

Katalog metod geofizycznych

Edyta Majer, Grzegorz Pacanowski



WSTĘP

Niniejszy tekst wykorzystany zastał w rozdziale 3.1 monografii pt. **BADANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE, GEOFIZYKA INŻYNIERSKA**, red. S. Ostrowski, G. Pacanowski, E. Majer, M. Sokołowska), Warszawa 2023, PIG-PIB.

W literaturze naukowej powszechnie stosuje się podział metod geofizycznych w zależności od generowanych i rejestrowanych pól fizycznych (**Dzwiniel, 1978, Erkan, 2008, Fajkiewicz (Red.), 1972, Milsom, 2003, Reynolds, 2011**)

W ramach tego podejścia wyróżnia się m.in.:

- Metody elektrooporowe (prądu stałego) – umożliwiające określenie oporności elektrycznej gruntu,
- Metody elektromagnetyczne – bazujące na badaniu zmiennych pól elektromagnetycznych,
- Metody sejsmiczne – wykorzystujące fale sprężyste do obrazowania struktury ośrodka,
- Metodę magnetometryczną – opartą na pomiarach natężenia pola magnetycznego,
- Metodę grawimetryczną – badającą zmiany w rozkładzie mas na podstawie przyspieszenia siły ciężkości.

Poniżej przedstawiono zmodyfikowany podział metod geofizycznych stosowanych w geofizyce inżynierskiej. Klasyfikacja ta uwzględnia specyfikę zagadnień inżynierskich, opiera się na rodzaju mierzonych pól fizycznych oraz właściwościach ośrodka gruntowo-skalnego.

Podział ten obejmuje pięć głównych grup metod (Ryc. 1, Tab. 1):

- Metody geoelektryczne elektrooporowe (**GR-I**)
Obejmują badania oporności elektrycznej podłoża przy użyciu prądu stałego. Do tej grupy zaliczane są również badania polaryzacji wzbudzonej, które zazwyczaj towarzyszą badaniom elektrooporowym, takim jak VES (sondowania pionowe) czy ERT (tomografia elektrooporowa).
- Metody geoelektryczne elektromagnetyczne (**GR-II**)
Służą do określania oporności (lub przewodności) elektrycznej ośrodka za pomocą zmiennych pól elektromagnetycznych.
- Metody geoelektryczne georadarowe (**GR-III**)
Opierają się na analizie odbić fal elektromagnetycznych, co umożliwia określenie względnej przenikalności elektrycznej warstw i wyznaczenie ich granic.
- Metody sejsmiczne (**GR-IV**)
Wykorzystują pomiary prędkości fal sejsmicznych do określenia granic warstw oraz parametrów sprężystości ośrodka gruntowo-skalnego.
- Metody pól potencjalnych (**GR-V**)

- o Metody magnetometryczne – badające rozkład natężenia pola magnetycznego, co pozwala wykrywać ciała o właściwościach ferromagnetycznych.
- o Metody grawimetryczne – wykorzystujące pomiary siły ciężkości do określenia anomalii mas w podłożu.

W ramach każdej z grup wyróżnia się szereg metod szczegółowych, które często można stosować w różnorodnych kombinacjach. Na przykład w metodach georadarowych istnieje możliwość realizacji badań w formie profilowań, prześwietleń czy pomiarów WARR (profilowania prędkości), przy użyciu różnych rodzajów anten (Karczewski i in., 2011).

W literaturze (Dzwinel, 1978, Fajkiewicz (Red.), 1972.) opisano także inne metody geofizyki inżynierskiej, takie jak metoda potencjałów samoistnych. Jest ona stosowana m.in. do badania stanu technicznego konstrukcji hydrotechnicznych, takich jak waty przeciwpowodziowe czy zapory, w celu identyfikacji przepływów wody przez te obiekty.

Powyższy podział, dostosowany do specyfiki geologii inżynierskiej, stanowi podstawę dla szerokiego katalogu metod, które można modyfikować w zależności od potrzeb badawczych i specyfiki danego projektu.

Metody geofizyki inżynierskiej opisane powyżej, można dodatkowo podzielić na dwie kategorie:

- metody aktywne, w których do badanego ośrodka emituje się energię (w różnej postaci) i dokonuje się pomiaru energii powracającej lub wtórnego (indukowanego) pola,
- metody pasywne, w których dokonuje się pomiarów zmienności naturalnych pól Ziemi.

