

**Remigiusz MYDLIKOWSKI<sup>1</sup>, Adam SZYNKIEWICZ<sup>2</sup>**

**BEZINWAZYJNE BADANIE BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH PRZY  
UŻYCIU RADARU GPR**

**NON-INVASION DETECTION INHOMOGENEITIES IN STRUCTURE OF LEVEES  
BY RADAR GPR**

**Abstrakt**

Protipovodňové valy ochraňují nejbližší okolí řek proti vysoké hladině vod. Jaro – blátivé cesty a deště jsou často příčinou zvednuté hladiny vod v řece, což může vést k povodni. Povodně bývají často následek špatného technického stavu hrází. Tedy, skutečný stav hrází má strategický význam pro ochranu osob a majetku.

Článek představuje výsledky průzkumu stavu protipovodňových valů vycházející z klasických geologických metod i z použití GPR radaru. Měření byla provedena na valech řeky Odry ve Wrocławu. Výsledky ukazují použitelnost radarové metody k předběžnému průzkumu technického stavu protipovodňových valů.

**Abstract**

Floodbanks are to protect nearest region of those rivers from high water level. Spring - sloppy roads or torrential rains cause very often that a level of water in those rivers increase and lead to flood. The flood most often is a result of bad technical conditions of floodbanks. It means that proper conditions of floodbanks have strategic meaning for protection of people lives and their properties.

This article presents results of research of the flood bank structure carried out with classic geological method and with the GPR radar. Measurements were carried out on the flood bank of the Odra river in Wrocław. The results show the appropriateness for applying the radar method to the preliminary assessment of the technical condition of embankment.

**Wstęp**

Wały przeciwpowodziowe jako jedne z najważniejszych budowli hydrotechnicznych, narażone są na niszczący wpływ wielu czynników zewnętrznych. Wysokie stany wód, małe zwierzęta ryjące nory w wałach, wrastające korzenie drzew, niewłaściwe użytkowanie wałów przez ludzi, często powodują osłabianie jednolitej

---

<sup>1</sup> Dr. Remigiusz Mydlikowski, Institute of Telecommunications, Teleinformatics and Acoustic, Wrocław University of Technology, Wyspiańskiego 27, Wrocław, Poland, e-mail: [remigiusz.mydlikowski@pwr.wroc.pl](mailto:remigiusz.mydlikowski@pwr.wroc.pl)

<sup>2</sup> Dr. Adam Szynekiewicz, Institute of Geological Sciences, Wrocław University, pl. M.Borna 9, Wrocław, Poland, e-mail: [aszyn@ing.uni.wroc.pl](mailto:aszyn@ing.uni.wroc.pl)

struktury wałów. Miejscowe osłabienie struktury wału niesie za sobą zagrożenie przerwania wału w takim miejscu. Przerwanie wału przy wysokim stanie wód w konsekwencji doprowadza do powstania powodzi najbliższej okolicy chronionej przez wał.

Aby minimalizować zagrożenie powodziowe koniecznym jest przeprowadzanie okresowych ocen stanu technicznego wałów. Według polskiego prawa wodnego (Ustawa o Prawie Wodnym), każdy odcinek wału przeciwpowodziowego powinien być poddany ocenie raz na dwa lata. Ocena taka sprowadza się do wzrokowego przeglądu wału na całej jego długości i wykonaniu ewentualnych odwiertów geologicznych i ich analizę laboratoryjną. Norma przewiduje wykonanie co najmniej trzech odwiertów na kilometr wału, a wybór miejsca ich wykonania odbywa się na podstawie oceny wzrokowej wału. Na podstawie analizy uzyskanych próbek dokonuje się aproksymacji struktury wewnętrznej wału na całej jego długości. Jest to metoda mało precyzyjna, ponieważ wał może zmienić swoje właściwości na krótkim odcinku i bardzo łatwo pominąć miejsce osłabienia wału. Dodatkowo, wykonywanie odwiertów zawsze stanowi zagrożenie osłabienia struktury wału w miejscu odwiertu. Wydaje się zatem konieczne rozszerzenie klasycznej metody oceny stanu technicznego wału przeciwpowodziowego o dodatkowe badania wykonane jedną lub kilkoma metodami geofizycznymi.

Jedną z przydatnych metod do wspomagania klasycznej oceny stanu wału może okazać się metoda georadarowa (Forest and Utsi, 2004, Watters, 2004, Chen et al., 2004, Szykiewicz 2000). Metoda taka umożliwia przypowierzchniowe, liniowe i bezinwazyjne śledzenie struktury wału przeciwpowodziowego na całej jego długości. Dodatkową zaletą tej metody jest stosunkowo krótki czas potrzebny na wykonanie pomiarów. Wykonanie pomiarów metodą radarową praktycznie w czasie rzeczywistym pozwala na wskazanie zagrożonych miejsc w strukturze wału na całej jego długości i głębokości.

