

Andrzej PRAŁAT*

SPOSOBY WYKORZYSTANIA METOD GEOFIZYCZNYCH DO OCENY STANU WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

Wykazano celowość stosowania metod geofizycznych do kontroli stanu wałów przeciwpowodziowych. Przedstawiono zasadę pomiaru metodą elektrooporową i podano uzyskane wyniki. W podobny sposób przedstawiono metodę radarową.

Znacznie obszerniej przedstawiono zaproponowaną przez autora metodą w której wał stanowi sprzężenie między dwoma antenami magnetycznymi. Zaletą proponowanej metody jest możliwość prowadzenie pomiarów podczas jazdy samochodem. Podano przykłady wykonania pomiarów tą metodą i jej zalety w porównaniu do poprzednich.

Słowa kluczowe: wały przeciwpowodziowe, metody geofizyczne, metoda elektrooporowa, metoda radarowa, pomiar impedancji wzajemnych anten magnetycznych

WPROWADZENIE

W naszym położeniu geograficznym jedynymi zagrożeniami niemilitarnymi są powodzie. Istotnym elementem obrony przed tym kataklizmem są wały przeciwpowodziowe, dlatego też są one budowane wszędzie tam, gdzie zachodzi szczególna potrzeba ochrony, a często na całej długości rzeki. Łączna długość wałów przeciwpowodziowych w Polsce jest duża i trudna do dokładnego wyznaczenia. Dla samej rzeki Odry ich długość wynosi ponad 1100 km, a wałami chronione są także jej dopływy oraz inne rzeki.

Większość z wałów przeciwpowodziowych wzdłuż Odry to budowle blisko stuletnie, które zostały wzniesione po powodzi z roku 1905. Jak obecnie się okazuje, nie zawsze budowano je z wykorzystaniem odpowiednich materiałów i zachowując wymagania technologiczne.

Należy liczyć się z tym, że w niektórych, trudnych dzisiaj do ustalenia, miejscach wały były naprawiane po uszkodzeniach spowodowanych przez kolejne powodzie, działania wojenne, opadające drzewa rosnące w koronie wałów, a nawet przez

* dr hab. inż. Andrzej PRAŁAT, prof. nadzw. - Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej we Wrocławiu

działanie bobrów. Wszystkie te czynniki spowodowały, że w czasie ostatniej katastrofalnej w skutkach powodzi w 1997 roku, wały przeciwpowodziowe nie wytrzymały naporu wody i były przez nią niszczone w punktach, których nie byli w stanie przewidzieć specjaliści.

Zaprezentowana powyżej sytuacja uzasadnia konieczność przeprowadzenia badań wałów na całej ich długości, w celu zlokalizowania miejsc, które swą budową czy stanem technicznym różnią się od reszty zabezpieczeń. Przyczyną takiego działania, dla określonego odcinka wałów może być też jego planowany remont. Do zbadania struktury wału można w nim wykonać odwierty i pobrać próbki materiału tworzącego ten wał, które należy zbadać laboratoryjnie. Z kolei stosując tzw. sondowanie, można poza pobraniem prób, uzyskać informacje o stopniu zagęszczenia budującego wał materiału. Obydwie te metody badań, aczkolwiek bardzo dokładne, pozwalają na określenie właściwości wału jedynie w punkcie, w którym wykonano badania.

Przyjmuje się, że przed wykonaniem projektu remontu wału należy wykonać odwierty czy sondowanie w odstępach średnio co 250 m. Tymczasem wały przeciwpowodziowe z przedstawionych powyżej powodów mogą charakteryzować się niejednorodnościami budowy na długości 2-3 metrów, tak więc prawdopodobieństwo ich wykrycia przez odwiert jest małe.

