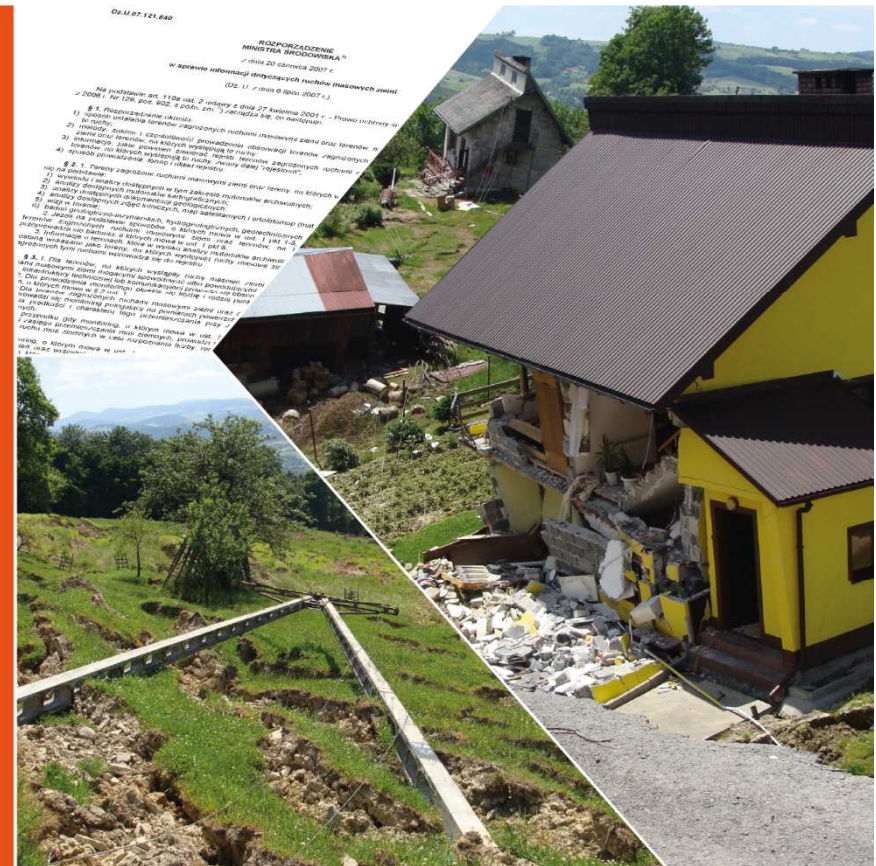


Analiza i monitoring  
zjawisk  
geodynamicznych za  
pomocą badań  
geofizycznych –  
tomografia  
elektrooporowa ERT oraz  
georadar GPR



mgr inż. Hanna Bukowy-Olejniki; mgr Dawid Sowiński – GEOSOLUM S.C.

Oddział Karpacki PIG-PIB  
KRAKÓW, 17-18 maja 2017 r.



Państwowy Instytut Geologiczny  
Państwowy Instytut Badawczy



Narodowy Fundusz  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Zjawiska geodynamiczne stanowią ogromne zagrożenie dla człowieka i budownictwa.

Pośród zjawisk geodynamicznych wyróżnia się takie procesy jak:

- Zapadanie gruntu na terenach górniczych,
- Niszczenie brzegów klifowych,
- Powodzie,
- Zapadliska krasowe,
- Procesy eolityczne,
- Współczesne ruchy tektoniczne,
- Spływy błotne,
- Obrywy skalne,
- Lawiny,
- Osuwiska.

Ostatnie z nich są w szczególnym stopniu badane i monitorowane w Polsce ze względu na ich ogromną ilość oraz szkody jakie ze sobą niosą.

Metodami pozwalającymi na analizę i monitoring osuwiska są m. in. tomografia elektrooporowa (ERT) oraz georadar (GPR).

Warto pamiętać, że metody te wykorzystywane są nie tylko w środowisku górskim, ale także na nizinach w badaniu skarp w dorzeczach rzek (np. skarpa warszawska).

Metoda tomografii elektrooporowej jest bardzo efektywną metodą geofizyczną w monitorowaniu osuwisk, gdyż reaguje ona na ich stopień zawodnienia. Dzieje się to dzięki zmianie pierwotnego reżimu wód gruntowych następującej po przemieszczeniu masy skalnej. Procesowi temu towarzyszy zmiana oporności elektrycznej ośrodka.

Metoda georadarowa należy do metod radiofalowych. Osuwiska nie wymagają z reguły głębokiego rozpoznania. Można zatem użyć georadaru z anteną o wysokiej częstotliwości co znacznie wpłynie na dokładność rozpoznania osuwiska.

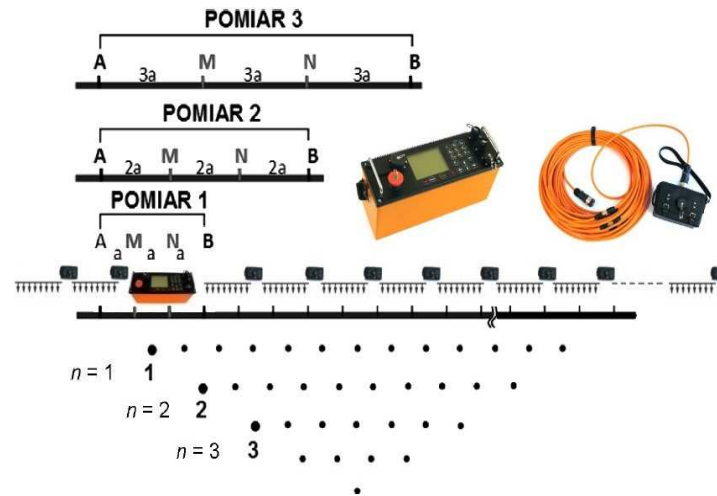


Fig. Schemat obserwacji w metodzie ERT

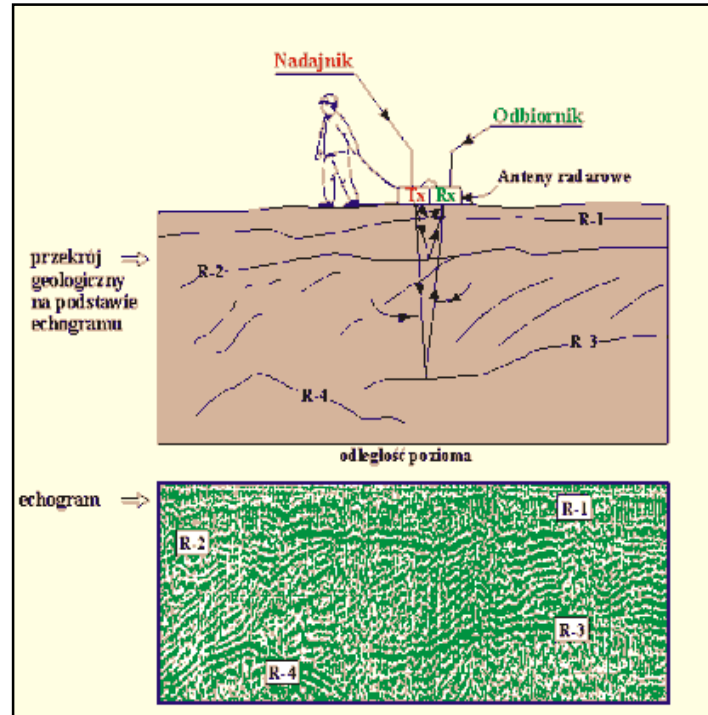


Fig. Zasada działania georadaru.  
Źródło:  
home.agh.edu.pl

Badanie osuwisk oraz terenów, które są zagrożone osuwiskami należy do najtrudniejszych zagadnień geofizycznych ze względu na skomplikowany charakter przebiegu tego procesu oraz na jego wieloprzyczynowość.

Metoda tomografii elektrooporowej ERT oraz georadar GPR służą do bezinwazyjnego badania ośrodka geologicznego prowadząc do rozpoznania jego właściwości oraz budowy.

W przypadku badania osuwisk oraz terenów nim zagrożonych przedmiotami rozpoznania są na ogół:

- Przebieg przypuszczalnych powierzchni poślizgu,
- Granice geofizyczne w ośrodku skalnym. Mogą nimi być litologia, większe spękania, położenie zwierciadła wód gruntowych.
- Zmiana właściwości warstw, a w szczególności strefy osłabienia (rozluźnień).

Przed podjęciem rozpoznania osuwiska za pomocą tomografii elektrooporowej ERT lub georadarem GPR należy spełnić podstawowe zasady:

- Należy wstępnie zapoznać się z problemem badawczym (przedmiot i zakres badań) oraz zebrać w jak najszerszym stopniu informacje kartograficzne, geologiczno-inżynierskie i geofizyczne, które były prowadzone wcześniej na terenie badań.
- Dobrać odpowiednią metodę, najbardziej efektywną w rozwiązaniu problemu badawczego. Dobór metody zależy od możliwości rozróżnienia różnych rodzajów granic w ośrodku. W przypadku braku danych geologiczno-inżynierskich, wskazane jest wykonanie obu metod.
- Opracować metodykę pomiarową i interpretacyjną dla osiągnięcia planowego celu badań. Pomiary należy tak zaprojektować, aby uchwyciły one najważniejsze i oczekiwane struktury. Należy je również tak poprowadzić, aby znajdowały się one w pobliżu wykonanych (a jeśli nie to planowanych) otworów wiertniczych dla skorelowania wyników badań geofizycznych.

## **Realizacja badań powinna przebiegać w następujący sposób:**

- Rejestracja badań pomiarowych (akwizycja) – dane rejestrowane są w postaci cyfrowej. Profile pomiarowe i punkty należy wyznaczyć z dużą dokładnością metodą geodezyjną.
- Porządkowanie rejestracji, archiwizacja i przetwarzanie danych pomiarowych.
- Interpretacja danych – polega na dopasowaniu modeli matematycznych do ośrodka geologicznego i obliczeniu ich parametrów w możliwie jak najdokładniejszy sposób. Należy korzystać ze sprawdzonych algorytmów. Taką interpretację powinna wykonywać ta sama osoba, która przeprowadzała rejestrację badań pomiarowych.
- Prezentacja wyników obliczeń w możliwie jak najbardziej przejrzysty sposób w postaci przekrojów.
- Kompleksowa analiza wyników badań – wymaga ona dużego doświadczenia i przedstawia wnioski do dalszego działania zaprojektowania zabezpieczenia osuwiska. Powinna ona zawierać informację na temat możliwych błędów i ograniczeń danej metody.
- Opracowanie raportu i dokumentacji

## Analiza i monitoring osuwisk metodą tomografii elektrooporowej ERT

Metodyka badania tomografii elektrooporowej ERT:

- Przedmiotem badania jest rozkład oporności, który jest uzyskiwany na podstawie pomiarów różnicy potencjałów wytworzonych sztucznie w ośrodku geologicznym za pomocą prądu stałego.
- Metoda tomografii elektrooporowej została opracowana pod koniec XX w. i stanowi ona połączenie i rozwinięcie metod pionowych sondowań elektrooporowych (VES) i profilowania elektrooporowego (PE).
- Podstawową jakościową zaletą metody ERT jest sposób w jaki opracowywane są rezultaty pomiarów. Rozkład oporności elektrycznej w ośrodku geologicznym modeluje się układem płaskorównoległych bloków, a nie płaskorównoległych warstw jak w metodzie VES i PE. Takie modelowanie pozwala na zaobserwowanie zmiany oporności ośrodka w kierunku pionowym i poziomym wzdłuż linii układu pomiarowego.

## W metodzie tomografii elektrooporowej ERT:

- Maksymalny rozstaw układu pomiarowego zależy od długości profilu i przekłada się na głębokościowe rozpoznanie.
- Uzyskany trapezowaty kształt przekroju jest efektem zmniejszającej się wraz ze wzrostem odległości między elektrodami ilości pomiarów.
- Istnieje możliwość przeniesienia kabla na koniec profilu i kontynuację badania gdy długość profilu przekroczy długość kabla.
- Średnia głębokość penetracji wynosi między  $1/3$  a  $1/6$  odległości między skrajnymi elektrodami i zależy również od charakteru ośrodka geologicznego.



➤ Ocena stateczności skarpy warszawskiej

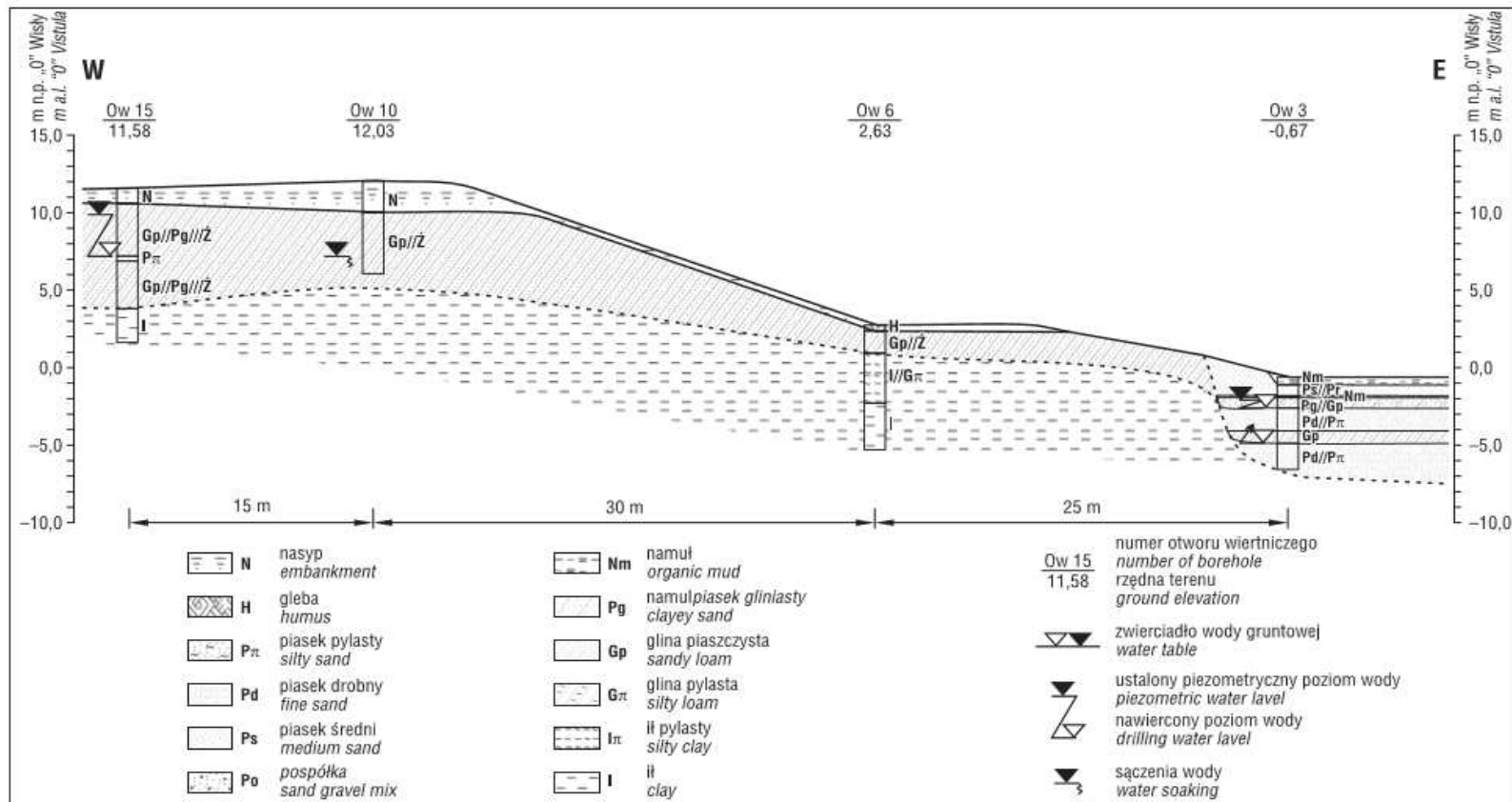


Fig. Przekrój geologiczny przez skarpy warszawską w okolicy ulicy Farysa (Kowalczyk, 2014).

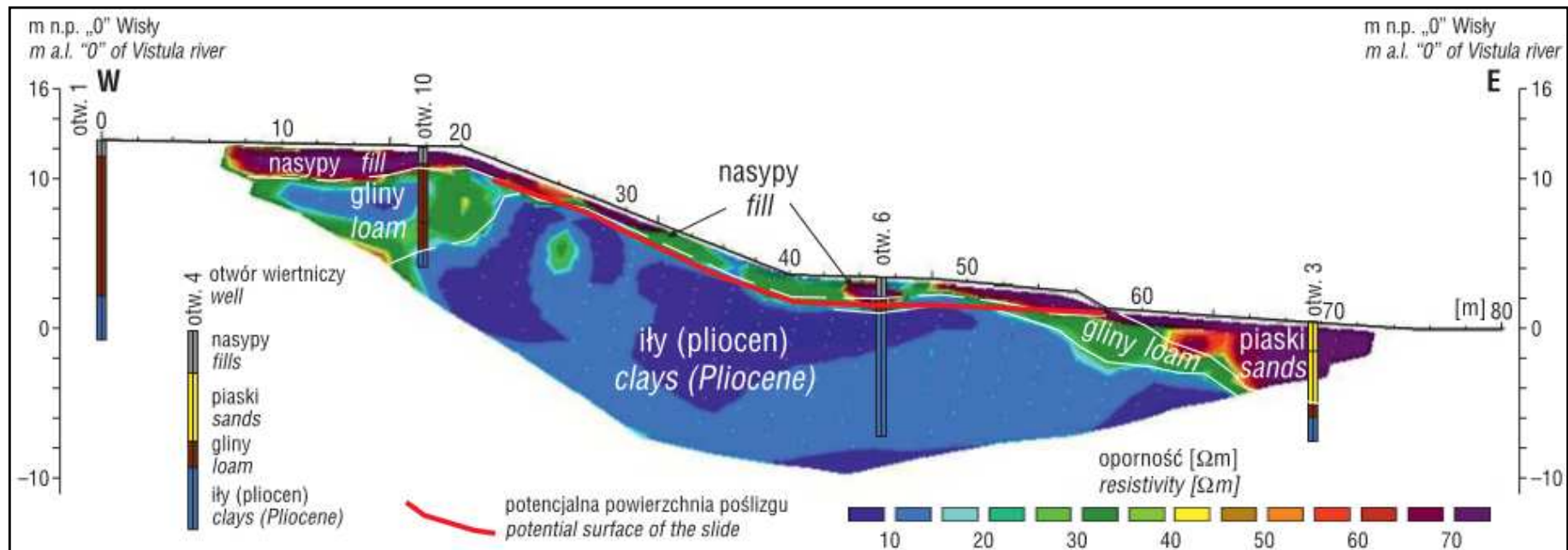


Fig. Przekrój ERT przez skarpę warszawską w okolicy ul. Farysa przy rozkładzie elektrod co 2 metry oraz układzie gradient (Kowalczyk, 2014).

