

ISLANDIA – UNIKATOWA KRAINA TRZECH ŻYWIOŁÓW

Marzena Kohut, Monika Kwaśniak (Kraków)

Nie ma drugiej takiej krainy, gdzie spotykają się i współgrają ze sobą takie żywioły jak gorące lawy wulkanów, zimne i stateczne lodowce oraz wiatr, który nie daje chwili wytchnienia wędrowcom... Wielkie wrażenie na każdym odwiedzającym Islandię wywiera już pierwszy obraz bezkresu otaczającej przestrzeni. Krajobraz pozbawiony jest drzew i wysokich budowli, co znacząco utrudnia określanie odległości. Odczuwanie ogromnej przestrzeni, ograniczonej jedynie znikającymi w chmurach wulkanami nie ustaje bez względu na odwiedzane miejsca, jak i na zmienną pogodę (Ryc. 1).



Ryc. 1. Krajobraz Islandii. Fot. M. Kwaśniak.

Islandia jest wyspą położoną na Oceanie Atlantyckim, należącą geograficznie i politycznie do Europy Północnej. Pierwszymi ludźmi, którzy zamieszkivali Islandię byli irlandzcy mnisi, którzy osiedlili się tam najprawdopodobniej w VIII w. Nie istnieją jednak żadne archeologiczne dowody irlandzkiego osadnictwa. Dysponujemy jedynie wzmiankami ze starych ksiąg, mówiącymi o obecności Irlandczyków na wyspie. Przypuszcza się, że mnisi opuścili Islandię na krótko przed przybyciem Normanów, którzy stopniowo skolonizowali wyspę w latach 870–930. Islandia była przez to ostatnim zasiedlonym krajem europejskim. Głównym źródłem informacji na temat zasiedlania Islandii jest Landnámabók (Księga Osadnictwa), napisana w XII w., która daje nam szczegółowy opis pierwszych osadników. Za pierwszego, islandzkiego osadnika uważa się Ingólfura Arnarsona, którego farma znajdowała się w miejscu obecnej stolicy Islandii – Reykiavíku. Również demokracja rozwinęła się na Islandii niemalże równocześnie z zasiedlaniem wyspy. Już w X wieku praktykowano rządy ludu. Raz do

roku organizowany był tzw. Althing, czyli zgromadzenie wolnych mieszkańców Islandii, gdzie każdy mógł decydować o prawie i losach swojego narodu. Położenie wyspy i niesprzyjający klimat spowodował, iż napływ nowych mieszkańców na wyspę był ograniczony. Dzięki długoletnim tradycjom spisywania dziejów islandzkich rodzin w księgach, tzw. Sagach, Islandczycy mogą się poszczycić szczegółową wiedzą o swoich przodkach i ich zwyczajach.



Ryc. 2. Uczestnicy Wyprawy na lodowcu Eyjafjallajökull. Fot. M. Kwaśniak.

Ta jedyna w swoim rodzaju wyspa stała się celem dla studentów Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w czasie wyprawy Studenckiego Koła Naukowego Geologów (SKNG) AGH w sierpniu 2010 roku. Młodzi geolodzy wraz z opiekunami mieli okazję przemierzyć Islandię, poznając zarówno przepiękną przyrodę, jak i złożoną geologię. Wyprawa geologiczna członków SKNG AGH, studentów z amerykańskiego Uniwersytetu w Utah oraz przedstawicieli szwedzkiego Uniwersytetu w Uppsali, trwała ponad 14 dni. W trakcie wyjazdu najważniejsze z geologicznego punktu widzenia miejsca zostały odszukane i sfotografowane, m.in. monumentalne wulkany, doliny ryftowe, gejzery, lodowce i wiele innych (Ryc. 2). Chęć utrwalenia wspomnień, spisania zdobytych informacji i doświadczeń stała się przyczynkiem do napisania niniejszej opowieści o urokach, ale także o genezie, geologii i wulkanizmie tej krainy.

Położenie Islandii i jej geneza związane są z efektem działania dwóch procesów geologicznych. Wulkaniczna aktywność ryftu oceanicznego biegnącego

pośrodku Oceanu Atlantyckiego i przecinającego Islandię, jest potęgowana działalnością prawdopodobnej plamy gorąca (z ang. *hot spot*), transportującej magmę z płaszcza Ziemi. Ta złożona geneza i efektowne zjawiska wulkaniczne przyciągają turystów i naukowców z całego świata.