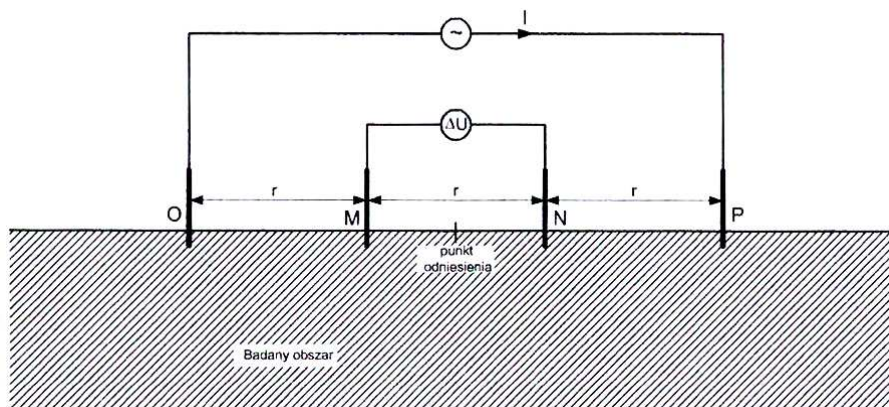
Z porównania przedstawionych powyżej liczb wynika, że dla prawidłowego zbadania wałów, miejsca przeprowadzania dokładnych badań (odwiertów czy sondowania) nie mogą być wybrane w sposób losowy. Ich wyznaczenie powinno być poprzedzone wstępnymi badaniami, które pozwolą zlokalizować miejsca lub odcinki wałów charakteryzujące się odmiennymi własnościami. Do przeprowadzenia tych wstępnych badań można wykorzystać metody geofizyczne.

W odróżnieniu od podanych powyżej metod badania wałów przeciwpowodziowych metody geofizyczne są metodami pośrednimi. W przypadku metod elektrycznych jest konieczne, żeby jeden z parametrów elektrycznych wału (oporność elektryczna, rzadziej przenikalność dielektryczna) zmieniał w się przy niejednorodności w budowie wału.

Poniżej przedstawione będą te z metod geofizycznych, które wydają się najbardziej odpowiednie do wstępnego zbadania wałów przeciwpowodziowych. Ponadto przedstawiona będzie metoda zaproponowana przez autora. Jest to metoda znana, lecz dotychczas stosowana w technice badania anten. Nieznane w literaturze jest jej zastosowanie do badania wałów przeciwpowodziowych.

1. METODA ELEKTROPOROWA

Metoda elektroporowa jest najczęściej stosowaną metodą elektryczną, zasadę jej działania schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Układ pomiarowy składa się z czterech wbitych w ziemię elektrod, źródła prądu i miernika napięcia. Do elektrod zewnętrznych dołączone jest źródło prądu I , do elektrod wewnętrznych miernik napięcia. Przy danej geometrii (rozstawie elektrod) można wyznaczyć oporność pozorną jako stosunek napięcia U i prądu I . Głębokość penetracji układu (czyli jaka gruba warstwa ziemi ma wpływ na pomiar) jest równa rozstawowi pomiędzy elektrodami pomiarowymi. Stosowane są różne odmiany tego układu [1].

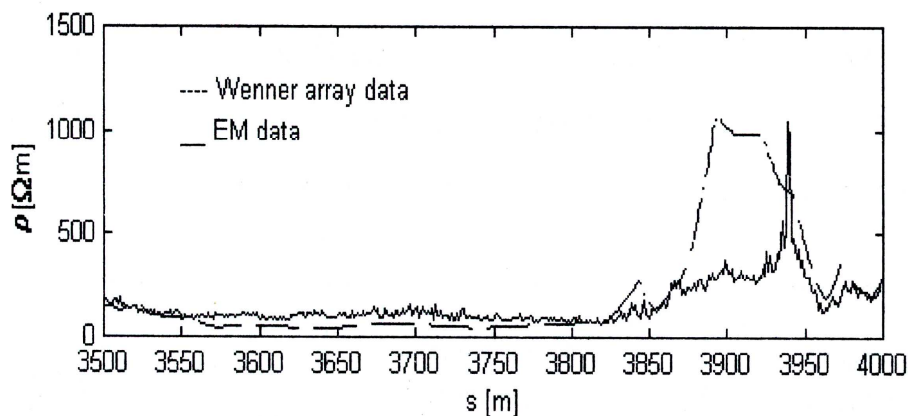


Rys. 1. Schemat metody elektrooporowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1]

Jeżeli układ pomiarowy będzie przemieszczany wzdłuż przyjętego profilu (wał) ze stałym krokiem, wykonując przy tym pomiary, to na podstawie otrzymanych wyników może być wyznaczony rozkład oporności pozornej badanego ośrodka. Taki sposób wykonywania pomiarów nazywany jest profilowaniem elektrooporowym.

Sprawne wykonanie pomiarów wymaga zaangażowania co najmniej czterech osób, a dokładność pomiarów rośnie ze zmniejszeniem wartości kroku pomiarowego, jednakże wydłuża się równocześnie czas wykonywania pomiarów. Interpretacja wyników wymaga wprowadzenia danych do komputera i wykonania niezbędnych obliczeń. Występowanie niejednorodności w badanym ośrodku wykrywane jest na podstawie zmian wartości zmierzonej oporności pozornej. Przykładowe wyniki profilowania elektrooporowego przedstawiono na rysunku 2.



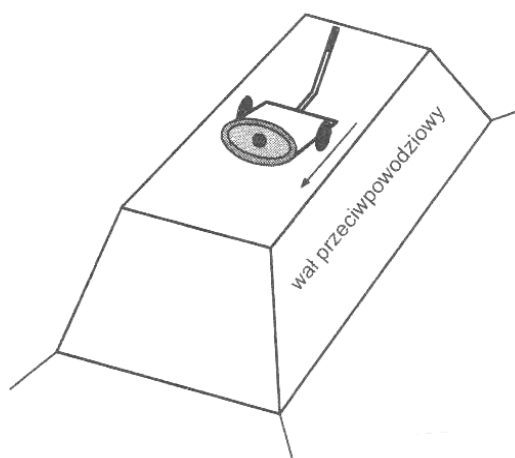
Rys. 2. Przebieg zmierzonej rezystywności pozornej wybranego odcinka wału przeciwpowodziowego rzeki Odry metodami: elektrooporową (Wenner array data) oraz elektromagnetyczną (EM data)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

2. METODA RADAROWA

Metoda georadarowa (GPR) jest stosunkowo od niedawna stosowaną metodą geofizyczną. Na rysunku 3 przedstawiono poglądowo sposób wykonywania pomiarów georadarem. Zasada georadaru jest podobna do radaru klasycznego: impulsy elektroma-

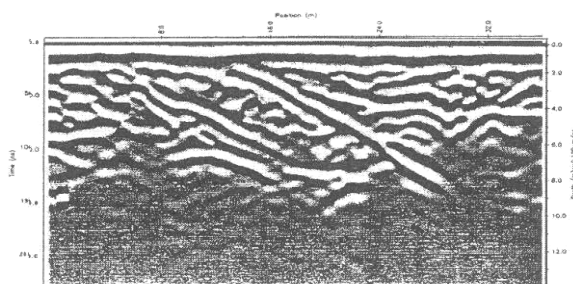
gnetyczne z anteny nadawczej są wysyłane w głąb ziemi i w zależności od parametrów elektrycznych gruntu są słabiej lub silniej odbijane od poszczególnych warstw, a wracając, są odbierane przez antenę odbiorczą [2].



