

GEOFIZYKA W INŻYNIERII I OCHRONIE ŚRODOWISKA

Geophysics in environmental engineering and protection of the environment

Wacław M. ZUBEREK

*Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Stosowanej;
ul. Będzińska 60, 40-200 Sosnowiec;
e-mail: wacław.zuberek@us.edu.pl*

Abstract: The main goals of geophysics have been considered in following areas:

- prediction and prevention of natural catastrophes and mitigation of their impact,
- detection, location and monitoring of contaminated areas and goals related to their reclamation,
- goals related to the safety of large and important structures and constructions,
- goals related to safe deposition, storage and monitoring of dangerous wastes and toxic materials,
- application of geophysical methods and observations to obtain “clean” and renewable energy,
- detection, location and dating of archeological materials and monuments of cultural heritage.

Due to the great importance of prediction in environmental engineering and protection, its possibilities and limitations have been considered separately.

Key words: geophysics, environmental engineering, environmental protection, natural catastrophes, prediction

Słowa kluczowe: geofizyka, inżynieria środowiska, ochrona środowiska, katastrofy naturalne, prognoza

WSTĘP

Zasadniczo funkcjonują dwie definicje geofizyki: 1) „węższa” – jako badanie Ziemi za pomocą ilościowych metod fizycznych w celu poznania jej budowy, i 2) „poszerzona” – jako zastosowanie praw i metod fizyki do badań Ziemi i przestrzeni otaczającej w celu poznania jej budowy i wyjaśnienia procesów zachodzących zarówno w jej wnętrzu, jak i w jej otoczeniu.

Przyjmując poszerzoną definicję geofizyki, możemy wówczas ją podzielić dalej na:

- fizykę wnętrza Ziemi,
- fizykę hydrosfery,
- fizykę atmosfery,
- fizykę przestrzeni wokółziemskiej i międzyplanetarnej.

Podział ten można kontynuować, uwzględniając zakres badań lub stosowane metody fizyczne. W każdej z tak wydzielonych poddyscyplin geofizyki można wyodrębnić cele i zadania związane z inżynierią i ochroną środowiska.

Próbując jednak zgeneralizować problem, można cele i zadania geofizyki określić jako (Zuberek 2003):

- 1) cele poznawcze, które wiążą się z badaniami zjawisk i procesów zachodzących zarówno na Ziemi, w jej wnętrzu, jak i w przestrzeni otaczającej; wiążą się one z jedną z najbardziej inspirujących cech człowieka, czyli dążnością do poznania i eksploracji natury;
- 2) cele edukacyjne, które można określić jako zadania związane z:
 - wyjaśnieniem, jak obserwowane zjawiska i procesy pozwalają poznać i zrozumieć otaczający nas świat – wszechświat;
 - wyjaśnieniem, dlaczego rozwiązywanie określonych zadań ma istotne znaczenie poznawcze i jest ważne społecznie;
- 3) cele gospodarcze, które ogólnie biorąc wiążą się z zabezpieczeniem potrzeb i przyspieszeniem rozwoju ekonomicznego, niezależności, wzrostu zasobności i bogactwa społeczeństwa;
- 4) cele militarne polegające na rozwiązywaniu za pomocą geofizyki zadań z zakresu obronności i strategii wojskowej.

We wszystkich tak wyodrębnionych celach można wydzielić dla geofizyki zadania związane z poznaniem i monitorowaniem zachodzących zmian w inżynierii i ochronie środowiska przyrodniczego.

CELE I ZADANIA GEOFIZYKI ZWIĄZANE Z INŻYNIERIĄ I OCHRONĄ ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Syntetycznie ujmując tę problematykę, można te cele i zadania podzielić na:

- przewidywanie i zapobieganie katastrofom naturalnym oraz ograniczanie ich skutków,
- wykrywanie, lokalizacja i monitoring obszarów skażonych i zdegradowanych oraz zadania związane z przywracaniem im pierwotnych właściwości (Sharma 1997),
- zadania związane z bezpieczeństwem dużych i ważnych budowli oraz konstrukcji o strategicznym znaczeniu,
- zadania związane z bezpiecznym składowaniem, magazynowaniem i monitoringiem odpadów niebezpiecznych i materiałów toksycznych,
- wykorzystanie metod i obserwacji geofizycznych w pozyskiwaniu „czystych” i odnawialnych źródeł energii,
- wykrywanie i lokalizacja oraz datowanie zabytków i obiektów kultury materialnej dla archeologii.