Ryc. 3. Ryft oceaniczny w Lakagigar. Fot. M. Kwaśniak.

Zgodnie z teorią tektoniki płyt litosfery, skorupa ziemska składa się z płyt oceanicznych i kontynentalnych o różnych właściwościach, które oddziałują wzajemnie na siebie. W zależności od typu granicy między płytami różne zjawiska i procesy geologiczne występują w strefach ich kontaktu. Teoria ta tłumaczy zmiany w wielkości i położeniu kontynentów i mórz na Ziemi. W triasie istniał jeden wielki superkonty-



Ryc. 4. Oddzielność słupowa bazaltu islandzkiego. Fot. M. Kwaśniak.

nent Pangea, który pękając, podzielił się na mniejsze kontynenty oddzielone morzami i oceanami. Na przełomie wczesnej i środkowej jury można mówić o powstaniu Atlantyku, który po dziś dzień stale się rozszerza. Dzieje się tak ponieważ pośrodku Atlantyku, aktywna strefa ryftowa oddalająca od siebie kry

litosfery, powoduje wylewanie się świeżych porcji magmy i rozszerzanie się dna oceanicznego (ang. *spreading*). Granica między rozchodzącymi się płytami nazywana jest granicą dywergentną. Islandia, jako wyspa, pojawiła się na Atlantyku około 25 milionów lat temu. Z punktu widzenia życia człowieka jest to bardzo długi okres, jednak biorąc pod uwagę czas geologiczny jest to jedna z młodszych wysp na Ziemi. Dla uzmysłowienia sobie skali czasu dobrym przybliżeniem jest porównanie wieku Ziemi (4,5 miliarda lat) do jednego roku. Wtedy Islandia istniałaby jedynie dwa dni, pięć godzin temu miałoby miejsce pierwsze zlodowacenie, a minutę temu ustąpiłoby, rozpoczynając najmłodszą epokę geologiczną – Holocen.

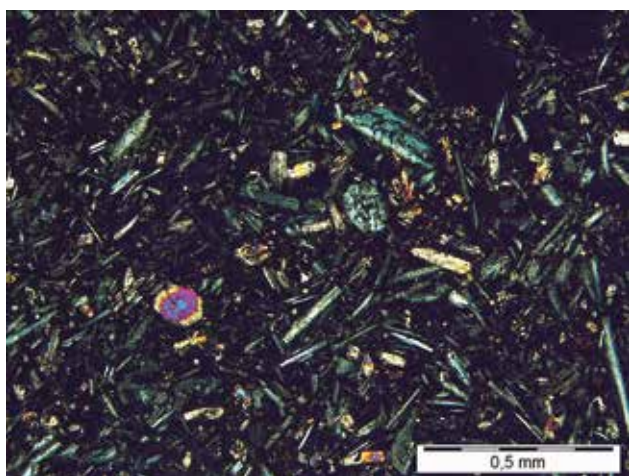


Ryc. 5. Słupy bazaltowe tworzące wybrzeże klifowe. Fot. M. Kwaśniak.

W przypadku Islandii, istotne jest jej jednoczesne położenie na ryfcie oceanicznym i nad plamą gorącą. Ten ostatni element związany jest z ruchem konwekcyjnym gorącej, plastycznej materii w płaszczu Ziemi. Badania geofizyczne potwierdziły, że płaszcz ziemski nie jest płynny, jednakże w pewnych specyficznych warunkach ciśnienia, temperatury lub pod wpływem rozтворów może ulec częściowemu przetopieniu. Ryft rozcinający Islandię ma kierunek SW-NE i rozdziela płyty Północnoamerykańską oraz Euroazjatycką. Ich bliskość pozwala turystom na stąpanie jedną nogą po kontynencie amerykańskim a drugą po europejskim. Rozkład wieku skał jest symetryczny w stosunku do biegnącego przez środek wyspy Grzbietu Śródatlantyckiego. Najmłodsze skały znajdują się w centralnej części wyspy wzdłuż biegnącego ryftu, podczas gdy najstarsze stanowią wschodnie i zachodnie obrzeża wyspy. Dawny ryft oceaniczny można podziwiać na powierzchni wyspy (Ryc. 3).