Rys. 3. Poglądowy sposób wykonywania pomiarów wałów przeciwpowodziowych radarem GPR

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Georadar działa w zakresie wielkich częstotliwości i dlatego metodą tą wyznacza się rozkład przenikalności elektrycznej badanego ośrodka. Obsługę georadaru może przeprowadzić jedna osoba. Pomiar wykonuje się w funkcji przesunięcia urządzenia. Szybkość wykonywania pomiarów jest ograniczona przez prędkość poruszania się osoby obsługującej radar. Wyniki są zapisywane w komputerze, a następnie interpretowane z wykorzystaniem specjalnego oprogramowania. Przykładowy obraz przypowierzchniowej warstwy ziemi uzyskany za pomocą georadaru zaprezentowany jest na rysunku 4. Wyniki badania przedstawiane są za pomocą obrazu 2-D, oś rzędnych reprezentuje drogę przeprowadzenia pomiaru, a oś odciętych – głębokość ośrodka.



Rys. 4. Widok pomiaru wału przeciwpowodziowego radarem

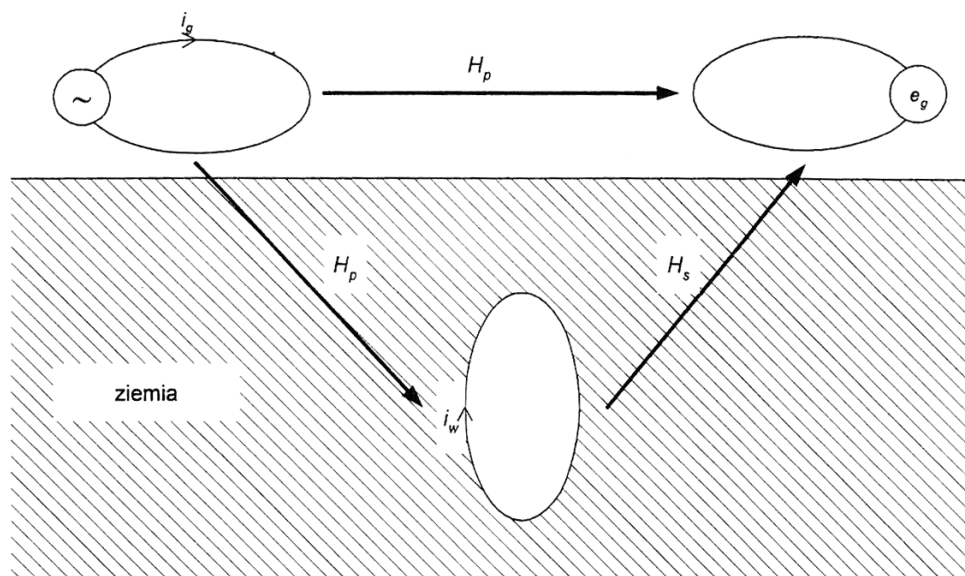
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Metoda georadarowa jest metodą o dużej rozdzielczości pomiarowej, przez co daje ona bardzo dokładne wyniki pomiarów. Jednakże ta duża dokładność powoduje znaczne trudności w interpretacji wyników i wymaga znacznego doświadczenia w prowadzeniu badań i interpretacji ich rezultatów.

3. POMIAR NIEJEDNORODNOŚCI WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH POPRZEZ POMIAR IMPEDANCJI WZAJEMNYCH ANTEN MAGNETYCZNYCH

Istnieje kilka odmian metod elektromagnetycznych stosowanych w geofizyce. Przeważnie są one wykorzystywane do rozpoznawania złóż metali ferromagnetycznych pracując przy małych częstotliwościach. Jedną z metod działa w oparciu o zmianę impedancji wzajemnej anten ramowych. Wielkość ta jest wykorzystywana przy pomiarze wielkości sprzężenia między antenami. Zasadę impedancji wzajemnej wyjaśnia rysunek 5, na którym przedstawiono poglądowo układ dwu anten ramowych umieszczonych nad ośrodkiem półprzewodzącym, jakim jest ziemia. Prąd o wielkiej częstotliwości I_g płynący w antenie nadawczej powoduje indukowanie się pierwotnego pola magnetycznego w ziemi (H_p). Pole to indukuje w ośrodku półprzewodzącym (ziemi) przepływ prądu wirowego (i_w). Przepływ tego prądu powoduje powstanie wtórnego pola magnetycznego (H_s). Suma pól pierwotnego H_p i wtórnego H_s zwana też polem całkowitym (H_t) indukuje w antenie odbiorczej siłę elektromotoryczną (E_g).