Przewidywanie i zapobieganie katastrofom naturalnym oraz ograniczanie ich skutków

Pod pojęciem katastrofy naturalnej należy rozumieć każdą nieoczekiwaną i niepożądaną zmianę w środowisku, która ma negatywny wpływ na człowieka i środowisko przyrodnicze.

Prognoza katastrof naturalnych w sensie formalnym i praktycznym stanowi jedno z najtrudniejszych zadań i wyzwań dla geofizyki. Pozostawia także najwięcej niespełnionych oczekiwań i zawodów. Wystarczy jednak sobie uzmysłowić, jak duże i stale wzrastające zagrożenie dla naszej cywilizacji stanowią takie katastrofy naturalne, jak:

- trzęsienia Ziemi,
 - wybuchy wulkanów,
 - osuwiska,
- } geologiczne katastrofy naturalne

- huragany,
- powodzie,
- zmiany klimatu,
- coraz częściej analizowane możliwości uderzenia asteroidu,

aby uznać jak duże znaczenie mają badania tych zjawisk oraz możliwości przewidywania ich zaistnienia i ewentualnych skutków.

Jednocześnie należy stwierdzić, że rozwój współczesnych technik pomiarowych stwarza w naukach o Ziemi, a w szczególności w geofizyce ogromne, dotychczas nieosiągalne, możliwości przewidywania procesów i zjawisk, które mogą wywoływać duże skutki społeczne. Stąd też znajdujemy się w takim okresie rozwoju cywilizacyjnego, w którym są duże oczekiwania i nadzieje społeczeństwa i decydentów, że nauki o Ziemi, a w szczególności geofizyka, będą w stanie dostarczać odpowiednio trafnych i wyprzedzających prognoz procesów lub zjawisk, a właściwie podjęte decyzje pozwolą uniknąć lub zminimalizować negatywne skutki ich oddziaływań, ewentualnie pozwolą te zjawiska kontrolować – wpływać na ich przebieg.

W przypadku geologicznych katastrof naturalnych okazuje się, że ich występowanie określane jest często długookresowym cyklem zjawisk tektonicznych, na które nakłada się krótkookresowa składowa losowa. Powoduje to, że zjawiska te są przewidywalne w ograniczonym zakresie i z praktycznego punktu widzenia dużego znaczenia nabiera długookresowa ocena zagrożenia (hazardu). Podejmowanie wówczas odpowiednich decyzji o zabezpieczeniu obiektów, monitoringu zagrożonych rejonów i szkolenie osób, które muszą w nich przebywać, pozwala na znaczne ograniczenie szkód, a nawet na eliminację ofiar (Zuberek 2008).

Wykrywanie, lokalizacja i monitoring obszarów skażonych i zdegradowanych oraz zadania związane z przywracaniem im pierwotnych właściwości

Możliwości geofizyki w tej grupie są znaczne i wiążą się z:

- wykrywaniem niebezpiecznych odpadów i skażonych obszarów,
- określeniem kierunków i dróg migracji zanieczyszczeń w skałach zwięzłych, wodach podziemnych i powierzchniowych oraz w atmosferze,
- monitoringiem zmian zachodzących w obszarach skażonych i zagrożonych w wyniku ich samooczyszczania lub rekultywacji,
- oceną i monitoringiem skutków skażeń lub degradacji środowiska w wyniku działalności gospodarczej lub działań wojskowych.

W zależności od rodzaju skażeń (promieniotwórcze, chemiczne) i rodzaju ośrodka, w którym one występują (skały, wody, powietrze) różne będą metody badań jak i formułowane cele lub zadania. Zakres wykorzystania metod geofizycznych w wymienionych zagadnieniach stale się powiększa, a jako przykłady można wymienić lokalizację i monitoring skażeń gruntów i wód substancjami ropopochodnymi (Marczak 2001, Zuberek *et al.* 2002), metalami ciężkimi (Heller *et al.* 1998, Magiera 2004), czy też wykorzystanie metody radarowej interferometrii satelitarnej In SAR w monitoringu osiadań powierzchni na terenach eksploatacji górniczej (Perski 1999).

Zadania związane z bezpieczeństwem dużych budowli i konstrukcji o strategicznym znaczeniu

Niektóre duże i ważne obiekty i konstrukcje, których nieoczekiwane katastrofy mogą wywołać duże skutki środowiskowe i społeczne, muszą podlegać specjalnym regułom oceny i kontroli bezpieczeństwa w czasie ich projektowania, eksploatacji oraz w fazie likwidacji. Do takich obiektów należy zaliczyć:

- tamy wodne o wysokim poziomie spiętrzenia wody i dużej objętości zbiorników,
- elektrownie jądrowe,
- tunele i metra,
- duże komory podziemne.