W zależności od tego, z jakiego środowiska geotektonicznego pochodzi dana skała, czy jest to plama gorąca, strefa subdukcji czy ryft będzie ją charakteryzować odmienny skład chemiczny i mineralny. Dlatego też, badając różne skały z wielu miejsc na

Ziemi możemy wnioskować o tym, w jakich tworzyły się one warunkach. Środowisko geotektoniczne Islandii, czyli połączone wpływy ryftu i plamy gorąca, charakteryzuje występowanie skał wulkanicznych, głównie bazaltów. Bazalty te powstają w skutek przetopienia części płaszcza spowodowanego dekompresją (zmniejszenia ciśnienia). Dna wszystkich oceanów na świecie zbudowane są z bazaltów. Stąd też na Islandii skały bazaltowe pokrywają około 90% powierzchni wyspy. Są to skały wylewne, czyli powstające na skutek zastygania lawy, która wydostała się na powierzchnię Ziemi. Zastygając, lawa tworzy piękne bazalty o oddzielności słupowej (Ryc. 4, 5) Słupy bazaltowe zastygają prostopadle do rozciągłości pokryw lawowych. Dzięki temu można śledzić kierunki wylewających się law i określać sekwencje skalne w profilach geologicznych.



Ryc. 6. Obraz mikroskopowy bazaltu w świetle przechodzącym i przy skrzyżowanych polaryzatorach. Fot. M. Kohut.

Bazalty oglądane gołym okiem to ciemne, czarne lub szare skały, drobnokrystaliczne, o masywnej, jednolitej i zbitej lub pęcherzykowatej strukturze. Magma bazaltowa jest uboga w krzem. Przykładowy obraz mikroskopowy bazaltu przedstawiony jest na ryc. 6. Widoczne są kryształy plagioklazów, piroksenów i oliwinów w ciemnym i szklistym tzw. cieście skalnym oraz pustki (czarne) po pęcherzykach gazów. Bazalty powstają poprzez szybkie zastyganie lawy, dlatego niektóre minerały nie są w stanie wykrystalizować się do końca, tworząc ciasto skalne.

Oprócz najpopularniejszych na Islandii bazaltów można znaleźć na wyspie również skały o zupełnie innym składzie chemicznym i pochodzeniu. Są to skały kwaśne z dużą zawartością krzemionki. W przeciwieństwie do bazaltów nie są charakterystyczne dla ryftów oceanicznych, natomiast są one charakterystyczne dla powstawania skorupy kontynentalnej. Skąd zatem obecność granitoidów na

Islandii? Przypuszcza się, że magma, która jest źródłem tych skał, nie pochodzi wprost z wnętrza Ziemi, z głębokich stref płaszcza, lecz powstała na skutek częściowego przetopienia starych, bazaltowych skał Islandii. Można więc wnioskować, że na Islandii obserwujemy początek kształtowania się mikrokontynentu. Wśród produktów magmowych, prócz wspomnianych bazaltów i granitoidów na Islandii można również spotkać wystąpienia szkliwa wulkanicznego, czyli obsydianu, pumeksu, a także inne ciekawostki mineralogiczne jak wystąpienia szpatu islandzkiego oraz zeolitów.

Fragmenty wyspy zbudowane ze skał kwaśnych są znacznie jaśniejsze od młodych bazaltowych pokryw. Przykładem występowania skał ryolitowych są góry Landmanalaugar, czyli Góry Tęczowe. Jak sama nazwa wskazuje – w górach tych przy dobrej pogodzie dostrzec można całą paletę barw – od żółtego, pomarańczowego, czerwonego po zielony, niebieski i szary. Na tle jasnych ryolitów powstają różnokolorowe pokrywy pod wpływem gorących źródeł i wyziewów gazów wulkanicznych o zmiennym składzie chemicznym. Wszystko to porośnięte jest niską roślinnością, głównie mchami, porostami i trawą (Ryc. 7, 8).

Wszystkie ciekawe skały i minerały Islandii nie byłyby w pełni poznane i opisane bez uwzględnienia samej istoty wulkanizmu, jaki ma miejsce na wyspie. Wiele systemów wulkanicznych wykazuje okresową aktywność, dlatego erupcje czynnych wulkanów są stosunkowo przewidywalne. Inne wulkany pozostają w stanie uśpienia przez setki lat. Oprócz wielkich erupcji, słynnych na cały świat, lecz stosunkowo rzadkich, zdarzają się codziennie wstrząsy sejsmiczne o sile nie przekraczającej magnitudy 3. Na Islandii prowadzony jest ciągły monitoring zjawisk sejsmicznych, którego efekty publikowane są niczym mapy prognoz pogody z rozmieszczeniem ognisk wstrząsów w postaci kolorowych punktów, gdzie kolorami zaznaczona jest siła wstrząsu w skali Richtera i skala czasu.