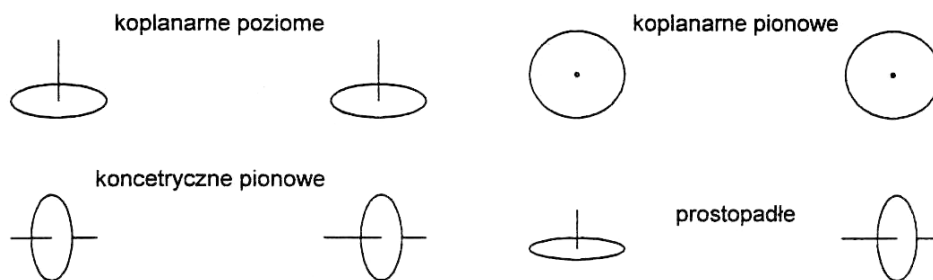
Pomijając w tym miejscu wszystkie zależności, można dodać, że ilościowo to pola wtórne są około trzy rzędy mniejsze od pola pierwotnego, co w znacznym stopniu utrudnia pomiar H_s w obecności H_p . Problem ten można rozwiązać w dwojaki sposób: eliminując H_p poprzez odpowiednie geometryczne zorientowanie anten względem siebie lub też eliminując H_p bezpośrednio w układzie elektronicznym odbiornika.



Rys. 5. Przykład magnetycznych anten sprzężonych nad ziemią

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

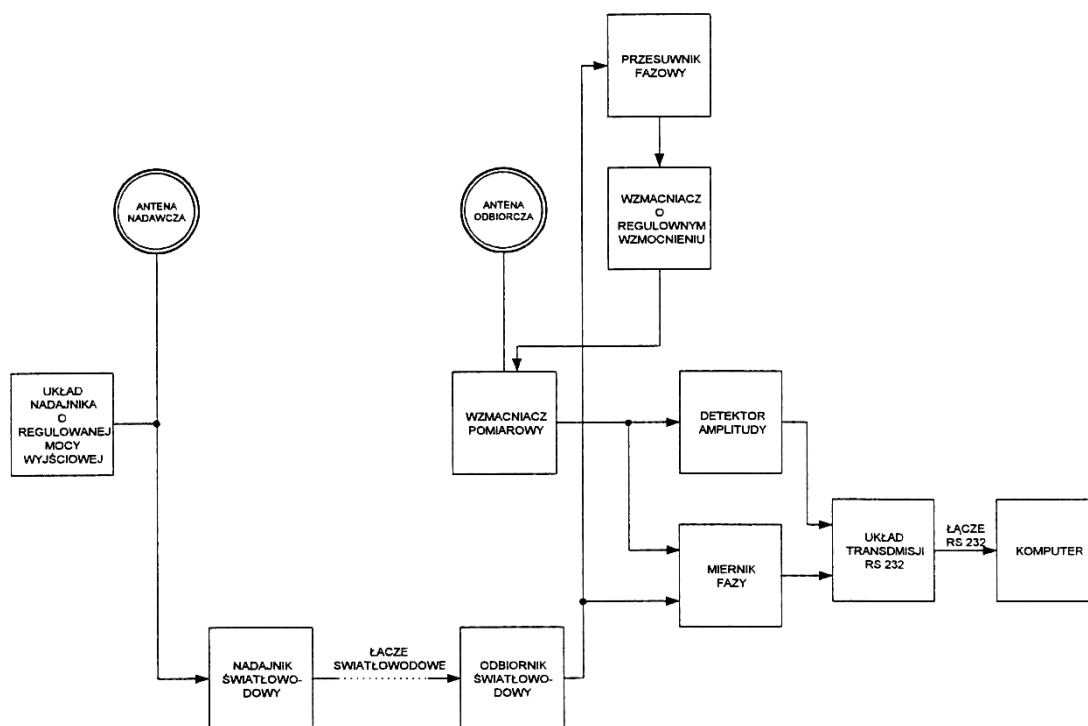
Na rysunku 6 zaprezentowano kilka konfiguracji geometrycznych anten stosowanych przy pomiarze impedancji wzajemnej. Każda z konfiguracji anten dostarcza odmiennych informacji o badanym ośrodku półprzewodzącym, dlatego celowe jest jednoczesne zastosowanie kilku z nich. Jedynie dla anten prostopadłych mierzone pole pierwotne jest równe zero. Dla pozostałych konfiguracji pole pierwotne należy wyeliminować, stosując dodatkowo obwód elektryczny w układzie odbiornika.



