

Badania geofizyczne wałów przeciwpowodziowych metodą tomografii elektrooporowej – przykłady z Warszawy i okolic

Mirosław Kamiński¹, Piotr Zientara¹, Mirosław Krawczyk¹



M. Kamiński



P. Zientara



M. Krawczyk

Geophysical investigation of flood embankments using electrical resistivity tomography – examples from Warsaw and surroundings. *Prz. Geol.*, 63: 114–120.

A b s t r a c t. The spring floods in 2010 and 2014 yr have caused many weaknesses and interrupts of embankments. Especially a flood from 2010 was the greatest cataclysm written down within a dozen or so years in Poland. Financial losses arising from her reason are huge and amount to a few billion zlotys. The considerable part of these losses is associated with flooding areas located in valleys of rivers as a result of the break flood banks. The embankments which were to protect floodplains in many cases did not fulfil their role. In the article results of geophysical investigation

using electrical resistivity tomography of chosen fragments of flood banks from Warsaw and surroundings is presented. The research was conducted in two areas of Vistula river valley. The first area included the fragment of embankment along Wał Miedzeszyński street in the area of Fieldorf street (Warsaw district Gocław). The other fragment of flood bank was in surroundings of Dziekanowskie Lake in Warsaw suburb Łomianki.

Keywords: flood embankments, electrical resistivity tomography, natural hazard, geological research, flood risk assessment

Kilkudniowe intensywne opady deszczu w drugiej połowie maja w 2010 i 2014 roku spowodowały przekroczenia stanów alarmowych większości rzek polskich, jak również niebezpieczne podwyższenie zwierciadła pierwszego poziomu wód podziemnych. W efekcie doszło do przzerwania wałów przeciwpowodziowych, np. w 2010 r., i wiele miejscowości zostało zalanych falą powodziową, m.in. w dolinie Wisły: rejon Wilkowa, Sandomierza, Połańca i Świnar.

Fala powodziowa, która dotarła do Warszawy osiągnęła wówczas rekordowy stan 780 cm wysokości. Dlatego władze stolicy zdecydowały się zamknąć ponad 120 szkół, przedszkoli i żłobków znajdujących się w rejonach zagrożonych. Przygotowano również plany ewakuacyjne dla Wilanowa i Dolnego Mokotowa na wypadek przzerwania wałów przeciwpowodziowych. W rejonie Wału Miedzeszyńskiego obserwowano wybijanie wody gruntowej po zewnętrznej stronie wału. Najwięcej zbierało się jej w rejonie ul. Kaszmirowej, gdzie kilka lat wcześniej na obszarze podatnym na podtopienia powstało osiedle mieszkaniowe.

W celu dokładnego rozpoznania struktury wałów przeciwpowodziowych i ich podłoża, stosuje się obecnie badania geofizyczne. Są to głównie metody elektrooporowe i georadarowe. Jedną z najczęściej stosowanych metod elektrooporowych w badaniu wałów przeciwpowodziowych jest tomografia elektrooporowa ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) (Ślusarczyk, 2001; Zieliński, 2009; Farbisz, 2010; Kamiński i in., 2011, 2013; Gołębiowski i in., 2012; Jones i in., 2014). Biorąc pod uwagę liczbę i szybkość wykonywanych pomiarów, tomografia elektrooporowa (obrazowanie elektrooporowe) jest metodą znacznie efektywniejszą, a także dokładniejszą niż metody stosowane wcześniej do badania oporności właściwej skał, a pośrednio rozpoznania ich litologii. Jest to również metoda bezinwazyjna.

Badaniami geofizycznymi objęto dwa obszary doliny Wisły. Pierwszy obejmował fragment Wału Miedzeszyńskiego w rejonie ulicy Fieldorfa (Warszawa-Gocław). Drugi zaś fragment wału przeciwpowodziowego w okolicy Jeziora Dziekanowskiego (Łomianki) (ryc. 1). Prace terenowe zostały wykonane w czasie powodzi i tuż po niej w maju 2010 r. Celem badań było rozpoznanie struktury wałów i wykrycie w nich ewentualnych nieszczelności.