Pomimo dokładnie prowadzonego monitoringu, trudno jest odpowiedzieć na pytanie, ile wybuchów wulkanów miało miejsce na Islandii, do tej pory. Korzystając ze średniej ilości wstrząsów notowanych w ostatnich kilkuset latach można wykonać pewne przybliżone obliczenia. Okazuje się, że na każde pięć lat zdarza się jeden wybuch wulkanu. Daje to zatem 200 erupcji w przeciągu tysiąca lat. Zatem od początku istnienia Islandii, czyli od 25 milionów lat, wulkany wybuchały prawdopodobnie około 5 milionów razy. Obecnie można wyróżnić około trzydzieści czynnych systemów wulkanicznych, a podwyższoną aktywność wykazują: Eyjafjallajökull, który wybuchł w roku 2010, wulkan Katla, który zwykle wybucha

w niedługim czasie po Eyjafjallajökull; wulkan Hecla, który wybucha co około 10 lat, a ostatnie erupcje miały miejsce w 2000, 1991 i 1980 roku, oraz wulkany: Laki, Askja, Krafla, aż po wulkan Grimsvotn którego ostatnia erupcja miała miejsce w 2011 roku.

Wspomniane wody termalne oraz wody mineralne i lecznicze Islandii są powszechnie wykorzystywane do balneoterapii, zwłaszcza w przypadku przewlekłych chorób skóry. Unikatowy skład chemiczny wód oraz wysokie temperatury zachęcają zarówno miesz-



Ryc. 7. Wielobarwne Góry Landmanalaugar. Fot. I. Klonowska.

Położenie Islandii i związana z tym aktywność wulkaniczna niosą za sobą także wiele pozytywnych aspektów. Zjawiskom wulkanicznym towarzyszą źródła gorących i wysoko zmineralizowanych wód, bogatych w cenne pierwiastki i sole mineralne, które stały się nie tylko wielką atrakcją turystyczną na licznych kąpieliskach, ale także podstawą do pozyskiwania czystej i taniej energii. Mieszkańcy wyspy mogą w sposób niemal nieograniczony korzystać z bogatych zasobów energii geotermalnej. Geotermia jest na Islandii stosowana na szeroką skalę i w myśli idei zrównoważonego rozwoju, umiejętnie gospodarowana. Jest ona wykorzystywana do ogrzewania blisko 95% budynków, oraz do produkcji energii elektrycznej, a także do podgrzewania dróg i chodników w porze zimowej. Zasoby tej czystej i odnawialnej energii są na tyle duże, że rząd Islandii rozważa budowę największego na świecie podmorskiego kabla elektrycznego, dzięki któremu Islandia będzie mogła sprzedawać energię geotermalną innym krajom europejskim. Stanowiłoby to dużą pomoc dla gospodarki tego kraju, która mocno ucierpiała wskutek krachu finansowego w 2008 r., jak i w walce ze skutkami wybuchu wulkanu Eyjafjallajökull w 2010 r.

kańców jak i turystów do chwili relaksu. Naturalne składniki islandzkich wód leczniczych takie jak sole mineralne, siarka, krzemionka, a także organizmy żywe jak algi, są znane ze swoich silnych właściwości leczniczych, rewitalizacyjnych i upiększających. Na Islandii znajduje się 130 odkrytych basenów. Wszystkie są zasobne w termalną wodę, o temperaturze oscylującej w granicach 38–40 stopni Celsjusza. Oprócz tego można zaznać kąpeli w niezagospodarowanych jeszcze przez człowieka źródłach ciepłych wód. Wielkim bogactwem Islandii są również wody płynące, których koryta rzeczne niejednokrotnie tworzą ogromne wodospady, wcinające się w pokrywy lawowe. Największym wodospadem na Islandii, a także w całej Europie jest Wodospad Dettifoss, a jednym z najpiękniejszych Svartifoss (z islandzkiego „czarny wodospad”, Ryc. 9).