Cele i zadania dla geofizyki, które w tym zakresie można wyszczególnić wiążą się między innymi z:

- obserwacjami i badaniami sejsmiczności indukowanej i oceną hazardu sejsmicznego, czyli oceną prawdopodobieństwa, że drgania sejsmiczne w miejscu posadowienia obiektu przekroczą odpowiedni poziom przyspieszenia drgań, zagrażający bezpieczeństwu obiektu;
- oceną stabilności systemu i ewentualnie monitoringiem zachodzących w systemie zmian,
- lokalizacją poziomów i stref wodonośnych, w celu śledzenia ruchu zanieczyszczeń i przecieków;
- lokalizacją geologicznych stref uszczelniających, które mogą stanowić osłonę skał lub wód przed zanieczyszczeniem lub skażeniem.

Zadania związane z bezpiecznym składowaniem i monitoringiem składowisk odpadów niebezpiecznych i materiałów toksycznych

Zadania, które rozwiązuje się metodami geofizyki w tym zakresie, wiążą się na etapie projektowania składowisk z rozpoznaniem geologicznym i wyborem optymalnych lokalizacji, oceną ich stabilności i monitoringiem w procesie eksploatacji oraz oceną zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Jako najważniejsze wyzwania, a jednocześnie wiodące przykłady zastosowań, należy wyszczególnić składowiska odpadów promieniotwórczych, w szczególności wysokoaktywnych (High Level Wastes HLW) oraz magazynowanie podziemne dwutlenku węgla. Cały szereg metod geofizycznych, od sejsmologii przez sejsmikę i metody geofizyki jądrowej, jest w tym zakresie z powodzeniem wykorzystywanych w teorii i w praktyce.

Wykorzystanie metod i obserwacji geofizycznych do pozyskiwania „czystych” i odnawialnych źródeł energii

Jest to bardzo szeroka problematyka, którą trudno jest ująć syntetycznie. Istnieją tutaj jednak bardzo duże możliwości dla geofizyki, od określania rozkładu pola prędkości wiatru i przewidywania jego zmian (istotnych z punktu widzenia efektywności energetyki wiatrowej), przez pomiary natężenia promieniowania Słońca (bezpośredniego i rozproszonego), po określanie zasobów energii geotermalnej i optymalizację warunków jej pozyskiwania z większych i niewielkich głębokości za pomocą pomp ciepła. Efektywność instalacji zależy od współczynnika przewodności cieplnej skał. Obiecujące w tym zakresie wydaje się wykorzystanie w utworach piaszczowcowo-iłastych zależności współczynnika przewodności cieplnej od nasycenia wodą. Można zatem optymalizować lokalizację instalacji podziemnych, płytko zakładanych wymien-

ników ciepła za pomocą kartowania przewodności właściwej utworów metodami elektromagnetycznymi lotniczymi (Kirsch 2008) lub powierzchniowymi. Kartowanie oporności i inwersyjne obrazowanie oporności w tym zakresie może również być skuteczne.

Wykrywanie, lokalizacja oraz datowanie zabytków kultury materialnej w archeologii

Zadania dla geofizyki w tej grupie problemów najczęściej wiążą się z płytkim rozpoznaniem i kartowaniem za pomocą różnych metod geofizycznych (mikromagnetycznych i mikrograwimetrycznych, inwersyjnym obrazowaniem oporności 2D i 3D oraz potencjałów wzbudzonych, elektromagnetycznych i georadarowych). Interpretacja wyników pomiarów ułatwia wykrycie i lokalizację fragmentów dawnej kultury i zabytków. Datowanie metodami bezwzględными, np. izotopowymi (elementów młodszych – głównie metodą radiowęglą C^{14} , a starszych metodą K-Ar) pozwala zaś na określenie wieku wielu znalezisk.

Odpowiednio dobierając metody do lokalnych warunków w rejonie poszukiwań można w znacznym stopniu ułatwić, przyspieszyć i odpowiednio ukierunkować prace wykopaliskowe. Okazuje się zresztą, że archeologia w coraz szerszym stopniu, z coraz lepszymi wynikami, umiejętnie te możliwości wykorzystuje (Misiewicz 2006, Witten 2006, Poręba *et al.* 2007).