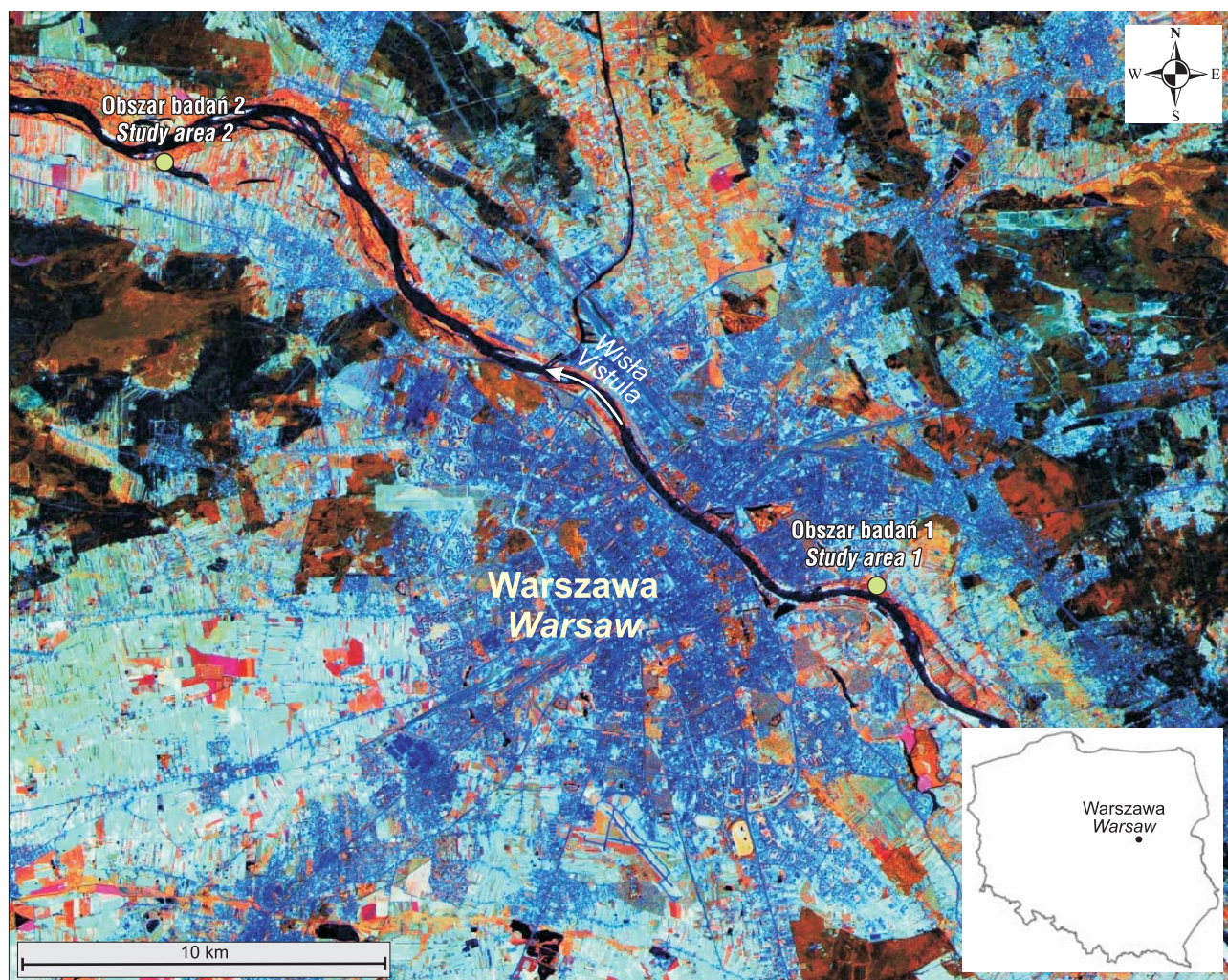
GEOMORFOLOGIA I BUDOWA GEOLOGICZNA TERENÓW BADAŃ

Pierwszy obszar badań jest zlokalizowany w dolinie Wisły w rejonie dzielnicy Warszawa-Gocław (ryc. 2). W tej części doliny Wisły wykształciły się dwa tarasy zalewowe i trzy wyższe tarasy nadzalewowe. Charakterystycznym elementem rzeźby tarasów nadzalewowych są formy pochodzenia eolicznego. Wydmy o największych rozmiarach utworzyły się na najwyższym tarasie nadzalewowym (taras otwocki). Wznoszą się na wysokości od 105,0 do 110,0 m n.p.m. i tworzą klasyczne formy paraboliczne o dobrze wykształconych ramionach, długości kilku metrów i wysokości względnej ponad 20 m.

Znaczna część powierzchni tarasów nadzalewowych została zabudowana. To spowodowało zniszczenie sieci naturalnych form zarówno pozytywnych, jak i negatywnych. W obniżeniach nie zachowały się naturalne odpływy i zbiorniki wodne, natomiast obszar pocięto gęstą siecią kanałów i rowów melioracyjnych.

Odcinek badanego Wału Miedzeszyńskiego jest położony na tarasie zalewowym Wisły, zbudowanym z holocenijskich osadów rzecznych (ryc. 2). Są to głównie piaski i żwiry rzeczne znajdujące się bezpośrednio przy korycie

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; mirosław.kaminski@pgi.gov.pl, piotr.zientara@pgi.gov.pl, mirosław.krawczyk@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszarów badań na tle zdjęcia satelitarnego Warszawy z satelity Landsat ETM+ RGB 453
Fig. 1. Location of study areas on the background of satellite image of Warsaw from Landsat ETM + RGB 453

Wisły. Osady położone dalej od koryta Wisły to mułki piaszczysto-ilaste (mady ciężkie i lekkie), porozcinane miejscami przez starorzecza, które są wypełnione piaskami humusowymi, namułami piaszczystymi i torfami. Osady tarasu zalewowego są podścielone piaskami i żwirami rzecznyymi, które leżą bezpośrednio na ilach, mułkach i piaskach plioceńskich. Osady te w otworze 40 stwierdzono na głębokości 11,1 m, a w otworze 41 na głębokości 20 m (Sarnacka, 1979a, b) (ryc. 2). Taka budowa geologiczna, zwłaszcza płytkie zaleganie utworów plioceńskich, powoduje wysokie występowanie wód pierwszego poziomu wodonośnego.