Rys. 6. Konfiguracje układów anten magnetycznych stosowanych w pomiarach impedancji wzajemnej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

Z powyższych powodów zdecydowano zmienić układ pomiarowy, tak aby kompensować pola pierwotne przy pomiarze antenami: koplanarną pionową, koplanarnymi poziomymi oraz koncentrycznymi. Schemat układu pomiarowego po wprowadzeniu zmian przedstawiono na rysunku 7.



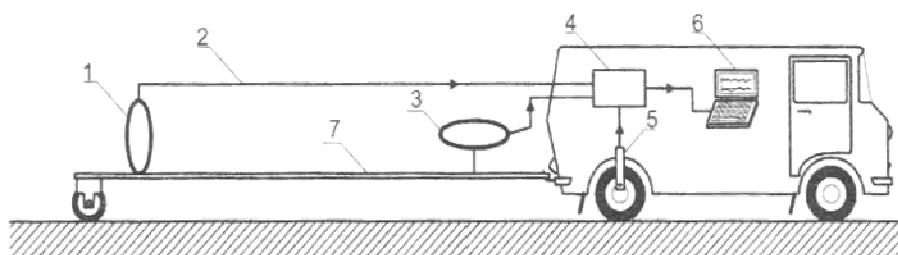
Rys. 7. Schemat blokowy układu odbiornika pomiarowego po wprowadzeniu zmian

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

Układ ten został umieszczony na samochodzie terenowym, przy czym anteny i część elektroniki znajdują się na specjalnej przyczepie wykonanej z żywicy poliestrowej. Odległość anteny od samochodu dobrano doświadczalnie. Widok samochodu z zamontowanym urządzeniem przedstawiono schematycznie na rysunku 8.

Ze względu na charakter konferencji schemat układu pomiarowego nie będzie szczegółowo omawiany, tym bardziej że jest on jeszcze uproszczony. Nie ma na nim przykład układu rejestrującego przesunięcie samochodu względem wału. W zależności

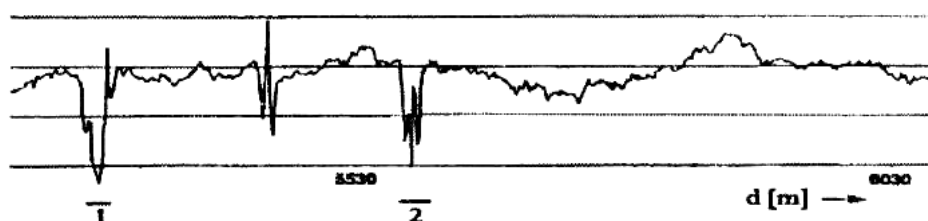
od potrzeb rejestracja może odbywać się po przesunięciu samochodu co 0,05 m lub wielokrotność tej wartości.