PRZEWIDYWANIE W OCHRONIE ŚRODOWISKA

W sensie ogólnym prognozę można definiować jako wyprzedzającą w czasie ocenę zachowania się złożonego systemu (jakim może być na przykład wybrany obszar górotworu, składowisko odpadów, wyrobisko górnicze wraz z obudową) w oparciu o obserwowany wcześniej i aktualny stan systemu. W każdym przypadku prognozę należy uszczegółowić i doprecyzować. W rozwiniętym i nowoczesnym społeczeństwie prognozy są szeroko wykorzystywane dla różnych celów, w tym także dla podejmowania decyzji pozwalających zminimalizować lub ograniczyć ujemne skutki oddziaływania człowieka na środowisko lub ujemne skutki oddziaływania środowiska na człowieka, w wyniku np. różnych katastrof naturalnych lub zmian klimatu (Pielke *et al.* 1999, Zuberek 2002).

Możliwości przewidywania procesów i zjawisk zawsze są zależne od szczegółowej definicji prognozy i charakteru zjawiska. W przypadku jednak procesów i zjawisk deterministycznych, dzięki ich szczegółowemu opisowi za pomocą odpowiednich zależności funkcyjnych lub równań różniczkowych, na ogół nie ma większych problemów w przewidywaniu zachowania się systemu, a ograniczenia prognozy można sprowadzić do:

- niepewności w określaniu warunków początkowych, które mogą wpływać na zachowanie się systemu w kolejnych momentach czasu; w tym sensie może się okazać, że jest utrudnione przewidywanie zachowania się tych systemów, które są bardzo czułe na zmiany warunków początkowych;
- zmienności systemów, które nie są dobrze określone przez warunki brzegowe, albo w których warunki brzegowe ulegają zmianom w czasie;
- niejednorodności ośrodka, która w geofizyce często zależy od skali procesu (tzw. efekt skali); wówczas reakcja systemu w dużej (mega) skali nie jest całkowicie zdeterminowana procesami zachodzącymi lokalnie lub w skali mikro.

W tym przypadku rola geofizyki polega na opracowaniu i opisie modeli, kontroli warunków brzegowych, wyznaczaniu niejednorodności ośrodka. W zależności od definicji prognozy, jeśli zawiera ona czas pojawienia się zjawiska nieokresowego, to nawet w przypadku zjawisk deterministycznych może się ta prognoza okazać trudna do zadowalającego rozwiązania.

W przypadku procesów losowych nie można określić dokładnie chwilowej wartości procesu, jeśli jednak znany jest rozkład statystyczny obserwowanego parametru, to można określić prawdopodobieństwo, że jego wartość wystąpi w określonym przedziale. Jeśli zaś wartości procesu są ze sobą skorelowane, tzn. wartości w przyszłości zależą od wartości aktualnych i od wartości w przeszłości i proces nie jest bardzo szybko zmienny, to można z wyprzedzającym krokiem prognozy i z prawdopodobieństwem zależnym od wielkości związków korelacyjnych przewidywać przebieg procesu lub zjawiska (Kornowski 2002).

Zadania geofizyki w przypadku zjawisk i procesów losowych należy formułować jako:

- możliwie szerokie obserwacje i opis tych zjawisk i procesów oraz określenie rozkładów statystycznych obserwowanych parametrów;
- określenie charakteru procesów (stacjonarne, niestacjonarne, ergodyczne, przejściowe – losowe) i występujących związków korelacyjnych;
- formułowanie i opracowywanie prognoz.

W związku z aktualnymi tendencjami i nastrojami społecznymi politycy często formułują żądania w kierunku ośrodków naukowych, które w przypadku inżynierii i ochrony środowiska najczęściej można sprowadzić do:

- przewidywania katastrof naturalnych w celu minimalizacji ich skutków,
- przewidywania globalnych zmian klimatu,
- przewidywania wpływu i skutków podejmowanych decyzji gospodarczych na środowisko.

Należy w tym miejscu odróżnić jednoznacznie prognozę od podejmowanych decyzji, gdyż odpowiednia i prawidłowa prognoza może ułatwić i ukierunkować reakcje na niektóre zagrożenia środowiska (nawet w przypadku błędnej prognozy), ale także błędne lub niewłaściwe wykorzystanie prognozy (tzn. błędne decyzje) może podważyć cele polityczne, zmarnować przeznaczone na badania środki i podważyć zaufanie społeczne do nauki i ośrodków decyzyjnych.

Skuteczność odbioru prognozy zależy w dużej mierze od sposobu jej przedstawienia, jak i od samej definicji prognozy. Należy przy tym odróżnić prognozy naukowe od prognoz użytkowych, specjalnie przygotowanych na użytek odbiorcy. Naukowa prognoza zjawiska lub procesu często jest formułowana w sposób ścisły i w związku z tym nie zawsze jest w pełni zrozumiała, co może ograniczać możliwości jej odbioru. Przy zbyt rygorystycznie zdefiniowanej prognozie nie zawsze (przy aktualnym stanie wiedzy) jest ona osiągalna, co w celach użytkowych narzuca konieczność pewnego złagodzenia definicji prognozy, przy pełnym zrozumieniu wszystkich ograniczeń tak poszerzonej definicji.