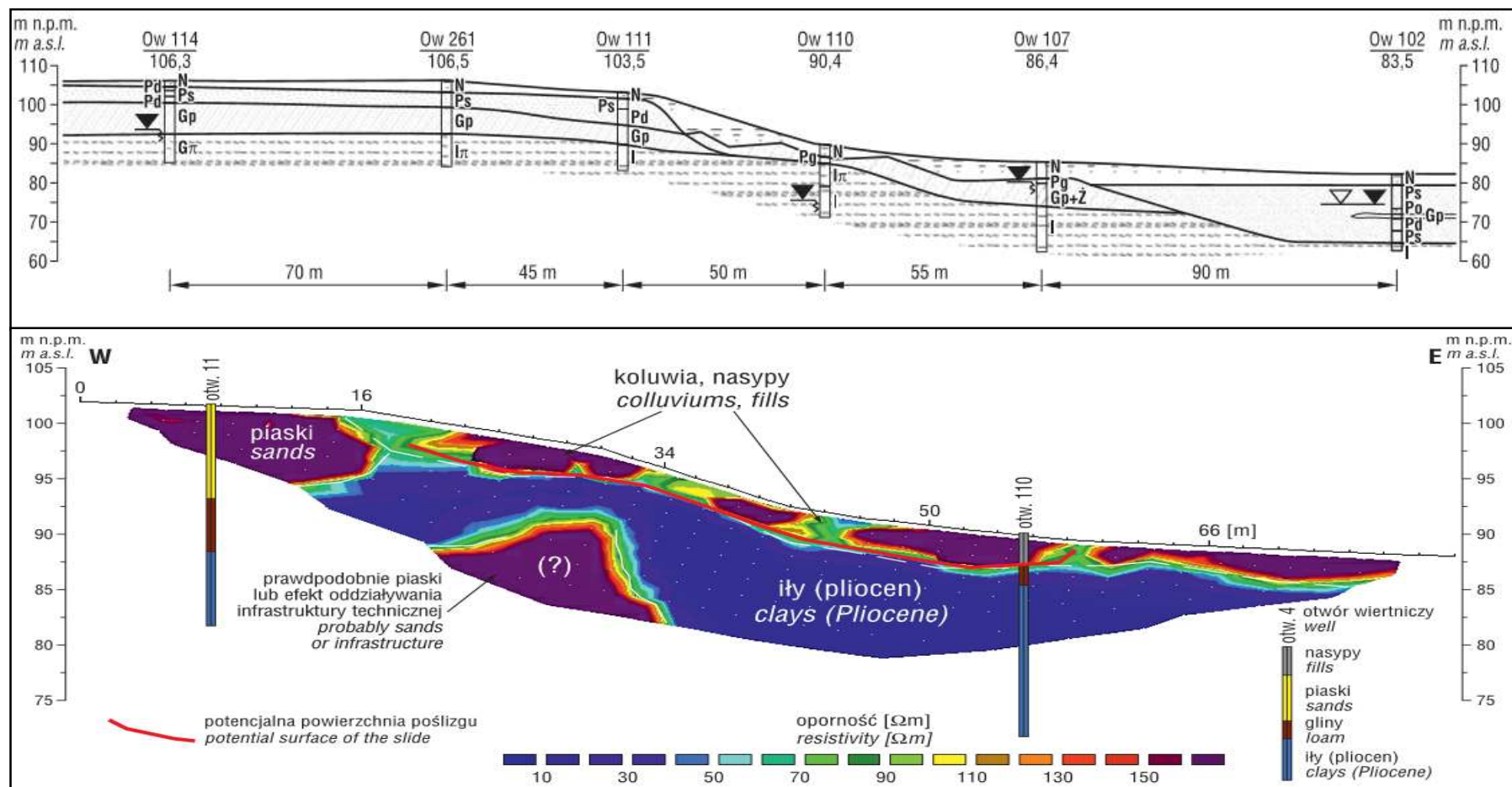


Fig. Przekrój geologiczny (u góry) oraz przekrój geoelektryczny ERT (na dole) przez skarpe warszawską w pobliżu Kościoła Akademickiego św. Anny przy rozstawie elektrod co 2 metry oraz układzie Schlumberger (Kowalczyk, 2014).

## Analiza i monitoring osuwisk metodą georadaru GPR

- Jest to metoda radiofalowa.
- Aparatura składa się z jednostki centralnej i dwóch anten – nadawczej i odbiorczej.
- Georadar emituje impuls elektromagnetyczny o wysokiej mocy szczytowej i krótkim czasie trwania. Wraz ze wzrostem energii impulsu wzrasta głębokość rozpoznania ośrodka skalnego.
- Fala emitowana przez georadar ulega odbiciu, załamaniu i tłumieniu i jest rejestrowana przez antenę odbiorczą. Czas trwania impulsu emitowanego przez georadar trwa ok. 0,5 nsek do kilku dziesiątek nsek.
- Wraz ze wzrostem częstotliwości zmniejsza się głębokość rozpoznania, lecz zwiększa się jednak dokładność rozpoznania (Obecnie stosuje się georadary o częstotliwościach od 10MHz do 2 GHz).
- Warunkiem koniecznym do zaobserwowania poszukiwanej struktury jest wystąpienie kontrastu względnej stałej dielektrycznej między ośrodkiem skalnym a poszukiwanym obiektem. W przypadku osuwisk mogą to być strefy rozluźnienia, warstwy geologiczne o różnym charakterze.
- Badanie wykonuje się zwykle sposobem profilowania.
- Wynikiem badania jest echogram.

