

OKREŚLENIE MIĄŻSZOŚCI ZWIETRZELINY LATERYTOWEJ ORAZ GŁĘBOKOŚCI WYSTĘPOWANIA WÓD GRUNTOWYCH W KIBEHO (RWANDA) ZA POMOCĄ PIONOWYCH SONDOWAŃ ELEKTROOPOROWYCH

DETERMINATION OF LATERITE ELUVIUM THICKNESS AND DEPTH OF GROUND WATERS OCCURRENCE IN KIBEHO (RWANDA) USING VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING METHOD

RADOSŁAW MIESZKOWSKI¹, SEBASTIAN KOWALCZYK¹, PIOTR TUCHOLKA²

Abstrakt. W pracy podjęto problem wyznaczenia miąższości zwietrzliny laterytowej oraz oceny warunków hydrogeologicznych na potrzeby rozwoju infrastruktury związanej z rozbudową Sanktuarium Maryjnego w Kibeho (Rwanda). Jest to pierwsze opracowanie tego typu dla obszaru Kibeho. Celem prac było określenie głębokości zalegania podłoża skalnego pod kątem fundamentowania oraz wskazanie miejsc i głębokości występowania poziomej wody podziemnej, która ma służyć zaopatrzeniu ludności lokalnej oraz pielgrzymów odwiedzających Sanktuarium Matki Boskiej w Kibeho. Do tego celu wykorzystano metodę geofizyczną SGE (pionowe sondowanie elektrooporowe), obserwacje hydrogeologiczne oraz analizę danych wierceń archiwalnych.

Słowa kluczowe: opór elektryczny, zwietrzlina laterytowa, woda gruntowa, układ Schlumbergera, pionowe sondowanie elektrooporowe SGE.

Abstract. Determination of thickness of a laterite eluvium and evaluation of hydrogeological conditions in the neighbourhood of Kibeho (Rwanda) were described in the paper. The problem was undertaken for further infrastructure development for the extension of the Marian Sanctuary. This is the first study of this type in the Kibeho area. The aim of the work was to determine the depth of the rock bed and ground water table for foundation purposes. The water is necessary for supplying local population and pilgrims visiting the Sanctuary in Kibeho. To realize the aim, the geophysical method (VES – vertical electrical sounding) was used. The hydrogeological observations and measurements as well as the analysis of an archival data were done.

Key words: electrical resistance, laterite eluvium, ground water, Schlumberger array, vertical electrical sounding VES.

WSTĘP

W latach 1981–1989 na terenie Kibeho (Rwanda) miały miejsce objawienia Matki Boskiej. Są to jedyne uznane przez Kościół Katolicki widzenia Maryjne w Afryce. Zjawiska te spowodowały masowy napływ pielgrzymów do Kibeho, a w efekcie potrzebę budowy obiektów sakralnych, zakonnych oraz użyteczności publicznej. Rozwój infrastruktury spowodował także wzrost zapotrzebowania na wodę.

Kibeho jest położone w terenie górzystym (ok. 1900 m n.p.m.), w zasięgu klimatu równikowego. Roczna suma opadów atmosferycznych wynosi ok. 1000 mm. Większe opady występują dwa razy do roku, tj. w miesiącach marzec–maj oraz październik–grudzień. Z uwagi na znaczne spadki terenu oraz brak zbiorników retencyjnych, w górzystej części Rwandy, w tym i w Kibeho, istnieją poważne trudności w za-

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; r.mieszkowski@uw.edu.pl; s.kowalczyk@uw.edu.pl

² UMR CNRS 8148 IDES, Département des Sciences de la Terre, Université Paris Sud, 91405 Orsay, France; piotr.tucholka@u-psud.fr

opatrzeniu ludzi w wodę. Problem ten próbuje się rozwiązać budując zbiorniki na wodę, kilku- kilkunastokilometrowe wodociągi dostarczające wodę ze źródeł i zbiorników do odbiorców oraz wierząc studnie. Budowa studni w tym rejonie jest szczególnie trudna z uwagi na lokalną budowę geologiczną. Prawdopodobnie występujące tu wody podziemne mają charakter szczelinowy. Skały magmowe są przykryte warstwą zwietrzliny laterytowej. Poszukiwanie poziomów