W poniżej tabeli zestawiono nazwy i symbole metod geofizycznych, najczęściej używanych w geofizyce inżynierskiej.

Tab. 1. Zestawienie tabelaryczne nazw i skrótów metod i technik geofizycznych najczęściej używanych w geofizyce inżynierskiej (Majer, Sokołowska, Frankowski, red, 2019, zmienione i uzupełnione)

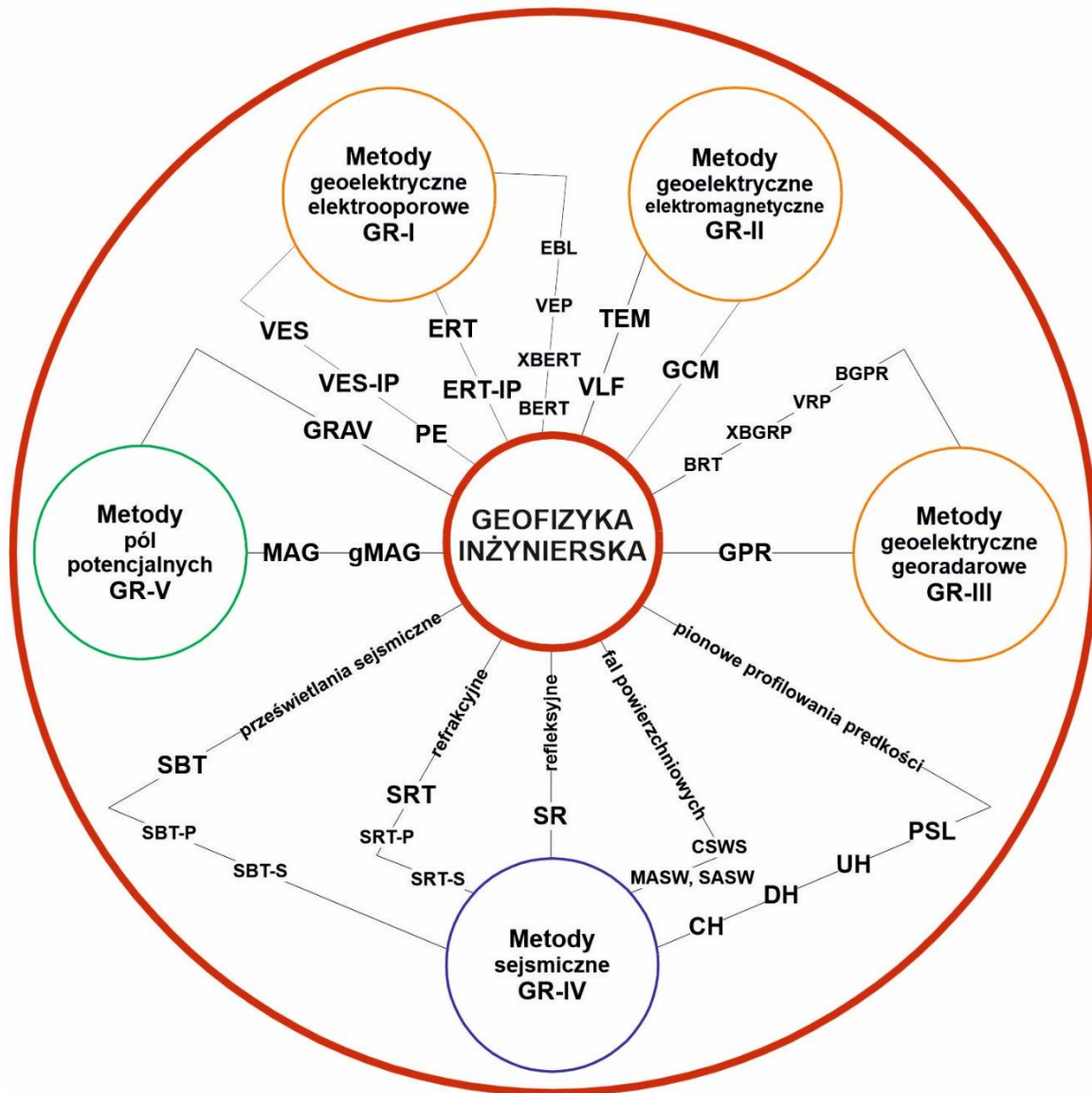
Grupa metod		Metoda	Technika (symbol)	Technika (nazwa)	
Metody geoelektryczne	Metody elektrooporowe GR-I	powierzchniowa	aktywna	VES	Pionowe sondowania elektrooporowe
			aktywna	VES-IP	Pionowe sondowania elektrooporowe z polaryzacją wzbudzoną
			aktywna	PE	Profilowania elektrooporowe
			aktywna	ERT	Tomografia elektrooporowa
			aktywna	ERT-IP	Tomografia elektrooporowa z polaryzacją wzbudzoną
		otworowa	aktywna	EBL	Otworowe pomiary elektrooporowe
			aktywna	VEP	Pionowe profilowania elektrooporowe
			aktywna	XBERT	Międzyotworowe prześwietlenia elektrooporowe
			aktywna	BERT	Tomograficzne prześwietlenie elektrooporowe
	Metody elektromagnetyczne GR-II	powierzchniowa	aktywna*	VLF	Profilowania elektromagnetyczne niskich częstotliwości
			aktywna	GCM	Profilowania konduktometryczne
	Metody georadarowe	powierzchniowa	aktywna	GPR	Georadar
		otworowa	aktywna	BGPR	Otworowe pomiary georadarowe