Drugi obszar badawczy jest zlokalizowany w rejonie Łomianek. Fragment badanego wału przeciwpowodziowego w rejonie Jeziora Dziekanowskiego jest usytuowany również na tarasie zalewowym Wisły. Jest on zbudowany z piasków i mułków oraz mad lekkich (ryc. 3). Piaski i mułki tarasu zalewowego są to piaski frakcji od mułkowej do średnioziarnistej, barwy ciemnoszarej, z częściami humusowymi. Miąższość ich dochodzi w tarasie Wisły do 8 m. Mady lekkie to piaski pylaste i mułkowate z wkładkami mułków, żółtobrazowe do brązowych, często są przeławicane soczewkami (do 0,5 m) piasków. Miąższość ich waha się od 0,3 do 3,0 m. Osady te spoczywają na piaskach i żwirach rzecznych i rzeczno-lodowcowych. Osady piaszczysto-żwi-

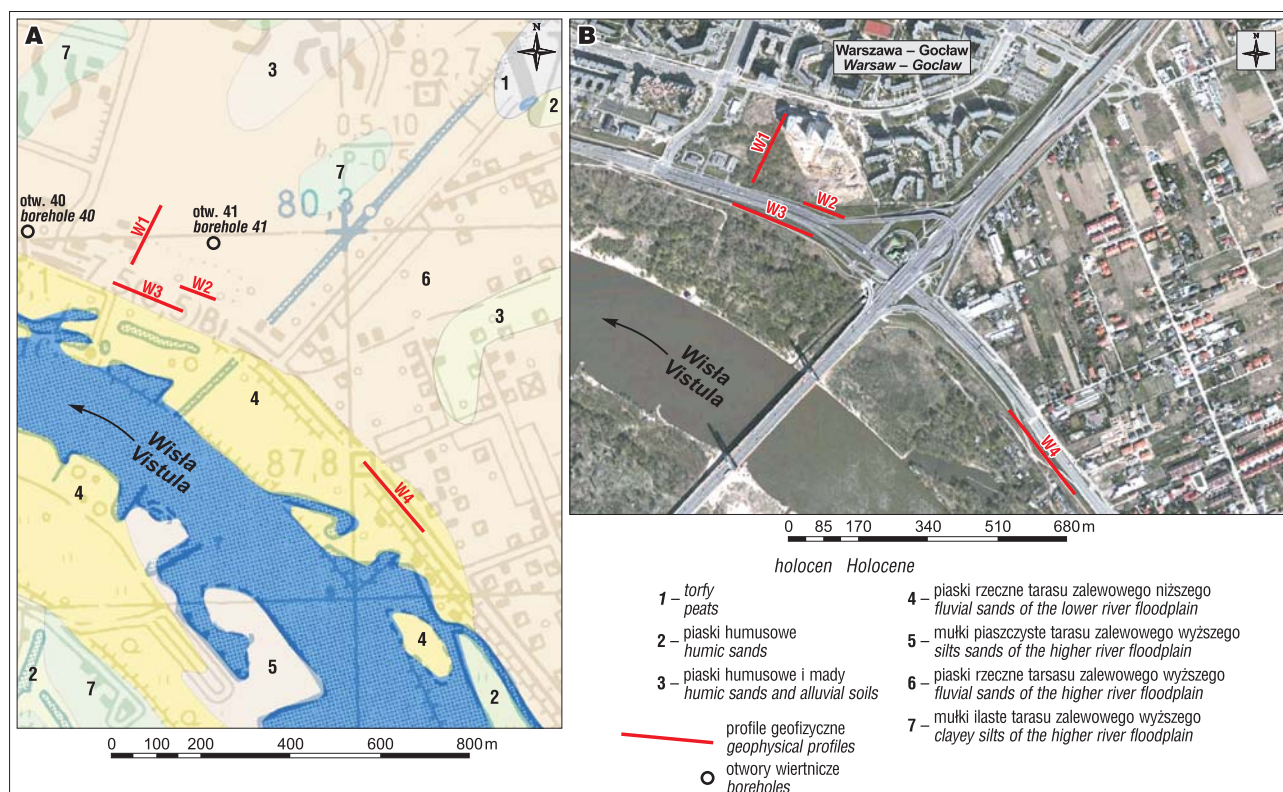
rowe są podścielone przez osady zastoiskowe, rozpoznane do 30 m. Zostały one udokumentowane w wierceniu archiwalnym 28W (ryc. 3) (Kulczyński, 1965).

Jak wykazała analiza archiwalnych materiałów kartograficznych, przed budową wału Jezioro Dziekanowskie sięgało dalej na północny zachód i miało stałe wodne połączenie z Wisłą. Należy przypuszczać, że w tym rejonie pod wałem występują osady starorzeczy w postaci namułów torfiastych lub antropogeniczne osady z zasypiania zbiornika w trakcie budowy wału. Osady te nie są uwzględnione na Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Legionowo (ryc. 3) (Nowak, 1974, 1978).

Na obu obszarach badań strop osadów plioceńskich jest zaburzony glacictektonicznie. Obecna powierzchnia stropowa nie jest pierwotną powierzchnią akumulacji tych osadów. Ukształtowała się ona w wyniku działania czynników i procesów glacictektonicznych podczas trzech zlodowaceń. Następnie w okresach interglacjalnych była rozcinana wodami powierzchniowymi i denudowana przez erozję.

TOMOGRAFIA ELEKTROOPOROWA (ERT)

Metoda tomografii elektrooporowej wykorzystuje różnicowanie właściwości elektrycznych ośrodka. Stanowi połączenie profilowania elektrooporowego, które poz-



Ryc. 2. Lokalizacja profili geofizycznych na tle: A – Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Warszawa Wschód, B – ortofotomapy (2012)

Fig. 2. Location of geophysical profiles in the background: A – Detailed Polish Geological Map in scale 1 : 50 000, sheets Warsaw East, B – orthophotomap (2012)

wala zbadać poziome zmiany oporności ośrodka wzdłuż profilu i sondowania geoelektrycznego badającego zmiany oporności w zależności od głębokości (zmiany pionowe). Tomografia elektrooporowa ERT (*Electrical Resistance Tomography*) jest nazywana także obrazowaniem elektrooporowym (*Resistivity Imaging, RI*) lub ciągłym pionowym sondowaniem elektrycznym (*Continuous Vertical Electrical Sounding, CVES*) (Jongmans i in., 2000).