W artykule omówiono sposób wykonywania pomiarów metodą georadarową oraz sposób interpretacji uzyskiwanych wyników. Przedstawiono również porównanie wyników radarowych z wynikami sondowania geologicznego. Porównanie to przeprowadzono na podstawie wyników otrzymanych z badań odcinka wału przeciwpowodziowego na rzece Odrze we Wrocławiu (Mydlikowski et al., 2007).

### **Radar do penetracji gruntu (GPR)**

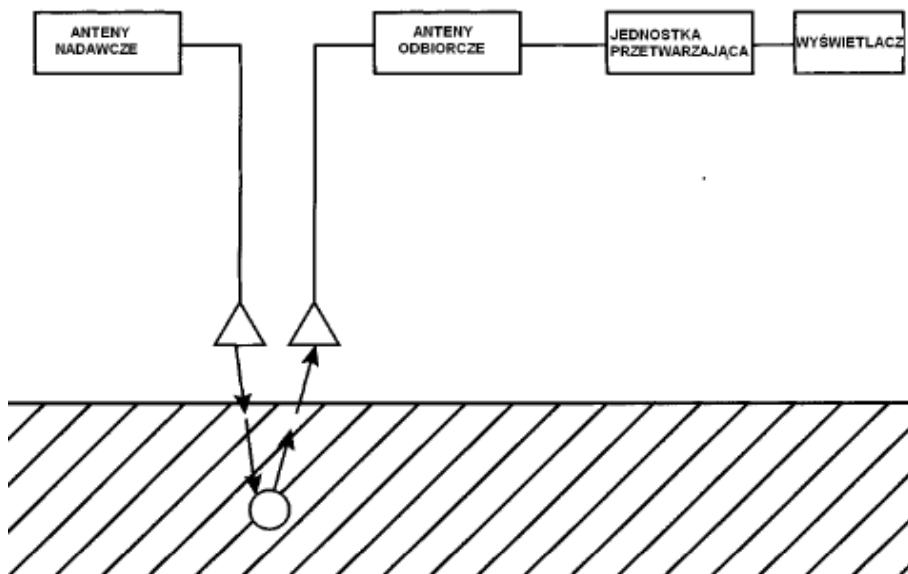
Metoda georadarowa jest metodą opartą na emitowaniu przez antenę nadawczą fal elektromagnetycznych o częstotliwości z zakresu krótkich do ultrakrótkich fal radiowych. Emitowana fala w głąb ośrodka półprzewodzącego ulega odbiciu, rozpraszaniu i załamaniu na granicy warstw gruntu charakteryzujących się zmianą właściwości dielektrycznych. Fala taka ulega odbiciu również przy napotkaniu elementów zalegających w gruncie. Amplituda odbitego impulsu elektromagnetycznego jest proporcjonalna do wielkości współczynnika odbicia na granicy dwóch różnych środowisk, jest tym większa, im większy jest kontrast wartości zastępczej konduktancji  $\sigma$  po obu stronach granicy odbijającej (Jol 2006). W tabeli 1 podano wartości  $\sigma$  oraz współczynniki tłumienia fali dla niektórych ośrodków geologicznych.

**Tab 1.** Wartość przewodności i współczynnika tłumienia dla niektórych ośrodków geologicznych

Ośrodek	$\sigma$ [mS/m]	$\alpha$ [dB/m]
Powietrze	0,0	0,0
Słodka woda	0,5	0,1
Słona woda	3000	1000
Suchy piasek	0,01	0,01
Nasycony piasek	0,1÷1,0	0,03÷0,3
Piaskowiec	0,5÷2,0	0,4÷1,0
Glina	2,0÷1000	300
Muł	1,0÷100	1,0÷100
granit	0,01÷1,0	0,01÷1,0

Odbita fala elektromagnetyczna, odbierana przez antenę odbiorczą, rejestrowana jest w czasie i przedstawiana w formie profilu georadarowego. W praktyce pomiar metodą georadarową polega na przemieszczaniu anten: nadawczej i odbiorczej, z ustaloną prędkością wzdłuż linii profilu, wyznaczonej na powierzchni terenu. Uzyskiwany w ten sposób obraz struktury badanego ośrodka gruntowego odzwierciedla nie tylko jego budowę geologiczną, lecz także obecność elementów pochodzenia antropogenicznego. Na rys.1 przedstawiono schemat blokowy radaru do penetracji gruntu GPR.