Grupa metod		Metoda		Technika (symbol)	Technika (nazwa)	
GR-III			aktywna	VRP	Pionowe profilowania georadarowe	
			aktywna	XBGPR	Międzyotworowe prześwietlenia georadarowe	
			aktywna	BRT	Tomograficzne prześwietlenie georadarowe	
Metody sejsmiczne GR-IV	otworowa		aktywna	UH, UH-P, UH-S	Pionowe profilowania sejsmiczne UH, fali P, fali S, (ang. Uphole)	
			aktywna	DH, DH-P, DH-S	Pionowe profilowania sejsmiczne DH, fali P, fali S, (ang. Downhole)	
			aktywna	CH, CH-P, CH-S	Międzyotworowe prześwietlenia sejsmiczne CH, fali P, fali S (ang. cross-hole)	
			aktywna	PSL	Otworowe pomiary sejsmiczne fali P, fali S (P-S suspension logging)	
			aktywna	SBT, SBT-P, SBT-S	Tomograficzne prześwietlenia sejsmiczne, fali P, fali S	
	powierzchniowa		aktywna	Metody fal powierzchniowych (SWM)	MASW	Wielokanałowa analiza fal powierzchniowych
			aktywna*		SASW	Analiza spektralna fal powierzchniowych
			aktywna		CSWS	Ciągła analiza fal powierzchniowych (wyniki 1D)
			aktywna		SRP	Sejsmiczne profilowania refrakcyjne
			aktywna		SRT, SRT-P, SRT-S	Sejsmiczna tomografia refrakcyjna, fali P, fali S
			aktywna		SR	Sejsmika refleksyjna
	Metody pól potencjalnych GR-V	powierzchniowa		pasywna	MAG, gMAG	Magnetometria (magnetyka), Magnetometria gradientowa
			pasywna	GRAV	Grawimetria	

* Podczas badania zespół wykonujący pomiary nie wzbudza energii. Źródłem energii są sztucznie indukowane pola zewnętrzne.

Pierwszy tego typu podział, zaproponowano w ramach projektu pn.: „**Nowoczesne metody rozpoznania podłoża gruntowego w drogownictwie**” realizowanego w ramach programu krajowego **RID - Rozwój Innowacji Drogowych** finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) oraz Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Efektem projektu były „**Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie**” (Majer, Sokołowska, Frankowski, red, 2019), które GDDKiA wprowadziła do stosowania na podstawie Zarządzenia nr 22 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 27 czerwca 2019 roku w sprawie wprowadzenia „Wytycznych wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego” (**ZARZĄDZENIE nr 2019**).

Na poniższej rycinie zaprezentowano graficzne odwzorowanie podziału przedstawionego w **tabeli nr 1**.