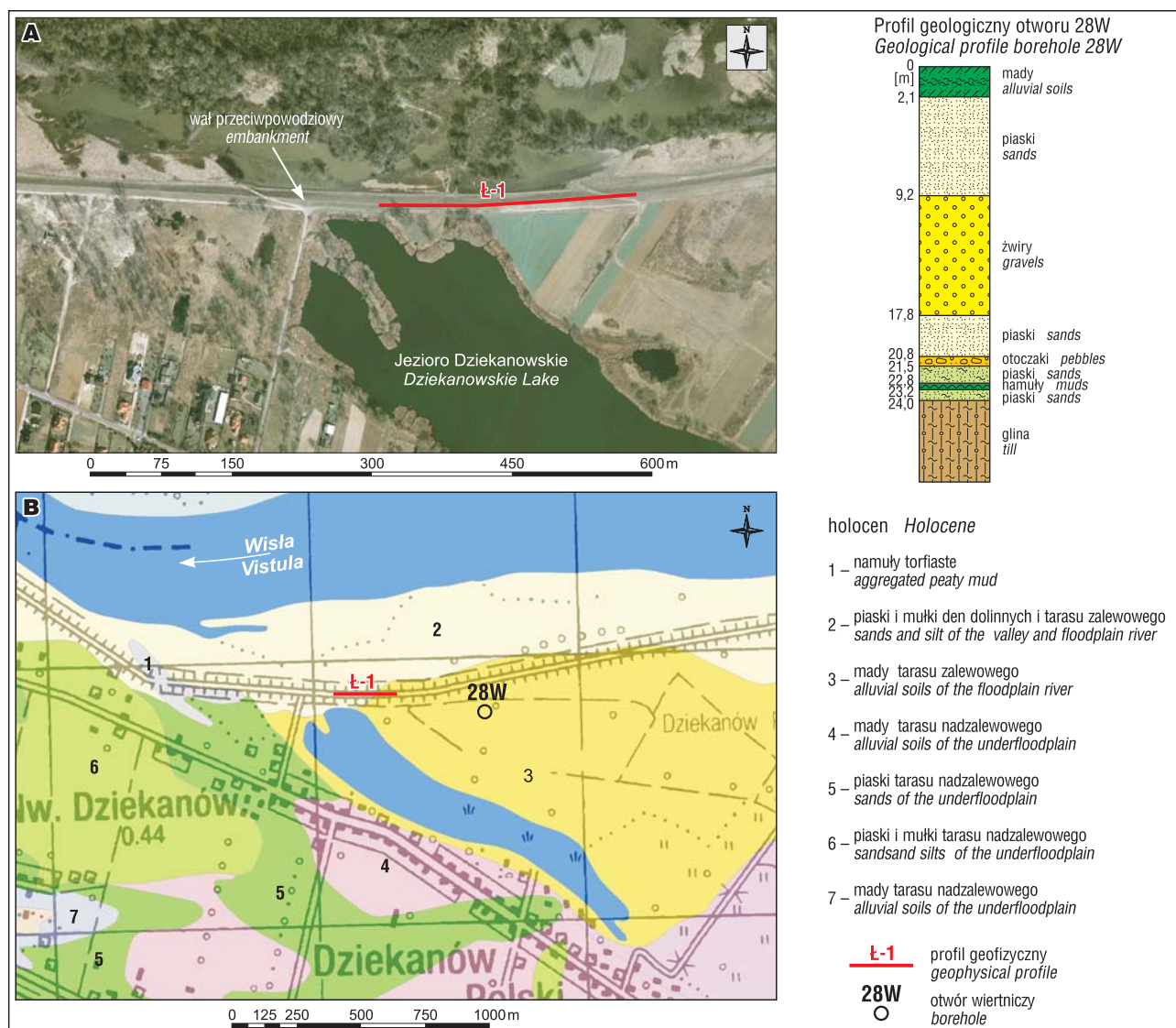
Do rozpoznania budowy geologicznej badanego obszaru wykorzystuje się pomiary oporności pozornej poszczególnych kompleksów litologicznych. Metoda obrazowania elektrooporowego polega na uzyskiwaniu pomiarów oporności wzdłuż linii profilu pomiarowego dzięki rozmieszczeniu na nim odpowiedniej ilości elektrod pomiarowych (Loke, 2014). Elektrody są rozmieszczone w równych odległościach od siebie i połączone kablem wielożyłowym z komputerowym selektorem elektrod oraz miernikiem geoelektrycznym. Selektor elektrod umożliwia podłączenie do miernika kombinacji elektrod w dowolnym układzie pomiarowym (np. Wennera, Dipol-Dipol, Schlumbergera) i dokonania pomiaru tzw. oporności pozornej ośrodka (Barker, 1996). Następnie zgodnie z zaprogramowaną procedurą są wykonywane kolejne pomiary, aż do utworzenia pseudosekcji 2D. Ilość pomiarów, które mogą być wykonane dla danej liczby elektrod na profilu, zależy od typu układu pomiarowego. Następnym etapem jest utworzenie modelu oporności ośrodka przez przekształcenie, za pomocą specjalistycznego oprogramowania komputerowego, uzyskanych oporności pozornych w model oporności rzeczywistych, który może być wykorzystany do interpretacji geologicznej (Loke, 2014).