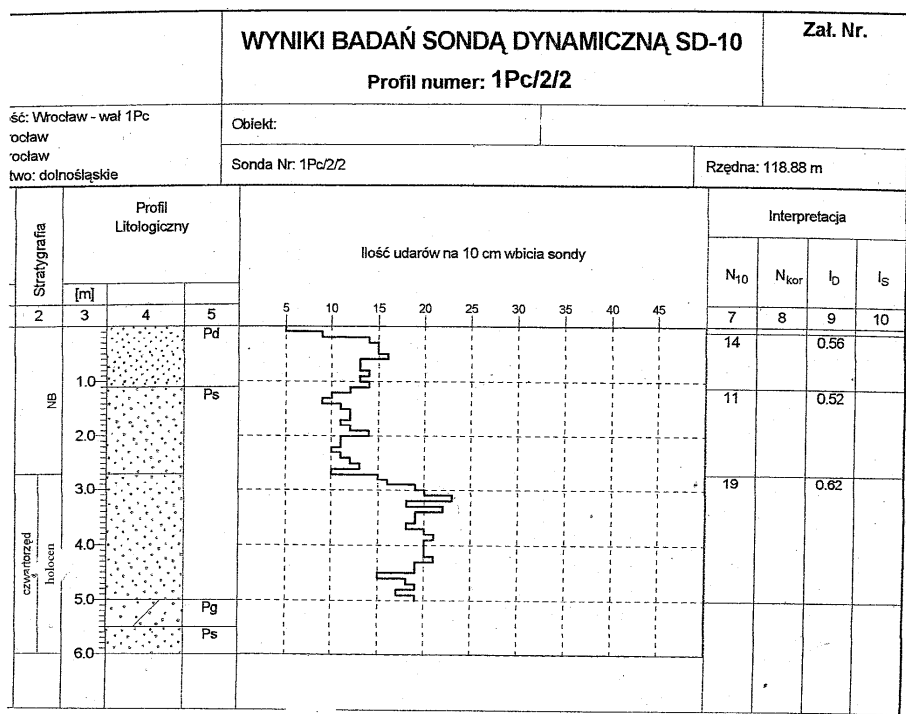
Istotną zaletą metody georadarowej jest jej rozdzielczość pozioma i pionowa. Prowadzenie pomiarów wzdłuż linii profilu, umożliwia określenie struktury badanego obszaru z orientacyjnym wskazaniem wszelkich jej zaburzeń na odpowiedniej głębokości i odległości. Natomiast wadą tej metody jest zmienna i silnie zależna od warunków geologicznych głębokość penetracji. Wiąże się to z koniecznością każdorazowego doboru ustawień radaru przed przystąpieniem do pomiarów do odpowiednich warunków pomiarowych.



**Rys.1** Schemat blokowy radaru GPR

### **Wyniki badań**

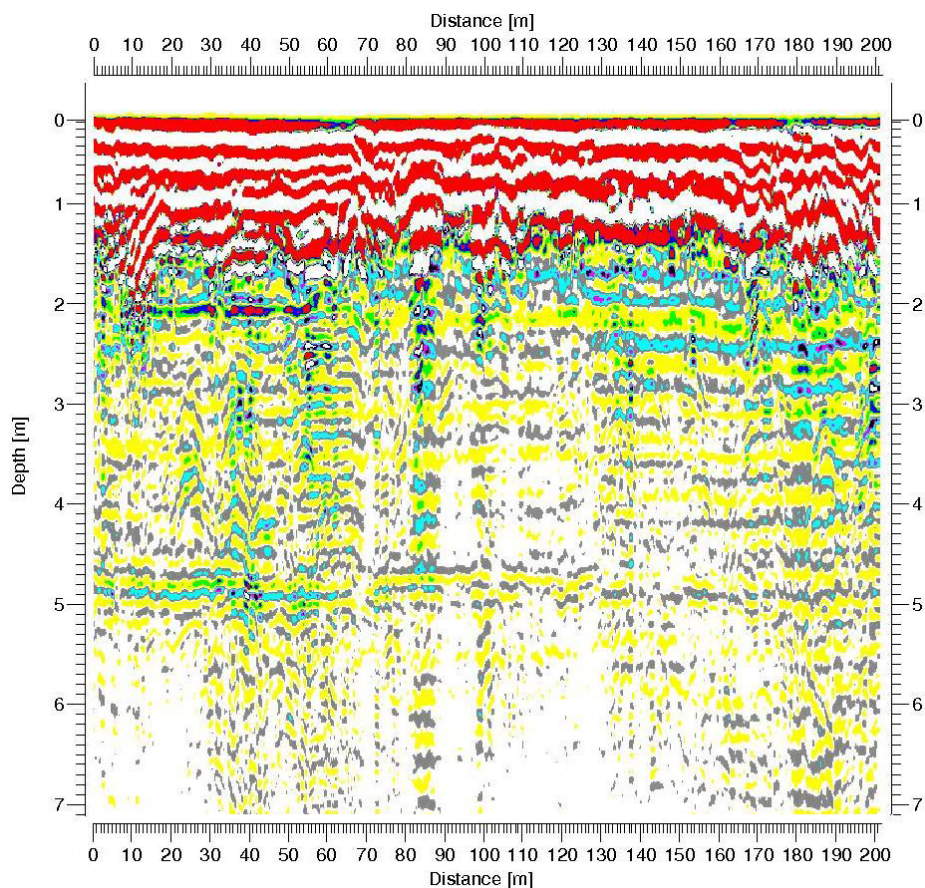
Na rys.2 przedstawiono wynik badania geologicznego (sondowania dynamicznego oraz analizy profilu geologicznego) przeprowadzonego na wale przeciwpowodziowym na rzece Odrze we Wrocławiu. Badanie to miało na celu określenie parametrów wału na podstawie wskaźnika oporu stawianego przez grunt przy wbijaniu metalowej sondy w jego strukturę. Parametrem sondowania dynamicznego jest liczba uderzeń młota sondy potrzebna na wprowadzenie końcówki stożkowej w grunt na głębokość 0,10 m. Badanie takie pozwala określić stopień zagęszczenia przypowierzchniowej warstwy wału ID .



Rys.2 Wynika badania geologicznego

Z analizy przeprowadzonego badania wynika iż do głębokości ok. 2 – 2,5 m potrzeba jest od 11 do 14 uderzeń na zagłębienie sondy na 10cm w wał. Odpowiada to współczynnikowi ID z przedziału 0,34 – 0,67, który oznacza średnie zagęszczenie gruntu. Na głębokości większej od 3m można zaobserwować większe zagęszczenie (19 uderzeń na 10cm) ale interpretując ID nadal należy uważać wał za średnio zagęszczony.

Na rys.3 przedstawiono wynik z profilowania 200 metrowego odcinka wału. Profilowanie wykonano radarem szwedzkiej firmy Måla Geoscience z anteną osłonową o częstotliwości roboczej 250 MHz (Mydlikowski et al., 2007). Sondowanie, wykonane klasyczną metodą geologiczną umiejscowione jest na 118m długości wału.



**Rys.3** Profilowanie georadarowe 200m odcinka wału przeciwpowodziowego

Analizując wynik profilowania georadarowego w okolicach 118m długości wału można porównać go z wynikami sondowania. Na tej długości wału widoczne są wyraźnie wierzchnie warstwy wału (czerwony kolor) o innej strukturze niż głębiej zalegające (niebieski, żółty, szary). Grubość tych warstw sięga do ok. 2m głębokości wału. Wyniki sondowania podają, że grubość tych warstw jest do ok. 2,8m głębokości. Ta niewielka różnica w otrzymanym profilu georadarowym wynika z przyjętej wartości zastępczej konduktancji określającej badany grunt. Ponieważ wartość tej konduktancji jest zależna od zawilgocenia gruntu, trudno dokonywać właściwego doboru jego wartości dla każdego warunków pomiarowych. Zakłada się pewne uśrednienie przy doborze wartości tego współczynnika co pozwala na uzyskiwanie wyników na zadowalającym poziomie.

Według badań sondowania poniżej 3m głębokości wału natrafiamy na stały grunt o większym stopniu zagęszczenia. Na profilu georadarowym wyraźnie też są widoczne głębsze warstwy wału, które można interpretować jako struktura wału o zwiększonym stopniu zagęszczenia. Struktura ta pozostaje praktycznie bez większych zmian aż do

maksymalnego zasięgu radaru w tych warunkach (ok. 7m). Interpretować należy to jako podstawę wału i grunt właściwy pod wałem.

Kolejnym porównaniem otrzymanych wyników jest interpretacja wyników na głębokości ok. 5m. Z analizy profilu litologicznego wynika, iż na tej głębokości pojawia się warstwa gliny. Na profilu georadarowym wyróżnić można na tej głębokości wyraźnie inną warstwę gruntu (na całej długości badanego odcinka wyraźna warstwa na głębokości ok. 5m). Znając wyniki sondowania możemy ją interpretować właśnie jako warstwę gliny na głębokości ok. 5m.