Ryc. 1. Schemat podziału metod geofizyki inżynierskiej (objaśnienia skrótów patrz: Tabela 1)

PARAMETRY MIERZALNE

W poniższej tabeli nr 2 przedstawiono parametry mierzalne dla każdej z metod. Jak widać niektóre metody, różniące się co do metodyki wykonania, głębokości prospekcji, czy rozdzielczości, mierzą takie same wartości fizyczne.

Tab. 2. Zestawienie tabelaryczne parametrów mierzalnych dla poszczególnych metod geofizyki inżynierskiej

METODA			PARAMETR MIERZALNY [symbol, jednostka]
VES			oporność pozorna [Ωm , ohmm]
ERT			
GPR			względna przenikalność elektryczna ϵ_r [bezwymiarowa]
GCM			oporność pozorna [Ωm , ohmm], przewodność pozorna [mS/m]
TEM			oporność pozorna [Ωm , ohmm]
VLF			ReHz[%]*, F[%]**
SR			położenie granic sejsmicznych [m], prędkość fali podłużnej [m/s]
SRP, SRT-P, SRT-S			prędkość fali podłużnej V_p [m/s], prędkość fali poprzecznej V_s [m/s]
SBT			prędkość fali podłużnej V_p [m/s], prędkość fali poprzecznej V_s [m/s]
MASW,	SASW,	CSWS	prędkość fali poprzecznej V_s [m/s]
DH, CH, UH			prędkość fali podłużnej V_p [m/s], prędkość fali poprzecznej V_s [m/s]
MAG			wartość całkowitego natężenia pola magnetycznego [nT]
GRAW			wartość natężenia siły ciężkości [mGal]

*Wartości składowej rzeczywistej Hz indukowanego pola magnetycznego

**Wartość anomalii Fresera odzwierciedlający tektoniczną strefę zwiększonej przewodności elektrycznej w strefach tektonicznych

ISTOTNE OGRANICZENIA METODY

W poniższej tabeli nr 3 przedstawiono wybrane istotne ograniczenia dla poszczególnych metod badań geofizyki inżynierskiej. Nie jest to zbiór zamknięty, a wskazane ograniczenia nie wykluczają całkowicie możliwości zastosowania danej metody.

W szczególnych przypadkach można na przykład wykonać pomiary ERT na wybetonowanej powierzchni, poprzez przewiercenie twardej nawierzchni i wbicie elektrod. Kluczowym celem zestawienia jest jednak podkreślenie czynników, które mogą znacząco wpłynąć na wiarygodność i jakość uzyskiwanych wyników.

Na obszarach o **zakłóconym układzie geologicznym**, takich jak tereny z gruntami antropogenicznymi, zanieczyszczeniami gruntów, mineralizacją wód czy zakłóceniami od infrastruktury naziemnej i podziemnej, pomiary geofizyczne często dają wyniki obarczone dużą niepewnością. Wyniki są w takich warunkach mało wiarygodne i trudne do prawidłowej

interpretacji. Uogólniając, należy stwierdzić, że tego typu przestrzenie są wyjątkowo niekorzystne dla stosowania metod geofizycznych. Do tych czynników należy także dodać obszary w których otoczenie generuje szумы w postaci fale elektromagnetycznych, czy wibracji np. od ruchu ulicznego.

Drugim istotnym aspektem, który należy uwzględnić, są badania prowadzone na obszarach o zróżnicowanej morfologii terenu, często połączone z dużą zmiennością budowy geologicznej. Pomiarы geofizyczne wykonywane są w przestrzeni trójwymiarowej, natomiast standardowe przetwarzanie i wizualizacja wyników odbywa się w przestrzeni 2D (lub 1D). Wyniki przedstawiane na przekrojach mają charakter dwuwymiarowy, co często prowadzi do pomijania przestrzennego aspektu budowy geologicznej.

W praktyce może to skutkować tendencją do interpretowania wyników w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do powierzchni terenu pod linią pomiarową. Takie podejście może być źródłem błędów interpretacyjnych, zwłaszcza w sytuacjach, gdy przekroje geofizyczne się przecinają, a od interpretatora oczekuje się, że wyniki w punktach przecięcia będą identyczne. W przestrzeni trójwymiarowej z dużą zmiennością geologiczną wyniki pomiarów w takich punktach mogą się jednak różnić.