Kolejnym pozytywnym aspektem wulkanizmu islandzkiego jest intensywnie rozwijająca się geoturystyka, bowiem oprócz bogactwa pięknych i unikatowych w skali światowej widoków, spotkać można również takie atrakcje jak gejzery, fumarole i solfatarie. Gejzery to rzadko występujące gorące źródła, wyrzucające gwałtownie i cyklicznie słup wody

i pary wodnej na wysokość około 30–70 metrów. Woda z gejzerów ogrzewana jest dzięki znajdującej się blisko powierzchni gorącej magmie. Kręte kanały skalne doprowadzające gorącą wodę na powierzchnię sprawiają, że nie wypływa ona swobodnie. Pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym woda wrze w temp. 100 stopni Celcjusza, jednak gdy ciśnienie



Ryc. 8. Góry Landmanalaugar. Na pierwszym planie zbocze porośnięte roślinnością, na drugim różnokolorowa zwierzelina skalna. Jezioro powstało w wyniku wybuchu wulkanu i utworzeniu się zagłębienia. Fot. M. Kwaśniak.

otoczenia rośnie, wzrasta również punkt wrzenia wody. Uwięziona pod ziemią woda gejzeru osiąga zatem o wiele wyższe temperatury, niż 100°C. Gdy temperatura wrzenia zostaje osiągnięta, część wody zostaje wypchnięta do góry i wydostaje się na zewnątrz w postaci słupa wody i pary (Ryc. 10). Po eksplozji woda ponownie zaczyna wypełniać kanały. Cykl powtarza się w regularnych odstępach. Sama nazwa „gejzer” pochodzi od pierwszego odkrytego gejzeru „Geysir”, co w języku islandzkim oznacza „tryskać, wybuchać”. Obecnie najstarszy gejzer jest w stanie uśpionia, natomiast największym czynnym gejzerem na Islandii jest Strokkur, (z islandzkiego „baryłka na masło”), który wybucha co około 15–20 minut i wyrzuca słup wody na wysokość 30 m.

Niestety, oprócz pięknego krajobrazu i licznych zjawisk geologicznych nie należy zapominać o tym, że wulkany to także (a może nawet przede wszystkim) wielkie zagrożenie dla ludzi. Począwszy od wylewów gorącej lawy, zmiatającej i pokrywającej wszystko, co znajduje się na jej drodze, przez wybuchy pyłów wulkanicznych, osiadających w niewyobrażalnych ilościach na terenach położonych w sąsiedztwie erupcji, po powodzie, pochodzące z topniejących lodowców przykrywających szczyty wulkanów. W czasie erupcji znacząco wzrasta temperatura, wezbrane wody lodowcowe zalewają ogromne powierzchnie lądów, zabierając ze sobą drogi, mosty i domy. Dane historyczne podają, że podczas wybuchu

wulkanu Laki w 1783 roku wyginęła 1/3 populacji mieszkańców Islandii, a lava, która rozlała się na pola uprawne doprowadziła do klęski głodu.

Ostatnia głośna erupcja wulkanu na Islandii miała miejsce tuż przed naszą wyprawą w 2010 roku. W trakcie przygotowań do wyprawy, dokładnie 20 marca 2010 roku, po 187 latach ciszy, podlodow-



Ryc. 9. Jeden z najpiękniejszych wodospadów Islandii – Svartifoss. Czarne, heksagonalne kolumny bazaltowe są tłem dla wód wodospadu. Fot. I. Klonowska.

cowy wulkan Eyjafjallajökull w południowej Islandii dał o sobie znać. Po uwzględnieniu tego nie planowanego wcześniej miejsca w naszej trasie, udaliśmy się z wielkim entuzjazmem na spotkanie z najmłodszym aktywnym wulkanem Islandii. Kilka miesięcy po wybuchu pobraliśmy próbki popiołów i lawy wulkanicznej. Cała okolica pokryta była czarnym pyłem wulkanicznym, tworząc krajobraz księżycowy. Wulkan otacza płaska przestrzeń poprzecinana ciekami wód lodowcowych oraz z „kraterami” popiołów czasem wypełnionymi wodą. Już z oddali widoczne było wzniesienie wulkanu ze szczątkowym jęzorem lodowca, również mocno przybrudzonego przez materiał wulkaniczny (Ryc. 11). Przy okazji wybuchu wulkanu Eyjafjallajökull cały świat miał okazję przekonać się o szkodliwości pyłu wulkanicznego. Podczas erupcji chmura gorącego pyłu i popiołu częściowo opadała w niedalekiej okolicy wulkanu, a najdrobniejsze cząstki unoszą się w atmosferze, wędrując na dalekie odległości. Co więcej, po przejrzeniu danych historycznych dotyczących wybuchów poszczególnych wulkanów na Islandii okazuje się, że przy każdej erupcji Eyjafjallajökull miała miejsce w niedalekim odstępie czasu erupcja sąsiedniego, o wiele groźniejszego wulkanu Katla. Stąd też oczy wulkanologów z całego świata nie bez powodu skierowane są obecnie na Islandię. Dzięki prowadzonemu stałemu monitoringowi wiadomo jest, że w 1994, 1999 i na początku 2010 roku obserwowano liczne wstrząsy sygnalizujące, że magma z wnętrza Ziemi powoli przesuwa się ku górze. Pierwsza erupcja

rozpoczęła się 20 marca 2010 roku i wtedy to bazaltowa lawa – wylała się u boku góry, na obszar Fimmvorduhals. Po 24 dniach wszelkie zjawiska ucichły, aby dokładnie 14 kwietnia ruszyć z nową mocą. Przez centralny komin wulkanu wydostała się lawa i ogromna ilość materiału piroklastycznego, o nieco odmiennym

Na koniec serdeczne słowa podziękowania dla pomysłodawcy wyjazdu i wielu ciekawych badań naukowych, Profesora Macieja Maneckiego, głównego organizatora i opiekuna geologicznej wyprawy Studentckiego Koła Naukowego Geologów AGH. Bez doświadczeń i zaangażowania Profesora wyprawa



Ryc. 10. Wybuchający gejzer Strokkur znajdujący się w dolinie Haukadalur, na terenie tego samego pola geotermalnego co gejzer Geysir. Fot. M. Manecki.

składzie chemicznym. Wtedy to w większości Europy został zamknięty ruch lotniczy na wiele dni z powodu unoszącego się drobnego pyłu.

Nie tylko każdy geolog, ale i wszyscy zainteresowani wulkanizmem i zjawiskami z nim związanymi oraz żądni przygód turyści powinni bezwzględnie odwiedzić Islandię. Unikatowe zjawiska przyrodnicze, takie jak aktywne wulkany, wodospady, gejzery, gorące źródła to tylko niektóre przykłady atrakcji czekających na podróżników. Do odwiedzenia zachęca również ciekawa kultura, malownicze miasteczka oraz miejscowa ludność o ciepłym i gościnnym usposobieniu. Choć pogoda może nie sprzyjać turystom z powodu stosunkowo niskich temperatur, wiatru i częstych opadów, niemal każdy, kto choć raz stanie na Islandii, zachwyci się jej urokiem i będzie tu wracał raz po raz, za każdym razem odkrywając tę wyspę na nowo.

ta nie odbyłaby się. Dziękujemy również wszystkim uczestnikom za pełną serdeczności atmosferę, uśmiech pomimo złej pogody i zimna oraz za niezapomniane wspomnienia.



Ryc. 11. Jeden z jeziorów lodowca Eyjafjallajökull kilka miesięcy po wybuchu wulkanu. Fot. M. Kwaśniak.

Marzena Kohut, studentka Geologii na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Laureatka wielu konkursów i stypendystka takich fundacji jak Fundusz stypendialny fundacji PGNiG im. Ignacego Łukasiewicza, Sapere Auso – Małopolska Fundacja Stypendialna, oraz Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Obecnie studiuje równoległe na AGH i na Uniwersytecie w Uppsali, oraz uczestniczy w projekcie badawczym dotyczącym bazaltów z Cape Verde.

Monika Kwaśniak, doktorantka w Katedrze Mineralogii, Petrografii i Geochemii Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej. Obecnie zajmuje się krystalochemią apatytów ołowiowych. W trakcie studiów magisterskich uczestniczyła w geologicznej wyprawie polarnej na Spitsbergen, gdzie uczestniczyła w projekcie badawczym dotyczącym wietrzenia minerałów w młodych glebach polarnych. Laureatka nagród i wyróżnień, m.in. Sapere Auso – Małopolskiej Fundacji Stypendialnej.