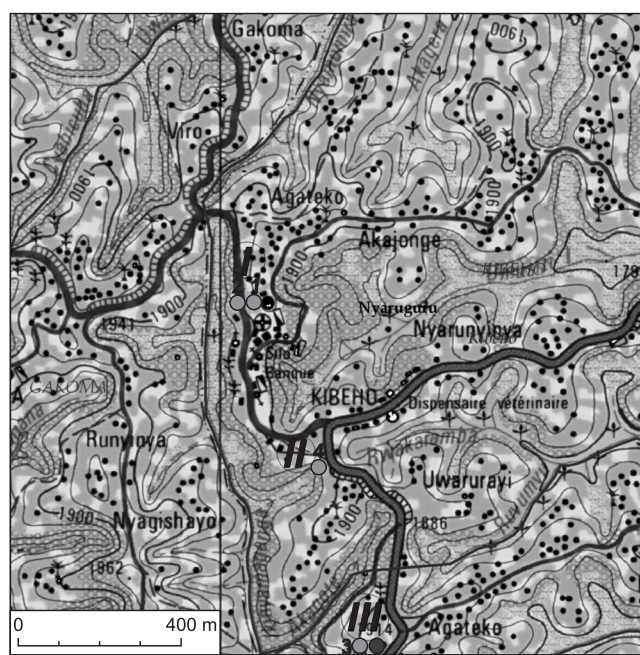
wód podziemnych wiąże się z wykonywaniem prac geofizycznych oraz obserwacjami hydrogeologicznymi.

We wrześniu 2010 r. w Kibeho w dystrykcie Gikongoro wykonano pomiary geoelektryczne (metodą elektrooporową) oraz hydrogeologiczne, których celem było wstępne rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich pod kątem określenia miąższości zwietrzliny laterytowej oraz ocena warunków hydrogeologicznych.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar, w obrębie którego wykonywano pomiary geofizyczne i hydrogeologiczne, jest górzysty. Rzędne wzniesień dochodzą do ok. 1960 m, natomiast rzędne den dolinnych sięgają ok. 1860 m. Teren ma charakter rolniczy oraz leśny (fig. 1, 2).

Dane archiwalne dotyczące budowy geologicznej obszaru Kibeho są bardzo skromne. Pewne informacje i to raczej dotyczące całej Rwandy można znaleźć np. w pracach Gérards (1965), Schluter (2008), Flügge i in. (2009), Dewaele i in. (2010). Z analizy mapy geologicznej, arkusz Butare S3/29NE (fig. 3) oraz własnych obserwacji terenowych wynika, że przy powierzchni, na wzniesieniach oraz zboczach występują czwartorzędowe osady laterytowe będące zwietrzeliną głębiej występujących prekambryjskich skał magmowych. W dolinach występują osady aluwialne (piaszczyste i żwirowe), miejscami o charakterze torfowym.



- 1 2 3 4 lokalizacja sondowań elektrooporowych (SGE)
 ●●●● location of VES
 ● stud studnia well
 / Centrum dla dzieci niewidomych Educational Centre for Blind Children
 // Zgromadzenie Księża Marianów The Order of Marian Fathers
 /// Zgromadzenie Księża Pallotynów Society of the Catholic Apostolate Pallotines

Fig. 1. Fragment mapy topograficznej obszaru objętego badaniami

A fragment of the topographic map of the investigations area

METODYKA BADAŃ

W metodzie elektrooporowej przedmiotem obserwacji są właściwości pola elektrycznego, wytworzonego sztucznie w ośrodku gruntowym lub skalnym przez system elektrod (Szymanko, Stenzel, 1973). Metodą tą wykonuje się pomiary pozornego oporu elektrycznego gruntów lub skał znajdujących się w obrębie wytworzonego pola za pomocą elektrod. Na podstawie tych pomiarów interpretuje się ułożenie gruntów lub skał różniących się zdolnością przewodzenia prądu elektrycznego. Opór pozorny (ρ), który jest rejestrowany w terenie, oblicza się na podstawie stosunku natężenia prądu

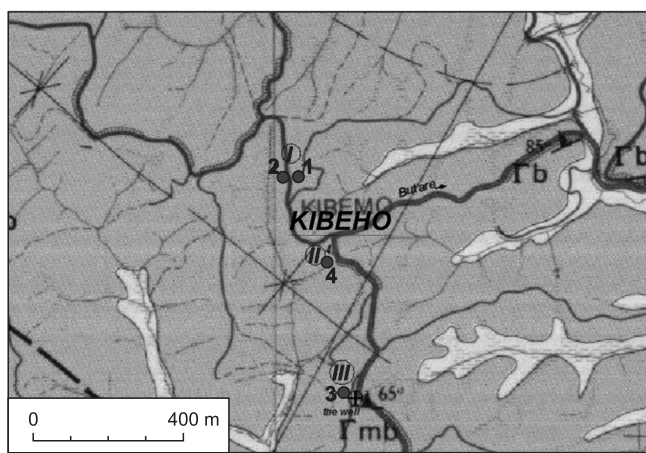
(I) zadanego na elektrodach prądowych A i B do różnicy napięcia (ΔV) wytworzonego na elektrodach pomiarowych M i N, skorelowanego o współczynnik K zależny od rozstawu elektrod A, B, M, N.