ZAKOŃCZENIE

Rozwój nauk o Ziemi i geofizyki oraz nowoczesnych technologii pomiarowych stwarza możliwości znacznego wykorzystywania metod opracowanych wcześniej oraz zastosowanie nowych metod w problematyce inżynierii i ochrony środowiska. Niektóre z tych zagadnień,

które z powodzeniem można już obecnie rozwiązywać, przedstawiono w niniejszej pracy i mam świadomość, że nie wyczerpuje ona wszystkich, znacznych możliwości geofizyki. Widać jednak wyraźnie, że możliwości wykorzystania geofizyki w problematyce ochrony środowiska są znaczne i pomimo tego, że wymagają one nakładów finansowych, czasem sporych, zakres wykorzystania geofizyki stale się powiększa i należy oczekiwać, że będzie szybko się zwiększał dalej.

Jako geofizycy coraz częściej będziemy musieli podejmować trudną i niewdzięczną problematykę związaną z przewidywaniem i formułowaniem różnych prognoz, w tym także związanych z wpływem różnych zjawisk na środowisko. Nie można zatem tych zadań unikać, a formułując prognozy musimy zmierzać do tego, by były one w pełni wiarygodne i właściwie odbierane. Możliwości zaś wiarygodnego opracowania prognoz zawsze zależą od szczegółowej definicji prognozy i stanu wiedzy w danej dyscyplinie.

Praca była prezentowana na VII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Geofizyka w geologii, górnictwie i ochronie środowiska” organizowanej z okazji jubileuszu 90-lecia AGH na WGGiOŚ.

LITERATURA

- Heller F., Strzyszczyński Z., Magiera T., 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia. Poland. *Journal of Geophysical Research*, 103, B8, 5931–5936.
- Kirsch R., 2008. Mapping the geothermal potential of the shallow underground – a geophysical approach. *Proc. (Extended Abstracts) of the 14th European Meeting of Environ. and Eng. Geoph., Near Surface 2008*, Kraków, B25.
- Kornowski J., 2002. *Podstawy sejsmoakustycznej oceny i prognozy zagrożenia sejsmicznego w górnictwie*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 1–292.
- Magiera T., 2004. Wykorzystanie magnetometrii do oceny zanieczyszczenia gleb i osadów jeziornych. *Prace i Studia Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN*, Zabrze, 59, 1–130.
- Marcak H., 2001. Lokalizacja zanieczyszczeń gruntu materiałami ropopochodnymi przy użyciu metod geofizycznych. W: *Materiały konferencyjne „Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska”*, PIG i AGH, Dąbie, 177–190.
- Misiewicz K., 2006. *Geofizyka archeologiczna*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa, 1–212.
- Perski Z., 1999. Możliwości zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej do monitorowania obniżenia terenu wywołanych podziemną eksploatacją złóż. *Publications of Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences*, M-22(310), 275–282.
- Pielke Jr R.A., Sarewitz D., Byerlee Jr R. & Jamieson P., 1999. Prediction in earth sciences and environmental policy making. *Eos Trans. AGU*, 28, 311–312.
- Poręba A., Zuberek W.M., Nogaj-Chachaj J., Kotyrba. & Siwek S., 2007. Archeological objects in loesses recognized by GPR research at the site Karmanowice, Poland. *Acta Geophysica*, 55, 4, 640–651.
- Sharma P.V., 1997. *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge Univ. Press, 1–475.

- Witten A.J., 2006. *Handbook of geophysics and archeology*. Equinox Publ. Ltd, London, 1–329.
- Zuberek W.M., 2002. Przewidywanie w naukach o Ziemi. W: *XXII Terenowa Szkoła Geologów*, Uniwersytet Śląski – PAN, Spała, 93–99.
- Zuberek W.M., 2003. Rola i zadania geofizyki w ochronie środowiska. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, 256 (1592), 221–227.
- Zuberek W.M., 2008. Przewidywanie geologicznych zagrożeń i katastrof naturalnych – ograniczenia i pewne możliwości. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 24, 2/3, 123–134.
- Zuberek W.M., Żogała B., Rusin M., Pierwoła J. & Wzientek K., 2002. Badania geoelektryczne i magnetyczne na obszarach zdegradowanych działalnością wojskową. *Publications of Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences*, M-27(352), 195–208.