



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



Polish Association of Mineral Asset Valuers

Polskie Stowarzyszenie  
Wyceny Złóż Kopalin



The  
Geological  
Society

*servicing science & profession*



# Geologia dla Społeczeństwa

Czerwiec 2015

# Dlaczego geologia jest ważna?

**Geologia zajmuje się badaniem budowy Ziemi oraz jej historii. Dzięki temu zapewnia podaż surowców dla ludności i przemysłu, zapewnia szeroki zakres podstawowych usług oraz pomaga nam zrozumieć w jaki sposób możemy żyć w sposób bardziej zrównoważony na naszej planecie, dzięki odpowiednim umiejętnościom, edukacji i badaniom.**



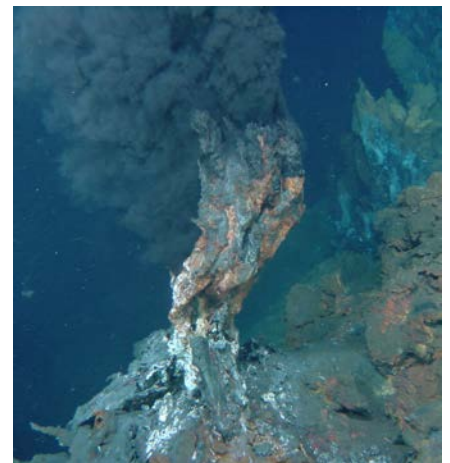
Zdjęcie Ziemi wykonane przez statek Apollo 17. ©NASA

Geologia (czasami rozumiana szerzej jako nauki o Ziemi) zajmuje się badaniem budowy naszej planety oraz procesów, które ją ukształtowały na przestrzeni jej długiej historii oraz kształtują ją w sposób ciągły. Zapewnia ona podaż większości surowców niezbędnych ludności i przemysłowi Europy, w tym energii, surowców mineralnych, wody i żywności. Szeroki zakres niezbędnych usług zależy od geologii, w tym np. gospodarowanie odpadów które wytwarzamy; określenie warunków inżynierskich dla budowy budynków, dróg, zapór, tuneli i innych projektów inżynierskich; rozwiązywanie wielu problemów środowiskowych, w tym rekultywacja terenów zanieczyszczonych w wyniku działalności przemysłowej. Praca geologów na rzecz zrozumienia przyczyn klęsk żywiołowych i zagrożeń naturalnych jest niezbędna do przygotowania na ich skutki oraz łagodzenia tych skutków. Zabezpieczenie dostępności czystej wody pitnej oraz dostarczenie zróżnicowanych usług środowiskowych zależy od zrozumienia zjawisk geologicznych zachodzących pod powierzchnią i ich rozlicznych interakcji z procesami powierzchniowymi. Przyszłe bezpieczeństwo dostaw energii dla Europy zależy w ogromnym stopniu od szeroko rozumianych umiejętności geologicznych, począwszy od eksploatacji złóż kopalin energetycznych do energii odnawialnej oraz użytkowania górotworu do składowania dwutlenku węgla i odpadów radioaktywnych.

Dowody interakcji między zmianami środowiskowymi a ewolucją życia na przestrzeni setek milionów lat stwarzają geologom cenną możliwość spojrzenia na zmiany wywołane współcześnie przez ludzkość m.in. w wyniku spalania paliw kopalnych oraz szeroko rozumianego wpływu człowieka na środowisko. Geolodzy będą także odgrywać istotną rolę w procesie zmniejszenia emisji dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych poprzez lokowanie węgla z powrotem tam, skąd pochodzi, czyli do górotworu. Zaczynamy lepiej rozumieć nasz wpływ na naszą planetę, gdy dostępne zasoby stają się coraz bardziej ograniczone, a populacja coraz liczniejsza. Ponieważ pragniemy żyć w sposób coraz bardziej zrównoważony, geolodzy rozwijają kompleksowe podejście do użytkowania zasobów, wytwarzania odpadów i produktów ubocznych, oraz naszych złożonych interakcji z litosferą, hydrosferą, atmosferą i biosferą, które łącznie tworzą Ziemię.

Zapewnienie dostępu do wszystkich wyżej podanych zasobów i usług zależy od dobrze wykształconych geologów pracujących w jednostkach naukowych i w przemyśle, z zapewnieniem wysokiego poziomu nauczania zagadnień geologicznych na każdym szczeblu edukacji. Europa posiada znakomitą infrastrukturę badawczą w zakresie nauk geologicznych, co ma fundamentalne znaczenie dla możliwości właściwego rozumienia procesów zachodzących na Ziemi oraz przyszłych wyzwań środowiskowych. Zrównoważone inwestowanie w badania geologiczne będzie napędzać rozwój gospodarczy i pozwoli Europie odgrywać wiodącą rolę w rozwiązywaniu wyzwań globalnych.

Aktywny komin podmorski (tzw. black smoker) dostarczający płyny i substancje mineralne (od początkowej temperatury ok. 360°C) w polu hydrotermalnym Rainbow na południe od Azorów, głębokość 2200m, ekspedycja Seahma. ©FCT Portugal 2002, Creminer-LARSyS image archive



# Geologia dla gospodarki

**Geologia odgrywa kluczową rolę w wielu dziedzinach gospodarki. Zrównoważony wzrost gospodarczy oraz społeczny dobrobyt będą wymagać niezawodnych dostaw energii, surowców i czystej wody oraz bezpiecznej i zrównoważonej produkcji żywności. Zależać to będzie od trwałego inwestowania w rozwój technologii, infrastruktury i edukacji.**

Udokumentowanie i wydobycie zasobów kopalin jest niezbędne dla wzrostu PKB, przychodów z podatków oraz rozwoju gospodarczego Europy. Użytkowanie surowców do produkcji wyrobów przemysłowych i użytkowych, oraz paliw kopalnych do produkcji energii, to fundamenty naszego dobrobytu, przyczyniające się do ogólnego rozwoju gospodarczego. Wydobycie ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla, a także surowców metalicznych, chemicznych, ceramicznych i budowlanych ma znaczący udział w Produkcie Krajowym Brutto wielu krajów europejskich. Przykładowo w Polsce w 2013 roku wartość produkcji surowców mineralnych wyniosła 61 miliardów złotych, tj. 13% Produktu Krajowego Brutto w obszarze przemysłu i budownictwa. Udział w PKB przemysłów silnie uzależnionych od dostaw surowców jest jeszcze większy.



Giełda we Frankfurcie (The Frankfurt Stock Exchange).

Dokładna ocena popytu, podaży oraz kosztów (zarówno finansowych, jak i środowiskowych) pozyskiwania tych surowców jest niezbędna dla efektywnego planowania gospodarczego i podejmowania właściwych decyzji gospodarczych. Ważną rolę w tym zakresie odgrywa w Polsce "Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata", wydawany corocznie od 1993 roku, a na arenie międzynarodowej działalność takich instytucji jak British Geological Survey, US Geological Survey, francuski BRGM czy niemiecki BGR. Unia Europejska określiła listę surowców mineralnych krytycznych, które mogą stać się "wąskimi gardłami" ograniczającymi rozwój gospodarczy. Przykładowo, popyt na pierwiastki ziem rzadkich szybko rośnie w związku z rozwojem ich zastosowań w zaawansowanych technologiach, takich jak np. ekrany LED, samochody hybrydowe, turbiny wiatrowe itp.



Próbka wstęgowych rud żelaza z Krzywego Rogu, Ukraina.

Nasza przyszłość będzie związana z coraz większą ograniczonością dostępnych zasobów kopalin, przy coraz silniejszym odczuwaniu skutków ich eksploatacji i użytkowania. Systematycznie rosnąca populacja świata słusznie oczekuje wzrostu dobrobytu i bardziej równego dostępu do zasobów, co przyczynia się do zwiększonego popytu m.in. na wodę, energię i żywność. Wyzwania związane z zapewnieniem bezpiecznych i zrównoważonych dostaw wody i energii wiążą się też ze zmianami klimatycznymi. Zwiększony nacisk za rozwój ich podaży będzie miał znaczące skutki także dla zużywającego tradycyjnie duże ilości wody i energii przemysłu wydobywczego.

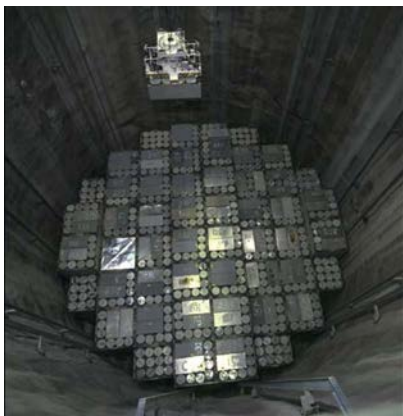
Wszystkie te wyzwania mogą podważyć obecne gospodarcze status quo. Tym niemniej stwarzają one także możliwości wprowadzania innowacji, które mają wspierać przyszłą ekonomiczną stabilność i wzrost gospodarczy. Dzięki stałym inwestycjom w infrastrukturę, badania i edukację, a także tworzenie odpowiedniego klimatu dla wspierania procesów innowacyjnych, Europa może stać się globalnym liderem w zakresie nowoczesnych technologii, w tym technologii środowiskowych. Gospodarowanie odpadami promieniotwórczymi oraz wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla muszą być rozwijane, jeśli celem jest stopniowa dekarbonizacja naszych systemów energetycznych. Stwarza to możliwości rozwoju na kontynencie europejskim technologii i umiejętności w tym zakresie, a w dalszej kolejności - ich eksportu na inne kontynenty. Stojący na wysokim poziomie europejski sektor naukowo-akademicki jest idealnym miejscem do odgrywania wiodącej roli w światowej gospodarce opartej na wiedzy.

**Konieczność przejścia do gospodarki niskoemisyjnej jest pilna. Tym niemniej, nawet jeśli dokonamy tych zmian, wciąż przez lata będziemy zależni od paliw kopalnych. Znajomość zagadnień geologicznych będzie niezbędna na każdym etapie cyklu energetycznego, poczynając od złóż kopalni energetycznych poprzez ich bezpieczne wydobycie i użytkowanie, aż po późniejsze zagospodarowanie czy recykling odpadów.**

W realizacji swoich przyszłych potrzeb energetycznych, Europa mierzy się z potrójnym wyzwaniem: niezbędnej drastycznej redukcji emisji CO<sub>2</sub> celem uniknięcia niebezpiecznych zmian klimatycznych; zapewnienia bezpieczeństwa dostaw; oraz dostarczania taniej energii dla przemysłu i konsumentów indywidualnych.

## Paliwa kopalne

Paliwa kopalne wciąż będą stanowić istotną część europejskiego mixu energetycznego co najmniej przez kilka następnych dekad. Niektóre państwa osiągnęły ogromne korzyści z eksploatacji kopalni energetycznych w ostatnich dekadach, np. dzięki eksploatacji bogatych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na Morzu Północnym. Eksploatacja węglowodorów na szelfie morskim wciąż będzie istotna, ale zależność będzie od ciągłego rozwoju metod rozpoznawania złóż i technik wydobywczych. Coraz lepiej rozumiemy także znaczenie i możliwości wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł paliw takich jak gaz z łupków, ropa z łupków, metan z pokładów węgla, które mają potencjalnie duże znaczenie w naszym przyszłym mixie energetycznym, jeśli zdecydujemy się na ich wydobycie. Kraje, które nie będą rozwijać wykorzystania krajowych źródeł paliw, będą coraz bardziej zależne od paliw importowanych, co może negatywnie wpłynąć na ich bezpieczeństwo energetyczne. Warto przy tym zauważyć, że większość produkcji energii elektrycznej w Europie wciąż bazuje na spalaniu węgla.



Dolny i środkowy poziom składowiska odpadów Olkiluoto, Finlandia.  
©SKB, Sweden

## Gaz z łupków

Węglowodory (ropa naftowa i gaz ziemny) tworzą się z substancji organicznej zdeponowanej miliony lat temu w warstwach skał osadowych, które następnie zostały poddane działaniu ciepła i ciśnienia. W przypadku złóż „konwencjonalnych” węglowodory migrowały z formacji gdzie się utworzyły, by zostać zatrzymane w pułapkach związanych z warstwami skał nieprzepuszczalnych. Jeśli gaz jest tworzony i zatrzymywany w nieprzepuszczalnych łupkach bez możliwości migracji, nie może on być wydobywany z użyciem konwencjonalnych technik wiertniczych, stąd jest traktowany jako źródło niekonwencjonalne gazu.

Obecnie jest możliwe ekonomiczne wydobycie gazu z łupków, z użyciem wierceń poziomych i szczelinowania hydraulicznego, w którym woda, piasek i niewielkie ilości specjalnych związków chemicznych są używane do otwarcia i utrzymania otwartych porów skalnych, co pozwala na uwolnienie przepływu gazu z łupków. Wiedza geologiczna jest niezbędna do rozpoznania zasobów gazu z łupków oraz do zrozumienia i zarządzania możliwymi ryzykami związanymi z ich eksploatacją, takimi jak podwyższona aktywność sejsmiczna czy zanieczyszczenie wód podziemnych w związku z niewłaściwym prowadzeniem procesu eksploatacji.

## Wychwycenie i składowanie dwutlenku węgla (CCS)

Paliwa kopalne wciąż będą odgrywać dużą rolę w naszym mixie energetycznym w perspektywie co najmniej średniookresowej. Tym niemniej niezbędne są szybkie działania celem uniknięcia zagrożeń zmianami klimatycznymi w związku z uwalnianiem CO<sub>2</sub> w wyniku spalania paliw kopalnych. CCS może pomóc osiągnąć ten cel, jeśli zostanie zastosowany w wystarczającej skali, poprzez wyłapywanie i bezpieczne składowanie CO<sub>2</sub> w górotworze.

Geolodzy już obecnie pracują nad lokalizacją i rozwojem odpowiednich miejsc składowania CO<sub>2</sub>. Do celów tych mogą być wykorzystywane m.in. duże wyeksploatowane złoża węglowodorów oraz wiązana z nimi istniejąca infrastruktura techniczna. Geolodzy będą także w perspektywie długoterminowej pomagać w implementacji CCS, monitoringu wycieków CO<sub>2</sub> oraz badaniu deformacji geomechanicznych. Prowadzone są obiecujące badania dotyczące nowych możliwych struktur do składowania dwutlenku węgla.

## Inne źródła energii

Odnawialne źródła energii mają odgrywać znaczącą rolę w miksie energetycznym, przy dążeniu do rozwoju gospodarki niskoemisyjnej.

Dokładne zrozumienie otoczenia i podłoża geologicznego jest ważne do lokalizacji i budowy instalacji wytwarzających energię ze źródeł odnawialnych, w szczególności farm wiatrowych, zbiorników wodnych oraz instalacji geotermalnych i instalacji wykorzystujących energię pływów.

Różne technologie wykorzystania źródeł energii odnawialnej, w tym turbiny wiatrowe, silniki hybrydowe i panele słoneczne, wymagają stosowania wielu surowców krytycznych takich jak pierwiastki ziem rzadkich, co wymaga m.in. odpowiednich badań geologicznych oraz wykwalifikowanego personelu celem właściwego rozpoznania i bezpiecznej eksploatacji ich złóż.

**Energia jądrowa** może stanowić ważną część miks energetycznego w przyszłości. Zależy to od zapewnienia pewnych dostaw uranu, pozyskiwanego w wyniku ekonomicznie opłacalnej eksploatacji jego rud, co w znacznym stopniu zależy od dobrego rozpoznania geologicznego. Będziemy także musieli zapewnić bezpieczne długoterminowe gospodarowanie odpadami promieniotwórczymi z istniejących elektrowni jądrowych, nawet gdyby dalsze elektrownie tego typu nie miały być już budowane. W większości krajów europejskich posiadających elektrownie jądrowe, państwa kierują się ogólną zasadą lokowania takich odpadów w bezpiecznych strukturach geologicznych w górotworze.

## Energia geotermalna

Niektóre kraje europejskie mają znakomity potencjał do rozwoju wykorzystania wysokotemperaturowych źródeł energii geotermalnej, zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i dostarczania ciepła. Nawet w tych regionach, gdzie skały na dużych głębokościach nie są takie gorące, wciąż istnieją możliwości rozwoju gruntowych pomp ciepła, z wykorzystaniem niewielkich różnic temperatur blisko powierzchni gruntu. Zintegrowane systemy grzewcze w nowoczesnym budownictwie z użyciem źródeł ciepła gruntowego (zimą) i chłodzenia gruntowego (latem), mogą przyczynić się do redukcji emisji CO<sub>2</sub> do 10%. Rozwój użytkowania tych źródeł wymaga odpowiedniej wiedzy geologicznej w zakresie budowy geologicznej obszaru w celu właściwej lokalizacji i testowania możliwości wykorzystania takich źródeł energii geotermalnej, a następnie projektowania niezbędnej infrastruktury instalacji geotermalnych.

## Składowanie odpadów promieniotwórczych w górotworze

Składowanie odpadów promieniotwórczych w górotworze wymaga ich izolacji w składowiskach podziemnych wybudowanych w odpowiednich formacjach skalnych, zwykle na głębokości 200-1000 m. Ma to na celu zapewnienie, by żadne szkodliwe ilości promieniowania nie dotarły do środowiska na powierzchni. Zwykle stosuje się podejście wielobarierowe z lokowaniem odpowiednio zabezpieczonych pojemników z odpadami w specjalnie wydrążonych wyrobiskach podziemnych, przy założeniu, że odpowiedni typ górotworu zapewni dodatkową barierę, by radionuklidy były tam uwięzione przez dziesiątki tysięcy lat. Do tych celów mogą być wykorzystywane różne struktury geologiczne, w tym masywy granitowe, kompleksy ilaste i solne. Znalezienie odpowiedniego miejsca zależeć będzie od partnerskiego udziału społeczności lokalnych, które zgodzą się na lokalizację takiego składowiska na ich terenie, a także od czynników geologicznych. Geolodzy będą tu odgrywać kluczową rolę podczas typowania potencjalnych lokalizacji oraz podczas budowy takich składowisk.



Farma wiatrowa Thornton Bank, Belgia. ©Deme-group

**Bezpieczne dostawy wysokiej jakości wody pitnej są niezbędne dla ludzkiego zdrowia i samopoczucia. Geolodzy umożliwiają spełnienie tych potrzeb, zarówno w Europie, jak i na całym świecie, dzięki odpowiedniej wiedzy na temat przepływów wód, zachowania zbiorników wodonośnych, a także identyfikują źródła zanieczyszczenia wód i sposoby zapobiegania takim zanieczyszczeniom.**

## Bezpieczeństwo wodne

Czysta woda na powierzchni Ziemi jest częścią składową szerszego systemu obejmującego wody podziemne, wody mórz i oceanów, wodę w formie pary wodnej w atmosferze, oraz wody uwięzioną w lodzie.

Około 75% mieszkańców Unii Europejskiej zależy od wód podziemnych w zakresie ich zaopatrzenia w wodę pitną – stąd jest to zasób ważny, wymagający ostrożnego i rozważnego traktowania. Pozostała część dostaw wody pitnej pochodzi z wód powierzchniowych – rzek i jezior, w tym zbiorników sztucznych.

Poziom wód podziemnych zależy w danym regionie od wielkości opadów atmosferycznych, wskaźnika infiltracji (wyrażającego zdolność skał do absorpcji opadu atmosferycznego) i wielkości poboru wody do celów użytkowych. W niektórych miejscach wody podziemne są praktycznie nieodnawialnym źródłem czystej wody, gdyż wielkość poboru wody jest wyższa od wielkości infiltracji wód pochodzącej z opadów. Zjawisko to może oczywiście zmieniać się w skali miesięcy, lat, ale niekiedy nawet tysiącleci.

## Czym są wody podziemne?

Wody podziemne to wody, które infiltrują w głąb masywów skalnych (górotworu) do poziomu wodonośnego, który znajduje się w obrębie skał porowatych. Woda jest wtedy w 'strefie saturacji'. Przepływa ona przez skały (niekiedy bardzo wolno) aż dotrze do punktu wypływu, takiego jak źródło, rzeka czy dno morskie.

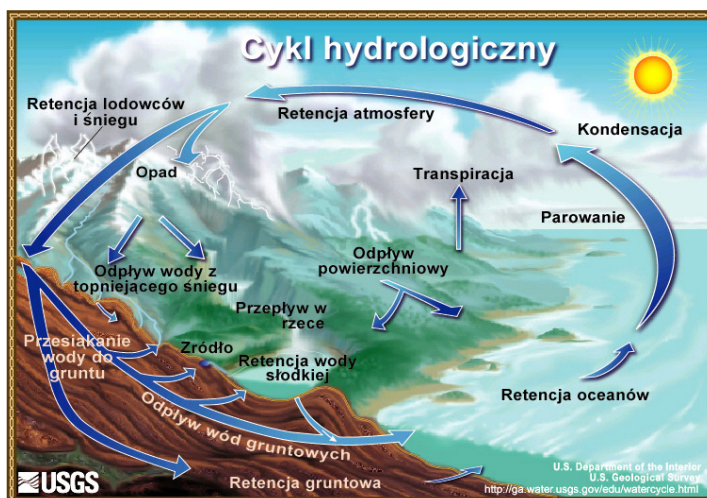
Formacje geologiczne zasobne w wody podziemne, które mogą być eksploatowane, nazywane są skałami zbiornikowymi i są one ważnym źródłem czystej wody.

Tym niemniej, nie zawsze woda w takich zbiornikach jest czysta – często może być ona wysoce zasolona. Nadmierny pobór wód podziemnych może powodować wdzieranie się wód zasolonych do poziomów wody czystej. Porowatość i przepuszczalność skał bardzo istotnie wpływają na to, ile wody może być magazynowane w takim zbiorniku wód podziemnych, a także na zdolność ich przepływu (filtracji) w takim zbiorniku.

## Jakość wody i cykl wodny

Woda może być zanieczyszczona w sposób naturalny, jednakże częściej źródłem takiego zanieczyszczenia jest działalność człowieka. Większość takich zanieczyszczeń pochodzi ze źródeł rozproszonych wynikających np. ze stosowania pestycydów i nawozów sztucznych w rolnictwie. W wyniku opadu atmosferycznego zanieczyszczenia te wraz z wodą opadową przechodzą z warstwy gleby do niżejleżących zbiorników wodonośnych. Jest także wiele innych źródeł takich zanieczyszczeń, jak np. wycieki związków chemicznych w zakładach przemysłowych, systemy kanalizacji czy składowiska odpadów.

Zanieczyszczenia wód mogą narastać powoli i być obecne przez długi czas, ze względu na powolne tempo infiltracji wód gruntowych. Usuwanie tych zanieczyszczeń może być kosztowne, zarówno pod względem finansowym, jak i zużycia energii. Aby zminimalizować przyszłe koszty oczyszczania oraz zapewnić dostawy czystej wody, jest niezwykle istotne, aby zrozumieć zarówno zachowanie wód podziemnych, jak i geochemiczne cykle potencjalnych zanieczyszczeń.



Cykl wodny. ©USGS

## Związek wody z energią

Sektor energetyczny wymaga dużej ilości wody dla wielu swoich podstawowych procesów. Wydobywanie paliw kopalnych, ich transport, oraz przemiany energetyczne w elektrowniach zużywają łącznie 35% wody w gospodarce światowej. W 2050 roku zużycie wody do produkcji energii elektrycznej będzie zapewne dwukrotnie wyższe niż obecnie. Obecne trendy w dywersyfikacji źródeł energii, w tym wykorzystania paliw alternatywnych, będą często związane z rosnącym udziałem procesów o wysokim zużyciu jednostkowym wody. Przykładowo wydobywanie ropy z piasków bitumicznych wymaga jednostkowo do 20 razy więcej wody niż konwencjonalna eksploatacja otworowa, podczas gdy produkcja biopaliw może zużywać tysiące razy więcej wody niż stosowanie paliw kopalnych ze względu na potrzebę intensywnego nawadniania upraw roślin do tej produkcji.

W tym samym czasie energia jest potrzebna do wytwarzania i dostarczania wody czystej. Jest to istotne na każdym etapie łańcucha dostaw, w tym podczas pompowania wody gruntowej, uzdatniania wód powierzchniowych, oraz transportu i podgrzewania wody. Zużycie energii do uzdatniania wody ma wzrastać w związku ze wzrostem znaczenia technik uzdatniania i oczyszczania wody, szczególnie gdy wzrastać będzie znaczenie energochłonnych procesów odsalania w odpowiedzi na zmniejszającą się dostępność wody pitnej. Przykładowo spółki wodne w Wielkiej Brytanii podają, że od 1990 roku o ponad 60% wzrosło zużycie energii elektrycznej do uzdatniania wody, a ostrożne szacunki przewidują dalszy wzrost o 60-100% w ciągu 15 lat, by spełnić obecne wymagania w zakresie jakości wody pitnej.

## Wpływ na zmiany środowiskowe

Wpływ zmian klimatu na wody podziemne i powierzchniowe jest różny w różnych krajach, nie jest łatwy do przewidzenia oraz pozostaje w interakcji z innymi czynnikami oddziałującymi w obiegu wody. Wiele krajów europejskich doświadczyło obniżania się poziomów wód podziemnych z powodu suszy w ostatnich latach, a zagrożenie bezpieczeństwa dostaw wody może rosnąć. W skali świata to zagrożenie jest już często niemal krytyczne. Coraz większe anomalie pogodowe zagrażają regularnemu zasilaniu warstw wodonośnych, a tym samym dostawom wody pitnej. Niski poziom wód podziemnych w połączeniu ze spowolnieniem ich zasilania może mieć bardzo poważne skutki dla przyszłego bezpieczeństwa dostaw wody, nawet w krajach, gdzie klimat jest umiarkowany. Zmiany klimatyczne mają efekt mnożnikowy, a ekstremalne zjawiska pogodowe mogą zagrażać działalności gospodarczej i istniejącej infrastrukturze.

## Ekspertyzy geologiczne

Znajomość lokalnych warunków hydrogeologicznych i środowiskowych jest niezbędna do właściwego zarządzania dostawami i jakością wody. Hydrogeolodzy i inni geolodzy badają górotwór i wykonują odpowiednie mapy w celu modelowania ruchu wody podziemnej oraz charakterystyki ilościowej i jakościowej zbiorników wód podziemnych. Sezonowe i długoterminowe monitorowanie wód podziemnych może pomóc przewidywać i zarządzać okresami deficytu dostępnych wód w związku z okresami niskich opadów. Informacje te mogą być następnie wykorzystane do projektowania strategicznych planów na wypadek suszy i powodzi.



Oczyszczalnia ścieków oraz zapora wodna Kölnbrein z elektrownią szczytowo-pompową (Karyntia, Austria) jako przykłady współzależności wody i energii.

# Surowce mineralne

Nowoczesne technologie i produkty użytkowe wymagają stosowania szerokiego wachlarza surowców mineralnych, zarówno tych powszechnie występujących, jak i rzadkich. Ich produkcja, a także obrót nimi stanowi istotną część gospodarki europejskiej i światowej. Liczba ludności i jej popyt na surowce systematycznie rośnie, stąd niezbędny jest rozwój nowoczesnych technologii rozpoznania złóż kopalni i pozyskiwania z nich surowców mineralnych, a także efektywnego ich użytkowania.

## Zasoby kopalni

Przemysł surowcowy dostarcza szerokie spectrum różnego rodzaju surowców mineralnych. Są to zarówno surowce budowlane takie jak kruszywa mineralne żwirowo-piaskowe i łamane, kamienie budowlane, jak również liczne surowce chemiczne (np. sól, sole potasowe, siarka, fosforyty), ceramiczne (np. wapienie, dolomity, kaolin, piaski szklarskie, skalenie), czy wreszcie surowce metaliczne, z których są pozyskiwane metale.

Złoża niektórych kopalni występują powszechnie, będąc pozyskiwane i użytkowane w dużych ilościach, np. kruszywa czy też niektóre metale takie jak miedź, ołów, aluminium czy żelazo (stal). Inne, choć użytkowane na mniejszą skalę, dostarczane są jednak w ilościach zaspokajających światowy popyt na nie. Tym niemniej, w przypadku niektórych surowców mających duże znaczenie gospodarcze istnieje ryzyko, że podaż będzie niewystarczająca, by zaspokoić zapotrzebowanie na nie w perspektywie krótko- i średniookresowej, głównie z powodu uwarunkowań ekonomicznych i politycznych, a nie braku występowania ich źródeł w przyrodzie. Surowce te znane są pod nazwą 'surowce krytyczne'. Ich lista nie jest ostateczna, ale Unia Europejska w ostatnim raporcie zidentyfikowała 20 takich surowców krytycznych. Na liście tej są dwie grupy pierwiastków metalicznych – pierwiastki ziem rzadkich (REE) i platynowce (PGM), a także niektóre metale rzadkie (np. antymon, gal, german, ind, kobalt, niob, wolfram) oraz kilka surowców niemetalicznych (np. borany, fluoryt, magnezyt, grafit, fosforyty).



## Pierwiastki ziem rzadkich

Pierwiastki ziem rzadkich (REE) są grupą 17 pierwiastków metalicznych: 15 lantanowców (liczba atomowa 57-71) oraz itr i skand. Ich użytkowanie w nowoczesnych technologiach takich jak ekrany plazmowe, elektronika, czy technologie ekologiczne (turbiny wiatrowe, silniki elektryczne) spowodowało wzrost zapotrzebowania na nie o ponad 50% w ciągu 10 lat, a w przyszłości będzie ono rosnąć równie intensywnie. REE znajdują się na liście surowców krytycznych Unii Europejskiej. Chiny obecnie są dominującym producentem REE, a większość złóż REE jest zlokalizowana poza Europą – w Chinach, Rosji, Kirgistanie, Kazachstanie, USA i Australii.

Złoża REE nie występują jednak bardzo rzadko, problemem są natomiast zaburzenia dostaw i okresowo wysokie ceny REE związane z monopolistyczną pozycją Chin. Stąd podjęto działania na rzecz rozwoju pozyskiwania REE poza Chinami. Jednak wobec złożonych uwarunkowań technicznych, finansowych, środowiskowych i prawnych proces uruchamiania takiej produkcji będzie długi i kosztowny. Może to doprowadzić do nadwyżki popytu nad podażą w ciągu najbliższych kilku lat, co może stanowić ograniczenie w rozwoju i wdrażaniu nowoczesnych technologii niskoemisyjnych, które zależą od pierwiastków ziem rzadkich.

Kopalnia Aitik koło Gällivare w północnej Szwecji, największa kopalnia rud miedzi w Szwecji, najbardziej efektywna kopalnia odkrywkowa rud miedzi na świecie. ©Boliden



# Surowce mineralne

## Europejski przemysł surowcowy

W XIX wieku rozwój gospodarczy większości krajów europejskich był związany ze wzrostem produkcji i użytkowania węgla, rud metali i wielu innych surowców mineralnych. Od kilkudziesięciu lat Europa nie jest już głównym dostawcą większości surowców mineralnych, ale zróżnicowana budowa geologiczna kontynentu europejskiego powoduje, że niektóre kraje są wciąż znaczącymi producentami i eksporterami surowców metalicznych (np. Polska w przypadku miedzi i srebra), a także niektórych surowców chemicznych (np. sól kamienna, sole potasowe, siarka) oraz ceramicznych i budowlanych.



Kopalnia perlitu Pálháza, północne Węgry. ©Perlit-92 Kft

Wskutek wzrostu cen surowców oraz rozwoju nowych technologii eksploatacji i przeróbki kopalin, niektóre złoża uważane dotychczas za nieekonomiczne mogą stać się obecnie opłacalnym źródłem surowców. Przykładem jest złożo rud wolframu Hemerdon w Wielkiej Brytanii. Tym niemniej tylko niewielkie ilości niektórych surowców krytycznych użytkowanych w Unii Europejskiej są produkowane w Europie. Produkcja wielu spośród tych surowców jest zdominowana przez jeden lub dwa kraje, np. Chiny w przypadku antymonu, REE, wolframu, a Kongo w przypadku kobaltu. To stwarza potencjalne zagrożenie dostaw tych surowców do Europy.

Rozwój technologiczny obejmujący wiele etapów pozyskiwania surowców może prowadzić do ekonomicznie opłacalnego pozyskiwania metali z odpadów przemysłowych, a także do pozyskiwania innych surowców z dawnych hałd odpadów górniczych i przerobczych. Odpowiednie projektowanie wyrobów z udziałem surowców mineralnych (zwłaszcza metalicznych) może przyczynić się do rozwoju ich recyklingu. Zmniejsza się także energochłonność przemysłu surowcowego i jego oddziaływanie na środowisko.

Warto wspomnieć także o rosnącej roli produkcji surowców mineralnych z obszarów morskich. Chodzi tu nie tylko o eksploatację węglowodorów z szelfów morskich, ale także o pozyskiwanie z nich kruszyw. Ważnym przyszłościowym źródłem wielu metali (także krytycznych) są konkrekcje polimetaliczne na dnie oceanów.

## Zapewnienie żywności dla rosnącej populacji

Bez udziału geologii nie byłoby nowoczesnego rolnictwa. Plony zbóż i innych uprawianych roślin zależą od dobrej jakości gleb (składających się ze zwiędzających skał, substancji organicznej, wody i gazów). Wymagają one także nawożenia, stąd tak duże jest znaczenie surowców mineralnych rolniczych takich jak sole potasowe czy fosforyty. Wzrost populacji światowej powoduje rosnące zapotrzebowanie na żywność, co z drugiej strony często wiąże się z istotnymi zmianami środowiskowymi wynikającymi z produkcji żywności.

Wzrost światowego użytkowania nawozów prowadzi do wysokiego popytu na fosforyty i sole potasowe oraz obaw o zabezpieczenie ich dostaw. Kilka krajów zapewnia większość dostaw fosforytów, w tym Chiny jako główny producent. Ciągłe użytkowanie nośników fosforu (w przeciwieństwie do potasu) może mieć negatywny wpływ na środowisko w związku z wymywaniem nawozów fosforowych z gleb, ich przedostawaniem się do rzek i – w konsekwencji – eutrofizacją zbiorników wodnych.



Tereny rolnicze w regionie La Rioja w Hiszpanii.

# Techniki przyszłości

**Znajomość warunków gruntowych oraz interakcji budynków, infrastruktury i ludzi z otaczającym środowiskiem geologicznym ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa publicznego i komfortu życia, a także aby móc zmierzyć się z obecnymi wyzwaniami życia w zmieniającym się środowisku.**

## Środowisko budowlane

Geologia inżynierska jest specjalnością z pogranicza nauk geologicznych i inżynierskich. Budownictwo zatrudnia dużą liczbę geologów inżynierskich, a także hydrogeologów i geologów środowiskowych, celem odpowiedniego rozpoznania warunków gruntowych i – szerzej – budowy geologicznej terenu przed rozpoczęciem inwestycji w zakresie budowy budynków, dróg, linii kolejowych, zapór wodnych, tuneli, rurociągów itp. Istotą tych działań jest określenie wpływu tych inwestycji na zmiany w środowisku, rekultywacja terenów przemysłowych, oraz zarządzanie zagrożeniami geologicznymi wszystkich rodzajów, poczynając od trzęsień ziemi poprzez zjawiska osuwiskowe aż po zjawiska wysadzinowe w gruntach ilastych.

Niedocenie znaczenia takich prac w dużych projektach

budowlanych, lub też niewłaściwe ich przeprowadzenie, jest często przyczyną bardzo znaczących kosztów i opóźnień w ich realizacji. Identyfikacja i efektywne zarządzanie problemami związanymi z gruntami w trakcie prac budowlanych jest także niezwykle istotne w kontekście zdrowia i bezpieczeństwa ludzi oraz ich jakości funkcjonowania w tak powstałych obiektach budowlanych. Wysokie standardy zawodowe muszą być określone i przestrzegane przez geologów, inżynierów i inne osoby zaangażowane w proces budowy. Ryzyko geotechniczne może dotknąć wszystkie osoby zaangażowane w ten proces – klientów, projektantów, wykonawców i osoby postronne.

Geolodzy będą odgrywać wiodącą rolę w rozwoju infrastruktury technicznej zwłaszcza w warunkach rozwijającej się gospodarki niskoemisyjnej, np. przy lokalizacji turbin wiatrowych czy zapór pływowych, a także przy analizie zagrożenia sejsmicznego w planowaniu nowych elektrowni jądrowych.

## OneGeology Europe

Służby geologiczne krajów europejskich odgrywały zawsze kluczową rolę w poszukiwaniach złóż kopalin. Obecnie rola ta uległa rozszerzeniu m.in. o analizę zagrożeń geologicznych i ocenę wpływu tych zagrożeń na działalność człowieka. Koniecznością staje się m.in. coraz bardziej innowacyjna działalność kartograficzna i modelowanie geologiczne. Ponieważ geologia nie jest ograniczona granicami państw, ważna jest wymiana informacji geologicznej między państwami.

Portal OneGeology Europe jest rezultatem prac państwowych służb geologicznych z 20 krajów europejskich, skupionych w ich stowarzyszeniu – EuroGeoSurveys, a także innych uczestników tego projektu. Po raz pierwszy dane kartograficzne posiadane przez poszczególne służby zostały zestawione wspólnie, jednolicie i w sposób łatwy w użytkowaniu, dzięki jednolitej wielojęzycznej platformie online. Sporządzono zbiór map w skali 1:1 000 000 państw uczestniczących w projekcie. W dalszej kolejności planuje się kontynuację tych prac w kierunku sporządzenia takich map w skali 1:250 000.

Portal OneGeology Europe jest częścią ogólnoświatowej inicjatywy OneGeology, a także ważnym wkładem w powstanie INSPIRE – ogólnoeuropejskiej infrastruktury przestrzennych danych środowiskowych. Będzie miał on wielką praktyczną wartość dla naukowców i praktyków z przemysłu, a także decydentów na wszystkich szczeblach władzy w zakresie zarządzania zasobami mineralnymi, zarządzania suszami i powodziami, planowania przestrzennego miast oraz rozwoju dużych projektów infrastrukturalnych.



## Geologia miejska – inżynieria miast przyszłości

Wciąż rosnąca część populacji światowej żyje w rosnących wielkich aglomeracjach miejskich. Praca geologów w zarządzaniu wieloma (często konkurencyjnymi) kierunkami użytkowania powierzchni terenu oraz górotworu będzie szczególnie istotna na obszarach zurbanizowanych, jeśli miasta przyszłości mają funkcjonować w sposób zrównoważony.



Budowa stacji kolejowej Tottenham Court Road Crossrail w Londynie.

Przy coraz bardziej ograniczonej przestrzeni, także górotwór jest w coraz większym stopniu użytkowany w celach transportowych, budowlanych, do zaopatrzenia w surowce i w celach usługowych. Zaopatrzenie w wodę i energię oraz gospodarowanie odpadami jest szczególnym wyzwaniem dla dużych miast, ale także stwarza wiele możliwości innowacji. Obiekty budowlane muszą być projektowane zgodnie z zasadą maksymalnej ich energooszczędności. Wielkie podziemne inwestycje związane z transportem (metro, kolej podziemna) to projekty bardzo wymagające pod względem technicznym, a co za tym idzie zależą od umiejętności wielu inżynierów i naukowców, w tym geologów inżynierskich i hydrogeologów. Złożoność zagadnień geologii inżynierskiej jest coraz lepiej rozumiana, dzięki czemu rozwijane są nowoczesne technologie, także w zakresie pozyskiwania surowców, wód podziemnych i energii w środowisku miejskim.

W Europie rozwijane jest coraz bardziej kompleksowe podejście do 'usług ekosystemowych' w zarządzaniu środowiskowym (patrz strona 13). Należy pamiętać, że ekosystemy, środowisko oraz interakcje pomiędzy różnymi składnikami tych ekosystemów (w tym człowieka) nie są ograniczone tylko do obszarów wiejskich. Aspekty geologiczne i abiotyczne tych ekosystemów są także niezwykle istotne, zarówno na obszarach wiejskich, jak i zurbanizowanych.

## Użytkowanie górotworu

Geolodzy są zaangażowani w wiele przedsięwzięć związanych z użytkowaniem górotworu, o czym jest mowa w innych częściach tego dokumentu. Dotyczy to m.in. eksploatacji paliw i kopalin mineralnych, pozyskiwania wód podziemnych, ale także zatlaczania CO<sub>2</sub> do zbiorników skał porowatych, magazynowania gazu ziemnego czy składowania odpadów promieniotwórczych oraz innych odpadów przemysłowych w górotworze. Istotna jest także ich rola we właściwym projektowaniu fundamentów obiektów budowlanych, a także infrastruktury technicznej posadowionej w górotworze takiej jak infrastruktura transportowa, gazociągi czy kable energetyczne.

Jeśli chcemy lokować w górotworze coraz większą ilość różnego rodzaju inwestycji, musi to być starannie zaplanowane. Ta sama część górotworu może pełnić różne funkcje, równocześnie lub w różnych okresach czasu. Niekiedy może pojawiać się konkurencja między różnymi pożądanymi kierunkami wykorzystania górotworu, często nie do pogodzenia między sobą. Geolodzy mogą doradzać w tych kwestiach, ale ostateczne decyzje w tym względzie mają charakter polityczny lub ekonomiczny.



Pociąg Glacier Express na wiadukcie Landwasser, Szwajcaria.

**Setki lat rozwoju miast i przemysłu w Europie odcisnęło swój ślad na naszej ziemi, wodzie i atmosferze. Zanieczyszczenia mogą rozprzestrzeniać się i wzajemnie ze sobą oddziaływać w litosferze, biosferze, atmosferze i hydrosferze, które są ze sobą ściśle powiązane.**

## Jakość gruntów i wód

Duże powierzchnie terenów w całej Europie zostały zanieczyszczone w rezultacie dawnej działalności przemysłowej. Rewitalizacja takich obszarów poprzemysłowych wymaga odpowiednich badań i działań.

Miejsca takie mogą zostać zrehabilitowane i zrewitalizowane przez ich właścicieli albo na zasadzie dobrowolności, albo poprzez odpowiednie działania na etapie planowania, albo poprzez odpowiednie regulacje prawne.

Planując kierunki rekultywacji i rewitalizacji, ważne jest rozważenie, jak na te procesy mogą wpływać przyszłe zmiany środowiskowe. Techniki rekultywacji in situ takie jak przepuszczalne bariery reaktywne oraz techniki immobilizacji zanieczyszczeń, mogą okazać się nietrwałe w warunkach intensyfikacji procesów erozyjnych, suszy czy powodzi, co może skutkować ponownym uwalnianiem zanieczyszczeń do środowiska.

Wysokiej jakości gleby i woda są kluczowe dla bezpiecznego i zrównoważonego zaopatrzenia w żywność. Gleba pochłania także znaczne ilości atmosferycznego CO<sub>2</sub>, rejestrując dawne i obecne zmiany środowiskowe, dzięki czemu badanie jej jest istotnym narzędziem w zrozumieniu tych zmian. Ochrona i poprawa jakości wód w rzekach, morzach i oceanach, a także źródeł wody pitnej zależy od dobrego zrozumienia zachowania się i wzajemnego oddziaływania wód, gleby, skał i atmosfery.

Oczyszczanie zanieczyszczonych gleb w porcie w Antwerpii, Belgia.  
©Deme-group



## Oczyszczanie wód podziemnych

Geologia jest pierwszym elementem kontroli jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Oczyszczanie zanieczyszczonych wód podziemnych może być realizowane w różnych sposób, w tym w formie barier fizycznych, oczyszczania chemicznego czy też – zwykle najbardziej opłacalnego – oczyszczania w środowisku naturalnym. Rozwiązania inżynierskie zależą od wiedzy na temat zachodzących zjawisk, z uwzględnieniem geochemii skał i wody, co rzutować będzie m.in. na możliwości użycia materiałów adsorbujących czy utleniających. Oczyszczanie w środowisku naturalnym polega na wykorzystaniu naturalnie zachodzących procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych celem rozkładu lub izolacji zanieczyszczeń. Ich wykorzystanie zależy od dobrego rozumienia procesów chemicznych zachodzących w górotworze i w wodach.

Poprawa efektywności prac rekultywacyjnych zależy także od dobrego zrozumienia geologii podłoża, co może pozwolić niekiedy na znaczne zaoszczędzenie czasu i pieniędzy niezbędnych do przeprowadzenia tych procesów.

## Nasze dziedzictwo przemysłowe i jego wpływ na jakość terenu

Rekultywacja zanieczyszczonych terenów poprzemysłowych może być złożona i kosztowna, szczególnie jeśli związana jest z dawnym chaotycznym składowaniem odpadów i zanieczyszczonych materiałów. Stały monitoring geochemiczny wskazuje na złożoność zagadnienia skażenia gleby wskutek działalności przemysłowej, ale pozwala także rozwijać lepsze techniki dla poprawy tej sytuacji. Długoterminowe zrównoważone procesy naprawy gruntów zanieczyszczonych wymagają innowacyjnych technik i metod zarządzania oraz bezpiecznego składowania zanieczyszczeń, co musi być poparte znakomitym rozumieniem tych procesów od strony geologicznej.

# Wartość i ochrona naszego środowiska

Zarządzanie środowiskiem bazujące na podejściu 'usług ekosystemowych' zależy od zastosowania prawdziwie kompleksowego podejścia do ekosystemów i środowiska. Znaczenie geologii i geosfery w kontekście ochrony środowiska i świadczenia 'usług ekosystemowych' jest często pomijane – a przecież w rzeczywistości kształtują one nasz krajobraz, oddziałują na atmosferę i hydrosferę oraz pozwalają utrzymać życie.

## Usługi geosystemowe

Szeroki zakres usług ekosystemowych – tj. sposobów czerpania korzyści społeczno-gospodarczych ze środowiska – zależy od geosfery i może być określony ogólnym terminem 'usług geosystemowych'. Obejmuje on:

- podstawowe **usługi dostawy** energii, wody, surowców mineralnych oraz udostępnienia górotworu, na którym lub w którym zbudowana jest nasza infrastruktura miejska i transportowa
- **usługi wynikające z regulacji prawnych**, takie jak potencjalne możliwości przechowywania odpadów promieniotwórczych, składowania CO<sub>2</sub> w górotworze oraz naturalnej sekwestracji atmosferycznego CO<sub>2</sub> w glebie
- **usługi wspomagające** ekosystemy, w tym cykle geochemiczne, wpływ geomorfologii na fragmentację siedlisk i różnicowanie społeczności, bardzo ważne dla zachowania bioróżnorodności
- korzystanie z walorów krajobrazowych i inne **usługi kulturowe**

Bogate dziedzictwo geologiczne Europy i jego różnorodność są bardzo cenne dla celów edukacyjnych i turystycznych oraz dla jakości życia. Ważne jest, by te obiekty geologiczne były odpowiednio zabezpieczone, np. poprzez uznanie danego stanowiska za obiekt geoturystyczny. Funkcje buforujące geosfery, hydrosfery i atmosfery mają ogromną wartość środowiskową, przy czym ich znaczenie dopiero zaczyna być właściwie rozumiane.

Podatność systemów naturalnych na wpływ niekorzystnych czynników środowiskowych zależy częściowo od wielkości ładunków zanieczyszczeń, które na nie oddziałują. Przykładowo wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze prowadzi do wzrostu średnich temperatur w skali świata oraz do rosnącego zakwaszenia oceanów wobec wzrostu zawartości rozpuszczonego CO<sub>2</sub>. Rify koralowe, które goszczą ogromne ilości gatunków zwierząt i są jednym z najbardziej bioróżnorodnych systemów na świecie, a przy tym zapewniają takie usługi ekosystemowe jako turystyka,

## Ochrona morza i brzegu morskiego

Wyznaczenie Europejskich Obszarów Morskich może pomóc w zapewnieniu ochrony wrażliwych obszarów morskich i przybrzeżnych. Koncentrują się one na ochronie przyrody żywej, pomijając elementy abiotyczne oraz interakcje powierzchni ziemi i górotworu z morzem, a także z podtrzymywaniem życia w tych obszarach. Całościowe podejście do ekosystemów morskich i związanych z nimi procesów środowiskowych jest niezbędne, jeśli ochrona zagrożonych gatunków i środowisk ma być efektywna.

Osady zawierające zanieczyszczenia są transportowane z i do ujść rzek przez pływy i prądy, oddziałując ze składnikami chemicznymi wody morskiej. Rybołówstwo może spowodować zaburzenia w obszarach dennych mórz, niszcząc istniejące ekosystemy. Hydrotechniczna ochrona wybrzeża może powodować istotne zmiany w zakresie kierunków transportu i depozycji osadów. Obieg składników odżywczych zależy od geochemicznych interakcji między różnymi elementami systemów morskich i rzecznych – podłoża skalnego, nadległych osadów, fauny i flory, słupa wody oraz atmosfery.



Wyspa Mont Saint-Michel z zatoką, Normandia, Francja - obiekt z listy Światowego Dziedzictwa UNESCO ze względu na naturalne piękno.

# Geozagrożenia

**Geozagrożenia, takie jak trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne, osunięcia ziemi czy tsunami, mogą mieć katastrofalny wpływ na ludność, gospodarkę i krajobraz. Zrozumienie i efektywne uświadamianie ryzyka, wpływu i sposobów łagodzenia skutków tych zagrożeń, ma zasadnicze znaczenie dla zmniejszenia potencjalnych cierpień ludzi w związku z ich wystąpieniem.**

## Trzęsienia ziemi

Trzęsienia ziemi to wielkie zagrożenie, szczególnie w południowej i południowowschodniej Europie, mogące skutkować utratą życia, zniszczeniem infrastruktury, osłabieniem gospodarki oraz niepokojami społecznymi. Skutki trzęsienia ziemi zależą nie tylko od jego siły i głębokości jego epicentrum, ale także od czynników ludzkich – gęstości zaludnienia, poziomu rozwoju gospodarczego, a także odpowiedniego przygotowania i edukacji. Przykładowo, trzęsienie ziemi na Haiti przyniosło wiele więcej ofiar śmiertelnych niż wiele innych, znacznie mocniejszych trzęsień w innych rejonach. Wielkie trzęsienie ziemi w pobliżu wielkiej aglomeracji miejskiej w kraju rozwijającym się wciąż może mieć fatalne skutki. Najbardziej skuteczne sposoby ograniczenia skutków trzęsienia ziemi to zmniejszanie obszarów ubóstwa (zwłaszcza w krajach rozwijających się), rozwój edukacji, odpowiednie przygotowanie służb cywilnych oraz odpowiednia infrastruktura, z projektowaniem nowych budynków odpornych na takie wstrząsy. Modernizacja starych budynków jest także możliwa, ale znacznie droższa.

Możliwości przewidywania prawdopodobieństwa trzęsienia ziemi w danym rejonie uległa na przestrzeni ostatnich dekad znacznej poprawie dzięki badaniom geologicznym. Tym niemniej, wciąż nie jest możliwe precyzyjne określenie, kiedy i gdzie trzęsienie ziemi się zdarzy, a większość geologów nie przypuszcza, by stało się to możliwe w przyszłości. Mapowanie ryzyka trzęsienia ziemi oraz modelowanie jego efektów są niezbędne do właściwego przygotowania ludzi i poprawy odporności infrastruktury. Projekt SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) ustanowił wspólne standardy danych i metodologie, mające na celu łagodzenie skutków trzęsień ziemi w przypadku, gdy już one nastąpią.



Prezydent Barack Obama wizytujący miejscowość L'Aquila we Włoszech zniszczone w wyniku trzęsienia ziemi.

## Inne geozagrożenia

Podobnie jak wulkany, także tsunami mogą powodować poważne skutki daleko od miejsc, gdzie się tworzą. Badania geologiczne dowodzą, że znaczna część europejskiej linii brzegowej doświadczyła poważnych zjawisk tego typu w przeszłości, i może się to zdarzyć ponownie.

Inne mniej dramatyczne zagrożenia to wysadzinowość gruntów ilastych mogąca powodować zniszczenia budynków i infrastruktury, zapadliska w masywach skalnych wynikająca np. z procesów rozpuszczania skał węglanowych (procesy krasowe), oraz obecność gruntów słabonośnych. Choć takie 'ciche zagrożenia' rzadko skutkują utratą życia, ich skutki ekonomiczne mogą być poważne.



Zapadlisko krasowe w rejonie Biržai, Litwa.

Znane są również 'geozagrożenia antropogeniczne' spowodowane działalnością człowieka, np. zanieczyszczenie gruntów, eksploatacja kopalin czy składowanie odpadów. Działalność człowieka może także nasilić efekty takich zagrożeń jak zagrożenie powodziowe. Geolodzy mają do odegrania istotną rolę w projektowaniu i budowie wałów przeciwpowodziowych, poznaniu i zarządzaniu naturalnymi mechanizmami obronnymi, a także zapewnieniu efektywnego wykorzystania gruntów.

# Geozagrożenia

## Osuwiska

Osuwiska są bardzo częstym zjawiskiem w Europie. Mogą one wynikać z wielu różnych przyczyn, np. ze wzmożonych opadów, erozji, innych geozagrożeń takich jak trzęsienia ziemi, a także być skutkiem działalności człowieka – górnictwa, procesów wylesiania i innych istotnych zmian kierunków użytkowania gruntów. Osuwiska mogą mieć znaczący wpływ na istniejącą infrastrukturę i na gospodarkę, a niekiedy skutkują także ofiarami śmiertelnymi. Są one także odpowiedzialne za powstanie około 15% tsunami na świecie.

Należy przypuszczać, że zmiany klimatyczne będą powodować wzrost procesów osuwiskowych, gdyż ekstremalne zjawiska pogodowe będą coraz częstsze. Istnieją dowody na to, że fakt ten już ma miejsce.

## Wulkany

Okolo 500 milionów ludzi na świecie mieszka wystarczająco blisko czynnych wulkanów, by być zagrożonym ich ewentualnymi erupcjami. Wiele ośrodków miejskich rozwinęło się w pobliżu wulkanów w związku z obecnością żyznych gleb rozwijających się na osadach wulkanicznych. Aktywne wulkany mogą przykładowo zagrażać dużym populacjom ludzkim w rejonie wulkanu Wezuwiusz koło Neapolu oraz wulkanu Popocatepetl koło Mexico City.

Należy podejmować wszelkie możliwe działania na rzecz minimalizacji skutków działania wulkanów, chociaż skutki te w



Wulkan Wezuwiusz koło Neapolu, Włochy.

ostatnim czasie były stosunkowo umiarkowane w porównaniu do innych geozagrożeń (około 300 000 ofiar śmiertelnych w ciągu ostatnich 200 lat). Tym niemniej, straty gospodarcze, zniszczenia infrastruktury i zaburzenia społeczne z tym związane mogą być znaczące.

Wulkany mogą mieć także wpływ na bardziej oddalone społeczności, gdzie ryzyko z tym związane jest niskie, a postrzeganie przez społeczeństwo tego zagrożenia jest marginalne. Obecnie świat jest jednak nadal poważnie narażony na możliwe potężne zjawiska wulkaniczne. Zagadnienie cyklicznego powracania wysokiego zagrożenia zjawiskami wulkanicznymi na Ziemi oraz ich wpływu na środowisko jest przedmiotem intensywnych badań prowadzonych przez wulkanologów.

### Pył wulkaniczny

Erupcja wulkanu Eyjafjallajökull na Islandii w 2010 roku spowodowała ogromne zaburzenia w zakresie funkcjonowania transportu lotniczego w Europie, zwłaszcza północnej i zachodniej. Rządy i władze lotnicze musiały zapewnić bezpieczeństwo publiczne, ale także zmierzyć z apelami o jak najszybsze wznowienie lotów, biorąc pod uwagę wpływ tych zaburzeń na gospodarkę. Geolodzy we współpracy z meteorologami pracowali nad zrozumieniem interakcji pióropusza popiołowego z systemami pogodowymi, co pozwoliło podejmować właściwe decyzje w zakresie wznowienia ruchu lotniczego.

Inne wulkany, zarówno na Islandii, jak i w innych miejscach, mogą spowodować podobne problemy, być może nawet w większej skali. Główne trasy lotnicze, szczególnie te przebiegające na obszarach polarnych, były badane pod kątem rozmieszczenia aktywnych i niedawno uśpionych wulkanów - jest to cenne np. w ocenie ryzyka tego rodzaju na zachodnim wybrzeżu Ameryki Północnej, szczególnie łańcucha wulkanów na Aleutach.

Wulkany takie jak Góra Świętej Heleny czy Wezuwiusz, są otoczone przez gęstą sieć monitoringu sejsmicznego, który może być pomocny w systemach wczesnego ostrzegania przed możliwą erupcją wulkaniczną. Tym niemniej w skali świata znaczna część wulkanów nie jest monitorowana i może wybuchnąć bez ostrzeżenia.

**Obserwacje geologiczne dostarczają licznych dowodów na to, w jaki sposób klimat Ziemi zmieniał się w przeszłości. To bardzo pomocne fakty pomagające zrozumieć, w jakim kierunku te zmiany mogą zmierzać w przyszłości, w tym ocenić możliwe skutki emisji dwutlenku węgla w wyniku działalności człowieka.**

## Geologiczne dowody na zmiany klimatu w przeszłości

Na przestrzeni ostatnich 200 milionów lat, stwierdzony zapis geologiczny osadów i skamielin pokazuje, że Ziemia ulegała wielu gwałtownym zmianom klimatu, od okresów cieplejszych niż obecnie do znacznie zimniejszych, z różną długością trwania tych okresów. Choć często było to spowodowane cyklicznymi zmianami takich czynników jak zmiana orbity Ziemi czy zmiana aktywności Słońca, były jednak notowane też przypadki gwałtownej zmiany klimatu wskutek wzrostu udziału CO<sub>2</sub> w atmosferze, np. podczas paleoceancko-eoceńskiego maksimum termicznego mającego miejsce około 55 milionów lat temu.

Dowody zmian klimatycznych w przeszłości można znaleźć m.in. w osadach morskich i jeziornych, pokrywach lodowych, kopalnych koloniach koralowych, stalagmitach oraz słojach skamieniałych drzew. Postępy w obserwacjach polowych, technikach laboratoryjnych i modelowaniu numerycznym pozwalają geologom na pokazanie, z coraz większą pewnością, jak i dlaczego klimat zmieniał się w przeszłości. Ta wiedza o przeszłości stanowi istotną podstawę do prognozowania możliwych zmian klimatycznych w przyszłości.

## Lekcje na przyszłość

Na podstawie zarejestrowanych zjawisk zmian klimatycznych w



Badania pokrywy lodowej na Grenlandii.

przeszłości, geolodzy są coraz bardziej pewni tego, że CO<sub>2</sub> jest jednym w głównych czynników wpływających na zmiany klimatu. Zgromadzone dowody potwierdzają podstawową zasadę fizyczną, że istotny wzrost ilości gazów cieplarnianych, takich jak CO<sub>2</sub>, w atmosferze powoduje wzrost jej temperatury. Pokazuje to również, że skutkiem tego może być wzrost poziomu mórz, zwiększenie zakwaszenia oceanów, zmniejszenie stężenia tlenu w wodzie morskiej i znaczące zmiany wzorców pogodowych.

Życie na Ziemi przetrwało wiele poważnych zmian klimatu w przeszłości, ale skutkowało to często masowym wymieraniem gatunków i pojawianiem się nowych. Jest wielce prawdopodobne, że stosunkowo niewielki wzrost średniej temperatury na Ziemi o kilka stopni może mieć ogromny wpływ na funkcjonowanie współczesnej, nowoczesnej cywilizacji.

Dokładne skutki gwałtownych zmian klimatu w przeszłości są przedmiotem ciągłych badań, ale jest wielce prawdopodobne, że przyczyną tych zjawisk była natura geologicznej - np. przyczyną tą mogły być okresy wzmożonej działalności wulkanicznej. Gwałtownego wzrostu zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze w ostatnich kilku dekadach nie można jednak wiązać z żadnym czynnikiem geologicznym. Ponad 500 miliardów ton węgla (tj. ponad 1850 miliardów ton CO<sub>2</sub>) trafiło do atmosfery w wyniku działalności człowieka od 1750 roku, przy czym około 65% było skutkiem spalania paliw kopalnych. W rezultacie, przy obecnym tempie wzrostu, zawartość CO<sub>2</sub> w atmosferze może osiągnąć poziom 600 części na milion (ppm) na koniec tego stulecia, a więc wartość ostatnio notowaną 24 miliony lat temu.

Geolodzy mają tu do odegrania ważną rolę, nie tylko przyczyniając się do lepszego zrozumienia zmian klimatycznych, ale także w kontekście redukcji emisji CO<sub>2</sub> w przyszłości (m.in. poprzez rozwój wyłapywania i magazynowania CO<sub>2</sub>, czy rozwój alternatywnych źródeł energii), a także w kontekście niezbędnej adaptacji do skutków zmian klimatu w przyszłości.



# Antropocen

**Działalność człowieka miała dramatyczny wpływ na zmianę krajobrazu oraz górotworu, napędzając istotne zmiany atmosferyczne, chemiczne, fizyczne i biologiczne. Czy zmiany te są wystarczająco znaczące i stałe, by można byłoby mówić o początku nowej ery geologicznej - Antropocenu?**

## Zmiany antropogeniczne

Międzynarodowa Komisja Stratygrafii, która definiuje i wydziela poszczególne jednostki stratygraficzne w historii Ziemi (eony, ery, okresy, epoki), rozważa obecnie czy nie należałoby wydzielić nową epokę geologiczną - Epokę Człowieka lub inaczej Antropocen - aby zaznaczyć stopień wpływu, jaki mieliśmy na naszą planetę. Niektórzy stratygrafowie sugerują, że początek Rewolucji Przemysłowej powinien być początkiem Antropocenu, uznając m.in. znaczenie emisji do atmosfery ponad 1850 miliardów ton CO<sub>2</sub> ze źródeł antropogenicznych od połowy XVIII wieku. Inni twierdzą, że istotny wpływ człowieka na planetę datuje się już znacznie wcześniej, poczynając od rozwoju rolnictwa i kultur osiadłych około 8000 lat temu. Jakakolwiek data będzie przyjęta, bez wątpienia rozwój cywilizacji ludzkiej jest odpowiedzialny za znaczące przekształcenia terenu i zmiany krajobrazu poprzez wielu różnych prowadzonych przez nią procesów, w tym rolnictwo, budownictwo, regulację rzek, wylesianie, rozwój aglomeracji miejskich oraz rozwój przemysłowy.

Mamy również pozostawione wyraźne ślady skażenia i zanieczyszczenia powietrza, powierzchni ziemi, oceanów i rzek, a także górotworu. Znaczącym markerem jest zanieczyszczenie ołowiem, powodowane głównie działalnością hut, zakładów obróbki metali, oraz procesami spalania. Zanieczyszczenie to jest obecnie stwierdzane w odległych lokalizacjach, takich jak pokrywy lądolodów czy torfowiska, które zaczęły powstawać w czasach grecko-rzymskich. Rewolucja przemysłowa przyniosła znaczne skażenia środowiska wynikające z działalności górnictwa, hutnictwa, energetyki i innej działalności przemysłowej, a także ze składowania wytwarzanych przez przemysł odpadów.

Wielu badaczy obecnie podejmuje prace mające na celu zbadania zakresu, rodzaju, skali i wielkości wpływów antropogenicznych na użytkowanie gruntów i funkcjonowanie procesów geologicznych, a także ich skutków i geologicznego znaczenia. Połączenie tych zmian i ich wpływu na chemię, biologię i geomorfologię powierzchni Ziemi, górotworu,



Zanieczyszczenie powietrza: dym z komina elektrowni.

oceanów i atmosfery, może przyczynić się do wyznaczenia epoki Antropocenu.

## Czy to jest ważne?

Niezależnie od tego, czy Międzynarodowa Komisja Stratygrafii zdecyduje, że mamy do czynienia z nową epoką - Antropocenem, czy też nie, termin ten jest używany coraz częściej, zarówno wśród geologów, jak i w społeczeństwie. Wyraża on myśl, że skumulowany i złożony wpływ rodzaju ludzkiego na naszą planetę, w tym (ale nie wyłącznie) na zmiany klimatyczne, może się utrzymywać przez wiele dalszych epok geologicznych, co może być pomocne w kształtowaniu naszej odpowiedzi na te zmiany.

## Przyszłość

Populacja ludzkości osiągnie pułap 9 miliardów prawdopodobnie około roku 2045. Będzie to powodować rosnący popyt na surowce i wodę, oraz pogłębiający się wpływ działalności człowieka na środowisko powierzchniowe i płytkich części górotworu. Będzie to szczególnie widoczne w obszarach silnie zurbanizowanych, o wysoce rozwiniętej infrastrukturze technicznej. Życie w Antropocenie będzie stawało bezprecedensowe wyzwania dla społeczeństw i rządów na całym świecie.

# Propagowanie geologii: czas, niepewność i ryzyko

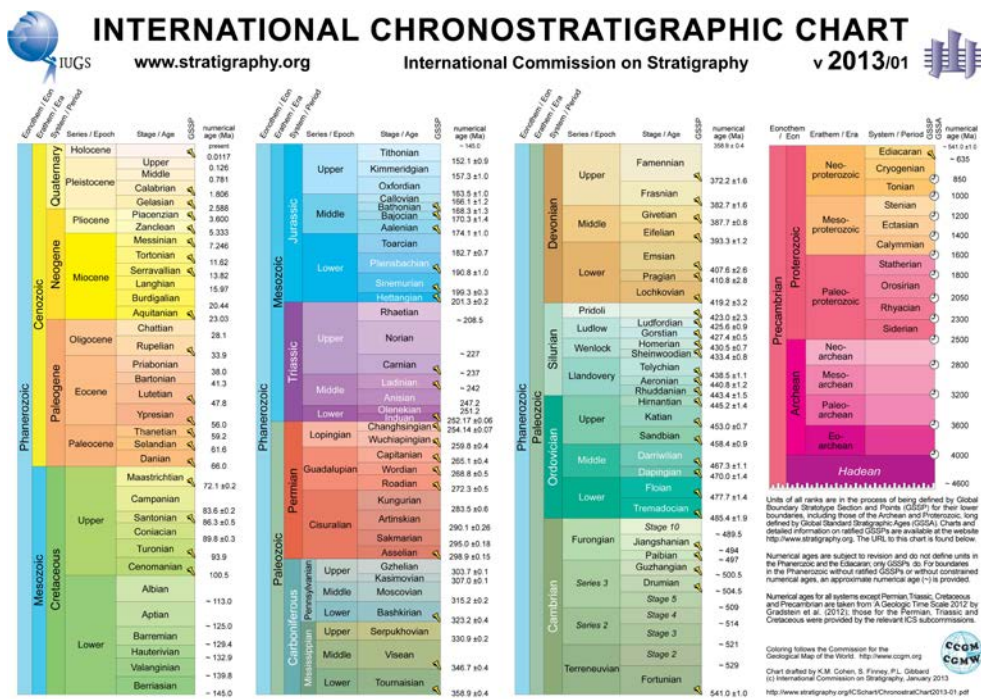
**Rośnie znaczenie zagadnień geologicznych w codziennym życiu ludzi w Europie – a geolodzy muszą nauczyć się lepiej przekazywać wyniki swoich badań społeczeństwu, by umożliwić mu udział w świadomej debacie.**

Decyzje o eksploatacji gazu z łupków i innych węglowodorów, zatłaczaniu wody celem pozyskania ciepła geotermalnego, zatłaczaniu dwutlenku węgla w górotworze oraz składowaniu w nim odpadów promieniotwórczych – wszystkie one wymagają odpowiedniej wiedzy geologicznej pozwalającej udzielić odpowiedzi na niektóre kluczowe pytania społeczeństwa europejskiego szukającego zabezpieczenia swoich przyszłych potrzeb surowcowych i zapewnienia sobie wzrostu gospodarczego, pragnącego zrozumieć różnego rodzaju ryzyka techniczne oraz mieć pewność, że odpowiednie regulacje prawne zapewnią ochronę środowiska i zdrowia oraz dobrobyt mieszkańców Europy. Choć znaczenie zagadnień geologicznych i ich praktyczna implementacja w zakresie m.in. wspomnianych technologii mają kluczowe znaczenie we współczesnym świecie, dla większości ludzi wewnątrz Ziemi to kraina nieznaną. Jeśli opinia publiczna ma być zaangażowana w świadomą debatę i podejmowanie decyzji co do stosowania takich technologii, ważny jest rozwój efektywnych strategii komunikowania przez geologów tego, co wiedzą i robią, aby także społeczeństwo rozumiało znaczenie tych zagadnień.

Niektóre elementy podstawowej, ugruntowanej wiedzy geologicznej (które dla geologów mogą być oczywiste), są całkowicie nieznane większości ludzi. Dzięki spojrzeńi wstecz sięgającemu miliony lat w

przeszłe dzieje Ziemi, geolodzy mają możliwość dobrego rozumienia naszej planety oraz procesów, które ją ukształtowały. Ale z drugiej strony mają zupełnie inne podejście do skali czasu niż zwykli ludzie. Przykładowo, dla większości ludzi 100 tysięcy lat wydaje się być bardzo długim okresem czasu (np. w kontekście przechowywania odpadów radioaktywnych), ale dla geologów to bardzo krótki okres czasu. Fakt ten może raczej zmniejszyć, a nie zwiększyć zaufanie społeczne do profesjonalnych opinii geologów m.in. co do warunków składowania odpadów radioaktywnych, jeśli nie podejmą oni wysiłków na rzecz zrozumienia społecznych poglądów i obaw.

Podobnie, geolodzy mają często do czynienia z niepewnością lub brakiem kompletnych danych, uznając, że są w stanie nawet w takiej sytuacji wyciągać odpowiednie wnioski natury geologicznej. Informowanie w sposób otwarty i skuteczny o sposobach interpretacji przez geologów niekompletnych danych oraz ograniczania niepewności geologicznej z użyciem metod probabilistycznych (np. w zakresie szacowania wielkości zasobów czy ryzyka zagrożeń naturalnych), jest kluczowe, jeśli interpretacje te mają być uznane za wartościowe, a nie za wyraz ignorancji ich autorów.



Międzynarodowa tabela chronostratygraficzna.  
©International Commission on Stratigraphy

# Geologia dla przyszłości

**Spółeczeństwo XXI wieku spotyka się z bezprecedensowymi wyzwaniami w zakresie zaspokojenia popytu na surowce, w warunkach wzrostu liczby ludzi, którzy aspirują do lepszych warunków życia, a z drugiej strony przy potrzebie zrównoważonego rozwoju naszej planety. Zapewnienie dobrze wykształconej kadry geologów i silnej infrastruktury badawczej pomoże nam sprostać tym wyzwaniom, a także pozwoli pozostać europejskiej gospodarce konkurencyjną.**

## Edukacja

Geologia ma zasadnicze znaczenie dla życia ludzi. W większości krajów europejskich geologia nie stanowi podstawowego przedmiotu szkolnego. Dlatego ważne jest, by młodzi ludzie poznawali podstawowe procesy zachodzące na Ziemi w ramach nauki chemii, fizyki, biologii i geografii, tak by w przyszłości byli dobrze wykształconymi obywateli XXI wieku, zdolnymi do debaty na temat podstawowych wyzwań rodzaju ludzkiego. Kwesie te zatem powinien uwzględniać program nauczania szkolnego w krajach europejskich. Ważne jest z jednej strony, by wszyscy studenci mieli podstawową wiedzę o Ziemi, ale z drugiej strony – by kształcić nową generację geologów, którzy będą odgrywać fundamentalną rolę w rozwiązywaniu kluczowych współczesnych wyzwań ludzkości. Ważne jest także dobre doradztwo zawodowe, by studenci mieli świadomość wielu możliwych ścieżek kariery w geologii, a także rozumieli, w jakim stopniu przedmioty, które wybiorą oni na wcześniejszych etapach edukacji, mogą ograniczyć im możliwości późniejszego wyboru kierunków studiów uniwersyteckich, a w konsekwencji – możliwe ścieżki kariery zawodowej.

Programy studiów licencjackich lub inżynierskich w zakresie geologii i innych nauk o Ziemi zapewniają odpowiednie podstawy naukowe i są pierwszym krokiem w procesie kształcenia geologów przyszłości. W niektórych krajach europejskich pracodawcy z wielu sektorów przemysłu poszukujący geologów wymagają ukończenia także studiów magisterskich w zakresie odpowiedniej specjalności geologicznej, np. geologia węglowodorów, geologia inżynierska, hydrogeologia czy geofizyka, z wyraźnym naciskiem na umiejętności praktyczne. Programy doktoranckie są również bardzo ważne, zarówno dla tych, którzy chcą rozwijać karierę naukową, jak też w celu zapewnienia najwyższej klasy specjalistów dla niektórych sektorów przemysłu. Ważne jest, by państwa europejskie zapewniły odpowiednie finansowanie edukacji geologicznej na wszystkich szczeblach, by utrzymać konkurencyjność państwa w świetle wyzwań przyszłości.

## Badania

Konkurencyjność gospodarki i zdolność sprostania przyszłym wyzwaniom będą także zależne od utrzymania europejskiej infrastruktury badawczej w zakresie nauk o Ziemi. Należy ciągle wspierać w tym obszarze zarówno badania podstawowe, jak i stosowane, także dlatego, by społeczeństwo było przygotowane do udzielenia odpowiedzi na obecnie nieznanne

## Zapewnienie standardów zawodowych dla pożytku publicznego

Europejska Federacja Geologów (European Federation of Geologists - EFG), wraz ze stowarzyszeniami narodowymi (National Associations) przyznaje tytuł zawodowy Geologa Europejskiego (European Geologist - EurGeol) dobrze wykształconym geologom-praktykom, wykazującym wysokie kwalifikacje zawodowe w swojej dziedzinie, deklarującym dodatkowo zobowiązanie do przestrzegania zasad etyki zawodowej oraz do ciągłego doskonalenia zawodowego. Niektóre stowarzyszenia narodowe przyznają dodatkowo także własne tytuły zawodowe na poziomie krajowym. Tytuły te są cenione przez osoby, które je otrzymują, jak i przez ich pracodawców. Stanowią one zarazem gwarancję, że praca wykonywana przez daną osobę, od której często zależy bezpieczeństwo publiczne i sukces ekonomiczny, będzie prowadzona w sposób kompetentny, profesjonalny i etyczny.

Uznawanie kwalifikacji zawodowych na poziomie licencjackim/inżynierskim i magisterskim stanowi potwierdzenie, że absolwenci posiadli niezbędne umiejętności i wiedzę, wykorzystywane dla dobra pracodawców i społeczeństwa. Systemy uznawania kwalifikacji są różne w różnych krajach, mogą być nadzorowane przez odpowiednie ciała zawodowe, departamenty rządowe czy wyspecjalizowane agencje. Projekt Euro-Ages finansowany przez Komisję Europejską opracował wspólne ramy w zakresie stopni wykształcenia geologicznego i kryteriów ich uznawania, aby ułatwić porównanie różnych istniejących systemów.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

pytania, np. w zakresie przyszłych ryzyk i zagrożeń, których obecnie nawet jeszcze nie przewidujemy. Utrzymanie i rozwój naszej infrastruktury badawczej będzie wymagało trwałego inwestowania w finansowanie prac badawczych, by zapewnić młodymi naukowcom budowę stabilnych ścieżek kariery.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



Polish Association of Mineral Asset Valuers

Polskie Stowarzyszenie  
Wyceny Złóż Kopalin



The  
Geological  
Society

*servicing science & profession*

Dokument ten został opracowany przez Londyńskie Stowarzyszenie Geologiczne (Geological Society of London), Europejską Federację Geologów (European Federation of Geologists) oraz Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin

Aby uzyskać więcej informacji, zobacz poniższe linki:

Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin

[www.polval.pl](http://www.polval.pl)

Ministerstwo Środowiska

[www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl)

Państwowy Instytut Geologiczny

[www.pig.gov.pl](http://www.pig.gov.pl)

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

[www.meeri.pl](http://www.meeri.pl)

Możesz także znaleźć dokumenty, artykuły, zasoby audiowizualne i inne materiały związane z tematyką niniejszej broszury, w języku angielskim, na portalu internetowym Geology for Society prowadzonym przez Londyńskie Stowarzyszenie Geologiczne (Geological Society of London): [www.geolsoc.org.uk/geology-for-society](http://www.geolsoc.org.uk/geology-for-society).

- Zdjęcie Ziemi wykonane przez statek Apollo 17. ©NASA by Pythagomath - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons
- Próbką wstęgowych rud żelaza z Krzywego Rogu, Ukraina. - Banded iron formation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Fine Bubble Retrievable Grid" by C Tharp - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Zapora wodna Kölnbrein z elektrownią szczytowo-pompową, Karyntia, Austria.- Verbund malta" by Verbund. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Tereny rolnicze w regionie La Rioja w Hiszpanii - Tractor, La Rioja, Spain" by Raúl Hernández González. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Budowa stacji kolejowej Tottenham Court Road Crossrail w Londynie Tottenham Court Road Crossrail - London Astoria site September 2009 CB" by carlbob. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Pociąg Glacier Express na wiadukcie Landwasser, Szwajcaria - CH Landwasser 2" by Daniel Schwen - Own work. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Wikimedia Commons
- Wyspa Mont Saint-Michel z zatoką, Normandia, Francja - obiekt z listy Światowego Dziedzictwa UNESCO ze względu na naturalne piękno - MtStMichel avion". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Prezydent Barack Obama wizytujący miejscowość L'Aquila we Włoszech zniszczone w wyniku trzęsienia ziemi - President Barack Obama tour earthquake damage in L'Aquila, Italy - Wednesday, July 8, 2009" by The Official White House Photostream - P070809CK-0208. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Zapadlisko krasowe w rejonie Biržai, Litwa - Geologų duobė" by Vilensija - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Badania pokrywy lodowej na Grenlandii - Greenland melt pond 2 (7637755560)" by NASA ICE - Greenland melt pond 2Uploaded by russavia. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Zanieczyszczenie powietrza: dym z komina elektrowni - Air pollution smoke rising from plant tower" by U.S. Fish and Wildlife Service. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons

Zdjęcie na okładce: Światła Europy. ©NPA Satellite Mapping: CGG. Wszystkie prawa zastrzeżone.

Reprodukcja, kopiowanie, przekazywanie fotografii nie może być dokonywane bez pisemnej zgody. NPA to spółka zależna Geological Society of London wyspecjalizowana w użytkowaniu zdjęć satelitarnych, rozpoznawaniu zasobów, środowiska i zagrożeń Ziemi od 1972. Odwiedź stronę: [npa.cgg.com](http://npa.cgg.com).