Podobne trudności pojawiają się przy korelacji wyników badań geofizycznych z otworami wiertniczymi, szczególnie na obszarach nachylonych stoków. W takich przypadkach trudno określić wspólną przestrzeń korelacyjną, ponieważ otwory wiertnicze i płaszczyzna wyników geofizycznych często nie są ze sobą spójne. Ten sam problem dotyczy interpretacji wyników na stokach górskich, co zostało szczegółowo omówione w innym rozdziale tego opracowania.

Projektując, wykonując oraz interpretując badania geofizyczne, należy zawsze uwzględniać ograniczenia poszczególnych metod, które mogą utrudniać prace terenowe lub zakłócać pomiary.

Zwraca się także uwagę na to, iż zaawansowane algorytmy przetwarzania danych, w tym inwersja 3D, mogą znacząco poprawić interpretację w złożonych warunkach geologicznych. Warto jednak pamiętać, że uproszczone algorytmy przetwarzania danych mogą być niewystarczające w przypadku dużej zmienności przestrzennej ośrodka. W takich sytuacjach należy stosować zaawansowane techniki analityczne.

Na obszarach o zmiennej topografii kluczowe jest precyzyjne określenie współrzędnych punktów pomiarowych, zarówno geodezyjnych, jak i geofizycznych. Niedokładności w wyznaczaniu punktów odniesienia mogą prowadzić do błędów w korelacji wyników, co jest szczególnie istotne w kontekście badań trójwymiarowych.

Tab. 3. Ograniczenia metody

METODA	ISTOTNE OGRANICZENIA METODY
VES	Sondowania nie należy wykonywać na terenach o zróżnicowanej morfologii ani wzdłuż linii tamanej. Realizacja badań na utwardzonej powierzchni terenu bywa utrudniona lub wręcz niemożliwa. Do czynników zakłócających pomiary zalicza się prądy błądzące oraz silne pola elektromagnetyczne. W przypadku złożonej budowy geologicznej interpretacja wyników może być obciążona niepewnością.

ERT	Obecność liniowych przeszkód terenowych znacząco ogranicza możliwość prowadzenia badań. Stosowanie metod w terenach zurbanizowanych jest utrudnione. Czynniki zakłócające pomiary obejmują prądy błądzące oraz silne pola elektromagnetyczne. W przypadku głębszych prospekcji lub obszarów, gdzie od powierzchni występują suche piaski, mogą pojawić się trudności z uziemieniem elektrod oraz z pomiarem oporności na większych głębokościach. W takich warunkach zastosowanie zautomatyzowanego systemu pomiarowego może być problematyczne.	
GPR	Płytkie lub bardzo płytkie rozpoznanie w warunkach geologicznych Polski, gdzie dominują grunty drobnoziarniste (spoisłe), napotyka na pewne ograniczenia. Do głównych czynników utrudniających należą: <ul style="list-style-type: none"> • Ograniczony zasięg w gruntach o niskiej oporności oraz w gruntach zawodnionych, • Wysoka podatność na zakłócenia zewnętrzne, szczególnie w przypadku stosowania anten nieekranowanych, • Brak kierunkowości podstawowych anten otworowych, co utrudnia precyzyjne określenie struktur, • Znaczące ograniczenia przy skalowaniu głębokościowym pomiarów, zwłaszcza w ośrodkach wielowarstwowych, co wymaga kalibracji dla uzyskania wiarygodnych wyników. <p>Badania w gruntach o opornościach poniżej 100 $\Omega\text{m.}$, są mocno ograniczone ze względu na tłumienie fali.</p>	
GCM	Czynniki zakłócające pomiary obejmują silne pola elektromagnetyczne, linie wysokiego napięcia oraz metalową infrastrukturę podziemną i naziemną. Zasięg metody jest ograniczony do kilku metrów.	
TEM	Do czynników zakłócających pomiary zalicza się silne pola elektromagnetyczne, linie wysokiego napięcia oraz metalową infrastrukturę, zarówno podziemną, jak i naziemną.	
VLF	Czynniki zakłócające pomiary obejmują silne pola elektromagnetyczne, linie wysokiego napięcia oraz metalową infrastrukturę, zarówno podziemną, jak i naziemną. Dodatkowo, stosowanie metody jest uzależnione od dostępności stacji lokacyjnych nadających sygnały niskich częstotliwości, co może wymagać prowadzenia pomiarów w ściśle określonych godzinach.	
SR	Metoda charakteryzuje się czułością na zakłócenia akustyczne i wibracyjne, co może wpływać na jakość pomiarów. Dodatkowo wykazuje małą precyzję w określaniu pola prędkości oraz ograniczoną skuteczność w rozpoznawaniu warstw płytkich.	
SRT, SRT-P, SRT-S	Metoda wykazuje wysoką czułość na zakłócenia akustyczne i wibracyjne, co może znacząco wpływać na jakość i wiarygodność uzyskiwanych wyników.	
SBT	Metoda cechuje się wysoką czułością na zakłócenia akustyczne i wibracyjne, co może wpływać na jakość pomiarów. Dodatkowo wymaga zastosowania kosztownego sprzętu, co może zwiększać ogólne koszty badań.	
MASW, SASW, CSWS	Metoda charakteryzuje się wysoką czułością na zakłócenia akustyczne i wibracyjne, co może wpływać na dokładność pomiarów. Dodatkowo, jej zastosowanie ogranicza się głównie do płytkiego rozpoznania.	
DH, CH, UH	Metoda wykazuje wysoką czułość na zakłócenia akustyczne i wibracyjne, co może obniżać jakość wyników. Ponadto charakteryzuje się ograniczeniami w rozpoznawaniu zmienności horyzontalnej, co utrudnia pełne zrozumienie struktur geologicznych, na zakłócenia akustyczne i wibracyjne; brak rozpoznania zmienności horyzontalnej	
MAG	Czynniki zakłócające pomiary obejmują silne pola elektromagnetyczne, linie wysokiego napięcia, metalową infrastrukturę podziemną i naziemną oraz linie	