Na podstawie wartości oporu pozornego oraz rozstawu elektrod AB/2 wykreśla się krzywą sondowania. Krzywą sondowania poddaje się przetwarzaniu i interpretacji ilościowej, tzn. do krzywej pomierzonej dopasowuje się iteracyjnie krzywą teoretyczną, wyliczoną numerycznie za pomocą programu komputerowego na podstawie dobranych wartości



Fig. 2. Zagospodarowanie okolic Kibeho. Fot. R. Mieszkowski, 2010

Land development of Kibeho area. Photo by R. Mieszkowski, 2010



- aluwia (holocen)
alluvium (Holocene)
- granity (prekambr)
granite (Precambrian)
- uskoki
faults

- 1 2 3 4** lokalizacja sondowań elektrooporowych (SGE)
●●●● location of VES
- I** teren Centrum dla dzieci niewidomych
Educational Centre for Blind Children
- II** sondowanie parametryczne Zgromadzenie Księży Marianów
The Order of Marian Fathers – parameter's sounding
- III** sondowanie pośrednie Zgromadzenie Księży Pallotynów
Society of the Catholic Apostolate-Pallotines

Fig. 3. Fragment mapy geologicznej, arkusz Butare S3/29NE (Geological map, 1991) z zaznaczoną lokalizacją punktów badawczych

A fragment of the geological map, sheet Butare S3/29NE (Geological map, 1991) with the location of investigation points

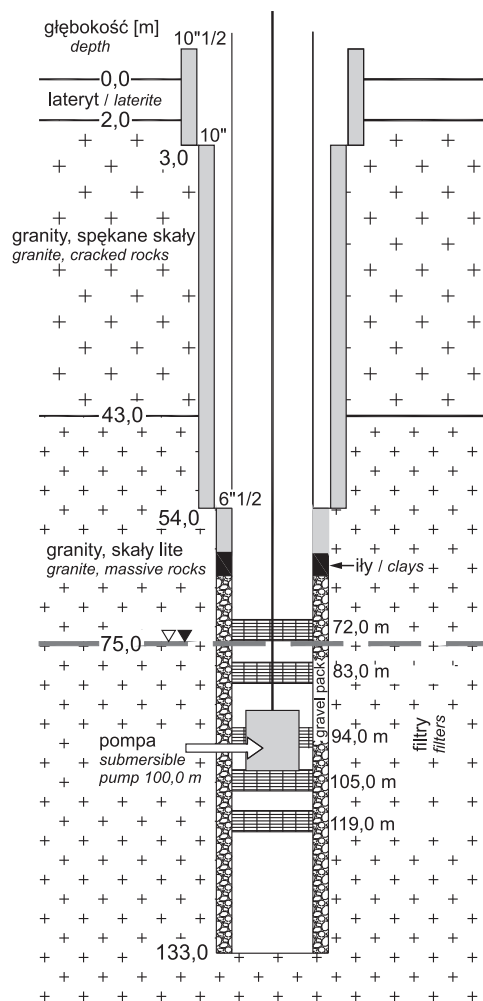


Fig. 4. Profil otworu wiertniczego wraz z projektem studni (Zakon Marianów w Kibeho, Rwanda)

Drilling profile and water well design (The Order of Marian Fathers in Kibeho, Rwanda)

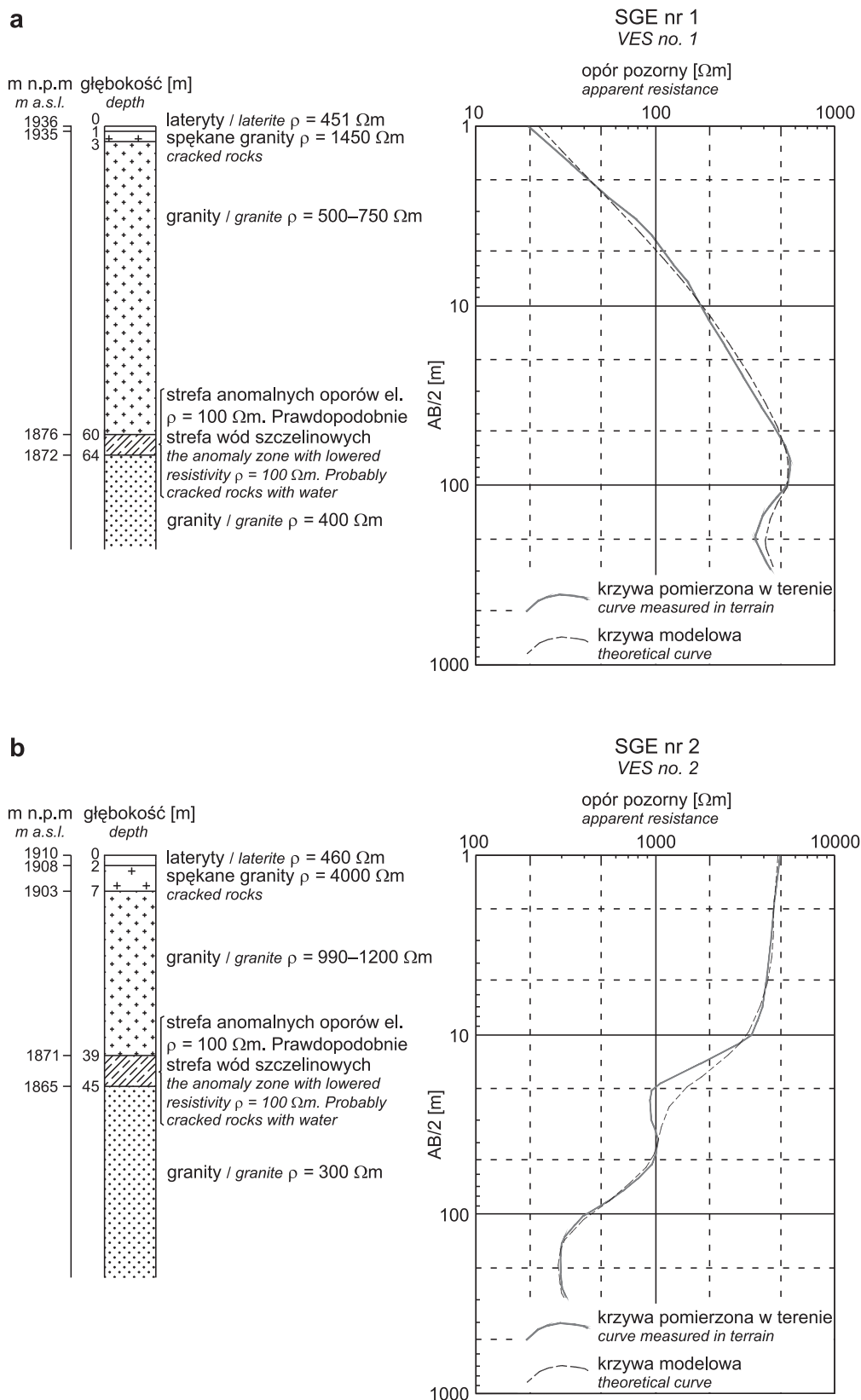


Fig. 5. Krzywe SGE wraz z interpretacją geologiczną

VSE curves with geological interpretation

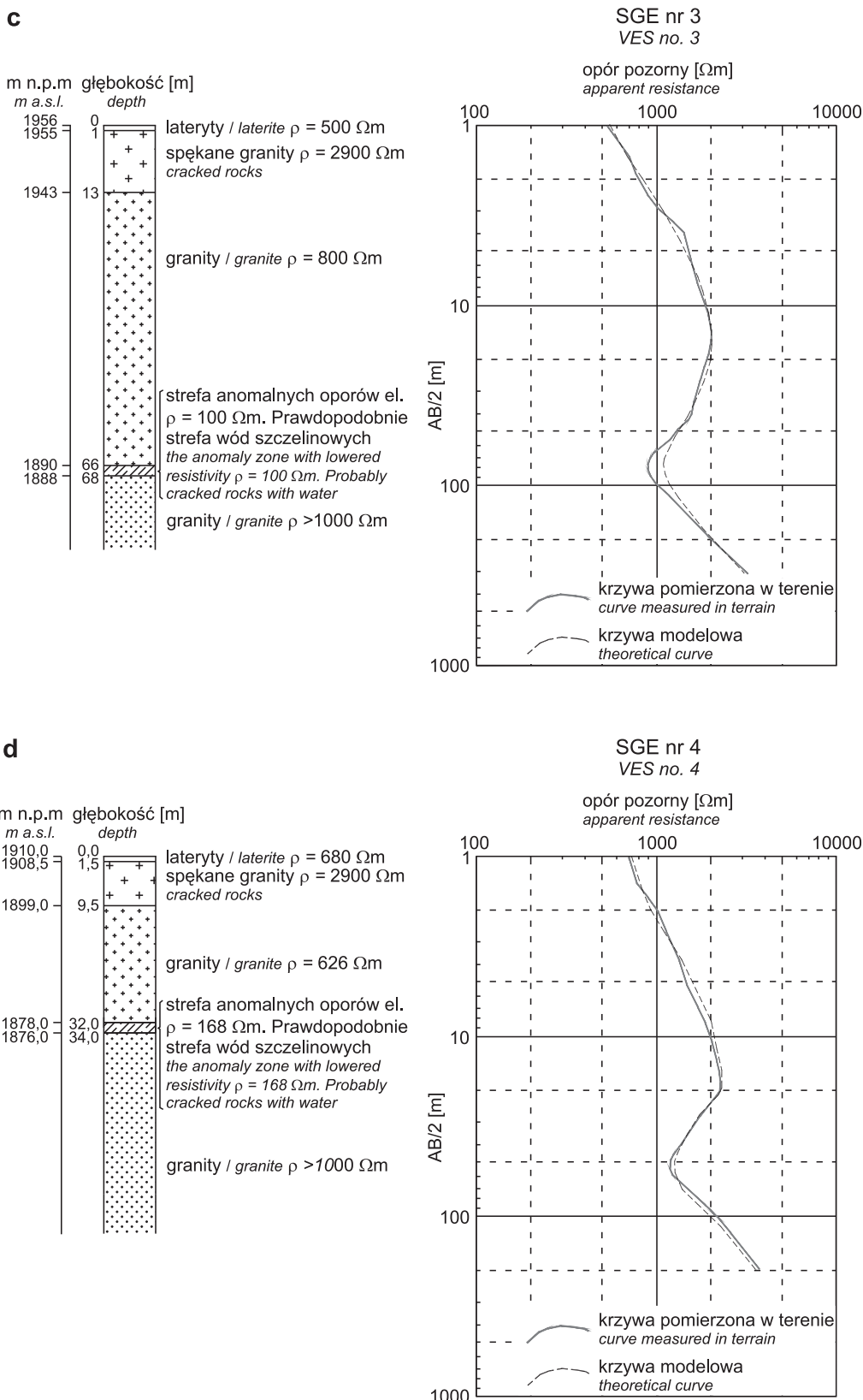


Fig. 5. cd.

Continued

oporu rzeczywistego ρ i głębokości rzeczywistej h . W następnym etapie dokonuje się dowiązania otrzymanych oporów rzeczywistych do rodzaju skały.

Podstawą przeprowadzenia interpretacji geologicznej pomiarów geofizycznych jest analiza sondowania parametrycznego, tj. pionowego sondowania elektrooporowego wykonywanego w sąsiedztwie wierceń o znanym profilu geologicznym.

W rejonie Kibeho, we wrześniu 2010 r., wykonano cztery sondowania elektrooporowe SGE (fig. 1). Sondowania nr 1 i 2 zostały wykonane na terenie Centrum dla dzieci niewidomych w Kibeho. Sondowanie nr 3 wykonano jako sondowanie parametryczne (porównawcze) w pobliżu otworu studziennego (fig. 4), zlokalizowanego przy Zgromadzeniu Księży Marianów. Sondowanie to miało na celu skorelowanie otrzymanego rozkładu oporów elektrycznych z profilem litologicznym. Sondowanie nr 4 zostało wykonane pomię-

dzy sondowaniami 1, 2 i 3, na terenie Zgromadzenia Księży Pallotyńów.

We wszystkich sondowaniach zastosowano układ Schlumbergera. Rozstawy sondowań wyniosły $AB/2 = 250$ m. Szacunkowy zakres prospekcji wyniósł ok. 100 m poniżej powierzchni terenu. Pomiary wykonano aparaturą PMG102, do zasilania linii AB użyto przetwornicy prądu stałego o napięciu do 400 V.

Uzyskane krzywe SGE poddano przetwarzaniu i interpretacji ilościowej za pomocą programu INCEL (fig. 5).

Należy zauważyć, że skomplikowane warunki występujące w miejscach wykonywania pomiarów, tj. niejednorodność osadów powierzchniowych (lateryty) o zmiennym oporze elektrycznym oraz znaczne deniwelacje terenu, mogą negatywnie oddziaływać na wiarygodność pomiarów elektrooporowych. W artykule nie określono tego wpływu.