## Przykłady monitorowania i analizy osuwisk georadarem GPR:

- Osuwisko w Przybysławicach koło Krakowa

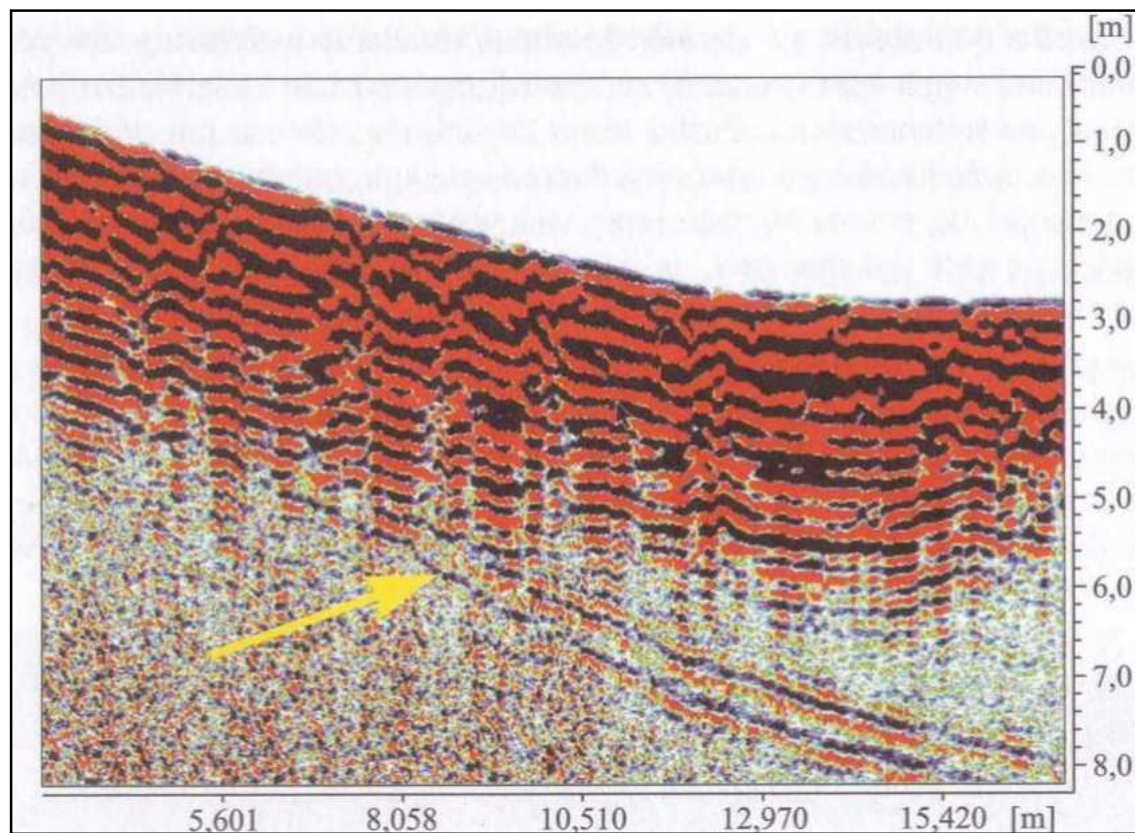


Fig. Echogram przedstawiający budowę osuwiska po badaniu georadarem GPR wraz z widoczną płaszczyzną poślizgu. Źródło: [www.wioś.rzeszow.pl](http://www.wioś.rzeszow.pl)

➤ Osuwisko w Kałkowie

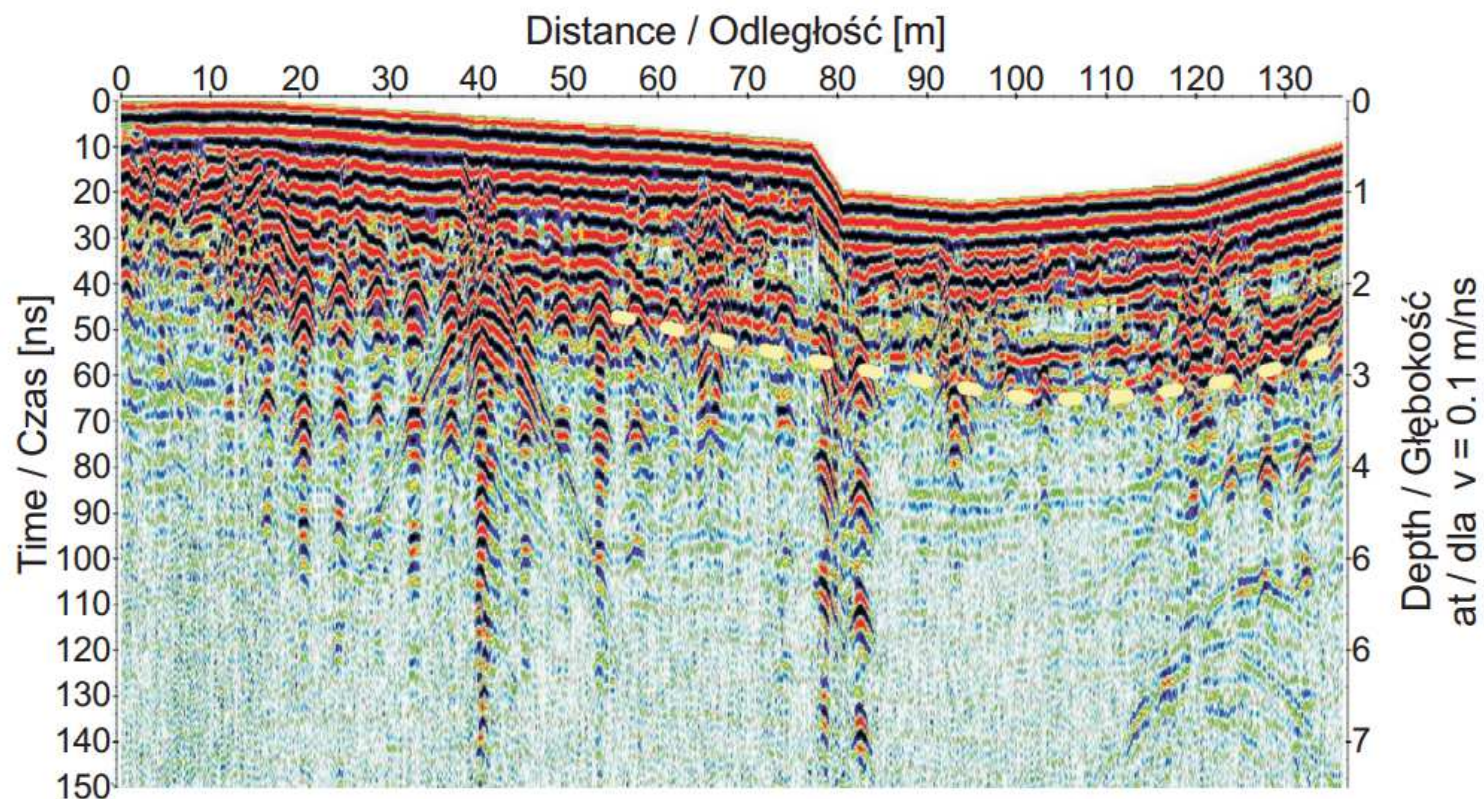


Fig. Echogram osuwiska w Kałkowie. Od 60 metra profilu na głębokości ok. 2 metrów zaznacza się płaszczyna poślizgu. Na 40 metrze widoczna jest anomalia w postaci hiperboli. Pochodzenie jej stwierdzono poprzez obecność słupa technicznego z przewodem elektrycznym (Zieliński et al. 2016).

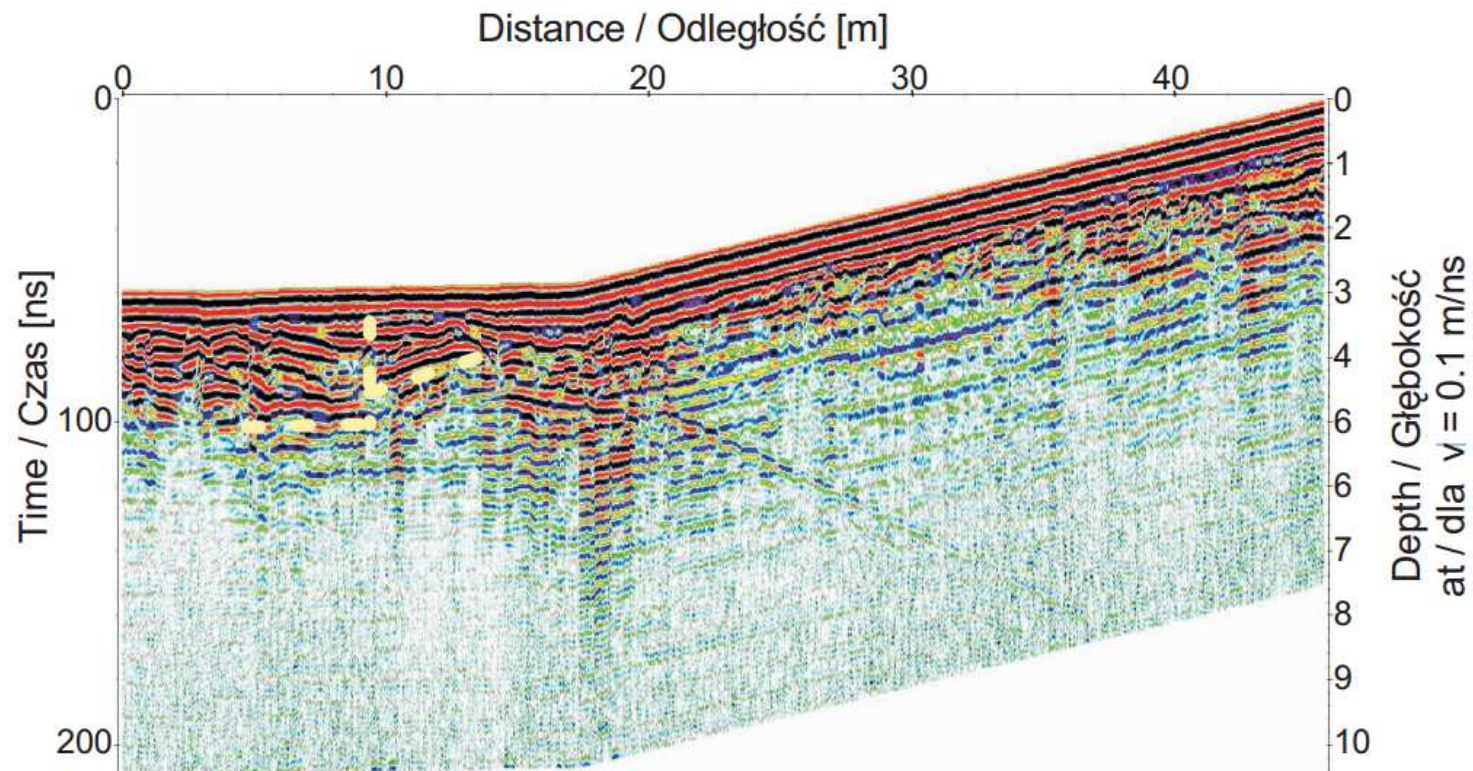


Fig. Echogram osuwiska w miejscowości Kałków. Widoczne zmiany ciągłości warstw między 10, a 17 metrem profilu. Na 18 metrze widoczne zbudowanie, które jest betonowym mostkiem. Brak jednak typowej płaszczyny poślizgu (Zieliński et al. 2016).

## Zalety i wady metod tomografii elektrooporowej ERT i georadaru GPR

### Zalety:

- ✓ Są efektywne – pozwalają na stosunkowo szybkie rozpoznanie względnie dużych obszarów w sposób ciągły.
- ✓ Są atrakcyjne finansowo w porównaniu z siatką otworów wiertniczych.
- ✓ Metody te są bezinwazyjne.
- ✓ Metody te wykorzystują różne pola fizyczne w ośrodku geologicznym. Wzajemnie się uzupełniają.
- ✓ Z uwagi na dość płytką potrzebę rozpoznania osuwiska (do kilkudziesięciu metrów) dokładność badania jest stosunkowo wysoka.

### Wady:

- Wieloznaczność wyników interpretacji geofizycznych. Zaleca się więc wykonanie otworu badawczego w bezpośrednim sąsiedztwie.
- Wrażliwość rejestracji na zakłócenia w trakcie pomiarów.
- Ograniczona rozdzielczość rozpoznania przy coraz głębszym rozpoznaniu.



---

## Literatura

BIAŁOSTOCKI, RYSZARD, J. FARBISZ, and G. PACANOWSKI. "Badania geofizyczne dla potrzeb rozpoznawania i monitorowania geozagrożeń." *Biul. Inf. Geofizyka* 7 (2008): 54-61.

HONCZARUK, Marcin, and Grzegorz PACANOWSKI. "Zastosowanie metod geofizycznych w monitoringu zagrożeń środowiskowych.,,

Kowalczyk, Sebastian, Radosław Mieszkowski, and Grzegorz Pacanowski. "Ocena stateczności wybranych fragmentów skarpy warszawskiej w świetle badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej (ERT)." (2014).

Pasierb, Bernadetta. "Techniki pomiarowe metody elektrooporowej." *Czasopismo Techniczne. Środowisko* 109 (2012).

Pilecki, Zenon, and Elżbieta Pilecka. "Podstawowe zasady stosowania metod geofizycznych w badaniu osuwisk i terenów zagrożonych osuwiskami." *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* (2016).

Zieliński, Artur, et al. "Use of GPR method for investigation of the mass movements development on the basis of the landslide in Kałków." *Roads and Bridges-Drogi i Mosty* 15.1 (2016): 61-70.

[http://www.wios.rzeszow.pl/cms/upload/edit/file/konf\\_powodz\\_2010/1\\_PWSZ.pdf](http://www.wios.rzeszow.pl/cms/upload/edit/file/konf_powodz_2010/1_PWSZ.pdf)

**ZAPRASZAM**  
**DO**  
**DYSKUSJI**