PRACE TERENOWE

Badania geofizyczne wałów przeciwpowodziowych wykonano metodą tomografii elektrooporowej ERT podczas stanu powodziowego Wisły w maju 2010 r. Fragment Wału Miedzeszyńskiego oraz wału w Łomiankach były w tym czasie nasiąknięte wodą. W rejonie Wału Miedzeszyńskiego wykonano cztery profile geofizyczne: W1 (80 m), W2 (80 m), W3 (280 m), W4 (280 m), o całkowitej długości 720 m. Długość profilu Ł1, położonego w rejonie Łomianek, wyniosła 320 m. Pomiary oporności wykonano przy rozmieszczeniu elektrod wzdłuż profilu co 2 m, na wszystkich profilach geofizycznych były one wykonane w układzie Wennera. Maksymalna głębokość penetracji w głąb od powierzchni terenu wynosiła około 26 metrów. Do pomiaru użyto zestawu badawczego LUND produkcji szwedzkiej, firmy ABEM. W skład zestawu wchodzi: miernik elektrooporowy Terrameter SAS1000, selektor ES 10-64eC, zestaw 4 kabli wielożyłowych z 21 wyprowadzeniami na szpulach i komplet stalowych elektrod. Do opracowania danych i przeprowadzenia inwersji wykorzystano oprogramowanie Res2DINV firmy Geotomo Software. W celu poprawnej kalibracji litologicznej danych geofizycznych posłużono się archiwalnymi wierceniami geologicznymi i hydrogeologicznymi oraz mapami geologicznymi.

PRZYCZYNY USZKODZEŃ WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

Najczęstszymi przyczynami uszkodzeń wałów przeciwpowodziowych są:



Ryc. 3. Lokalizacja profilu geofizycznego Ł1 na tle: **A** – ortofotomapy, **B** – Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Legionowo

Fig. 3. Location of the geophysical profile Ł1 on the background: **A** – orthophotomap, **B** – Detailed Polish Geological Map in scale 1 : 50 000, sheets Legionowo

- nadmiar wody w korycie rzeki (stany alarmowe i ostrzegawcze) – zwiększony napór wody,
- rozmięczenie wału w wyniku nawałnych opadów atmosferycznych,
- osłabienie wału w wyniku nadmiernej suszy,
- posadowienie wałów na starorzeczach, zbudowanych głównie z piasków humusowych, namułów mineralno-organicznych i torfów,
- nory i żerowiska zwierząt (wydry, bobry, pizniki, krety),
- osłabienie struktury wału korzeniami drzew,
- mechaniczne uszkodzenia nasypów,
- miejsca przejazdów wałowych i pobocza dróg, zwłaszcza tych źle zabezpieczonych.

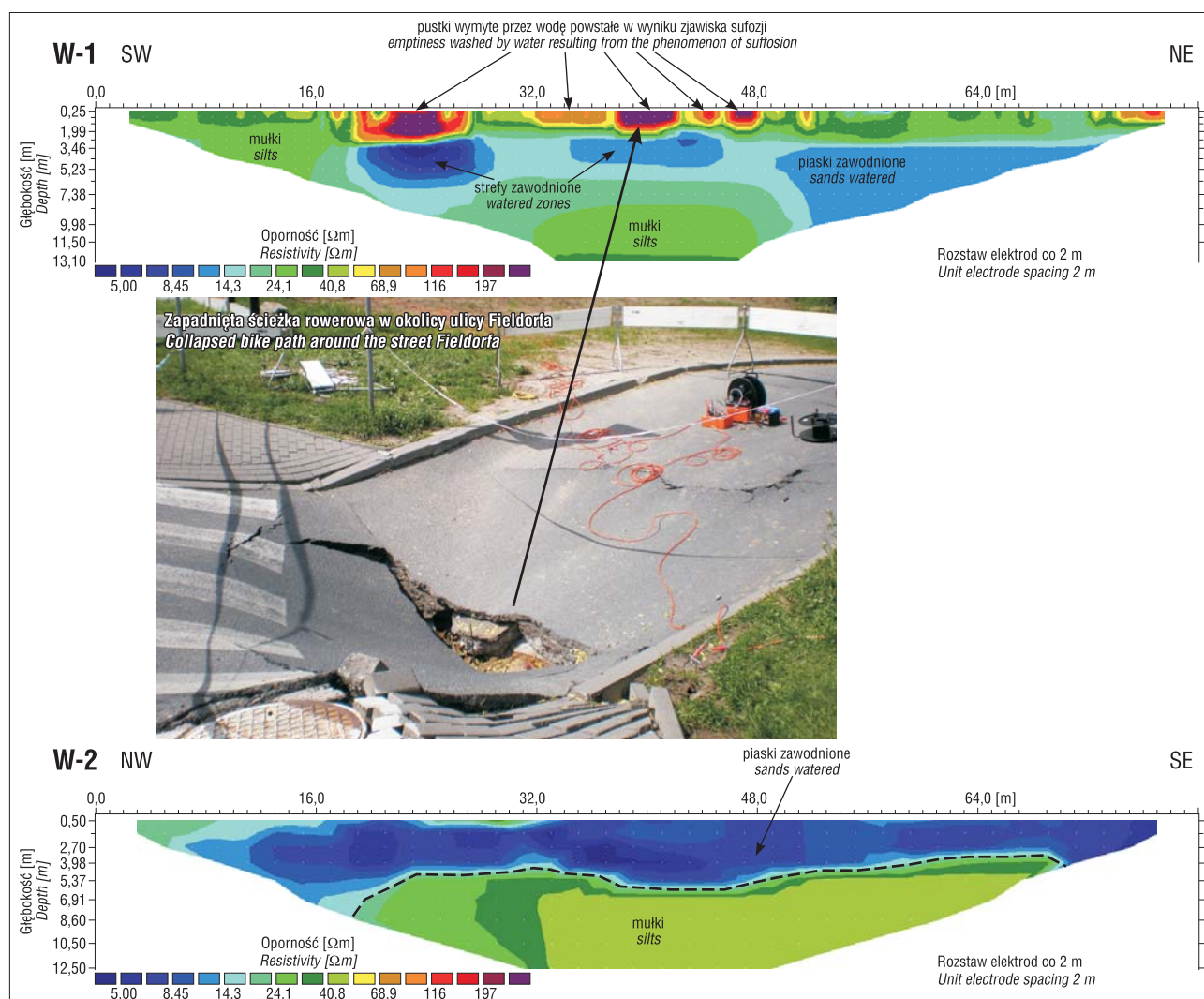
WYNIKI BADAŃ

Rejon Wału Miedzeszyńskiego

Na profilu geofizycznym W1 (wykonanym po opadnięciu wód gruntowych) zobrażowano stan wód podziemnych,

który w wyniku nagłego obniżenia się spowodował w tym rejonie wystąpienia zjawiska sufozji (ryc. 4). Jest to zjawisko geologiczne i hydrodynamiczne, polegające na mechanicznym wypłukiwaniu ziaren (cząstek minerałów) z osadu przez wody podziemne wsiąkające w skałę lub glebę. W efekcie doszło do zapadnięcia się fragmentu ulicy Fieldorfa. Na obrazie elektrooporowym takie obszary wyróżniają się dużymi wartościami oporności (powyżej 200 Ωm), która znacznie różni się od mniejszych wartości oporności skał otaczających. Pod wymytymi przez wodę pustkami w profilu elektrooporowym uwidoczniły się strefy silnie przewodzącego piasku, którego oporność spadła do około 5 Ωm.

Na profilu geofizycznym W2 wykonanym równoległe do wału przeciwpowodziowego po drugiej stronie Wału Miedzeszyńskiego udokumentowano wysoki stan wód podziemnych, dochodzący do powierzchni i powodujący lokalne podtopienia (ryc. 4.). W obrazie elektrooporowym uwidacznia się to znacznym obniżeniem oporności silnie przewodzących piasków do około 5 Ωm (wody te mogą być również zmineralizowane). Profil ten był wykonany w trak-



Ryc. 4. Profile geofizyczne W1 i W2 z interpretacją geologiczną
 Fig. 4. Geophysical profiles W1 and W2 with geological interpretation

cie najwyższego stanu Wisły, gdy wody gruntowe docho-
 dziły do powierzchni terenu.

Profil W3 wykonano również podczas wysokiego sta-
 nu Wisły, gdy wał nasiąkał wodą w efekcie czego mogło
 dojść do jego przerwania. Badania tomografią elektroop-
 porową pozwoliły zlokalizować strefę znacznie obniżonej
 oporności, związanej najprawdopodobniej z przesiąkaniem
 wody oraz miejsca tego przesiąkania pod wałem (ryc. 5).
 W obrazie elektrooporowym nasiąknięte obszary wału mają
 obniżone wartości oporności do około 30 Ωm . Na głębokoś-
 ciach od 10 do 20 m pod powierzchnią terenu udokumen-
 towano strop ilów plicieńskich. W przebiegu ich stropu
 zaznaczają się zaburzenia glaciektoniczne, które mogą
 komplikować w tym rejonie przepływ wód podziemnych.

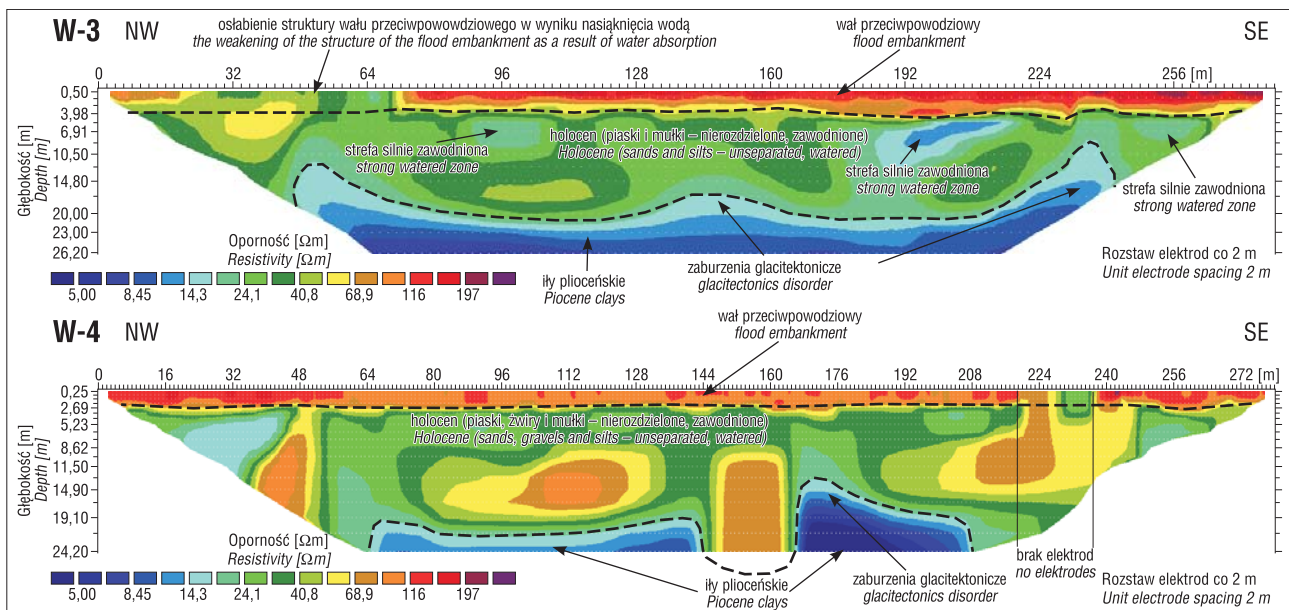
Profil geofizyczny W4 wykonany wzdłuż korony Wału
 Miedzeszyńskiego na południe od Trasy Siekierkowskiej,
 naprzeciwko ulicy Narodowej wykazał niejednorodną
 strukturę wału przeciwpowodziowego (ryc. 5). Różnice
 w oporności wynikały z nierównomiernego nasiąkania
 wału w czasie powodzi. Wysokie opory w granicach około
 150 Ωm są związane z suchymi obszarami w wale, zaś opo-
 ry wynoszące około 100 Ωm wskazują na lekkie nasiąknię-
 cie wału. Nagłe obniżenie oporności wału do około 50 Ωm ,
 na odcinku między 220 a 238 m, jest efektem sztucznym

powstałym w wyniku braku możliwości wbicia elektrod
 i niewłaściwej interpolacji danych. W tym miejscu prze-
 biegł wybrukowany przejazd przez wał.

W rozkładzie oporności uwidoczniły się zaburzone
 glaciektonicznie ily plicieńskie (5–10 Ωm), których strop
 występuje już na głębokości około 14 m pod powierzchnią
 terenu. Na iłach plicieńskich zalegają utwory zaliczane do
 holocenu i wykształcone w postaci piasków, żwirów lub
 mulków. Wartości oporności tych kompleksów litologicz-
 nych, wynoszące od 14 do 116 Ωm , są zaniżone ze względu
 na zawodnienie.

Rejon Jeziora Dziekanowskiego w Łomiankach

Badania geofizyczne przeprowadzone na koronie wału
 przeciwpowodziowego w rejonie Jeziora Dziekanowskie-
 go w Łomiankach (profil Ł1) wykazały, że jest on nasią-
 knięty wodą na odcinku między 32 a 128 m długości
 wału. Ponadto w tym rejonie wykryto strefy zawodnione w
 podłożu, na którym jest posadowiony wał (ryc. 6). W tych
 miejscach istniało największe ryzyko jego przerwania.
 Podłożem geologicznym strefy pierwszej są namuły torfia-
 ste lub osady antropogeniczne z zasypiania starorzecza.



Ryc. 5. Profile geofizyczne W3 i W4 wraz z interpretacją geologiczną
 Fig. 5. Geophysical profiles W3 and W4 with geological interpretation

Dodatkowo namuły torfiaste i osady antropogeniczne stanowią niestabilne podłoże dla wału.

Niskie oporności w granicach poniżej 35 Ωm w tej części profilu są zapewne odzwierciedleniem przebiegającego w tym rejonie dawnego koryta rzeki. Pionowe granice oporności (około 70 Ωm), na odcinku profilu między 130 a 190 m, odzwierciedlają granice dawnego koryta.

Brak podsiąknięć wody w strukturę wału od 190 m do końca profilu, może być spowodowany występowaniem w podłożu słabo przepuszczalnych osadów ilasto-mułkowych budujących taras zalewowy. Stanowią one w tym rejonie warstwę izolującą wał od osadów piaszczystych czy organicznych prowadzących wodę.

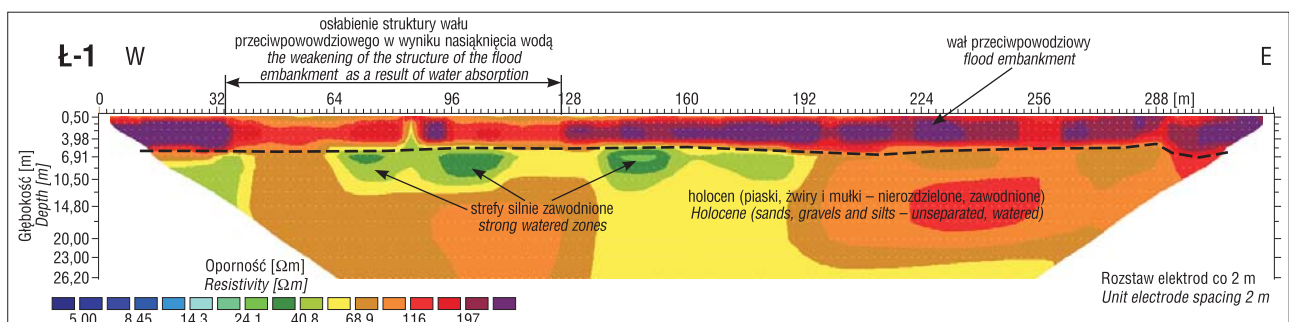
DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Do interpretacji geologicznej przekrojów elektrooporowych posłużono się danymi ze Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (SMGP) w skali 1 : 50 000, arkusz Warszawa Wschód i Legionowo, a także wierceniami archiwalnymi. Niestety dane zawarte na arkuszach wspomnianej mapy okazały się mało dokładne do analizy budowy geologicznej podłoża wałów w skali 1 : 10 000 lub jeszcze dokładniejszej.