	kolejowe z trakcją elektryczną. Te elementy mogą znacząco wpływać na jakość i wiarygodność uzyskiwanych danych.
GRAW	Metoda charakteryzuje się dużą pracochłonnością badań oraz koniecznością wykonywania precyzyjnych pomiarów geodezyjnych. Wykazuje wysoką czułość na zakłócenia wibracyjne, a dodatkowo wymaga powrotu na punkt bazowy co 5–6 godzin pracy. Na jakość pomiarów znacząco wpływa morfologia terenu, a metoda nie pozwala na efektywne rozpoznanie zmienności pionowej ośrodka.

TYPOWE ZAKRESY STOSOWANIA METOD

Definiowanie głębokości, dla których można zastosować daną metodę, bywa trudne. Należy jednak zauważyć, że sama głębokość, oczekiwana rozdzielczość zarówno pozioma, jak i pionowa, a także cel badań powinny określać wybór odpowiednich metod.

Przy planowaniu prac geofizycznych stosuje się ogólną zasadę: im większa głębokość prospekcji, tym mniejsze zagęszczenie badań. W kontekście geofizyki inżynierskiej można zaproponować następujący podział głębokości prospekcji:

- Płytkie badania: do 5 m,
- Średnia prospekcja: od 5 do 30 m,
- Głęboka prospekcja: od 30 do 50 m,
- Bardzo głęboka prospekcja: powyżej 50 m.

Jak wynika z przedstawionej poniżej tabeli, niektóre metody są uniwersalne i mogą być stosowane dla każdego z wymienionych zakresów głębokości, podczas gdy inne mają ograniczenia techniczne, które ograniczają ich zastosowanie do określonych warunków.

Warto również zauważyć, że wybór metody może być determinowany przez czas i koszty badań. Na przykład, jeśli celem jest uzyskanie wysokiej rozdzielczości dla płytkich głębokości, jak w badaniach archeologicznych na głębokości 1–2 m, bardziej efektywne może być zastosowanie profilowań GCM niż metody ERT.

Chociaż tabela może sprawiać wrażenie subiektywnej, to opiera się ona na wieloletnim doświadczeniu autorów, zdobytym podczas stosowania różnych metod geofizycznych dla zróżnicowanych celów badawczych. W efekcie przedstawia praktyczne podejście do doboru metod w zależności od specyfiki badań.

Tab. 4. Typowe zakresy stosowania metod

Stosowanie dla zakresu						
METODA	0-3 m	3-5 m	5-10 m	10-30 m	30-50 m	powyżej 50 m
VES	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
ERT	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
GPR	zalecane	zalecane	niezalecane	niezalecane	niezalecane	niezalecane
GCM	zalecane	zalecane	zalecane	niezalecane	niezalecane	niezalecane
TEM	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane

VLF			n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
SR			niezalecane	niezalecane	niezalecane	niezalecane	zalecane	zalecane
SRP, SRT-P, SRT-S			niezalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
SBT			niezalecane	niezalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
MASW,	SASW,	CSWS	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	niezalecane	niezalecane
DH, CH, UH			niezalecane	niezalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
MAG			zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane
GRAW			niezalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane	zalecane

PODSUMOWANIE

Przez lata w Polsce stosowano różne nazwy dla poszczególnych metod geofizycznych. Przykładem są pionowe sondowania elektrooporowe, które były określane jako SGE, SE lub VES. Taka różnorodność nazewnictwa często prowadziła do nieporozumień i utrudniała porównywanie wyników oraz wymianę doświadczeń między specjalistami. Usystematyzowanie terminologii w oparciu o nazewnictwo angielskie nie tylko pozwoli uporządkować metody badawcze, ale również ułatwi określenie wspólnego mianownika dla mierzalnych parametrów charakterystycznych dla poszczególnych technik.

Jednolity system nazewnictwa jest szczególnie ważny w kontekście współczesnej globalizacji nauki i technologii, gdzie spójność języka odgrywa kluczową rolę w interpretacji danych, publikacji wyników i komunikacji międzynarodowej. Ujednolicone nazwy sprzyjają także standaryzacji procedur badawczych, co ma istotne znaczenie w geofizyce inżynierskiej, gdzie precyzja i powtarzalność pomiarów są kluczowe dla wiarygodności wyników.

Dodatkowo, spójne nazewnictwo ułatwia dostęp do literatury fachowej i baz danych, co jest niezwykle istotne w procesie analiz porównawczych oraz przy wdrażaniu nowoczesnych technologii badawczych. Dlatego warto stosować jednolite, anglojęzyczne nazewnictwo, które nie tylko uporządkuje system metodyczny, ale także zacieśni współpracę środowisk geofizycznych na arenie międzynarodowej (Borecka, Ostrowski, 2017).

LITERATURA

BORECKA A., OSTROWSKI SZ., 2017 - Analiza obowiązujących przepisów prawnych w zakresie stosowania metod geofizyki inżynierskiej, Przegląd Geologiczny, vol. 65, nr 10/2, 2017

DZWINEL J., 1978 – Geofizyka. Metody Geoelektryczne. Wydaw. Geol., Warszawa.

ERKAN K., 2008 - A Comparative Overview of Geophysical Methods, Geodetic Science and Surveying, raport 488

FAJKLEWICZ Z. (red.), 1972 – Zarys geofizyki stosowanej. Wydaw. Geol., Warszawa.

KARCZEWSKI J., ORTYL Ł., PASTERNAK M., 2011 - Zarys metody georadarowej. Wydanie 2 poprawione i rozszerzone. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, s. 1-346.

KHESIN BE., ALEXEYEV VG., EPELBAUM L., 2013 - Interpretation of Geophysical Fields in Complicated Environments

MAJER E., SOKOŁOWSKA M., FRANKOWSKI Z., red, 2019 - Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie, Państwowy Instytut Geologiczny - PIB, Warszawa

MILSON J., 2003 - Field Geophysics, University College London , ISBN 0-470-84347-0

OSTROWSKI S., PACANOWSKI G., MAJER E., SOKOŁOWSKA M, (red.), CZARNIAK P., PIECHOTA A., BARAŃSKI M., SZABŁOWSKA M., LASOCKI M., WILKOŁAZKI P., MAJER K., 2023 – Badania geologiczno-inżynierskie. Geofizyka inżynierska. Copyright © by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2023. ISBN 978-83-67567-36-7.

REYNOLDS JM, 2011 - An Introduction to Applied and Environmental Geophysics