WYNIKI BADAŃ

W wyniku przetwarzania i interpretacji ilościowej krzywych SGE otrzymano obraz rozpoziomowania warstw geologicznych na podstawie rozkładu oporów rzeczywistych

w skali głębokości rzeczywistej. Obrazy krzywych SGE pomierzonych w terenie wraz z interpretacją geologiczną przedstawiono na figurze 5.

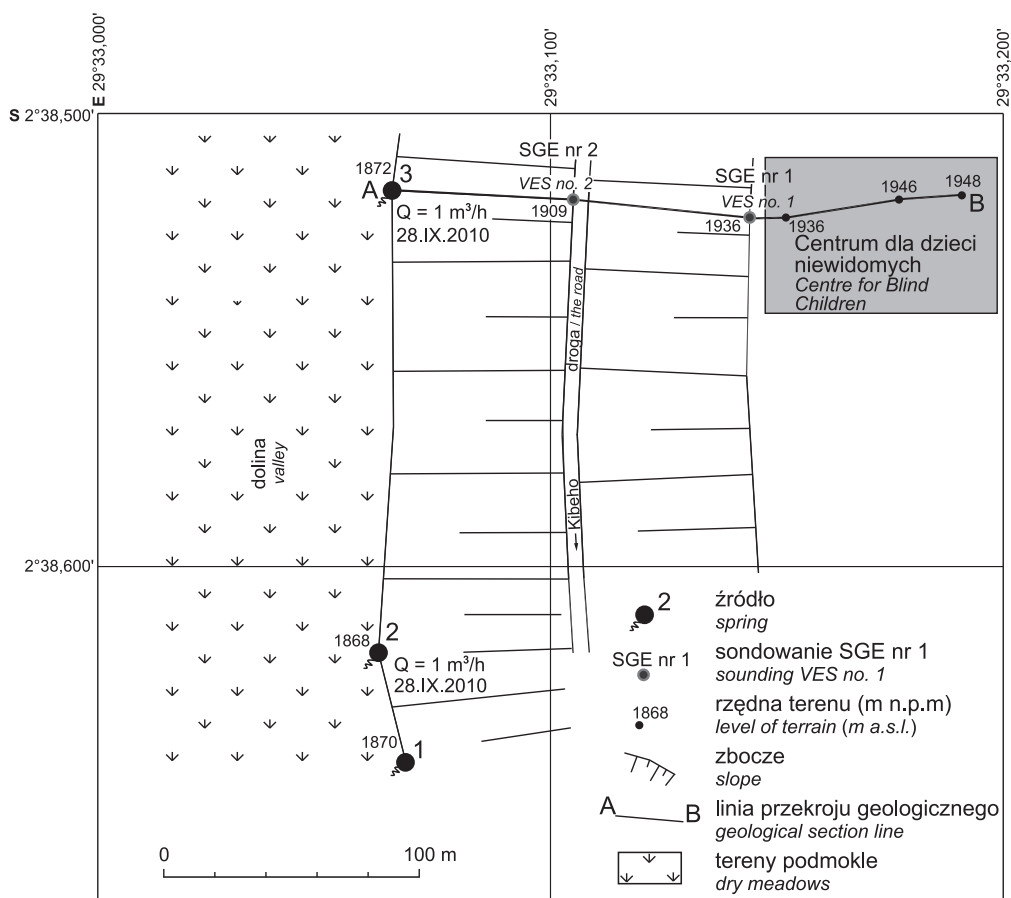


Fig. 6. Plan sytuacyjny obszaru badań w pobliżu Centrum dla dzieci niewidomych

The locality plan of the investigations area near The Centre for Blind Children

Na podstawie kontrastu oporów elektrycznych warstw geologicznych określono miąższość laterytów oraz strop skał podłoża krystalicznego. Lateryty charakteryzują się oporami elektrycznymi rzędu 450–680 Ωm . Ich miąższość na terenie Kibeho wynosi od 1 do 2 m. Poniżej laterytów wydzielono spękaną podłoża krystaliczne. Opory elektryczne tej warstwy wynosiły 1450–4500 Ωm , jej spąg sięga do głębokości ok. 13 m. Z dużym prawdopodobieństwem można uznać, że do tej głębokości sięga profil wietrzeniowy masywu granitowego w Kibeho. Zasięg głębokości strefy wietrzenia wyznaczony w sondowaniu nr 3 koreluje się z głębokością spągu spękanych granitów (15 m) stwierdzoną w otworze wiertniczym (fig. 4). Głębiej występują skały o oporach 500–1200 Ωm i są to niezwiertzałe granity. W obrębie kompleksu niezwiertzalnych skał granitowych, na wszystkich krzywych elektrooporowych, daje się wyraźnie wyodrębnić strefa anomalnych oporów elektrycznych (100–170 Ωm) na rzędnej 1870–1890 m. Na podstawie profilu otworu studziennego można stwierdzić, że jest to strefa występowania wód o charakterze szczelinowym.

W dolinie, w pobliżu Centrum dla dzieci niewidomych, zaobserwowano trzy źródła (fig. 6, 7). Na podstawie danych z sondowań elektrooporowych, wizji terenowej oraz obserwacji hydrogeologicznych wykonano przekrój geologiczny wzdłuż linii A–B (fig. 8).



Fig. 7. Źródło nr 3, wydajność ok. 1 m³/h.
Fot. R. Mieszkowski, 2010

Spring no. 3, discharge of approx. 1 m³/h.
Photo by R. Mieszkowski, 2010

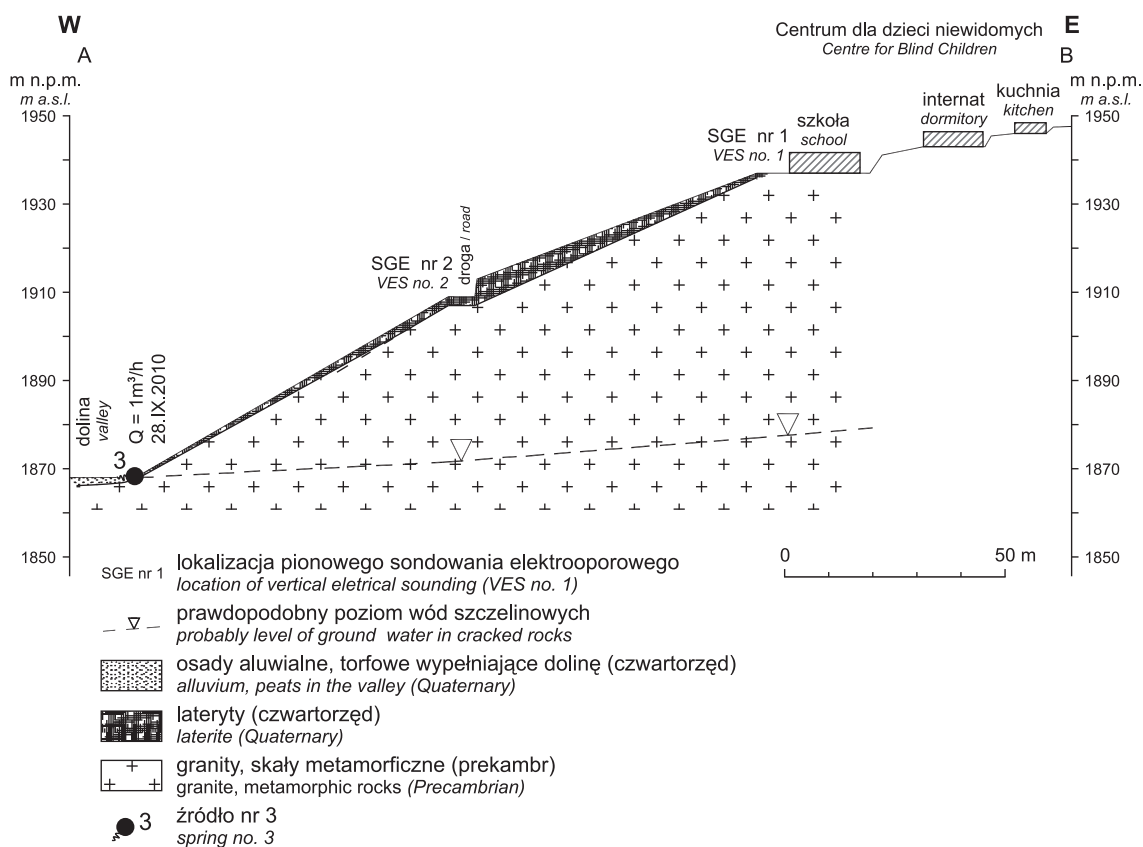


Fig. 8. Przekrój geologiczny A–B wykonany w pobliżu Centrum dla dzieci niewidomych

Geological cross-section (A–B) made near The Centre for Blind Children

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Pomiary przedstawione w artykule zrealizowano w celu wstępnego rozpoznania budowy geologicznej na potrzeby planów rozwoju infrastruktury (budownictwa i wodociągów) w pobliżu Sanktuarium Maryjnego w Kibeho (Rwanda). Zamiarem przeprowadzonych prac było określenie miąższości warstwy laterytów oraz wskazanie możliwości występowania wód podziemnych. W ramach postawionego zadania wykonano cztery pionowe sondowania elektrooporowe, przeprowadzono obserwacje hydrogeologiczne oraz przeanalizowano dostępne dane archiwalne. Zastosowana metodyka przyniosła zadowalające rezultaty.

Na podstawie kontrastu oporów elektrycznych warstw geologicznych wydzielono miąższość laterytów (1–2 m) oraz strop skał podłoża krystalicznego. Rozpoznano także miąższość profilu wietrzeniowego skał granitowych, którego spąg występuje na głębokości ok. 13–15 m.

Pomiary elektrooporowe umożliwiły również wskazanie występowania strefy anomalnych oporów ($\rho = 100\text{--}170 \Omega\text{m}$) w obrębie masywu granitowego na rzędnej 1870–1890 m, którą prawdopodobnie należy wiązać z poziomem wód o charakterze szczelinowym. Potwierdzenie tej tezy można znaleźć w profilu otworu studziennego, w którym nawiercono wodę na rzędnej 1890 m, oraz w poziomie występowania źródeł w dolinie (1872 m n.p.m.). Rzędne źródeł oraz głę-

bokość anomalii oporów elektrycznych w obrębie masywu granitowego są zbliżone (1870–1890 m).

Podziękowanie. Wykonanie opisanych prac było możliwe dzięki współpracy z Departamentem Wdrażania Programów Rozwojowych Ministerstwa Spraw Zagranicznych RP, który angażuje środki i pomoc dla krajów Trzeciego Świata. Autorzy są wdzięczni Emilii Woźniak oraz Charlesowi Ngarambe za formalną pomoc w organizacji wyjazdu. Podziękowania należą się Prof. Walterowi Pohlowi z Institute of Environmental Geology Technical University at Braunschweig (Niemcy) za cenne wskazówki dotyczące geologii i hydrogeologii Rwandy, dr. Biryabarema Michael z Rwanda Geological Survey za pomoc w dostępie do map geologicznych terenu badań, Mukiza Odilo z The Ministry of Environment and Lands (Rwanda) za informacje na temat hydrogeologii i geologii regionu południowej Rwandy, Davidowi Leatherwood z Living Water International Rwanda (USA) za udostępnienie profili wierceń. Szczególne podziękowania kierujemy do polskich misjonarzy pracujących w Rwandzie: siostry Rafaeli, siostry Fabianie, bratu Łukaszowi, bratu Zdzisławowi, ks. Andrzejowi i ks. Krzysztofowi za okazaną pomoc, życzliwość i gościnę.

LITERATURA

- DEWAELE S., de CLERCQ F., MUCHEZ P., SCHNEIDER J., BURGESS R., BOYCE A., FERNANDEZ ALONSO M., 2010 – Geology of the cassiterite mineralisation in the Rutongo area, Rwanda (Central Africa): current state of knowledge. *Geologica Belgica*, **13**, 1/2: 91–112.
- FLÜGGE J., MUWANGA A., TRÜMPER K., ZACHMANN D., POHL W., 2009 – Exploratory geochemical assessment of stream water and sediment contamination in Gatumba tin and tantalum mining district, Rwanda. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* : 233–246.
- GEOLOGICAL Map, 1991, Feuillr Butare S3/29 NE, 1:100 000. Institut Geographique National, Brussels.
- GÉRARDS J., 1965 – Géologie de la région de Gatumba. *Bull. Service Géol. Rwandaise*, **2**: 31–42.
- SCHLUTER T., 2008 – Geological atlas of Africa. Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- SZYMANKO J., STENZEL P., 1973 – Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno inżynierskich. *Wyd. Geol.*, Warszawa.

SUMMARY

In the study on hydrogeological conditions in the area of Kibeho four vertical electrical sounding VES were made: no. 1 and 2 in the area of the The Centre for Blind Children, no. 3 (parametral) near The Order of Marian Fathers and no. 4 near The Society of the Catholic Apostolate Pallottines.

The interpretation of the results of geophysical investigations proves, that in the Kibeho area, the probable level of ground waters occurs at the depth of approx. 1870–1880 m a.s.l. within cracked rocks. More detailed hydrogeological

investigations, made on the terrain of The Centre for Blind Children, showed the correlation between the depth of interpreted water level in rocks and the depth of the bottom of the valley and the ordinates of the spring. The measured discharge of the spring equals approx. 1 m³/h.

On the basis of the electric resistances contrast of geological layers the following features were distinguished: the thickness of laterite, the top formation of crystalline rocks and the thickness of detrital rocks.