Rys. 8. Schemat blokowy systemu pomiarowego do wyznaczenia impedancji wzajemnej wzdłuż wału przeciwpowodziowego 1, 3 – anteny ramowe, 2 – kabel światłowodowy, 4 – przetwornik A/C układu transmisji RS 232, 5 – miernik przemieszczenia, 6 – komputer przenośny, 7 – wózek pomiarowy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

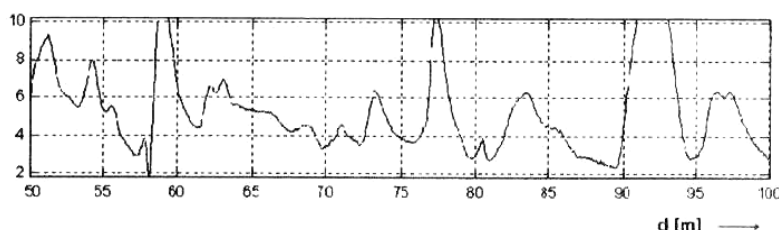
Po uruchomieniu całości, z wykorzystaniem omówionego układu, przeprowadzono pomiary kontrolne wałów przeciwpowodziowych. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe rezultaty badań niejednorodności wału. Jak widać zmierzona wzdłuż wału oporność zmienia się w niewielkim stopniu, jedynie w trzech miejscach zmiany są wyraźne. Obserwacje pozwoliły wyjaśnić źródła dwóch z nich: ślady naprawy wału (1) oraz przepust pod wałem wykonany z betonowej rury (2). Jak było zaznaczone wcześniej, jednoznaczną ocenę stanu wału można uzyskać tylko po wykonaniu w nim odwiertu i sondowania. Jednakże mając takie rezultaty badań wału, jak przedstawione na rysunku 7, przed wykonaniem odwiertów można zaplanować ich położenie tak, aby wykonać je głównie w miejscach wskazanych niejednorodności. Można natomiast ograniczyć liczbę odwiertów tam, gdzie nie stwierdzono w czasie badań niejednorodności. Takie podejście prowadzi z jednej strony do lepszego rozpoznania wałów, a z drugiej może przynieść ewidentne oszczędności na obszarach o dużej jednorodności wałów. W dotychczasowej praktyce bowiem miejsca odwiertów wybierane są w sposób arbitralny co 250 m.



Rys. 9. Wyniki badań wału przeciwpowodziowego: 1 – miejsce po remoncie, 2 – przepust pod wałem

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4]

Zdarzają się jednak części wałów przeciwpowodziowych o dużym stopniu niejednorodności. Przykład takiego odcinka przedstawiono na rysunku 10, z którego wynika, że zmierzona oporność względna (jednostki) zmienia się ponad dziesięciokrotnie, chociaż cały odcinek ma długość zaledwie 50 m. Trudno sobie wyobrazić jak różne można uzyskać wyniki, wybierając miejsca otworów w sposób przypadkowy.



Rys. 10. Wyniki badań odcinka wału przeciwpowodziowego o szczególnie dużej niejednorodności (na osi rzędnych odłożono oporność w jednostkach względnych)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4]

Na zakończenie podany zostanie przykład z wrocławskiego Kozanowa. Architekci projektujący to osiedle otwarcie burzyli się przeciwko budowaniu mieszkalnych domów na polderze, czyli naturalnym zbiorniku przeciwpowodziowym, jeszcze nieosłoniętym wałami przeciwpowodziowymi. Ich postulaty pozostały jednak niewysłuchane. Ten bezodpływowy polder stanowi $\frac{1}{4}$ powierzchni całego osiedla. W rezultacie tych decyzji osiedle powstało. W efekcie po powodzi w 1997 roku widok osiedla był dla wrocławian znany.