Przy odpowiedniej interpretacji wyników profilowania georadarowego można określić dosyć dokładnie strukturę wewnętrzną wału przeciwpowodziowego. Bezsprzeczną zaletą metody georadarowej jest jej bezinwazyjność oraz możliwość śledzenia struktury w sposób ciągły na całej długości wału. Takie śledzenie struktury pozwala na wskazanie miejsc szczególnie zagrożonych w wale. Miejsc, które niejednokrotnie mogą zostać przeoczone przy ocenie wzrokowej stanu wału. Znając wyniki sondowania można określić również na profilu georadarowym stopień zagęszczenia odpowiednich warstw wału. Stopień ten jest jednym z najistotniejszych parametrów opisujących stan wału przeciwpowodziowego.

W dalszych badaniach należałoby podjąć próby „wyskalowania” radaru by dokładniej można określać stopień zagęszczenia wału przeciwpowodziowego

### **Wnioski**

1. Badania klasycznymi metodami geologicznymi stanu wału przeciwpowodziowego jest dosyć pracochłonnym procesem. Uzyskuje się z tych metod jednak dość dokładny obraz struktury wału przeciwpowodziowego. Wykonanie odpowiedniej ilości odwiertów i ich laboratoryjna analiza, pozwala na interpolację wyników na całej długości wału.
2. Stosowanie oceny wzorkowej jako jedyne go wskaźnika do wyboru miejsc sondowania może być zawodne. Wykonywanie odwiertów w znacznej odległości od siebie i niekoniecznie w miejscach szczególnie zagrożonych może zaciemniać uzyskiwany z nich obraz.
3. Wykonywanie miejscowych odwiertów oraz badań sonda dynamiczną może miejscowo osłabiać strukturę wału przeciwpowodziowego. Badania takie nie powinny być wykonywane zbyt często i zbyt gęsto rozłożone na długości wału.
4. Stosowanie radaru GPR pozwala na liniowe i bezinwazyjne śledzenie struktury wału na całej jego długości.
5. Interpretacja profilowania georadarowego może wprowadzać niewielkie błędy związane z doбором wartości konduktancji badanego gruntu. Konduktancja ta silnie zależy od wilgotności badanego ośrodka i zawsze przed przystąpieniem do pomiarów, należy wykonać próbne profilowania radarem.
6. Przy odpowiedniej interpretacji wyników profilowania georadarowego można określić dosyć dokładnie strukturę wewnętrzną wału przeciwpowodziowego.
7. Celowym jest stosowanie radaru GPR do wstępnej oceny struktury wewnętrznej wału przeciwpowodziowego. Profilowanie takie pozwala w stosunkowo krótkim czasie na pełne zobrazowanie struktury wewnętrznej

wału. Na jej podstawie możliwe jest wytypowanie szczególnie zagrożonych miejsc. A także określenie stopnia zagęszczenia wału.

## **Literatura**

- [1] SZYNKIEWICZ, A. GPR Monitoring of Earthen Flood Banks/Levees. In *8 Int. Conference on Ground Penetrating Radar*. 2000, Vol. 4084, pp. 85-90.
- [2] FOREST, R. & UTSI, V. Non-Destructive Crack Depth Measurements with Ground Penetrating radar. In *10 International Conference on Ground Penetrating Radar*. 2004, Vol. II, pp. 799-802.
- [3] WATTERS, M.S. GPR: A Tool for Archaeological Management. In *10 International Conference on Ground Penetrating Radar*. 2004, Vol. II, pp. 811-816.
- [4] CHEN, B., HU, Z. & LI, W. Using Ground Penetrating Radar to Determine Water of Rehabilitated Coalmine Soils Treated by Different Methods. In *10 International Conference on Ground Penetrating Radar*. 2004, Vol. II, pp. 513-516.
- [5] *Ustawa o prawie wodnym z dnia 18 lipca 2001r.* (Dz.U.2001.115.1229).
- [6] MYDLIKOWSKI, R., BEZIUK, G. & SZYNKIEWICZ, A. Detection of Inhomogeneities in Structure of Flood Embankments by Means of D.C. Resistivity, GPR and Frequency Electromagnetic Method Measurements - Short Note. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Prague, 2007, Vol.4, no 4, pp. 83-88.
- [7] JOL, H. *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. University of Wisconsin, Eau Claire, USA, 2006.

## **Oponentní posudek vypracoval:**

**Ing. Jaromír Knejzlík, CSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava**