

Adaptacja do zmian klimatycznych

Grzegorz Uścińowicz¹

Adaptation to climate change. Prz. Geol., 73: 194–195; doi: 10.7306/2025.20

Zmiany klimatyczne mogą prowadzić do zwiększonej częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych, wzrostu poziomu mórz, ograniczeń w dostępności do zasobów naturalnych, w tym wody, oraz do degradacji gleb, co w konsekwencji wpływa na funkcjonowanie ekosystemów. W rezultacie są zagrożone różne aspekty życia społeczno-gospodarczego, w tym m.in.: rolnictwo i rybołówstwo, dziedzictwo kulturowe, infrastruktura miejska, infrastruktura morska, energetyczna, turystyczna itd.

Proces adaptacji do zmian klimatycznych polega na opracowaniu i wdrożeniu różnorodnych działań w celu zapobieżenia ewentualnym szkodom lub ich minimalizacji, ewentualnie skorzystania z nowych możliwości związanych ze zmianą klimatu. W tym kontekście badania geologiczne odgrywają kluczową rolę, dostarczając m.in. wiedzy o procesach morfo- i litodynamicznych oraz dostępnych zasobach naturalnych, która umożliwia ocenę zagrożeń oraz projektowanie skutecznych strategii dostosowawczych. W szczególności badania geologiczne umożliwiają identyfikację i prognozowanie geozagrożeń związanych ze zmianami klimatu, takich m.in. jak:

- erozja wybrzeży, koryt rzecznych i gleb;
- powstawanie nowych ruchów masowych oraz reaktivowanie starych osuwisk;
- zmiany warunków hydrogeologicznych, w tym zmiany zasobów wód podziemnych.

Identyfikacja i prognozowanie wymienionych geozagrożeń są możliwe dzięki wykorzystaniu przez geologów szerokiego zakresu zintegrowanych metod, takich jak monitoring hydro- i geodynamiczny, w tym rozbudowana analiza teledetekcyjna oraz modelowanie numeryczne. Prognozowanie przyszłych procesów jest też możliwe dzięki rozpoznaniu i analizie przeszłych wydarzeń zapisanych w osadach (np. częstości występowania oraz siły sztormów, powodzi, fal upałów i suszy czy pożarów). Analizy paleogeograficzne umożliwiają poznanie skali i dynamiki procesów wywołanych zmianami klimatycznymi w przeszłości geologicznej – wszystko, co zdarzyło się w przeszłości, może się powtórzyć – *The Past is the Key to the Future* (Bruce R. Doe, 1983 – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47 (8): 1341–1354). Wiedza ta jest nieodzowna dla oceny możliwej skali zmian klimatycznych i ich skutków, co pozwoli na skuteczniejsze zarządzanie ryzykiem oraz podejmowanie decyzji dotyczących działań adaptacyjnych. Adaptacja do zmian klimatycznych obejmuje szeroki wachlarz działań, które można podzielić na trzy główne grupy:

- działania informacyjno-edukacyjne – zwiększanie świadomości społecznej na temat zmian klimatycznych i promowanie dobrych praktyk adaptacyjnych.

Obejmują one programy edukacyjne, kampanie społeczne oraz szkolenia różnych grup interesariuszy, w tym mieszkańców, przedsiębiorców i administracji. Świadomość zagrożeń wynikających ze zmian klimatu, takich jak np. zwiększone ryzyko powodziowe, erozja brzegów morskich czy pożary lasów, jest kluczowa dla skutecznego wdrażania strategii adaptacyjnych;

- działania organizacyjne – zmiany w zarządzaniu przestrzenią, instytucjami oraz infrastrukturą w celu zwiększenia odporności miast i obszarów wiejskich na skutki zmian klimatu. Przykłady obejmują wprowadzenie planów adaptacji do strategii rozwoju miast, dostosowanie systemów ostrzegania i reagowania na zagrożenia klimatyczne, zjawiska ekstremalne, a także wdrażanie polityk wspierających zrównoważone zarządzanie zasobami wodnymi i zieloną infrastrukturą;
- działania techniczne – inwestycje w infrastrukturę odporną na zmiany klimatu, takie jak budowa infrastruktury przeciwpowodziowej i portowej czy adaptacyjne rozwiązania w budownictwie. Coraz większą rolę odgrywają również rozwiązania bazujące na przyrodzie (*nature-based solutions*), które wspierają naturalne mechanizmy przetrwania ekosystemów i ograniczają negatywny wpływ działalności człowieka, np. systemy retencji wód poprzez renaturyzację rzek i mokradeł oraz ochronę lasów, „miękkie” formy ochrony brzegów morskich, takie jak refulecja plaż, stabilizacja wydm poprzez ich zalesianie, stabilizacja klifów poprzez uporządkowanie odpływu wód opadowych i podziemnych. We wszystkich tych aspektach geologia odgrywa niepoślednią rolę.

Efektywna adaptacja wymaga interdyscyplinarnego podejścia, które łączy nauki geologiczne, inżynierię środowiska, planowanie przestrzenne oraz zarządzanie kryzysowe. Ważnym wyzwaniem jest integracja wyników badań geologicznych z polityką klimatyczną i procesem decyzyjnym, co umożliwi podejmowanie bardziej świadomych działań i efektywne wykorzystanie zasobów.

Do głównych barier we wdrażaniu strategii adaptacyjnych należy zaliczyć przede wszystkim koszty inwestycji, ograniczenia prawne, brak wystarczających danych do prognozowania skutków zmian klimatu czy niewystarczającą świadomość społeczeństw. Aby sprostać tym problemom, istotna jest współpraca między naukowcami, samorządami i społecznościami lokalnymi oraz wykorzystanie nowoczesnych technologii, przyspieszających analizę danych geologicznych. W obliczu dynamicznych zmian środowiskowych integracja badań geologicznych z plano-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80–328 Gdańsk; e-mail: grzegorz.uscinnowicz@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0000-0001-5185-4979

waniem przestrzennym i inżynierią środowiska staje się kluczowym elementem skutecznej adaptacji i długofalowej ochrony ekosystemów oraz społeczności, a działania te wspiera i realizuje Państwowy Instytut Geologiczny – PIB.

ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Climate change may lead to an increased frequency of extreme weather events, rising sea levels, reduced access to natural resources including water, and soil degradation, all of which impact ecosystem functioning. Consequently, various socio-economic structures are at risk, including agriculture and fisheries, cultural heritage, urban infrastructure, marine and energy infrastructure, tourism, and more.

The process of climate change adaptation involves developing and implementing various measures to prevent potential damage or minimize its effects, as well as seizing new opportunities arising from climate change. In this context, geological research plays a crucial role by providing knowledge on morpho- and lithodynamic processes, as well as available natural resources, enabling the assessment of hazards and the design of effective adaptation strategies. In particular, geological studies facilitate the identification and forecasting of climate change-related geohazards, such as:

- coastal, riverbed, and soil erosion;
- the occurrence of new mass movements and re-activation of old landslides;
- changes in hydrogeological conditions, including alterations in groundwater resources.

The identification and prediction of these geohazards are possible thanks to a wide range of integrated methods used by geologists, such as hydro- and geodynamic monitoring, advanced remote sensing analysis, and numerical modeling. Forecasting future processes is also enabled by recognizing and analysing past events recorded in sediments (e.g., the frequency and intensity of storms, floods, heatwaves, droughts, wildfires). Paleogeographic analyses provide insights into the scale and dynamics of climate-induced processes in geological history, as everything that has happened in the past can happen again: *The Past is the Key to the Future* (Bruce R. Doe, 1983 – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47 (8): 1341–1354). This knowledge is essential for assessing the potential scale of climate change and its consequences, facilitating more effective risk management and decision-making regarding adaptation measures. Climate change adaptation encompasses a broad range of actions, which can be categorized into three main groups:

- informational and educational actions – increasing public awareness of climate change and promoting best adaptation practices. These include educational programs, social campaigns, and training sessions for various stakeholders, including residents, business owners, and public administrators. Awareness of climate-related hazards, such as increased flood risks, coastal erosion, and wildfires, is crucial for the effective implementation of adaptation strategies;
- organizational actions – changes in spatial management, institutions, and infrastructure aimed at increasing the resilience of cities and rural areas to the effects of climate change. Examples include integrating adaptation plans into urban development strategies, adjusting early warning and emergency response systems for extreme climate events, and implementing policies supporting sustainable water resource management and green infrastructure;
- technical actions – investments in climate-resilient infrastructure, such as flood protection and port infrastructure, as well as adaptive solutions in construction. Nature-based solutions are playing an increasingly important role in supporting ecosystems' natural resilience and minimizing human impact, including water retention systems through river and wetland restoration, forest conservation, and “soft” coastal protection measures such as beach nourishment, dune stabilization through afforestation, and cliff stabilization by managing rainwater and groundwater runoff. In all these aspects, geology plays a fundamental role.

Effective adaptation requires an interdisciplinary approach that combines the geological sciences, environmental engineering, spatial planning, and crisis management. A key challenge is integrating geological research findings into climate policy and decision-making processes, enabling more informed actions and the efficient use of resources.

The main barriers to implementing adaptation strategies include investment costs, legal constraints, insufficient data for climate impact forecasting, and a lack of societal awareness. To address these challenges, collaboration between scientists, local governments, and communities, as well as the use of advanced technologies to accelerate geological data analysis, is essential. In the face of dynamic environmental changes, integrating geological research with spatial planning and environmental engineering is becoming a key element of effective adaptation and the long-term protection of ecosystems and communities. These efforts are supported and implemented by the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI).