

## Ocena stateczności wybranych fragmentów skarpy warszawskiej w świetle badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej (ERT)

Sebastian Kowalczyk<sup>1</sup>, Radosław Mieszkowski<sup>1</sup>, Grzegorz Pacanowski<sup>2</sup>



S. Kowalczyk    R. Mieszkowski    G. Pacanowski

The stability evaluation of Warsaw slope selected pieces based on Electrical Resistivity Tomography survey (ERT). *Prz. Geol.*, 62: 634–640.

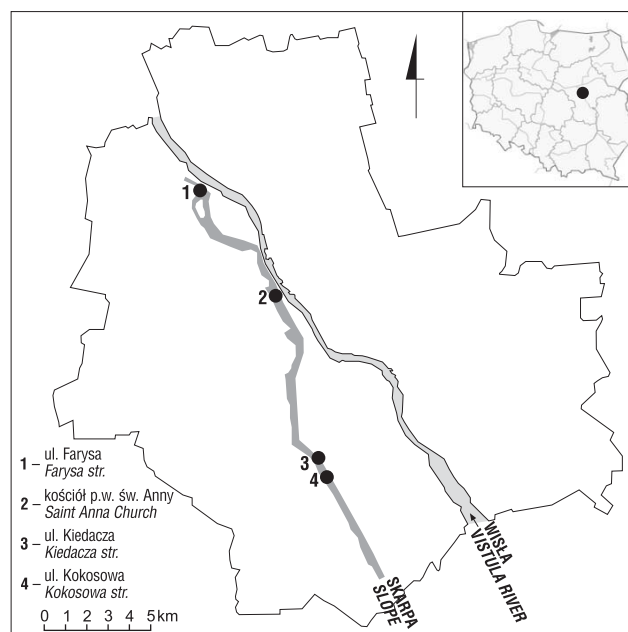
*A b s t r a c t.* In this paper there are presented application of Electrical Resistivity Tomography method (ERT) for the evaluation of slope stability on the example of four pieces of Warsaw slope. The survey was conducted on Bielany at Farysa street, downtown close to Academic Church St. Anne, on Ursynów at Kiedacza Street and at Kokosowa Street. Selected pieces of Warsaw slope differ between themselves with soil-water conditions, geometry (a slope angle and height), an urbanized terrain and hazard of landslide. In this paper there are geological cross-section for selected slope pieces, the slope stability index was calculated ( $F$ ) and ERT measurements. The purpose

of this paper is presentation of the processing and interpretation of data received in ERT measurements for more exact description of slope stability.

**Keywords:** slope stability, Warsaw slope, Electrical Resistivity Tomography (ERT)

Przykłady wykorzystania metody tomografii elektrooporowej w kartowaniu osuwisk można znaleźć w licznych pracach dotyczących literatury przedmiotu, m.in. Musiatewicz & Pacanowski (2005), Friedel i in. (2006), Białostocki i in. (2008), Ostrowski i in. (2011), Ostrowski i in. (2013). Należy zauważyć, że wszyscy wymienieni autorzy opisują badanie osuwisk w terenach górskich. Metody geofizyczne stosowane do analizy stateczności skarp i zboczy zostały przedstawione m.in. przez Hacka (2000), Bestyńskiego (2009). Efektywnymi metodami geofizycznymi w rozpoznawaniu osuwisk mas skalnych są działania oparte na parametrach reagujących na zmiany pierwotnej struktury ośrodka (prędkość fal sejsmicznych) i jego zawodnienia (oporność elektryczna ośrodka) ze względu na fakt, że przemieszczenie materiału skalnego zmienia pierwotny reżim wód gruntowych (Bestyński & Trojan, 1975). Skarpa warszawska jest potoczną nazwą skarpy wiślanej położonej na lewym brzegu rzeki na terenie Warszawy. Pod względem geomorfologicznym dzieli obszar miasta na dwie jednostki: wysoczyznę polodowcową oraz dolinę rzeki Wisły. Skarpa stanowi zachodnią krawędź doliny na odcinku około 30 km i ma przebieg z południowego wschodu na północny zachód, zgodny z biegiem rzeki. Wysokość skarpy jest zróżnicowana i waha się od około 6 m w rejonie dzielnicy Marymont do około 25 m w rejonie Kościoła Akademickiego św. Anny. Stateczność skarpy warszawskiej zmienia się i zależy m.in. od jej geometrii, litologii gruntów budujących jej skłon, lokalnych warunków hydrogeologicznych oraz zagospodarowania terenu przylegającego do skarpy.

Celem pracy jest sprawdzenie możliwości wykorzystania metody tomografii elektrooporowej (ERT) do uszczegółowienia rozpoznania budowy geologicznej i oceny stateczności skarp i zboczy osuwiskowych. Badania wyko-



**Ryc. 1.** Lokalizacja badanych fragmentów skarpy warszawskiej  
**Fig. 1.** Location of survey carried out on pieces of Warsaw slope

nano na czterech odcinkach skarpy warszawskiej różniących się budową geologiczną, geometrią, stopniem aktywności osuwiskowej oraz zagospodarowaniem. Lokalizację przedstawiono graficznie na rycinie 1. Badania przeprowadzono:

– przy ul. Farysa (Bielany); wysokość skarpy wynosi ok. 12 m, kąt nachylenia ok. 23°; skłon skarpy jest porośnięty charakterystycznie zdeformowanymi drzewami, które świadczą o pewnej aktywności osuwiskowej skarpy;

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; s.kowalczyk@uw.edu.pl, r.mieszkowski@uw.edu.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.pacanowski@pgi.gov.pl.

– na wysokości Kościoła Akademickiego św. Anny; wysokość skarpy wzdłuż przekroju obliczeniowego wynosi ok. 23 m, kąt nachylenia ok. 30°. W pobliżu górnej krawędzi skarpy posadowiony jest kościół, na skłonie rośnie trawa i sporadycznie drzewa bez śladów deformacji zboczowych. W 1949 r. zauważono na ścianach kościoła spękania. Awaria budowlana była spowodowana budową trasy W-Z oraz długotrwałym niezagospodarowaniem zrujnowanych budynków w tym rejonie ze zniszczonym systemem drenażu wód opadowych w pobliżu skarpy. Po wykonanych zabiegach geotechnicznych w połowie XX w. przemieszczenia kościoła zostały zatrzymane (Wysokiński, 1999);

– przy ul. Kiedacza (Ursynów); wysokość skarpy wynosi ok. 15,5 m, kąt nachylenia ok. 38°; jej skłon jest porośnięty drzewami bez widocznych śladów aktywności osuwiskowej;

– przy ul. Kokosowej (Ursynów); wysokość skarpy wynosi ok. 12 m, kąt nachylenia do 32°; na skłonie, prostopadle do skarpy, poprowadzona jest ul. Orszady oraz rosną drzewa z widocznymi śladami aktywności osuwiskowej. W 2010 r. pod wpływem intensywnych opadów deszczu doszło do osunięcia się gruntów na kilku fragmentach skarpy wzdłuż ul. Kokosowej i Orszady.

#### POMIARY METODĄ TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ (ERT) – METODYKA

Założenia metody elektrooporowej zostały sformułowane na początku XX w. przez braci Conrada i Marcela Schlumbergerów. Przedmiotem badań w tej metodzie jest rozkład oporności uzyskany na podstawie pomiaru różnic potencjałów wytworzonych sztucznie w ośrodku geologicznym przez prąd stały. Rozległe podstawy teoretyczne metody elektrooporowej można znaleźć m.in. w pracy Stenzela & Szymanka (1973). Metoda tomografii elektrooporowej została opracowana pod koniec XX w. i stanowi rozwinięcie i połączenie metody pionowych sondowań elektrooporowych (VES) i profilowania elektrooporowego (PE).

Podstawową jakością zaletą metody ERT jest sposób opracowania rezultatów pomiarów. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka modeluje się w niej układem płaskorównoległych bloków, a nie płaskorównoległych warstw, jak w metodzie VES i PE. Modelowanie takie umożliwia określenie zróżnicowania oporności ośrodka w kierunku pionowym i poziomym na powierzchni przekroju wzdłuż linii układu pomiarowego. Metoda tomografii elektrooporowej jest szeroko opisana m.in. w pracy Loke'a (2012).

W badaniach elektrooporowych prezentowanych w niniejszym artykule wykorzystano 4-kanalową aparaturę Terrameter LS produkcji szwedzkiej firmy ABEM. Pomiar ERT przeprowadzono w układzie Schlumbergera na czterech, wyżej wymienionych, fragmentach skarpy warszawskiej oraz w układzie gradientowym na Bielanych i wzdłuż jednej linii pomiarowej na Ursynowie (ul. Kiedacza). Uzyskane obrazy oporności pozornej zostały przetworzone w programie Res2dinv firmy Geotomo Software z zastosowaniem automatycznej inwersji. Procedura ta wykonywana jest iteracyjnie z założeniem minimalizacji błędów dopasowania. Rezultatem przetwarzania jest najbardziej prawdopodobny obraz oporności ośrodka geologicz-

nego jaki można otrzymać na podstawie danych oporności pozornej uzyskanych z pomiarów terenowych.

Przeprowadzone badania tomografią elektrooporową umożliwiły *quasi* ciągłe dwuwymiarowe prześledzenie rozkładu oporności elektrycznej w gruntach występujących w przekroju pionowym wzdłuż linii pomiarowej. Na przekrojach uzyskanych w wyniku interpretacji ERT naniesiono dostępne profile otworów wiertniczych w celu pełniejszej ich interpretacji (m.in. dowiązania litologii do oporności). Przekroje rozkładu oporności elektrycznej gruntów wraz z interpretacją geologiczną przedstawiono na kolejnych rycinach w artykule.

#### BUDOWA GEOLOGICZNA ANALIZOWANYCH FRAGMENTÓW SKARPY WARSZAWSKIEJ

Skarpę warszawską budują nasypy antropogeniczne, gliny zwałowe zlodowaceń starszych niż zlodowacenie wisły, piaski wodnolodowcowe, pyły i ropy zastoiskowe oraz ropy plioceńskie (Wysokiński, 1999). Poniżej została opisana szczegółowo budowa geologiczna na wybranych do niniejszej pracy fragmentach skarpy warszawskiej.

##### Skarpa przy ul. Farysa (Bielany)

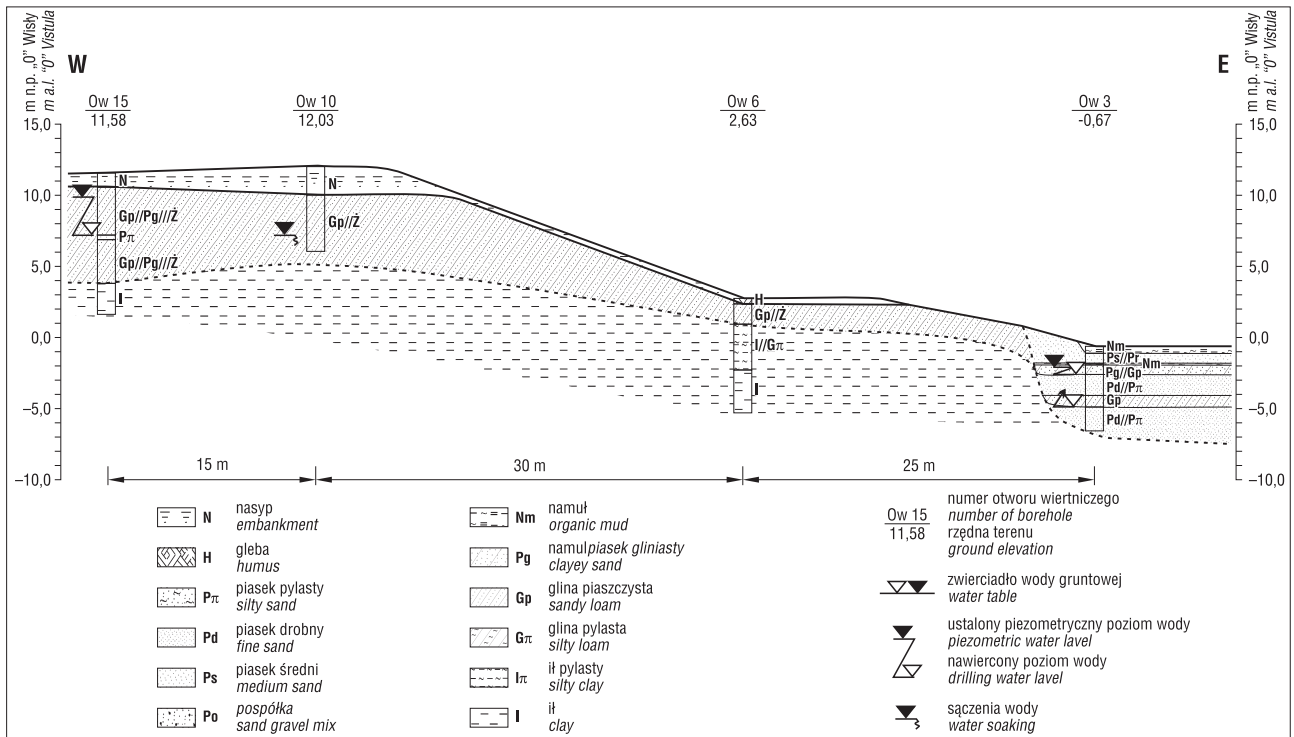
Przy powierzchni terenu występują nasypy do głębokości ok. 2–3 m (ryc. 2). Pod nasypami zalega glina polodowcowa zlodowacenia środkowopolskiego o maksymalnej miąższości ok. 6 m. Głębiej nawiercono ropy plioceńskie, których strop zapada konsekwentnie od skarpy w kierunku wschodnim (do rzeki Wisły). U podnóża skarpy występują osady aluwialne. W przewarstwieniach piaszczystych w obrębie glin polodowcowych stwierdzono występowanie wód gruntowych o napiętym charakterze zwierciadła. Dolna krawędź skarpy wykształcona jest w osadach aluwialnych, w których poziom wód gruntowych występuje na głębokości ok. 2 m p.p.t.

##### Skarpa przy Kościele Akademickim św. Anny (Śródmieście)

Nasypy antropogeniczne osiągają miąższości do 7,5 m (na skłonie skarpy) (ryc. 3). Pod nasypami występują piaski fluwioglacjalne (miąższość do 5 m), a głębiej gliny polodowcowe (miąższość do 8 m) zlodowacenia środkowopolskiego. Pod glinami zalega strop ropy plioceńskich, nachylony konsekwentnie od skarpy. W obrębie skłonu skarpy, pod nasypami, stwierdzono występowanie przynajmniej czterech klinów osuwiskowych (Wysokiński, 1999). U podnóża skarpy występują osady aluwialne w obrębie których, na głębokości około 7 m p.p.t., występuje swobodne zwierciadło wód gruntowych. Sączenia wód podziemnych stwierdzono z niewielkich przewarstwień piaszczystych w glinach polodowcowych.

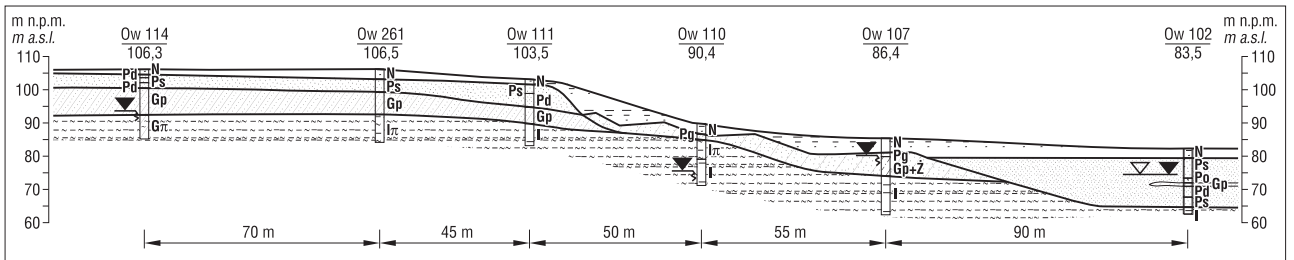
##### Skarpa przy ul. Kiedacza (Ursynów)

Krawędź skarpy jest zbudowana z osadów spoistych zlodowacenia środkowopolskiego (piasków gliniastych oraz glin piaszczystych) o miąższości do ok. 13 m (ryc. 4). Głębiej wierceniami stwierdzono występowanie piasków fluwioglacjalnych. Dolna krawędź skarpy wykształcona



**Ryc. 2.** Przekrój geologiczny przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Farysa (Remiszewska & Mieszkowski, 2011). „0 Wisły” w układzie Kronsztad 86–77,871 m n.p.m.

**Fig. 2.** Geological cross-section across the Warsaw slope at Farysa street (Remiszewska & Mieszkowski, 2011). "0 Wisły" in Kronsztad 86–77,871 m a.s.l.



**Ryc. 3.** Przekrój geologiczny przez skarpe warszawską w pobliżu Kościoła Akademickiego św. Anny (Wysokiński, 1999). Objasnienia na rycinie 2

**Fig. 3.** Geological cross-section across the Warsaw slope close to Academic Church St. Anne (Wysokiński, 1999). For explanation see Fig. 2

jest w osadach aluwialnych doliny Wisły (namuły i piaski). W tym rejonie zwierciadło wody gruntowej ma charakter swobodny i zostało nawiercone na rzędnej ok. 14 m n.p. „0” Wisły, zarówno w obrębie wysoczyzny polodowcowej, jak i na tarasie nadzalewowym Wisły (Kaczyński i in., 2005).

**Skarpa przy ul. Kokosowej (Ursynów)**

Na skłonie skarpy występują nasypy oraz koluwia o miąższości do 1 m (ryc. 5). Głębiej zalegają gliny zlodowaczenia środkowopolskiego.

U podnóża skarpy nawiercono osady aluwialne, w obrębie których stwierdzono występowanie wody na rzędnej ok. 12 m n.p. „0” Wisły.

**ANALIZA STATECZNOŚCI SKARPY**

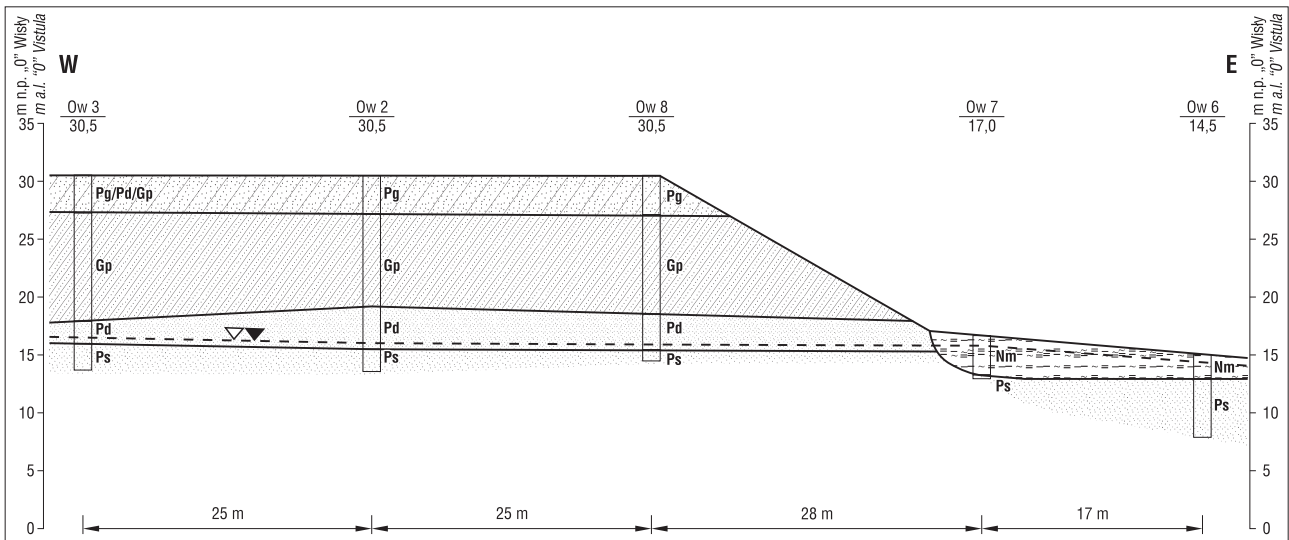
W obrębie wybranych fragmentów skarpy warszawskiej wyraźną aktywność osuwiskową, łącznie z formami

typowymi dla osuwisk (nisza i koluwium), stwierdzono przy ul. Kokosowej – Orszady (na powierzchni) oraz w pobliżu kościoła p.w. św. Anny (przykryte nasypami). W przekroju w pobliżu ul. Farysa odnotowano występowanie lekko zdeformowanych pni drzew bez obecności form osuwiskowych. Natomiast przy ul. Kiedacza nie zauważono śladów aktywności osuwiskowej skarpy.

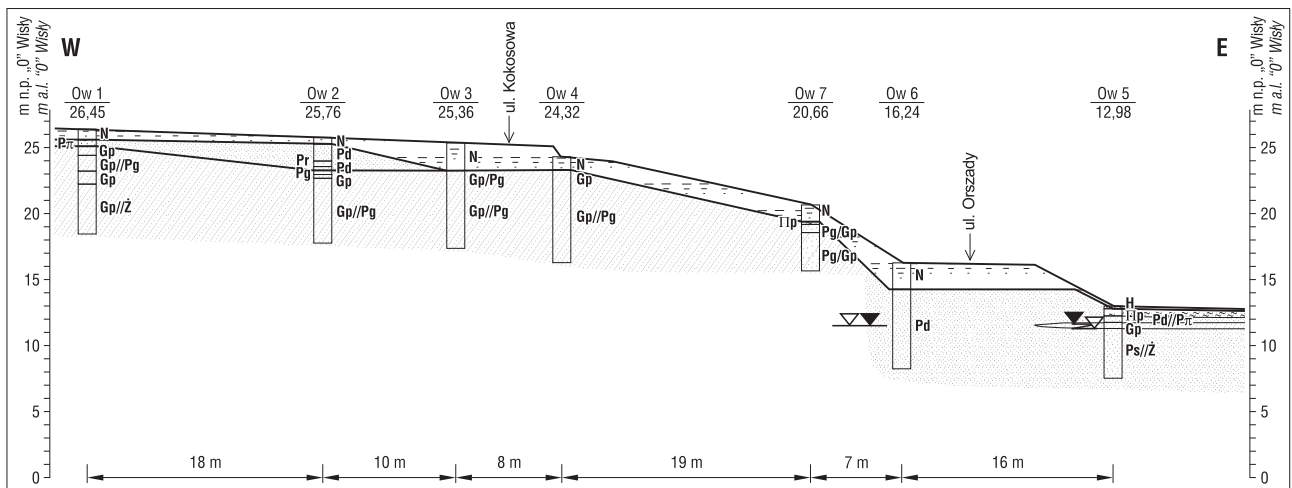
Miara zagrożenia terenu osuwiskami jest wskaźnik stanu równowagi zbocza (F), który charakteryzują następujące wartości:

- F < 1 – skarpa niestateczna,
- F ≅ 1 – skarpa w chwilowej równowadze,
- F > 1 – skarpa stateczna.

Zgodnie z Instrukcją 304 ITB (Wysokiński, 1991) sprawdzenie stateczności skarpy polega na obliczeniu minimalnego wskaźnika stanu równowagi zbocza (bezpieczeństwa) przy zastosowaniu odpowiedniej metody obliczeniowej, z uwzględnieniem przebiegu warstw gruntu i



Ryc. 4. Przekrój geologiczny przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Kiedacza (Kaczyński i in., 2005). Objasnienia na rycinie 2  
 Fig. 4. Geological cross-section across the Warsaw slope at Kiedacza street. For explanation see Fig. 2



Ryc. 5. Przekrój geologiczny przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Kokosowej – Orszady (Remiszewska & Mieszkowski, 2010). Objasnienia na rycinie 2  
 Fig. 5. Geological cross-section across the Warsaw slope at Kokosowej – Orszady streets (after Remiszewska & Mieszkowski, 2010). For explanation see Fig. 2

domniemanych przebiegów powierzchni poślizgu, po których może nastąpić osuwisko lub zsuw.

Reguły obliczania wskaźnika stanu równowagi (F) są szeroko opisane w pracy Wysokińskiego (2011).

Wartości wskaźnika stanu równowagi (F), policzone na podstawie warunków gruntowo-wodnych przedstawionych wcześniej na przekrojach geologicznych, zestawiono w tabeli 1.

## WYNIKI BADAŃ

### Wyniki ERT w pobliżu ul. Farysa (Bielany)

W przeprowadzonych w tym rejonie badaniach geoelektrycznych stwierdzono wyraźne zróżnicowanie oporności elektrycznej gruntów spoistych (10–40  $\Omega$ m) i aluwialnych (>70  $\Omega$ m) oraz jego zgodność z danymi z profili otworów wiertniczych. Uzyskany przekrój zróżnicowania oporności ośrodka (ryc. 6) odwzorowuje także powierzchnię stropową iłów plioceńskich. W obrazie oporności

wyraźnie wyróżniają się występujące w stropowej części przekroju na skłonie skarpy grunty nasypowe oraz być może koluwia, charakteryzujące się podwyższonymi opornościami (od 35 do powyżej 70  $\Omega$ m). Miąższość tych utworów, określona na podstawie oporności, wynosi maksymalnie do 2 m, co koresponduje z profilami otworów 10 i 6. Wyróżniona na skłonie skarpy strefa gruntów o podwyższonej oporności (prawdopodobnie koluwia) podlega powolnemu zsuwowi (szczególnie po intensywnych opadach), na co wskazują charakterystycznie zdeformowane drzewa.

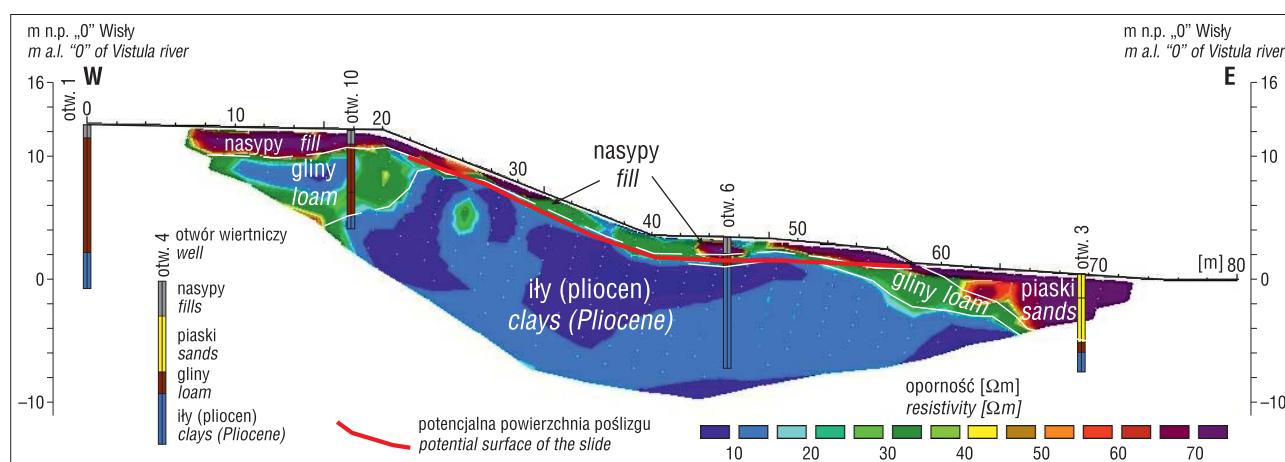
### Wyniki ERT w pobliżu Kościoła Akademickiego św. Anny (Śródmieście)

Zestawienie profili otworów wiertniczych z rozkładem oporności z badań ERT wykazuje wyraźne przyporządkowanie iłów plioceńskich osadom niskooporowym (10–30  $\Omega$ m) i piasków osadom wysokooporowym (>160  $\Omega$ m) (ryc. 7).



**Tab. 1.** Obliczone wartości wskaźnika stanu równowagi skarpy  
**Table 1.** The calculated values of slope stability index

Przekroje obliczeniowe Cross-section considering	Wartości wskaźnika stanu równowagi (F) Values of slope stability index (F)	Wystąpienie osuwiska należy uznać za (Wysokiński, 1991): The occurrence of landslides should be considered (Wysokiński, 1991):	Źródło danych References
ul. Farysa Farysa Street	1,4 – skarpa jest stateczna 1.4 – the slope is stable	mało prawdopodobne unlikely	Remiszewska & Mieszkowski, 2011
Kościół p.w. św. Anny St. Anne's Church	1,48 – skarpa jest stateczna 1.48 – the slope is stable	mało prawdopodobne unlikely	Łukasik, 2005
ul. Kiedacza Kiedacza Street	1,54 – skarpa jest stateczna 1.54 – the slope is stable	bardzo mało prawdopodobne very unlikely	Kaczyński i in., 2005
ul. Kokosowa Kokosowa Street	1,02–1,08 – skarpa znajduje się w chwilowej równowadze 1.02–1.08 – the slope is temporarily stable	bardzo prawdopodobne very likely	Remiszewska & Mieszkowski, 2010



**Ryc. 6.** Przekrój ERT przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Farysa (rozstaw elektrod 2 m, układ: gradient)

**Fig. 6.** ERT (electrical resistivity tomography) geophysical cross section across the Warsaw slope at Farysa street (electrode spacing 2m; gradient array)

Oporność gruntów nasypanych oraz być może koluwiów występujących w strefie przypowierzchniowej na skłonie skarpy wynosi powyżej 100 Ωm. Na podstawie badań geoelektrycznych trudno jest rozdzielić nasypy od gruntów piaszczystych występujących już w dolinie rzecznej. Otrzymana w badaniach geofizycznych miąższość gruntów nasypanych i koluwiów sięga do 5 m. Jest to strefa gruntów, które mogą ulegać osuwaniu pod wpływem zaistnienia czynników niekorzystnie oddziałujących na stateczność skarpy (np. opady deszczu, podcięcie skarpy, ewentualne rozszczelnienie instalacji wodno-kanalizacyjnej). W środkowej części przekroju ERT, na głębokości około 7 m, stwierdzono wyraźną anomalię podwyższonych oporności gruntów. Może ona być efektem występowania w gruncie warstwy piasków lub elementów antropogenicznych (np. gruz, kanał). Na omawianej skarpie podatne na zsuw są grunty wysokooporowe.

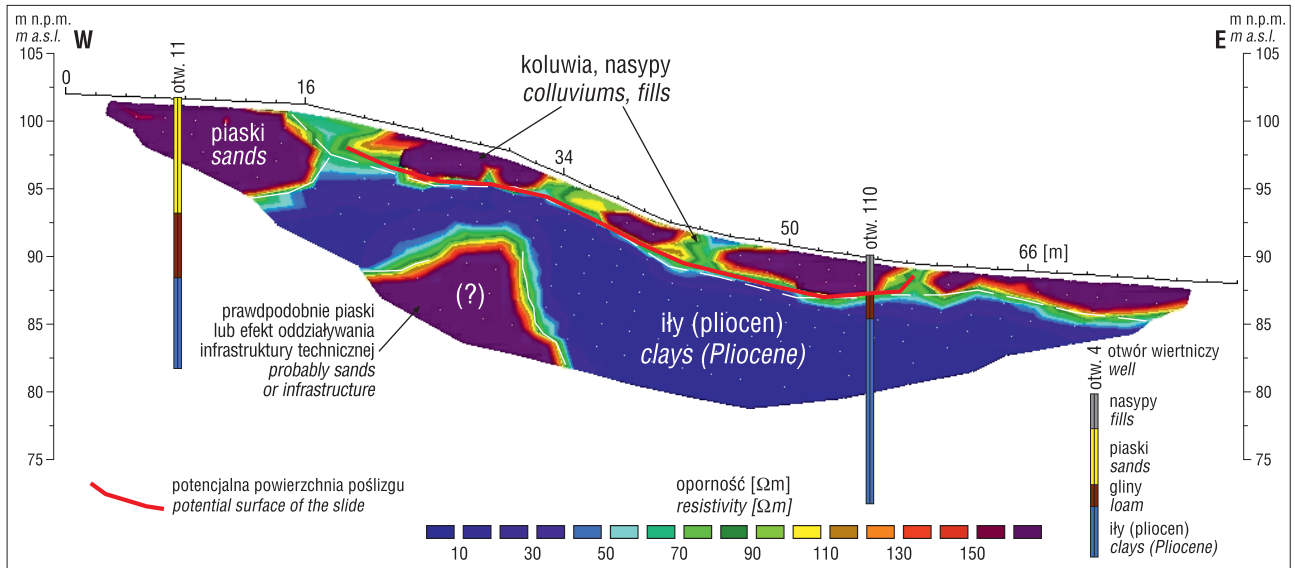
#### Wyniki ERT w pobliżu ul. Kiedacza (Ursynów)

Podobnie jak na poprzednich odcinkach skarpy również i na Ursynowie obserwuje się dużą zgodność profili otworów wiertniczych z rozkładem oporności charakterystycznym dla gruntów spoistych i niespoistych. Na prze-

kroju wyróżniono warstwę glin wysoczyznowych (o oporności 30–40 Ωm), piasków fluwioglacjalnych (>220 Ωm), osadów aluwialnych (70–110 Ωm) oraz iłów pliocenicznych (20–30 Ωm). Na skłonie skarpy nie wyróżniono nasypów. Wynikać by to mogło z przyjętego zbyt dużego rozstawu elektrod (5 m), niemniej jednak w profilach otworów na koronie i w podskarpiu (otwór 8 i otwór 7) również nie stwierdzono nasypów. Jednocześnie należy zauważyć, iż wartość wskaźnika stateczności skarpy wynosi  $F = 1,54$ . Obliczona wartość wskaźnika  $F$  koresponduje z przekrojem rozkładu oporności (ryc. 8). Na skłonie skarpy nie stwierdzono osadów wysokooporowych mogących stanowić koluwia oraz obecności pokrzywionych drzew świadczących o aktywności osuwiskowej.

#### Wyniki ERT w pobliżu ul. Kokosowej – Orsady (Ursynów)

Zgodność profili otworów wiertniczych z obrazem rozkładu oporności elektrycznej gruntów nie jest dokładna. Wynika to z obecności licznych elementów infrastruktury technicznej (linie energetyczne, kanalizacja, nasyp drogowy oraz nawierzchnia drogi) na analizowanym fragmencie skarpy. Na przekroju ERT (ryc. 9), w nawiązaniu do wier-



**Ryc. 7.** Przekrój ERT przez skarpe warszawską w pobliżu Kościoła Akademickiego św. Anny (rozstaw elektrod 2 m, układ: Schlumberger)

**Fig. 7.** ERT (electrical resistivity tomography) geophysical cross section across the Warsaw slope close to Academic Church St. Anne (electrode spacing 2m; Schlumberger array)

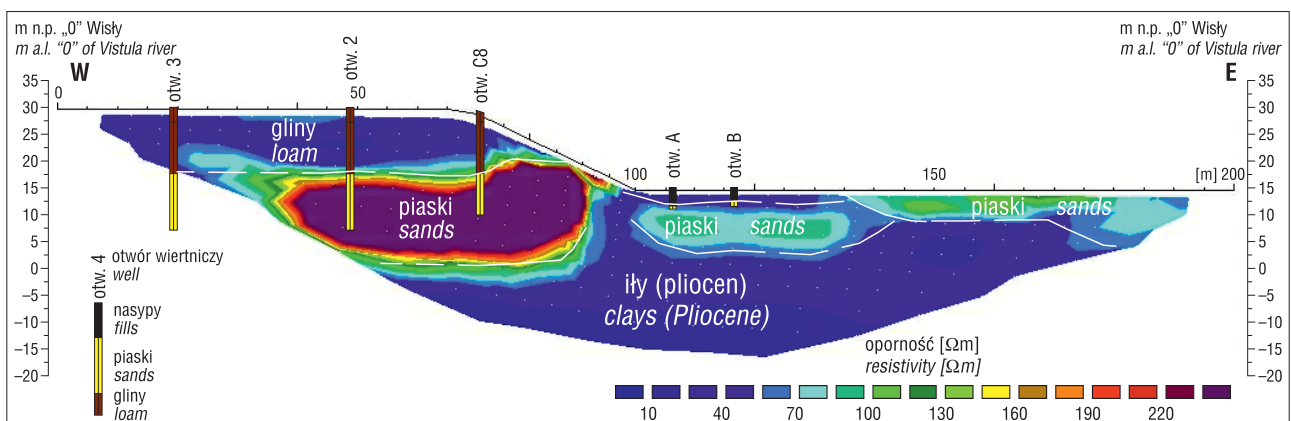
ceń, wydzielono gliny polodowcowe o opornościach do 70–90  $\Omega\text{m}$ , piaski (żwiry) fluwioglacjalne charakteryzujące się opornością powyżej 250  $\Omega\text{m}$  oraz osady aluwialne (90–250  $\Omega\text{m}$ ). Na skłonie skarpy wyraźnie zaznacza się przypowierzchniowa warstwa osadów o podwyższonych opornościach elektrycznych (> 100  $\Omega\text{m}$ ), stanowiąca nasypy oraz koluwia. Otrzymana w badaniach geofizycznych miąższość gruntów nasypowych i koluwii sięga do 1 m. Jest to strefa gruntów, które cały czas osuwają się po skarpie. W 2010 r. w pobliżu analizowanego fragmentu skarpy (w odległości ok. 50 m w kierunku północnym) powstało osuwisko. Poza tym na przemieszczanie się gruntów na skłonie skarpy wskazują znacznie zdeformowane pnie drzew porastających skłone skarpy.

#### PODSUMOWANIE

Generalnie należy stwierdzić zgodność pomiędzy badaniami ERT, dającymi dwuwymiarowe ciągłe zróżnicowanie ośrodka, z informacjami uzyskanymi z wierceń.

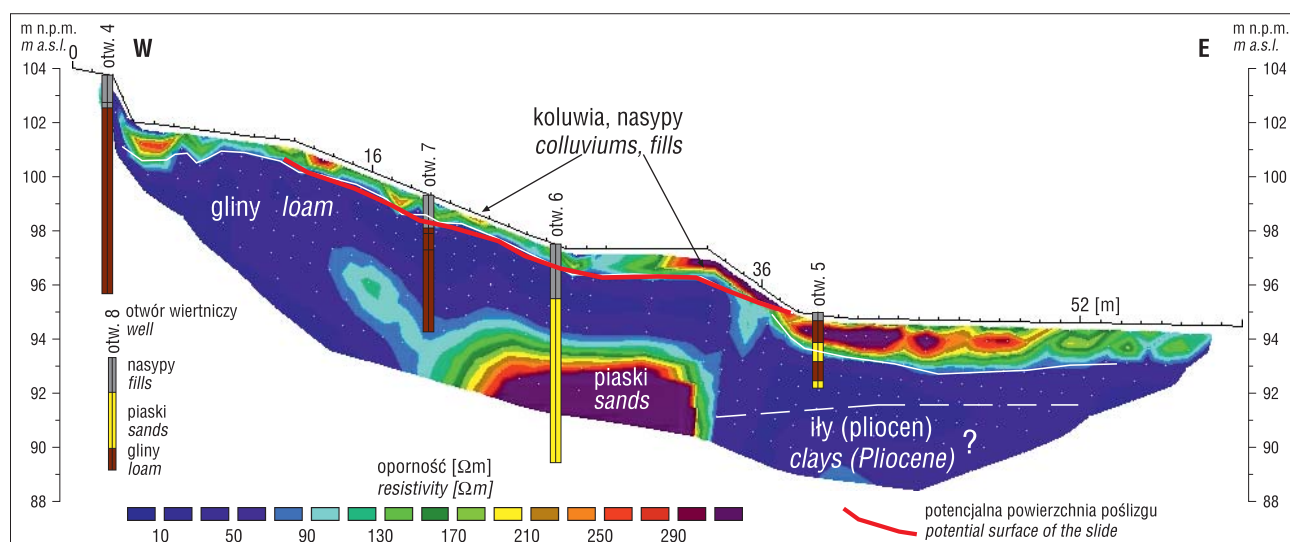
Rezultaty przedstawionej metody elektrooporowej umożliwiają uzupełnienie modelu geologicznego określanego na podstawie punktowych informacji z wierceń o przebieg granic geologicznych.

Rezultaty badań metodą tomografii elektrooporowej przeprowadzonych na wybranych odcinkach skarpy warszawskiej o rozpoznanej budowie geologicznej i określonym wskaźniku stanu równowagi skarpy (F) dowodzą, iż zastosowana metoda geofizyczna pozwala uściślić ocenę stopnia zagrożenia osuwiskowego. Na skarpach, gdzie odnotowano nawet niewielkie ruchy masowe (ul. Farysa, Kokosowa i przy Kościele Akademickim św. Anny), a wartości wskaźnika stanu równowagi F były w przedziale 1÷1,48, dało się wyróżnić na skłonach skarpy strefy gruntów o podwyższonych opornościach elektrycznych, podatnych na ruchy masowe. Natomiast na skarpie, gdzie nie zauważono nawet drobnych objawów osuwiskowych (ul. Kiedacza), a wskaźnik F był wysoki (>1,5), pomiary ERT nie wykazały obecności na skłonie skarpy podatnych na ruchy masowe osadów o podwyższonych opornościach.



**Ryc. 8.** Przekrój ERT przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Kiedacza (rozstaw elektrod 5 m, układ: Schlumberger)

**Fig. 8.** ERT (electrical resistivity tomography) geophysical cross section across the Warsaw slope at Kiedacza street (electrode spacing 5m; Schlumberger array)



**Ryc. 9.** Przekrój ERT przez skarpe warszawską w pobliżu ul. Kokosowej-Orszady (rozstaw elektrod 1 m, układ: Schlumberger)  
**Fig. 9.** ERT (electrical resistivity tomography) geophysical cross section across the Warsaw slope at Kokosowa and Orszady streets (electrode spacing 1m; Schlumberger array)

Przedstawione badania wskazują na przydatność zastosowania nieinwazyjnej metody o wysokiej rozdzielczości, jaką jest tomografia elektrooporowa, do oceny stateczności skarp i zboczy gruntowych.

Aparatura Terrameter LS, produkcji szwedzkiej firmy ABEM, została zakupiona przez Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego ze środków RPO woj. mazowieckiego na lata 2007–2013 w ramach projektu pt. „Modernizacja i wyposażenie laboratoriów Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego do prowadzenia istotnych dla Mazowsza prac badawczo-rozwojowych w zakresie geoinżynierii środowiska – ETAP 1”.

## LITERATURA

- BESTYŃSKI Z. & TROJAN J. 1975 – Metody geofizyczne w badaniach stateczności zboczy skalnych. Badanie i prognozowanie osuwisk na zboczach zbiorników wodnych we fliszu karpackim. Seria Specjalna 4, Wyd. IMGW, Warszawa: 155–170.
- BESTYŃSKI Z. 2009 – Badania geofizyczne w budownictwie hydrotechnicznym. Zesz. Nauk. AGH, Geologia 35: 393–403.
- BIAŁOSTOCKI R., FARBISZ J. & PACANOWSKI G. 2008 – Badania geofizyczne dla potrzeb rozpoznawania i monitorowania zagrożenia. Biul. Inf. Geofizyka, 7: 54–61.
- FRIEDEL S., THIELEN A. & SPRINGMAN S.M. 2006 – Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. J. App. Geoph., 60: 100–114.
- HACK R. 2000 – Geophysics for slope stability. Surveys in Geophysics, 21: 423–448.
- KACZYŃSKI R., KRAUŻLIŚ K., MIESZKOWSKI R. & ZAWRZYKRAJ P. 2005 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla oceny stateczności zbocza w rejonie ulicy Kiedacza w Warszawie (nr ew. działek: 117, 118 z obrębów 1-10-12; 85, 86, 87, 97, 98, 99, 100/1-3 z obrębów 1-10-24).
- LOKE M. H. 2012 – Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malaysia.
- ŁUKASIK S. 2005 – Warunki geotechniczne w rejonie tunelu trasy W-Z, kościoła św. Anny i Zamku Królewskiego w Warszawie, Pr. Inst. Tech. Bud., 135: 67–78.
- MUSIATEWICZ M. & PACANOWSKI G. 2005 – Środowiskowe badania geofizyczne z wykorzystaniem tomografii elektrooporowej i georadaru – wybrane przykłady prac PBG. Biul. Inf. Geofizyka, 1: 88–109.
- OSTROWSKI S., PACANOWSKI G. & LASOCKI M. 2011 – Zastosowanie metod geofizyki inżynierskiej do rozpoznania genezy osuwisk karpackich. Biul. Inf. Geofizyka, 10: 19–25.
- OSTROWSKI S., RYBAK-OSTROWSKA B. & LASOCKI M. 2013 – Wykorzystanie przypowierzchniowych badań geofizycznych w rozpoznaniu budowy geologicznej na przykładzie stref osuwiskowych w Karpatach. Prz. Geol., 61: 67–73.
- REMISZEWSKA J. & MIESZKOWSKI R. 2010 – Dokumentacja geotechniczna dla projektowanych budynków mieszkalnych przy ul. Kokosowej w Warszawie (Wyk. GEOPRO, 2010 Warszawa).
- REMISZEWSKA J. & MIESZKOWSKI R. 2011 – Dokumentacja geotechniczna dla projektowanych budynków mieszkalnych przy ul. Prozy w Warszawie (Wyk. GEOPRO, 2011 Warszawa).
- STENZEL P. & SZYMANKO J. 1973 – Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno inżynierskich. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L. 1991 – Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy. Inst. Tech. Bud. Instrukcja 304. Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L. (red.) 1999 – Warszawska Skarpa Śródmiejska. Inst. Tech. Bud. Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L. 2011 – Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcja. Inst. Tech. Bud. Instrukcja Nr 424/2011. Warszawa.