WNIOSKI

Porównując zaproponowaną przez autora metodę z przedstawioną wcześniej elektrooporową, można stwierdzić, że nowa metoda pozwala szybciej prowadzić pomiary. Szybkość jest ograniczona jedynie prędkością, z jaką może jechać po wale samochód, i do obsługi wymagane są jedynie dwie osoby. Metoda nie wymaga wprowadzenia danych do komputera, bo są one automatycznie rejestrowane w czasie pomiarów. Potrzebna jest natomiast bardziej skomplikowana aparatura, która w przeciwieństwie do stosowanej w metodzie elektrooporowej, nie jest produkowana seryjnie. Niezbędne jest też odpowiednie oprogramowanie. Ponadto dla zastosowania nowej metody konieczne jest też zbadanie, jak zmiana częstotliwości wpływa na wyniki pomiarów oraz głębokość penetracji i tym podobne zagadnienia. Wszystkie te działania zostały zrealizowane, wykonano kolejne pomiary, a wyniki zostały przedstawione na konferencjach krajowych i zagranicznych [6-9].

System pomiarowy został wykonany jako praca własna, dlatego też autor wraz z zespołem wystąpił do Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu o finansowanie budowy systemu mającego własności użytkowe. Złożony wniosek został jednak załatwiony odmownie, ponieważ: „Przedstawiona nam metoda badania wałów przeciwpowodziowych nie jest w sposób formalny uznana do stosowania do tych badań”.

LITERATURA

- [1] Keller G. V., Frischknecht F. C., *Induction methods: two – loop sounding methods*, [w:] *Electrical methods in geophysical prospecting*, Pergamon Press, New York 1966.
- [2] Zhangming L, *Application of Ground Penetrating Radar in three Gorges Project*, [w:] “Proceedings of the Seventh International Conference on Ground Penetrating Radar”, Lawrence, Kansas 1998.

- [3] Prałat A., Beziuk G., *Wstępne badanie wałów przeciwpowodziowych metodą elektromagnetyczną wielkiej częstotliwości*, [w:] *Problemy Hydrotechniki. Współczesne podstawy planowania i projektowania w inżynierii i gospodarce wodnej*, Dolnośląskie Wydawnictwa Edukacyjne, Wrocław 2003, s. 563-574.
- [4] Prałat A., *Badanie niejednorodności wałów przeciwpowodziowych*, [w:] „Bezpieczna Odra”, Nr 6/2000, s. 18.
- [5] *Badanie niejednorodności ziemi poprzez pomiar przy wysokiej częstotliwości impedancji wzajemnej dipoli magnetycznych*, pod red. Prałat A., cz. II., Raport Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej Nr I 28/02/S -038 Wrocław 2001.
- [6] Prałat A., Beziuk G., *Bezinwazyjne badanie wałów przeciwpowodziowych*, [w:] „Zagrożenie powodziowe w Sudetach” - konferencja naukowa, Łądek Zdrój 12-13.10 2000, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu Nr 387.
- [7] Prałat A., Beziuk G., *Non-destructive detection of inhomogeneity of levees through measurement of mutual impedance of loop antennas*, [w:] *W Nevujnivnij kontroltrukcijnich ta funkcjonalnich materialiv*, Zbirknik naukovich prac, Lviv 2002, s. 118-123.
- [8] Beziuk G., Prałat A., *Examination of flood embankments via measurement of mutual impedance of loop antennas operating at high frequency*, [w:] “2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium”, IGARSS 2003, Toulouse, 21-25 July 2003.
- [9] Beziuk G., Prałat A., *Determination of apparent resistivity through high-frequency electromagnetic measurements*, [w:] “10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics”, Near Surface 2004, Utrecht, 6-9 September 2004.

EMPLOYING GEOPHYSICAL METHODS TO ASSESS LEVEE CONDITION

Summary

The article shows the usefulness of employing geophysical methods to inspect the condition of levees. The principle of geoelectrical method measurement and the results obtained are given. The radar method is presented in a similar way.

The method proposed by the author, where a levee forms a coupling between two magnetic loops, has been presented in the form of a much more detailed review. The advantage of the recommended method is its functionality: a measurement can be taken while driving. The advantages of this method have been compared to others, and sample measurements are specified.

Key words: levees, geophysical methods, geoelectrical method, radar method, measurement of mutual impedance of magnetic loops

Artykuł recenzował: płk dr hab. inż. Dariusz SKORUPKA, prof. nadzw. WSOWL