

Wędrówka geologiczna po południowo-zachodnim wybrzeżu Portugalii

Katarzyna Poborska-Młynarska¹



Geological peregrination in the south-west coast of Portugal. Prz. Geol., 68: 751–757.

Abstract. Portugal as a country of outstanding geological interest was the goal of a scientific expedition of the Polish Salt Mining Association in September 2019. The paper presents the outline of the geology of Portugal, especially the Lusitanian and Algarve sedimentary basins, and the main geological sites along the route of the expedition, i.e. sites documenting stratigraphy and tectonics of the Mesozoic and Cenozoic formations on the central-western and southern Atlantic coast, sites related to the occurrence of salt diapirs and salt tectonics, salines and monuments of nature with preserved dinosaur footprints. Moreover, as Portugal is a country of high seismic activity, the history of the largest earthquake in historical times in the Lower Tagus Valley is presented.

Keywords: Portugal, geological sites, Lusitan Basin, Algarve Basin, dinosaur traces, Jurassic salt diapires, salinas

Portugalia liczy ponad 10 mln mieszkańców i zajmuje ok. 92 tys. km² w zachodniej części Półwyspu Iberyjskiego. Ma zasobne złoża rud cynku, cyny, wolframu, srebra oraz miedzi i najbogatsze w Europie złoża litu. Ważną rolę w gospodarce państwa odgrywają ponadto złoża soli kamiennej, piryty i marmurów (www.azomine overview). Kraj ten jest znany z bogatej historii i kultury, a turystom kojarzy się zwykle z sanktuarium maryjnym w Fatimie, perełkami architektury późnogotyckiej, mozaikami na fasadach budynków, a także z dobrym winem, kuchnią bogatą w frutti di mare i wyrobami z kory dębu korkowego. Dla geologów jest zaś niezwykle interesujący ze względu na efekty różnych procesów, które wpisały się w złożoną geologiczną historię zachodniej Europy i ukształtowały krajobraz Portugalii. We wrześniu 2019 r. ten interesujący pod względem geologicznym i górniczym kraj, stał się celem wyprawy naukowej Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. Trasa wycieczki wiodła przez dwa mezozoiczo-kenozoiczne baseny sedymentacyjne: luzytański i Algarve, w których odnaleziono tropy dinozaurów; klify zachodniego i południowego wybrzeża Portugalii; estuarium Tagu; odsłonięcia ewaporatów w łańcuchu górskim Arrábida oraz saliny w środkowo-zachodniej i południowej części kraju (ryc. 1). W artykule opisano ważniejsze stanowiska geologiczne, które odwiedziono podczas tej wyprawy.

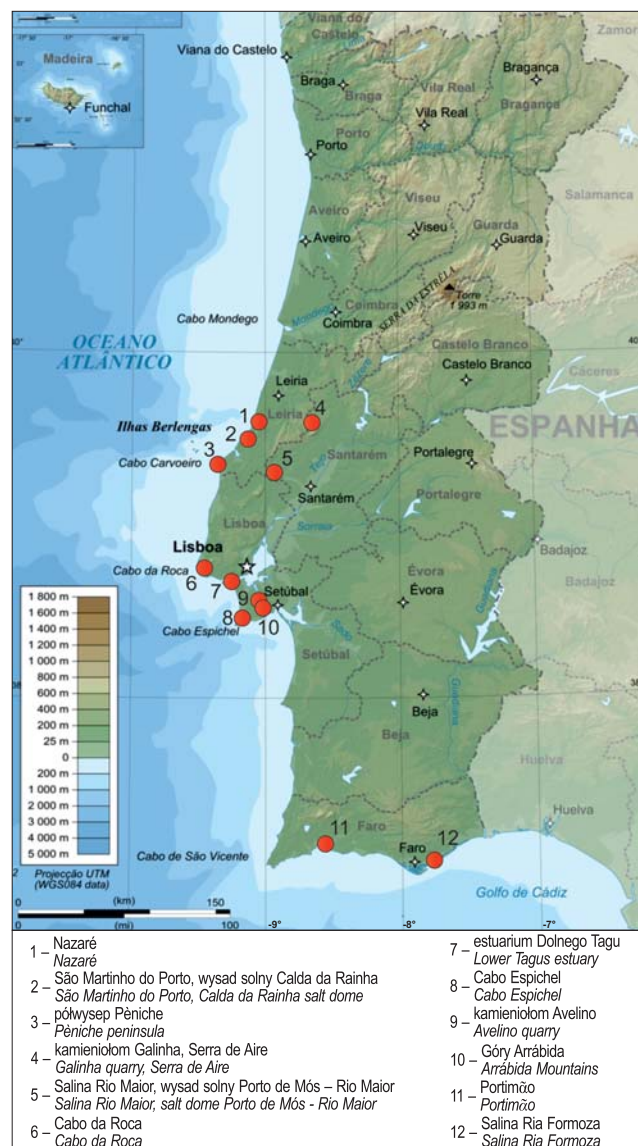
ZARYS GEOLOGII PORTUGALII

Głównymi jednostkami geologicznymi Portugalii są masyw iberyjski i mezozoiczo-kenozoiczne baseny sedymentacyjne stanowiące jego pokrywę osadową (Oliveira



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk geologicznych opisanych w artykule (mapa Portugalii wg Bourrichon, 2009, zmieniiona)

Fig. 1. Location of geological sites discussed in the article (map of Portugal according to Bourrichon, 2009, modified)



¹ Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; kpm@agh.edu.pl

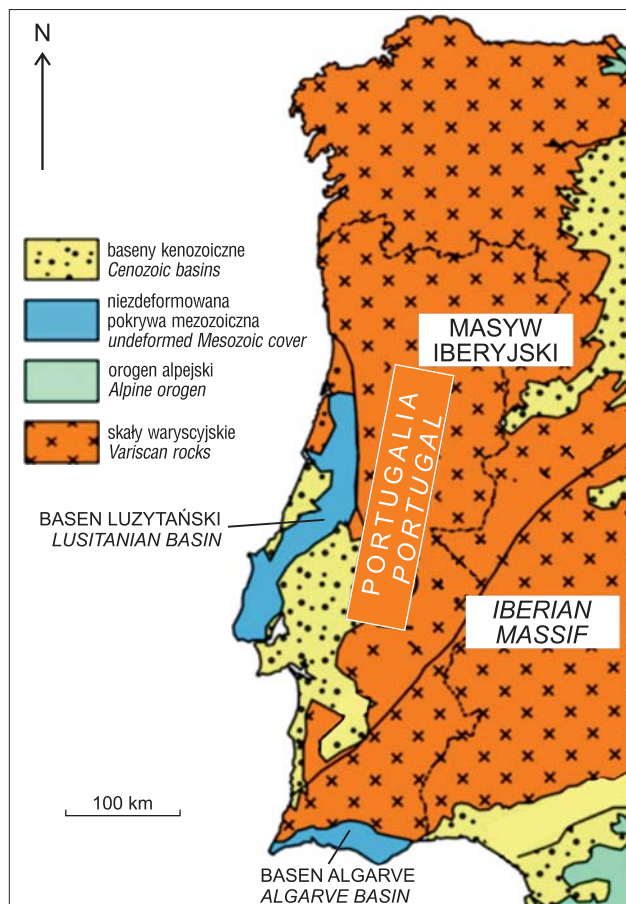
i in., 2009). W skałach masywu zapisały się ślady wielu zdarzeń geologicznych zachodzących od orogenezy waryscyjskiej po czasy współczesne. Jest on największym pasmem orogenu waryscyjskiego w południowo-zachodniej Europie (Simancas i in., 2005). Od zachodu i południa portugalską część tego masywu otaczają mezozoiczno-kenozoiczne baseny sedimentacyjne, usytuowane wzdłuż wybrzeża Atlantyku. Na lądzie największy obszar zajmuje basen luzytański (ryc. 2), drugie miejsce ma pod tym względem basen Algarve, którego większa część kryje się pod wodami oceanu. Kilka podobnych basenów osadowych znajduje się już poza linią brzegową – w przybrzeżnej strefie Atlantyku. Znaczną rolę w kształtowaniu warunków sedimentacji w tych basenach odegrała intensywna tektonika solna, prowadząca do powstania licznych struktur solnych, angażująca sole formacji solonośnych osadzonych na pograniczu triasu i jury (Oliveira, Quesada, 2019). Kompleksy skał mezozoicznych, które wypełniają te baseny, dostarczają cennych informacji stratygraficznych i paleozoologicznych. Udokumentowano w nich liczne skamieniałości śladowe (od wczesnojurajskich po górno-kredowe), spośród których szczególnie słynne są ślady dinozaurów.

Na obszarze Portugalii i całego Półwyspu Iberyjskiego zachowały się świadectwa zdarzeń tektoniki globalnej, np. kolizji północnej Gondwany z Laurussią i zamknięcia oceanu Reik w wczesnym dewonie, stopniowego otwierania się północnej części środkowego Atlantyku od jury do późnej kredy oraz wykształcania się płyty iberijskiej w jurze i kredzie oraz jej przyłączenia do płyty euroazjatyckiej w paleocenie. Współcześnie na południowym zachodzie Półwyspu Iberyjskiego zaznacza się aktywność sejsmotektoniczna spowodowana kolizją płyty afrykańskiej i euroazjatyckiej, która trwa od późnej kredy do dziś (Salah, 2014).

Portugalska linia brzegowa Atlantyku, licząca ponad 800 km, stała się polem badań współczesnych procesów rozwoju i niszczenia klifów na skutek abrazji oraz przybrzeżnej sedimentacji. Na klifowym wybrzeżu Portugalii rozpoznano ciągle profile litostratygraficzne jury. Badania środowisk sedimentacji tych sekwencji osadowych dostarczają danych na temat ewolucji Protoatlantyku (Duarte i in., 2017).

WYBRZEŻE ZACHODNIE

Wzdłuż środkowego odcinka zachodniego wybrzeża Portugalii rozciąga się mezozoiczno-kenozoiczny basen luzytański. Ma on ponad 340 km długości i prawie 130 km szerokości. Większa część tego basenu (ok. 2/3) zajmuje obszar lądowy. Pozostały fragment znajduje się na szelfie kontynentalnym (Pena dos Reis, Pimentel, 2010; Kullberg i in., 2006). Basen ten wypełniają osady mezozoiku (od późnego triasu do późnej kredy), wśród których wydziela się pięć dużych sekwencji osadowych, rozdzielonych powierzchniami nieciągłości. Geodynamiczna ewolucja tego basenu obejmuje kilka epizodów ryftingu. Pierwszy nastąpił w zachodniej części oceanu Tetydy w późnym triasie, drugi był związany z otwieraniem się środkowego Atlantyku i trwał od późnej jury do wczesnej kredy. Trzeci doprowadził do rozłamu i dryftu skorupy (od wczesnej do późnej kredy). Podczas czwartego epizodu, kontynuującego się przez cały kenozoik, na skutek intensywnego wypiętrzenia w środkowej części basenu nastąpiła inwersja strukturalna i erozja. Wydarzenia te dały początek dwóm



Ryc. 2. Główne jednostki geologiczne Portugalii (wg Gómez i in., 2019, zmienione)

Fig. 2. Main geological units in Portugal (after Gómez et al., 2019, modified)



Ryc. 3. Widok z Sítio na dolną część miasta Nazaré i plażę.

