywany podczas budowania Kanału Sueskiego (ZRALEK 2003). W północno-wschodniej części Lipari funkcjonuje kopalnia tego surowca (Ryc. 9). W zbocza Monte Pilato wkomponowane są budynki górnicze i sieć taśmociągów.

Liparos w języku greckim oznacza „tłuszcz, tłusty". W bardziej luźnym tłumaczeniu oznacza żyzność ziemi przynoszącą „tłuste" zbiory. Określenie to nie jest przypadkowe. Dzięki składnikom mineralnym zawartym w tufach wulkanicznych (tefrze) gleba, która na nich się rozwinęła jest w nie wzbogacona. Podnosi to jej jakość. W ciepłym, umiarkowanie suchym klimacie śródziemnomorskim, na Salinie i Lipari bujnie rosną owoce cytrusowe i ciepłolubne uprawy. Do najbar-

Ryc. 9. Kopalnia pumeksu na kopule Monte Pilato na Lipari widziana od północno-zachodniej strony.

dziej wartościowych należą liparyjskie kapary i winorośl. Na Salinie rosną dwie odmiany kaparów: nocella i nocellaria. Ich wysoką jakość doceniają mieszkańcy nie tylko samych wysp, ale i kontynentalnych Włoch. Nazwa wyspy Salina, pochodzi od dawnego jeziora solankowego, z którego sól używana była do konserwacji kaparów i usuwania z nich goryczy. Z tutejszych winogron wyrabiane jest wino malvasia di Lipari. Popyt na to wino o miodowym kolorze znacznie przewyższa podaż, stąd jego cena nie należy do niskich.

Kolejnym profitem dla mieszkańców archipelagu, są dochody uzyskane dzięki rozwojowi turystyki. Już od czasów Rzymian wierzono, że tutejsze gorące kąpiele błotne (wł. fanghi) skutecznie pomagają w leczeniu reumatyzmu, artretyzmu i różnych chorób skóry. Właśnie możliwość tego typu kuracji ściąga tu wielu turystów w sezonie letnim. Kąpieli błotnych można spróbować w Porto di Levante na Vulcano i w uzdrowisku San Calogero na Lipari. Obecnie dzięki rozwojowi transportu wodnego i pięknu krajobrazów, spopularyzowanych dzięki kręconym tu filmom fabularnym, Wyspy Liparyjskie w sezonie letnim oblegane są przez turystów. W końcu w ilu miejscach na świecie można bezpiecznie obejrzeć erupcję wulkanu, która nastąpi z dużym prawdopodobieństwem? A po takim widowisku natury, można opalać się na malowniczych plażach i skorzystać ze znakomitej włoskiej kuchni.

Pieniądze zostawiane przez turystów przyczyniają się do poprawy sytuacji materialnej mieszkańców, którzy w sezonie zimowym utrzymują się z letniego zarobku. Piękno wulkanicznego krajobrazu Wysp Liparyjskich, nie umknęło również wielkim artystom. Stromboli dodatkowo zawdzięcza swoją popularność dzięki filmowi nakręconemu przez Roberto Rosseliniego ze słynną kreacją Ingrid Bergman. Po emisji „Stromboli, ziemia Boga" (Stromboli: Terra di Dio), wyspa ta stała się bardzo popularnym celem turystycznym (ANDREWS i BROWN 2005). Na wysepce Lisca Bianca koło Panarei, Micheleangelo Antonioni kręcił część swojego filmu „Przygoda" (L'avventura).

Wbrew stereotypowym opiniom wyrażanym przez osoby słabo orientujące się w tematyce aktywności wulkanicznej, obszary w ich sąsiedztwie są dobrym miejscem zamieszkania i ciekawym celem turystycznym. Wyjątkiem mogą być tereny Alaski, Wysp Aleuckich, Kamczatka, ale w tym przypadku, trudy mieszkańców tych obszarów nie są związane z wulkanami lecz z ciężkimi warunkami klimatycznymi i biologicznymi. Wyspy Liparyjskie, dzięki swojemu położeniu w strefie klimatu śródziemnomorskiego, pozwalają na rozwój materialny ich mieszkańców. Ze względu na łagodny typ aktywności wulkanicznej (w większości już historycznej), archipelag ten ma duże walory poznawcze i estetyczne, które zachęcają każdego do turystycznych odwiedzin, przynajmniej raz w życiu.

WULKANY WYSP LIPARYJSKICH

Streszczenie

Archipelag Wysp Liparyjskich zlokalizowany około 35 km na północ od Sycylii, umiejscowiony jest wzdłuż aktywnego łuku wulkanicznego. Tworzy go 7 wysp wulkanicznych i 9 gór podmorskich. Aktywność wulkaniczna w tym rejonie związana jest z procesem subdukcji i dodatkowo kontrolowana jest przez lokalną tektonikę. Procesy wulkanizmu rozpoczęły się tu ok. 1.3 milionów lat temu (wulkany podmorskie na zachodzie) i trwają do dziś (wyspa Stromboli).

Poszczególne wyspy różnią się od siebie pod względem rozwoju strukturalnego i geochemicznego składu produktów aktywności wulkanicznej. Możliwość bezpośrednich obserwacji erupcji zachodzących na przestrzeni dwóch ostatnich stuleci, umożliwiło wulkanologom wyróżnienie dwóch typów wulkanicznych erupcji. Erupcje typu Vulcano i typu Stromboli wzięły swoje nazwy od nazw dwóch wysp (i jednocześnie wulkanów) wchodzących w skład archipelagu.

Zagrożenia geologiczne są wciąż obecne w tym rejonie, jednakże ich bezpośrednie efekty dotyczą przede wszystkim mieszkańców poszczególnych wysp. W związku z nasilającym się ruchem turystycznym, liczba osób zagrożonych skutkami wybuchu wulkanu jest potencjalnie coraz większa w porównaniu do sytuacji podczas ostatnich erupcji z XIX i XX wieku. Zagrożeniem geologicznym o największym niszczącym potencjale, jest możliwość osunięcia się do morza zachodniego zbocza Stromboli. Spowodowałoby to powstanie wysokich fal tsunami, które mogłyby wyrządzić wiele szkód w przybrzeżnych obszarach wysp i kontynentalnych Włoch.

Malownicza sceneria Wysp Liparyjskich przyciąga corocznie na nie wielu turystów. Jedną z największych atrakcji jest możliwość bezpośredniej obserwacji częstych i łagodnych erupcji wulkanicznych na wyspie Stromboli. Od czasów starożytnych żyzne gleby wytworzone na podłożu tufów wulkanicznych oraz niektóre z produktów aktywności wulkanicznej (obsydian, pumeks), przynosiły ekonomiczne korzyści żyjącej z handlu i rolnictwa lokalnej społeczności.

VOLCANOES OF AEOLIAN ISLANDS

Summary

The Aeolian Islands archipelago lies along an active volcanic arc located ca. 35 km north of Sicily. It comprises 7 volcanic islands and 9 seamounts. Subduction-related volcanic activity has additionally been controlled by the local tectonic regime. Magmatism has occurred during the Cenozoic from 1.3 Ma (western seamounts) until the present (Stromboli island). There is a variation in structural development and geochemical features of the volcanic products between the islands. Due to the possibility of direct observation of the eruptions on two islands during the last two centuries, volcanologists have distinguished two types of eruption. The terms vulcanian and strombolian eruption type were taken from the names of Vulcano and Stromboli islands, respectively. Volcanic hazards on the archipelago exist but their effects are restricted to the inhabitants of isolated islands. However, due to the increasing number of tourists visiting the Aeolian Islands every year, the number of potential deaths and injuries may be larger than during eruptions in the 20th century. The potentially most hazardous geological event is landslide that may form on the western slope of Stromboli. This can led to the formation of high tsunami waves which could destroy the coastal areas of neighbouring islands and continental Italy. The picturesque scenery of the Aeolian Islands makes the archipelago an attractive place for tourists. One of the main attractions is the possibility of watching usually mild, safe and frequent eruptions of Stromboli. From ancient times, fertile volcanic soils and some volcanic products (obsidian, pumice) have given local citizens profits from trade in the Mediterranean area.

LITERATURA

ANDREWS R., BROWN J., 2005. *Sicily*. Wyd. Rough Guides.

CALANCHI N., PECCERILLO A., TRANNE C., LUCCHINI F., ROSSI P. M., KEMPTON P., BARBIERI M., WU T. W., 2002. *Petrology and geochemistry of the Island of Panarea: implications for mantle evolution beneath the Aeolian island arc (Southern Tyrrhenian Sea, Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 115, 367–395.

COMPOSTRINI I., DEMARTIN F., GRAMACCIOLI C. M., 2010. *Vulcano: ein auβergewöhnlicher Fundpunkt von neuen und seltenen Mineralien.* Mineralien Welt H 3, 40–57.

CRISCI G. M., DE ROSA R., ESPERANCA S., MAZZUOLI R., SONNINO M., 1991. *Temporal evolution of a three component system: the Island of Lipari (Aeolian arc, southern Italy)*. Bull. Volcanol. 53, 207–221.

FRANCALANCI L., MANETTI P., PECCERILLO A., 1989. *Volcanological and magmatological evolution of Stromboli volcano (Aeolian Islands): the roles of fractional crystallization, magma mixing, crustal contamination and zource heterogeneity*. Bull. Volcanol. 51, 355–378.

GIONCADA A., MAZZUOLI R., BISSON M., PARESCHI M. T., 2003. *Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari-Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy) an example of volcanism controlled by tectonics*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 122, 191–220.

KELLER J., 1980. *The island of Vulcano*. Rendiconti Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia 36, 369–414.

KELLER J., 1980. *The island of Salina.* Rendiconti Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia 36, 489–524.

LUCCHI F., TRANNE C.A., CALANCHI N., ROSSI P.L., 2007. *Late Quaternary deformation history of the volcanic edifice of Panarea, Aeolian Arc.* Italy Bull. Volcanol. 69, 239–225.

MORRISEY M., MASTIN L. G., 1999. *Vulcanian eruptions.* [W:] *Encyclopedia of volcanoes.* SIGURDSSON H. (red.). Academic Press, 463–475.

PECCERILLO A., 2005. *Plio-Quaternary Volcanism in Italy: Petrology, Geochemistry, Geodynamics.* Springer Verlag.

PECCERILLO A., FREZOTTI M.L., DE ASTIS G., VENTURA G., 2006. *Modeling the magma plumbing system of Vulcano (Aeolian Islands, Italy) by integrated fluid-inclusion geobarometry, petrology and geophysics.* Geology 34, 17–20.

RITTMANN, A., 1931. *Der Ausbruck des Stromboli am 11 september 1930*. Zeits. Vulkanol. 14, 47–77.

SANTO A.P., 1999. *Volcanological and geochemical evolution of Filicudi (Aeolian Islands, south Tyrrhenian Sea, Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 96, 79–101.

VERGNIOLLE S., MANGAN M., 1999. *Hawaiian and strombolian eruptions.* [W:] *Encyclopedia of volcanoes.* SIGURDSSON H. (red.). Academic Press, 447–461.

ZRALEK P., 2003). *Sycylia — przewodnik*. Oficyna Wydawnicza Rewasz.