Zdaniem autorów badania geofizyczne powinny być uzupełnione szczegółowym kartowaniem geologicznym

w skali 1 : 10 000 podłoża wałów przeciwpowodziowych oraz w miarę możliwości wierceniami geologicznymi. Dzięki wierceniom możliwe jest dokładne rozpoznanie litologii osadów budujących podłoże geologiczne. Ponadto dane takie stanowią mogą punkt odniesienia do rzetelnej interpretacji geologicznej przekrojów geofizycznych. Również jest wskazana analiza materiałów archiwalnych: dokumentacji geologiczno-inżynierskich, zdjęć lotniczych, danych z lotniczego skaningu laserowego ALS i map topograficznych. Dodatkową trudnością przy interpretacji profili elektrooporowych był brak dokumentacji geologiczno-inżynierskich i technicznych wałów przeciwpowodziowych oraz wierceń w koronach wałów i w ich podłożu geologicznym. Wyżej wymienione niedogodności znacznie utrudniały poprawną geologiczną interpretację profili geofizycznych.

Badania geofizyczne wałów przeciwpowodziowych Wisły w rejonie Warszawy potwierdziły, że tomografia elektrooporowa ERT jest metodą geofizyczną szczególnie przydatną do rozpoznania struktury wałów oraz ich podłoża geologicznego. Dzięki tym badaniom możliwe było: określenie materiału użytego do budowy obwałowań i jego charakterystyka geologiczno-inżynierska, identyfikacja nieciągłości w strukturze obwałowań narażonych na przebicia hydrauliczne, lokalizacja starorzeczy w podłożu nasypów, stwarzających szczególne zagrożenie ucieczki wody w stanach powodziowych. Badania geofizyczne



Ryc. 6. Profil geofizyczny Ł-1 przez wał przeciwpowodziowy w rejonie Jeziora Dziekanowskiego w Łomiankach
 Fig. 6. Geophysical profile Ł-1 through the flood embankment near Dziekanów Lake in the Łomianki

wykonane metodą tomografii elektrooporowej ERT są przydatne do szybkiej lokalizacji uszkodzeń i stref podatnych na przesiąkanie wody w wałach przeciwpowodziowych, co może w przyszłości ułatwiać pracę służb ratowniczych i zapobiegać przerywaniu wałów.

LITERATURA

- BARKER R.D. 1996 – The application of electrical tomography in groundwater contamination studies. 58th EAGE conference, Amsterdam, The Netherlands, Extended Abstracts, P082: 56–67.
- FARBISZ J., 2010 – Metody geofizyczne – skuteczna pomoc w ocenie stanu środowiska przed i po powodzi. Materiały archiwalne. Seminarium na AGH, Kraków.
- GOŁĘBIEWSKI T., TOMECKA-SUCHOŃ S. & FARBISZ J. 2012 – Zastosowanie kompleksowych metod geofizycznych do nieinwazyjnego badania technicznego stanu wałów przeciwpowodziowych. Sympozjum Europejskie „Współczesne problemy ochrony przeciwpowodziowej”. Paryż–Orlean: 1–8.
- JONES G., SENTENAC PH. & ZIELIŃSKI M. 2014 – Desiccation cracking detection using 2-D and 3-D Electrical Resistivity Tomography: Validation on a flood embankment. *J. Applied Geoph.* 106: 196–211.
- JONGMANS D., HEMROULLE P., RENARDY F. & VANBRAND Y. 2000 – Application of 2D electrical and seismic tomography techniques for investigating landslides. *Eur. J. Environ. Eng. Geoph.* 8: 75–89.
- KAMIŃSKI M., ZIENTARA P. & KRAWCZYK M. 2011 – Sprawozdanie z badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej (ERT) wzdłuż wału przeciwpowodziowego Wisły między ujściem Gro-darza a stacją benzynową w Kazimierzu Dolnym. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.*
- KAMIŃSKI M., ZIENTARA P. & KRAWCZYK M. 2013 – Sprawozdanie z badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej (ERT) wzdłuż wału przeciwpowodziowego Wisły w miejscowości Matygi w rejonie Dębłina. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.*
- KULCZYŃSKI J. 1965 – Karta otworu wiertniczego 28/W, nr arch. FIG 92921. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.*
- LOKE M.H., 2014 – Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging survey. www.geotomosoft.com
- NOWAK J. 1974 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Legionowo. *Inst. Geol., Warszawa.*
- NOWAK J. 1978 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Legionowo. *Inst. Geol., Warszawa.*
- SARNACKA Z. 1979a – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Warszawa Wschód. *Inst. Geol., Warszawa.*
- SARNACKA Z. 1979b – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Warszawa Wschód. *Inst. Geol., Warszawa.*
- ŚLUSARCZYK R. 2001 – Możliwości zastosowania geofizyki inżynierskiej w problematyce budownictwa lądowego i wodnego. Konferencja „Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska dla potrzeb samorządności lokalnej”. *Państw. Inst. Geol., Kraków: 109–124.*
- ZIELIŃSKI M. 2009 – Influence of detection fissuring on the stability of flood embankments (PhD Thesis) University of Strathclyde, Department of Civil and Environmental Engineering, Glasgow, UK.

Praca wpłynęła do redakcji 2.07.2012 r.
Akceptowano do druku 18.09.2014 r.