Fot. G. Czapowski

Fig. 3. View from Sítio on the lower part of the Nazaré city and the beach. Photo by G. Czapowski



Ryc. 4. São Martinho do Porto – kolista zatoka nad diapirem solnym.
Źródło: Google Earth Pro

Fig. 4. São Martinho do Porto – circular bay on top of salt diapir.
Source: Google Earth Pro



Ryc. 6. Klifowe wybrzeże na przylądku Cabo da Roca. Fot. K. Poborska-Młynarska
Fig. 6. The cliff coast at Cabo da Roca. Photo by K. Poborska-Młynarska

głównym basenom neogeńskim: Mondego i dolnego Tagu (Pena dos Reis, Pimentel, 2010).

W trakcie wyprawy odwiedziono 4 stanowiska reprezentujące budowę geologiczną basenu luzytańskiego. Były to (idąc od północy): wybrzeże Nazaré, zatoka São Martinho do Porto, półwysep Pêniche i przylądek Cabo da Roca (ryc. 1).

Nazaré jest nadmorskim miasteczkiem rozciętym przez uskoki o tej samej nazwie, który przebiega prostopadłe do wybrzeża. Starszą dzielnicę miasteczka, zwaną Sítio, wzniesiono na wysokim klifie (ok. 110 m n.p.m.) na N od uskoku, a nowszą – wraz z portem rybackim, kurortem i plażą – zbudowano na niskim brzegu nad zatoką (ryc. 3). Na dnie zatoki Nazaré znajduje się podmorski kanion o biegu wschód–zachód. Takie ukształtowanie dna sprawia, że u wybrzeży miasteczka powstają wielkie i słynne już fale wykorzystywane do surfing. W profilu stratygraficznym klifu Nazaré ponad powierzchnią nieciągłości, utworzoną na skutek rozłamu skorupy we wczesnej kredzie (apt), odsłania się późnokredowa sekwencja osadowa. Obejmuje ona utwory od aptu (dolna kreda) po mastrycht (koniec górnej kredy).

Miasteczko i zatoka São Martinho do Porto znajdują się w odległości ok. 10 km na południe od Nazaré. Zatoka São Martinho do Porto słynie z niezwykle regularnego,

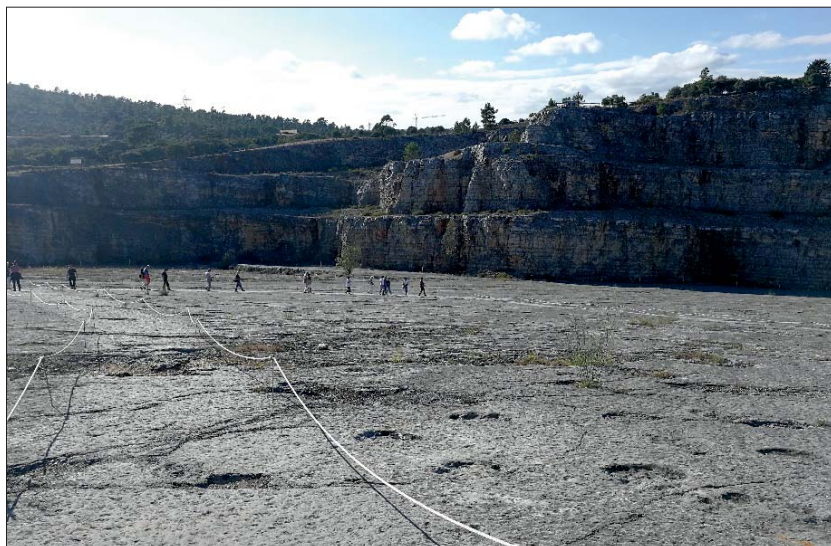
półkolistego kształtu (ryc. 4). Od oceanu oddziela ją bariera skalna, rozcięta wąskim przesmykiem doprowadzającym do niej wodę. Zatoka ta powstała na skrzydle potężnej struktury solnej – w depresji, jaka utworzyła się ponad zachodnią ścianą muru solnego Caldas da Rainha, który ciągnie się przez dziesiątki kilometrów w kierunku NNE-SSW. Bariere skalną tworzą zapadające ku zachodowi utwory górnej jury (oksford, kimeryd), wypchnięte ku powierzchni przez wysad solny (Pena dos Reis, Pimentel, 2010).

W środkowej części zachodniego wybrzeża Portugalii leży półwysep Pêniche, znany z wysokiego klifu i malowniczych widoków, oraz miasteczko o tej samej nazwie. Na ścianach klifu można obserwować wykształcenie warstw skalnych oraz objawy procesów wietrzenia, erozji i krasu morskiego (ryc. 5 – patrz str. 794). Dla stratygrafów jest to miejsce unikatowe, gdyż na klifie odsłania się wzorcowy profil jury dolnej – od pliensbachu do toarku (Duarte i in., 2017). Stwierdzono w nim reprezentatywne zespoły faunistyczne przydatne do korelacji stratygraficznej na całym świecie. Szczególnie interesujący jest profil dolnej jury na przylądku Ponta do Trovão. W 2014 r. dolna granica toarku, odsłaniająca się w tym profilu, została uznana przez Międzynarodową Komisję Stratygraficzną za stratotyp i wpisana do tabeli *Global Boundary Stratotype Section and Point* (GSSP). W odsłonięciu na krawędzi klifu granica ta jest zaznaczona gwoździem.

Kolejnym punktem wędrowki po zachodnim wybrzeżu Portugalii był przylądek Cabo da Roca (ryc. 6) – jest to skrawek kontynentalnej Europy najdalej wysunięty na zachód, stąd jego popularność wśród turystów. Znajduje się on w odległości ok. 30 km na zachód od Lizbony. Klifowe wybrzeże wznosi się tu na wysokość 140 m n.p.m. Przylądek ten stanowi zachodni kraniec magmowego masywu Sintra, tworzącego niewielkie pasmo górskie Serra de Sintra (o wysokości do 528 m n.p.m.). Masyw Sintra jest późnokredową intruzją, która wtargnęła w skały osadowe jury i kredy. Jego sjenitowe jądro otaczają skały granitowe, rozdzielone intruzjami gabrowymi i diorytowymi. Na kontakcie ze skałami osadowymi, głównie węglanowymi, powstała strefa metamorfizmu kontaktowego (Kullberg, Kullberg, 2000). W porze przypiływu ten wyrzeźbiony w magmowych skałach klif jest osnuty pyłem wodnym, przez co wygląda surowo i groźnie.

ŚLADAMI DINOZAUROW

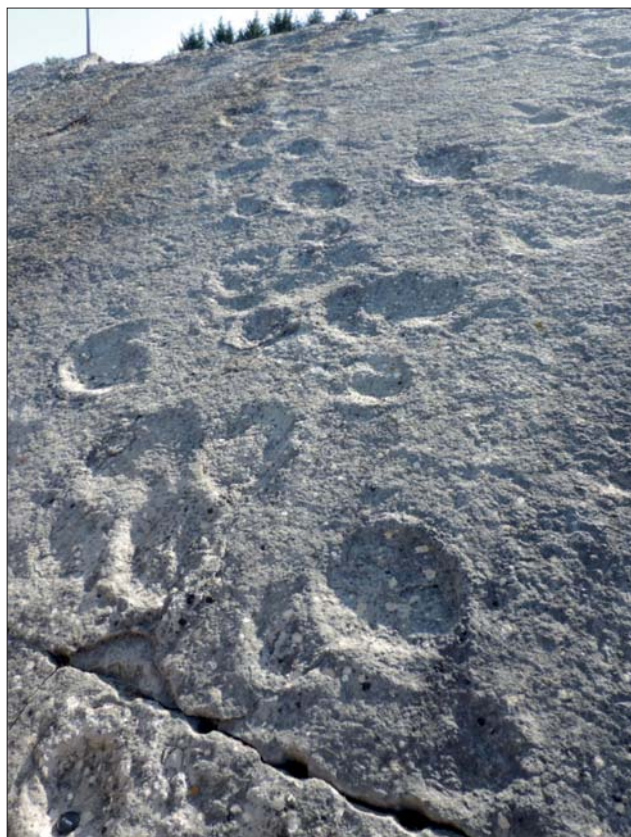
Na Półwyspie Iberyjskim znane są liczne odsłonięcia z tropami dinozaurów z nadzędu Sauropoda, datowanymi na okres od środkowej jury do późnej kredy. Niektóre gatunki zauropodów uznano za największe zwierzęta lądowe w historii Ziemi. W basenie luzytańskim znaleziono dotychczas głównie ich ślady z okresu jurajskiego. Zachowały się one na powierzchniach uławiczenia wapieni, których sedimentacja przebiegała w środowisku jeziornym, paralicznym lub płytkomorskim. Podczas wyprawy



Ryc. 7. Tropy zauropodów w kamieniołomie Galinga w pobliżu miasta Ourem (Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios da Serra de Aire). Ryc. 7–8 fot. G. Czapowski
Fig. 7. Footprints of Sauropoda in the Galinga quarry near Ourem (Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios da Serra de Aire). Fig. 7–8 photo by G. Czapowski

odwiedzono trzy stanowiska z odsłonięciami śladów dinozaurów: 1) w kamieniołomie wapienia Galinha na zboczu wzgórza w Serra de Aire; 2) w kamieniołomie Avelino na półwyspie Setubal i 3) na przylądku Cabo Espichel.

Ścieżki tropów zauropodów, odsłonięte w kamieniołomie wapienia Galinha na zboczu wzgórza w Serra de Aire w pobliżu miasta Ourem, wyróżniają się spośród innych sporą długością (do 140 m) i bardzo dobrym stanem zachowania śladów (ryc. 7). Wiek tych tropów określono na środkową jurę (dolny baton). Kamieniołom Galinha został udostępniony do zwiedzania jako pomnik natury – Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios da Serra de Aire (Castanera i in., 2014; Santos, 2016).



Ryc. 8. Ślady dinozaurów w kamieniołomie Avelino
Fig. 8. Footprints of dinosaurs in the Avelino quarry

Kolejnym stanowiskiem ze śladami dinozaurów był na trasie naszej wyprawy kamieniołom Avelino na półwyspie Setubal w regionie Sesimbra. Kamieniołom ten został udostępniony dla ruchu turystycznego, ale ekspozycja jest bardzo mała. Stanowi ją jeden blok skalny ze śladami zauropodów (ryc. 8) pochodzącymi z późnej jury (kimeryd; Lockley, Santos, 1993).

Na południowo-zachodnim krańcu półwyspu Setubal, w odległości ok. 10 km od kamieniołomu Avelino, znajduje się przylądek Cabo Espichel. Surowe, malownicze wybrzeże tworzy tu klif o wysokości 130–140 m n.p.m. Na skałach klifu znajduje się kolejne słynne stanowisko ze śladami dinozaurów (ryc. 9).

W odsłaniających się na klifie płytkomorskich utworach późnej jury (tyton) pozostawiły swe ślady zauropody i teropody. Na powierzchni jednej z warstw skalnych są widoczne równoległe ścieżki tropów siedmiu młodych osobników Sauropoda. Na tropy te są nałożone ścieżki trzech dużych osobników, co jest interpretowane jako przemarsz stada. Miejsce to zostało uznane za pomnik natury (Monumento Natural da Pedra da Mua).

Według miejscowego podania, liczącego co najmniej 600 lat, w tym miejscu na klifie ukazała się rybakom Matka Boża jadąca na mule. Niegdyś wierzono, że ślady na skałach pozostawił ów muł, gdy wynosił Matkę Bożą z morza na ląd. W celu upamiętnienia tego wydarzenia na początku XV w. zbudowano na skraju klifu sanktuarium Matki Bożej (Santuário de Nossa Senhora da Cabo Espichel). W kaplicy tego przybytku znajduje się XVIII-wieczna majolika (ryc. 10), na której przedstawiono tę legendarną scenę (Antunes, Mateus, 2003).

WIELKIE TRZĘSIENIE ZIEMI W DOLINIE TAGU

Portugalia zajmuje obszar o dużej aktywności sejsmicznej, która jest związana ze współczesnymi ruchami skorupy ziemskiej. Na południe i południowy zachód od jej wybrzeża znajduje się podmorska strefa kontaktu płyty afrykańskiej z euroazjatycką, której towarzyszy sieć uskózków. Zdarzenia sejsmiczne o dużej magnitudzie nie zachodzą tu często, jednak z zapisu historycznego znane są wielkie trzęsienia ziemi o niszczącym działaniu i wywołujące fale tsunami (de Figueiredo, 2015). Dwa regiony Portugalii wyróżniają się szczególnie dużym ryzykiem sejsmicznym

– dolina dolnego Tagu, gdzie leży stolica kraju, i wybrzeże Algarve na południu.

Dolina dolnego Tagu rozcina kenozoiczny basen o tej samej nazwie, który utworzył się w miocenie w obniżeniu tektonicznym o przebiegu NE-SW. Basen ten jest wypełniony mięszymi osadami neogeńskimi. W podłożu basenu zidentyfikowano złożony zespół schodowych uskoków o zróżnicowanych biegach (Teves-Costa i in., 2017). W dolnym biegu dolina Tagu zajmuje osiową część basenu, a przed ujściem do oceanu tworzy rozległe estuarium o powierzchni 370 km² (Canas i in., 2009). Za największą katastrofę sejsmiczną, jaka dotknęła ten region w czasach historycznych, uznaje się trzęsienie ziemi, które nastąpiło 1.11.1755 r. (Oliveira, 2008). Było ono odczuwalne na obszarze całego Półwyspu Iberyjskiego i na wybrzeżu Maroka, a fala tsunami pobudzona tym trzęsieniem ziemi zalała wybrzeża Portugalii, Hiszpanii oraz Maroka i była odczuwalna w Szkocji, a także na zachodnim wybrzeżu



Ryc. 9. Ściana z tropami dinozaurów na przylądku Cabo Espichel. Fot. G. Czapowski

Fig. 9. The wall with footprints of dinosaurs on the Cabo Espichel. Photo by G. Czapowski



Ryc. 10. XVIII-wieczne kafle w kaplicy na przylądku Cabo Espichel przedstawiające Matkę Bożą na mule oraz ślady pozostawione na skałach klifu (wg Antunes, Mateus, 2003). Fot. O. Mateus

Fig. 10. 18th-century tiles in a chapel at Cabo Espichel peninsula, depicting Holy Mother on a mule and the traces left on the cliff rocks (after Antunes, Mateus, 2003). Photo by O. Mateus

Atlantyku. Współcześnie siłę tych wstrząsów ocenia się na magnitudę 8,5 w skali Richtera (Ferãro i in., 2016). Główny wstrząs nastąpił o godz. 9:40 i trwał w kilku impulsach ok. 9 minut. Wstrząsy wtórne trwały niemal ciągle przez całą dobę, a w trakcie następnych 6 miesięcy (do września 1756 r.) zliczono 500 wstrząsów wtórnych. Ruchy wód w zbiornikach wodnych, spowodowane tym wstrząsem, zaobserwowano w odległości 2–3 tys. kilometrów: w Szkocji w jeziorze Lomond, w rzece Dal na północ od Sztokholmu i w Finlandii (Oliveira, 2008). Po głównym wstrząsie i początkowym opadnięciu wód w ujściu Tagu ok. godziny 11 przyszła fala tsunami, która zatopiła dolną część miasta. Maksymalną wysokość fali w Lizbonie oceniono na 20 m. Pojawiła się ona wzdłuż całego wybrzeża Portugalii, a podniesienie poziomu wód oceanicznych można było obserwować na Gibraltarze, w Hiszpanii oraz w północnej i północno-zachodniej Afryce. Trzęsienie ziemi, pożary i fala tsunami spowodowały ogromne straty w Lizbonie oraz na południowo-zachodnim i południowym wybrzeżu Portugalii. W Lizbonie zniszczeniu uległo 85% budynków, a poważne straty poniosło wiele nadmorskich miejscowości, np. Setúbal, Évora, Lagos i Portimão (Oliveira, 2008). Szacuje się, że w samej Lizbonie zginęło wówczas ok. 40–60 tys. osób, spośród około 275 tys. mieszkańców miasta (Kozák, Čermák, 2010).

WYBRZEŻE POŁUDNIOWE

Wzdłuż południowego wybrzeża Atlantyku rozciąga się drugi mezozoicno-kenozoiczny basen Portugalii – basen Algarve. Powstawał on podczas rozpadu Pangei wraz z rozwojem zachodniego krańca oceanu Neotetydy. Osady wypełniające ten basen leżą niezgodnie na utworach karbonu. W mezozoiku sedymentacja zachodziła od wczesnego triasu do późnej kredy (cenoman). Później nastąpiła długotrwała przerwa w sedymentacji (turon–burdygał), po której osadziły się utwory kenozoiczne, poczynając od miocenijskich (Ramos i in., 2016).

Na klifowym wybrzeżu południowej Portugalii odsłaniają się różnowiekowe utwory basenu Algarve: jurajskie, kredowe, neogeńskie i czwartorzędowe. Na wschód od miejscowości Portimão w ścianach klifu rozpoznano wychodnie skał miocenijskich, do których należą wapień, mułowce i słabo zwięzłe piaskowce. Skały te, podatne na erozję morską, tworzą niezwykle malowniczy odcinek wybrzeża, bogato urozmaicony formami krasowymi (patrz zdjęcie na okładce). W basenie Algarve ponad utworami triasowymi osadził się jurajski (hettang) kompleks pelitowo-ewaporatowy, zawierający sekwencję ewaporatową z halitem, anhydrytem i gipsem. Ewaporaty występują na przeważającym obszarze basenu i w kilku rejonach uległy diapiryzacji, w wyniku której powstały wysady solne Faro, Loule, Albufeira i mur solny Espiche (Ramos i in., 2016).

ZŁOŻA SOLNE I SALINY

Na obszarze mezozoicno-kenozoicznych basenów sedymentacyjnych: luzytańskiego i Algarve, występują w Portugalii złoża soli.

W basenie luzytańskim do akumulacji ewaporatów z solą kamienną doszło na pograniczu późnego triasu i wczesnej jury (hettang). Formacja solonośna, znana jako formacja Dagorda, powstawała w warunkach kontynentalnych w zbiornikach typu playa i na obszarach równi mułowych

(*mudflats*), stopniowo przechodząc do środowiska nadmorskiej sebkhy. Jej miąższość jest szacowana na kilkaset do ok. 1000 m (Dos Reis i in., 2017; Lopes i in., 2012). Tektonika solna miała znaczący wpływ na rozwój basenu. Przemieszczenia soli rozpoczęły się we wczesnej i środkowej jurze, doprowadzając w późnej jurze do uformowania się poduszek solnych, które uległy diapiryzacji i przebiły się w późnej kredzie przez nadległe formacje. Obecnie utwory ewaporatowe są przykryte kilkukilometrowymi osadami jury i kredy i tylko miejscami, jako wysady, mury solne lub jądra antyklin diapirowych, tworzą wychodnie lub formy strukturalne świadczące o obecności diapiru. Największe struktury solne tego regionu, o długości dziesiątków kilometrów, to: Monte Real, S. Pedro de Muel, Caldas da Rainha oraz Porto de Mós–Rio Maior (Kullberg i in., 2006). Największa z nich – Caldas da Rainha – ma długość ponad 50 km i miejscami osiąga 6 km szerokości (Dinis, Bernardes, 2004).

Formacja solonośna w basenie Algarve, podobnie jak w basenie luzytańskim, osadziła się na pograniczu

późnego triasu i wczesnej jury (hettang; Ramos i in., 2017). W północnej części basenu w profilu formacji solonośnej występują łupki, dolomity i anhydryty, a jej miąższość sięga 100 m, lokalnie 200 m. Miąższość formacji oraz udział soli w profilu rośnie w kierunku południowym, ku podmorskiemu centrum basenu. W południowej, lądowej części basenu rozwinęła się tektonika solna, nie tak jednak intensywna jak w strefie podmorskiej w centralnej części basenu, położonej ok. 100 km na południe od wybrzeża. Na lądzie powstało wiele urozmaiconych struktur solnych, wysady, diapiry, mury i allochtoniczne ciała solne, a różnorodność tych form wynika z tektoniki dysjunktywnej, litologii skał otaczających i ich miąższości (Ramos, 2017). Największe są wysady solne Faro, Loulé i Albufeira oraz mur solny Espiche (Ramos i in., 2016, 2017).

Obecnie w Portugalii są eksploatowane nieliczne złoża soli kamiennej. Na przykład z wysadu solnego Loulé w basenie Algarve sól pozyskuje się w kopalni podziemnej. Natomiast w rejonie Carriço solanka jest pozyskiwana techniką ługownictwa otworowego z wysadu solnego



Ryc. 11. Studnia z solanką w porannej mgie – Salina Rio Maior
Fig. 11. Brine well in the morning fog – Salina Rio Maior



Ryc. 12. Stary kamieniołom gipsu k. Sesimbry – półwysep Setubal
Fig. 12. Old gypsum quarry near Sesimbra – Setubal peninsula



Ryc. 13. Salina w delcie Ria Formoza. Ryc. 11–13 fot. G. Czapowski
Fig. 13. Salina in the delta of Ria Formoza. Figs 11–13 photos by G. Czapowski

Monte Real (basen luzytański). W komorach ługowniczych tego wysadu założono podziemny magazyn gazu. Sól jest otrzymywana także z naturalnych solanek występujących w stropowych utworach wysadu Porto de Mós–Rio Maior w salinie Rio Maior w basenie luzytańskim (Carneiro i in., 2019), a także wydobywana z licznych morskich solin na wybrzeżu zachodnim – np. z saliny w estuarium rzeki Aveiro – i południowym – np. z saliny w estuarium rzeki Formosa (Calado, Branão, 2009).

Podczas wyprawy odwiedziliśmy kilka miejsc, w których występują struktury solne i saliny, m.in. wysad solny koło opisanej wcześniej zatoki São Martinho do Porto na zachodnim wybrzeżu Portugalii, salinę Rio Maior, pasmo górskie Arrábida i salinę w estuarium rzeki Formosa. Solanki towarzyszące wysadowi solnemu Rio Maior już od czasów prehistorycznych są szcerpywane ze studni (ryc. 11), a następnie odparowywane w sztucznych, powierzchniowych zbiornikach. Pierwszy znany dokument dotyczący tej saliny pochodzi z XII w. Do dziś solanka ta jest produkowana tradycyjnymi metodami, choć z wykorzystaniem licznych ulepszeń technicznych. Salina Rio Maior jest obiektem turystycznym i rekreacyjnym. Na półwyspie Setúbal trasa wyprawy wiodła przez pasmo górskie Arrábida, stanowiące południową część basenu luzytańskiego. Ze wschodniego krańca tego pasma, z murów zamku na wzgórzu Palmela, roztacza się widok na ciąg wzniesień wypiętrzonych na skutek tektoniki solnej, w wyniku której powstały powierzchnie nasunięć i antykliny solne. Miejscami seria ewaporatowa tworzy wychodnie, na obszarze których eksploatowano do niedawna odkrywkowo gips (ryc. 12). Salina założona w estuarium rzeki Formosa była punktem wyprawy wysuniętym najdalej na południe. Rzeka ta, oddzielona od oceanu barierą wysp, tworzy rozległą deltę, na obszarze której utworzono rezerwat przyrody (Parque Natural da Ria Formosa) i ma kilka ujść do oceanu. W salinie tej sól jest wytwarzana z wody morskiej (ryc. 13).

PODSUMOWANIE

Wędrówki geologiczne po środkowozachodnim i południowym wybrzeżu Portugalii okazały się niezwykle interesujące. Dały uczestnikom wgląd w stratyografię mezozoiku, historię tektoniczną kontynentu europejskiego, paleontologię, rozwój krasu morskiego, wypiętrzanie się diapirów solnych i genezę bogactw naturalnych Portugalii.

Serdecznie dziękuję dr. hab. Grzegorzowi Czapowskiemu z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego za inspirację, pomoc w opracowaniu końcowej wersji tekstu i udostępnienie fotografii z własnych zbiorów.

LITERATURA

ANTUNES M.T., MATEUS O. 2003 – Dinosaur of Portugal. Elsevier, Comptes Rendus Palevol, 2 (1): 77–95.
BOURRICHON 2009 – https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portugal_topographic_map-pt.png
CALADO C., BRANDÃO J.M. 2009 – Salinas interiores em Portugal: o caso das marinhas de Rio Maior. Geonovas, 22.
CANAS A., SANTOS A., LEITÃO P. 2009 – Effect of large scale atmospheric pressure changes on water level in the Tagus Estuary. J. Coast. Res., 56: 1627–1631.

CARNEIRO J.F., MATOS C.R., VAN GESSEL S. 2019 – Opportunities for large-scale energy storage in geological formations in mainland Portugal. Renewable and Sustainable Energy Rev., 99: 201–211.
CASTANERA D., VILA B., RAZZOLINI N., FARIA DOS SANTOS V., PASCUAL C., CANUDO J. 2014 – Saurpod trackways of the Iberian Peninsula: Palaeoecological and palaeoenvironmental implications. J. Iberian Geology, 40: 49.
DE FIGUEIREDO P.M. 2014 – Neotectonics of the Southwest Portugal mainland: Implications on the regional seismic hazard. PhD Thesis. Universidade de Lisboa, Portugal.
DINIS J., BERNARDES C. 2004 – Upper Jurassic outcrops along the Caldas da Rainha diapir, west Central Portugal: A regional geoheritage overview. Rivista Italiana di Paleont. Stratigr., 110 (1): 407–415
DOS REIS R.P., PIMENTEL N., FAINSTEIN R., REIS M., RASMUSSEN B. 2017 – Influence of Salt Diapirism on the Basin Architecture and Hydrocarbon Prospects of the Western Iberian Margin. [W:] Soto J.I., Flinch J., Tari G., Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins. Elsevier: 313–329.
DUARTE L.V., SILVA R.L., FÉLIX F., COMAS-RENGIFO M.J., ROCHA R.B., MATTIOLI E., CABRAL M. C. 2017 – The Jurassic of the Peniche Peninsula (Portugal): scientific, educational and science popularization relevance. Revista de la Sociedad Geológica de España, 30 (1): 55–70.
FERRÃO C., BEZZEGHOU M., CALDEIRA B., BORGES J.F. 2016 – The seismicity of Portugal and its adjacent Atlantic region from 1300 to 2014: maximum observed intensity (MOI) map. Seismological Res. Lett., 87 (3): 743–750.
GLOBAL Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the International Commission on Stratigraphy – <http://www.stratigraphy.org/gssp/>
GÓMEZ J.J., SANDOVAL J., AGUADO R., O'DOGHERTY L., OSETE M.L. 2019 – The Alpine Cycle in Eastern Iberia: Microplate Units and Geodynamic Stages. [W:] Quesada C., Oliveira J.T. (red.), The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach, 3: The Alpine Cycle. Springer, Cham.
KOZÁK J., ČERMÁK V. 2010 – The illustrated history of natural disasters. Nova York, Springer.
KULLBERG J.C.R., KULLBERG M.C. 2000 – Tectónica da região de Sintra. Memórias de Geociências, 2: 1–34.
KULLBERG J.C., ROCHA R.B., SOARES A.F., REY J., TERRINHA P., CALLAPEZ P., MARTINS L. 2006 – A Bacia Lusitaniana: estratigrafia, paleogeografia e tectónica. Univ. Évora.
LOCKLEY M.G., SANTOS V.F. 1993 – A preliminary report on sauropod trackways from the Avelino site, Sesimbra region, Upper Jurassic, Portugal. Gaia, 6: 38–42.
LOPES F.C., PEREIRA A.J., MANTAS V.M. 2012 – Mapping of salt structures and related fault lineaments based on remote-sensing and gravimetric data: The case of the Monte Real salt wall (onshore west-central Portugal). AAPG bull., 96 (4): 615–634.
OLIVEIRA C.S. 2008 – Review of the 1755 Lisbon earthquake based on recent analyses of historical observations. [W:] Fréchet J., Meghraoui M., Stucchi M. (red.), Historical Seismology. Springer, Dordrecht.
OLIVEIRA J., FERNANDES P., PEREIRA Z., BORGES M. 2009 – CIMP Field Trip 09, Faro.
OLIVEIRA J., QUESADA C. 2019 – The Geology of Iberia: A Geodynamic Appr., 3: The Alpine Cycle. Springer International Publishing.
PENA DOS REIS R., PIMENTEL N. 2010 – Field Trip Guide Book-Lusitanian Basin (Portugal). II Central & North Atlantic Conjugate Margins conference. Lisbon: Impressões e Soluções, Laboratório de imagem, Lda.
RAMOS A., FERNÁNDEZ O., MUNOZ J.A., TERRINHA P. 2017 – Impact of basin structure and evaporite distribution on salt tectonics in the Algarve Basin, Southwest Iberian margin. Marine and Petrol. Geol., 88, 961–984.
RAMOS A., FERNÁNDEZ O., TERRINHA P., MUNOZ J.A. 2016 – Extension and inversion structures in the Tethys-Atlantic linkage zone, Algarve Basin, Portugal. Intern. J. Earth Scien., 105 (5): 1663–1679.
SALAH M.K. 2014 – Upper crustal structure beneath Southwest Iberia north of the convergent boundary between the Eurasian and African plates. Geoscience Frontiers, 5 (6): 845–854.
SANTOS V.F. 2016 – Dinosaur tracksites in the Middle Jurassic of Mação Calcário Estremenho (west-central Portugal): a geoheritage to be enhanced Pegadas de dinossaúrios no Jurássico Médio do Mação Calcário Estremenho (centro-oeste Portugal): património geológico a cuidar. SIMANCAS J.F., TAHIRI A., AZOR A., LODEIR F.G., POYATO D.J.M., EL HADI H. 2005 – The tectonic frame of the Variscan-Alleghanian orogen in Southern Europe and Northern Africa. Tectonophysics, 398 (3–4): 181–198.
TEVES-COSTA P., BATLLÓ J., CABRAL J. 2017 – The Lower Tagus Valley (Portugal) earthquakes: Lisbon 26 January 1531 and Benavente 23 April 1909. Física de la Tierra, 29: 61–84.
www.azomine.com/overview

Praca wpłynęła do redakcji 9.05.2020 r.
Akceptowano do druku 31.08.2020 r.

PRZEGLĄD

GEOLOGICZNY



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

Cena 12,60 zł (w tym 8% VAT)

TOM 68 Nr 10 (PAŹDZIERNIK) 2020

Indeks 370908 ISSN-0033-2151

**Zastosowanie ziemskich izotopów
kosmogenicznych w datowaniu glin lodowcowych
Kamienne bruki Górnego Miasta w Poznaniu
Ropa naftowa i gaz ziemny w Polsce
– obszary przetargowe**

Zdjęcie na okładce: Klifowe wybrzeże południowej Portugalii na wschód od Portimão. Na zdjęciu jest widoczny lej krasowy, opróżniony z osadów na skutek erozji litoralnej, oraz brama wraz z mostem skalnym, jako pozostałość po głębokim krasowieniu (patrz artykuł K. Poborskiej-Młynarskiej na str. 751). Fot. G. Czapowski

Cover photo: Cliff coast of southern Portugal east of Portimão. The photo shows a karst crater, emptied of sediments due to littoral erosion, and a gate with a rock bridge, as remnants of deep karst (see article by K. Poborska-Młynarska on p. 751). Photo by G. Czapowski

Wędrówka geologiczna po południowo-zachodnim wybrzeżu Portugalii (patrz str. 751)
Geological peregrination in the south-west coast of Portugal (see p. 751)



Ryc. 5. Klifowe wybrzeże na półwyspie Peniche. Fot. G. Czapowski
Fig. 5. Cliff coast on the Peniche peninsula. Photo by G. Czapowski