

**BADANIA STANU WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH PRZY UŻYCIU
RADARU GPR**

**RESEARCH OF CONDITION OF FLOOD BANKS USING GROUND
PENETRATING RADAR (GPR)**

Abstract

Flood banks are construction 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 flood banks. It means that proper conditions of flood banks have strategic meaning for protection of people lives and environment.

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.

Key words: ground penetration radar, flood bank

Wstęp

Ludzkość od zawsze wykorzystywała rzeki jako naturalne źródła wody pitnej, wody do celów gospodarczych oraz jako szlaki do przemieszczania się i transportu towarów. Osiedlanie się nad rzekami i budowa miast nad nimi była naturalną konsekwencją potrzeby bliskości źródeł wody. Jednakże bliskość rzeki czy też innego zbiornika wodnego oprócz wielu korzyści dla człowieka i jego gospodarki stwarza również spore zagrożenia. Wiosenne roztopy lub też obfite opady deszczu powodują podnoszenie się stanu wody w rzekach. Często konsekwencją wysokiego stanu wody jest wylanie rzeki z jej koryta i powstanie powodzi co pociąga za sobą straty społeczne i materialne. Naturalną ochroną przed wysokim stanem wód i ich skutkami jest zatem budowa wałów przeciwpowodziowych.

Pierwsze wały przeciwpowodziowe w Polsce zaczęto budować w 13 wieku. Szczególny rozwój tych budowli miał miejsce w 19 i 20 wieku. Wały były budowane z różnych materiałów (dostępnych w danym rejonie) oraz przy użyciu różnych technologii. Przez lata były one remontowane, zmieniano ich przebieg, często przeprowadzano przez nie infrastrukturę techniczną (rurociągi, kable, elementy betonowe, itp.). W wielu miejscach wałów przez lata zachodziły procesy gnilne resztek roślinności, małe ssaki ryły nory i korytarze, w wielu miejscach korona wałów wykorzystywana była jako droga dojazdowa. W konsekwencji tych wszystkich czynników istniejące obwałowanie rzek w Polsce jest w bardzo różnym stanie technicznym.

¹ Dr, Institute of Telecommunications, Teleinformatics and Acoustic, Wrocław University of Technology, Wyspiańskiego 27, Wrocław, Poland, remigiusz.mydlkowski@pwr.wroc.pl

² Dr, Institute of Geological Sciences, Wrocław University, pl. M.Borna 9, Wrocław, Poland, aszyn@ing.uni.wroc.pl

Służby zajmujące się wałami w Polsce zobligowane są do okresowego sprawdzania ich stanu technicznego. Według polskiej normy (Prawo wodne 2001) sprawdzenia takiego dokonuje się poprzez odwierty geologiczne i analizę uzyskanych próbek. Wybór umiejscowienia odwiertów dokonywany jest na podstawie oględzin zewnętrznego stanu technicznego wału. Wykonuje się co najmniej 3 odwierty na 1 km długości wału i po analizie próbek interpoluje się całą strukturę wału pomiędzy danymi pochodzącymi z odwiertów.

Prowadzenie badań technicznych metodą opisaną w normie, jest niejednokrotnie zawodne. Interpolacja wyników na tak znacznym odcinku wału, może wprowadzać pewne błędy w faktycznej ocenie stanu technicznego wału. Dla pełniejszej analizy, badania takie wspomagane powinny być wstępnymi badaniami elektromagnetycznymi. Badania elektromagnetyczne struktury z łatwością mogą wskazać miejsca w których struktura geologiczna wału jest zmieniona. Na tej podstawie wybór miejsc klasycznego sondowania może być znacznie ułatwiony. Bardzo przydatnym urządzeniem do wspomagania klasycznych metod pomiarowych może okazać się radar do penetracji gruntu (Forest, Watters, Chen 2004, Szynekiewicz 2000).

W artykule przedstawiono wyniki badań struktury wału przeciwpowodziowego radarem do penetracji gruntu GPR oraz klasyczną metodą oceny wzrokowej wału i analizy odwiertów geologicznych. Pomiarów dokonano w mieście Wrocław na wale przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Jagiellońskimi i Swojszyckim na lewym brzegu kanału powodziowego na całej jego długości. W artykule przedstawiono analizę wyników pomiarów na przykładowym 200 metrowym odcinku wału.

Badania struktury wału przeciwpowodziowego

Badania wału przeciwpowodziowego przeprowadzono we Wrocławiu na wale rzeki Odry. Pomiary wykonano na kanale przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Jagiellońskimi a Swojszyckim na lewym brzegu kanału (rys.1). Odcinek tego wału chroni przed powodzią dwa wrocławskie osiedla (Zalesie i Sępolno), które zamieszkuje około 30 tys. ludności.



Rys.1 Mapa z zaznaczonym odcinkiem badanego wału przeciwpowodziowego

Autorzy referatu przeprowadzili badania struktury wału przeciwpowodziowego radarem GPR szwedzkiej firmy Mala Geoscience z anteną osłonową o częstotliwości roboczej 250 MHz (Mydlikowski 2007). Wyniki tych pomiarów porównano z wynikami uzyskanymi klasycznymi metodami pomiarowymi. Ocenę stanu technicznego poprzez ocenę wzrokową i analizę laboratoryjną wykonanych odwiertów geologicznych, wykonały służby mające pod opieką wały we Wrocławiu i okolicy.

W artykule przedstawiono porównanie otrzymanych wyników metoda radarową z wynikami uzyskanymi z klasycznych metod geologicznych. Analizę pokazano dla przykładowego 200 metrowego odcinka wału usytuowanego pomiędzy 200 a 400 metrem długości wału licząc od strony mostów Jagiellońskich.

Wyniki badań odcinka wału klasyczną metodą geologiczną

Ocena stanu wału przeciwpowodziowego została przeprowadzona przez służby mające pod opieką wały we Wrocławiu i okolicy. Przeprowadzono wzrokową ocenę stanu technicznego wału na całej jego długości (2600 m), tabelaryczne zestawienie wyników pokazano na rys.2. Wykonano również 11 sondujących odwiertów geologicznych. Próbkę gruntu pobrane z odwiertów poddano analizie laboratoryjnej (rys.3). Na rysunkach 2 i 3, szarym kolorem, zaznaczono wyniki analizy wału pomiędzy 200 a 400 metrem jego długości. Na rysunku 4 przedstawiono końcowe wnioski z badań wału przeciwpowodziowego, typując zagrożone miejsca w budowie wału.

WAŁ		CZĘŚCI WAŁOWE I WBUĐOWANE W WAŁ		STRONA CIEKOWA (MIĘDZY WAŁAMI)		STRONA ODPOWIERZNA (ZAWAŁE)	
Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis
ODCINEK I Pc - Pierścieniowy kanału powodziowego II (2,20 – 4,89 km kanału powodziowego)							
0,00 – 0,40	Początek wału oparty o przyczółek mostu Jagiellońskiego. Wał wąski, wysoki. Korona porośnięta szpalernem drzew. Na koronie pojedyncze koleina po jednokładach. Ponadto korona zdeformowana, zapadnięta na znacznych odcinkach. Brak półki. Ubijki w zadarmieniu. Lokalnie w poprzek wału wydeptane „dzikie” ścieżki.	0,01	Zjazd gruntowy na stronę OW, zniszczony.	0,00 – 2,60	Międzywał wąskie szerokości 30 – 50m. Teren płaski porośnięty łąką. Lokalnie zakrzewiony z pojedynczymi młodymi drzewami. W końcowym odcinku na długości ok. 100m międzywał zaniedbane, gęsto zakrzewione, dużo samosiejek drzew.	0,00 – 2,60	Wzdłuż wału szpalery drzew, pomiędzy nimi ścieżka spacerowa, w początkowej części z nawierzchnią asfaltową, dalej gruntowa. W głębi zabudowania dzielnicy Zalesie, a na odcinku ok. 1,35 – 2,40 obiekty Stadionu Olimpijskiego. Przy stopie wału lokalnie bardzo gęste zakrzewienie, wchodzące miejscami na skarpę OP i koronę. Od km 2,40 do 2,60 plac zabaw dla dzieci, w głębi zabudowania dzielnicy Sępólno.
0,40 – 2,15	Korona szeroka, nierówna. Na koronie od strony OP szpalery dębów. Wydeptane przejścia w poprzek wału. Zamiast darni chwasty i pokrzywy. Lokalnie skarpy porośnięte krzewami. Na km 1,90 na krawędzi korony od strony OW murak betonowy (rodzaj tarasu) za nim na długości ok. 100m stare słupki betonowe.	0,10	Schody betonowe od strony OP, spękane. Przy schodach skarpa wydeptana, zniszczona.				
		0,19	Przejazd gruntowy, stan dobry.				
		0,30	Schody od strony OP betonowe, spękane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,38	Wylot rurociągu z rowem odprowadzającym do kanału powodziowego, betonowy, zasypany, niedrożny.				
		0,64	Schody od strony OP betonowe, spękane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,88	Schody od strony OP betonowe, spękane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,96	Zjazd gruntowy na stronę OP, rozjeżdżony.				
		0,98	Zjazd gruntowy na stronę OW, zarosnięty trawą.				
		1,15	Schody od strony OP betonowe, stan dobry.				
		1,36	Schody od strony OP betonowe, stan dobry.				
		1,83 – 1,84	Schody od strony OW betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,90	Schody od strony OW betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,91	Schody na stronę OW i OP, betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
2,15 – 2,60	Stan wału wyraźnie lepszy. Skarpy i korona porośnięte trawą. Środek korony wydeptany. Brak wyraźnych zniszczeń i deformacji.						
		1,92	Schody od strony OW betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,94	Schody od strony OW betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,28	Przejazd gruntowy, rozjeżdżony, z koleinami.				
		2,43	Schody od strony OP betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,51	Schody od strony OP betonowe, spękane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,56	Zjazd gruntowy na stronę OW, rozjeżdżony, z koleinami.				

Rys.2 Wyniki oceny wzrokowej wału przeciwpowodziowego

Wyniki badań odcinka wału metodą georadarową

Badania struktury wału przeciwpowodziowego przeprowadzono radarem RAMAC/GPR z anteną osłonową 250 MHz. Do sondowania struktury wybrano $T_i = 0,3$ m (trace interval) oraz $F = 4289$ MHz (sampling frequency). Badania przeprowadzono na całej długości wału. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy falogram przedstawiający strukturę 200 metrowego odcinka analizowanego wału.

WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH
Obiekt: Wały przeciwpowodziowe rzeki Odry

Jaczenie nr: 420000

Próbki dostarczone do badań w styczniu 2000 r.

Wrocław, dn. 13.01.2000 r.

p.	Odcinek nr	Głęb.	Wartość graniczna	Opis makroscopowy gruntu	Nazwa gruntu wg analizy	Gęstość właściwa	Gęstość objętościowa (*)	Gęstość objętościowa arkusza gruntu	Porowalność	Stożek plastyczny	Wskaznik plastyczny	Włóknistość	KONSYSTENCJA	ANALIZA GRANULOMETRYCZNA																							
														Analiza atomowa												Analiza sitowa											
														Zawartość ziaren w mm												Zawartość frakcji po przesiewaniu											
														Zawartość ziaren w mm												Zawartość frakcji po przesiewaniu											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29									
1	1Pc/1/2	1,00	NP1a	Plaśki pylasty, dom. zwir, gr. gliny żółta, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,64	1,57	40,38	-	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	13	47	29	10	-	-	-									
2	1Pc/2/2	0,80	NP1	Plaśki drobny, dom. zwir, gr. gliny szaro-błkit, mm, CaCO ₃ <1%	Pd	2,65	1,72	1,66	37,35	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	13	74	9	-	-	-									
3	1Pc/2/2	2,40	III1	Plaśki średni, dom. zwir, szaro-brązowy, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,66	1,61	38,83	-	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	23	51	17	8	-	-	-									
4	1Pc/3/3	3,50	III1	Pospółka, żółtozłota, mm, CaCO ₃ <1%	Po	2,64	2,05	1,78	32,99	-	-	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	24	29	36	9	2	-	-	-									
5	1Pc/4/1	1,50	NC2	Głina (głęboka) zwałowa z czepianymi organicznymi, dom. zwir, szaroczerwona, mm, 1x1, tpi, CaCO ₃ <1%	Gt	2,69	1,78	1,58	-	-	-	12,7	-	-	2	33	43	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
6	1Pc/4/3	2,40	II2	Plaśki średni, dom. zwir, żółtozłota, w, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,71	1,61	39,07	-	-	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	4	35	53	7	1	-	-	-									
7	1Pc/5/1	3,50	III	Plaśki średni, dom. zwir, żółta, w, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,62	1,58	40,31	-	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18	53	25	3	-	-	-									
8	1Pc/5/2	1,40	NG1	Plaśki gładki + zwir, sz. obojętne, mm, CaCO ₃ <1%	Pg	2,63	1,59	1,50	43,13	-	-	6,3	-	-	-	1	88	8	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
9	1Pc/5/3	2,00	II2	Plaśki średni, dom. zwir, żółta, w, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,65	1,58	40,19	-	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	31	55	10	1	-	-	-									
10	1Pc/7/1	3,50	III	Plaśki średni, dom. zwir, żółtozłota, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,69	1,64	37,79	-	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	3	27	51	14	5	-	-	-									
11	1Pc/8/3	2,30	II2	Plaśki grubo sz. zwir, żółtozłota, w, CaCO ₃ <1%	Psz	2,64	1,78	1,68	36,45	-	-	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-	8	43	36	9	4	-	-	-									
12	1Pc/9/2	1,50	NP1a	Plaśki średni, gr. gliny szaro-błkit, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,65	1,69	1,62	38,74	-	-	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0	3	48	41	8	-	-	-									
13	1Pc/9/2	5,50	III1	Pospółka, żółtozłota, w, CaCO ₃ <1%	Po	2,65	1,83	1,73	34,67	-	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	14	24	39	17	6	-	-	-									
14	1Pc/11/1	3,50	II2	Plaśki średni, dom. zwir, żółta, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,64	1,61	1,58	40,03	-	-	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	20	50	25	4	-	-	-									
15	1Pc/11/2	1,50	NP1	Plaśki średni, dom. zwir, gr. gliny szaro-błkit, mm, CaCO ₃ <1%	Ps	2,66	1,67	1,63	38,57	-	-	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	5	33	37	16	9	-	-	-									

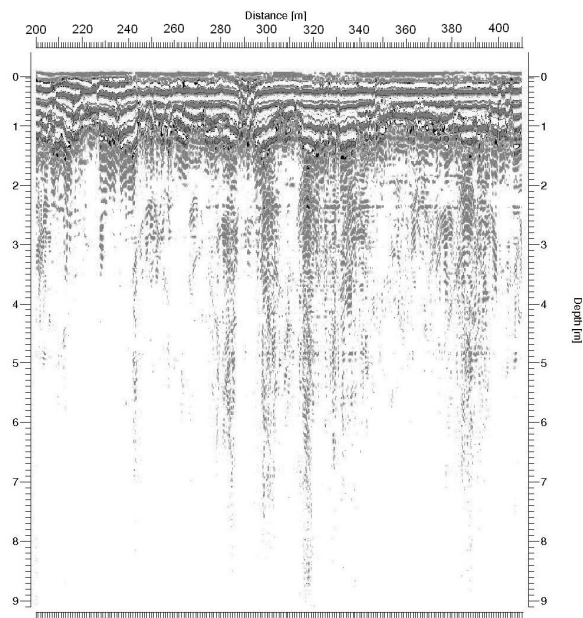
* - gęstość objętościowa określona dla gruntu w stanie średnio zagęszczonym

Rys.3 Wyniki badań laboratoryjnych próbek z odwiertów w wale przeciwpowodziowym

ZESTAWIENIE ZBIORCZE ZAGROŻEŃ - WAL 1Pc - Pierścieniowy kanału powodziowego II

LOKALIZACJA		CHARAKTERYSTYKA GEOMETRII WALU					OCENA ZAGROŻEŃ							STOPIEŃ ZAGRO- ZENIA	Sufozja wał / podłoże
Oznaczenie odcinka klasa wału	Nr przekroju poprzecz- nego	Skarpa odwodna		Korona	Skarpa odpowietrzna		S - szczelność spłuska	zagrożenia filtracyjne				przebieg hydrauliczny			
		wysokość	nachylenie	szerokość	wysokość	nachylenie		przekroczenie h ₁ w nasypie	przekroczenie h ₂ w podłożu	kategoria	wynikowa	kategoria			
		h ₁	generalne 1: m ₁	b	h ₂	generalne 1: m ₂									
		m	-	m	m	-	kategoria/ F ₀ skł min.	podkate- goria	podkate- goria	podkate- goria	-	-	-	-	
WAL IPc	1	3,2	3,2	4,0	0,9	3,9	1' / 2,5	a	a	b	B	-	I	a/c	
	2	3,7	3,0	3,9	1,0	3,0	C / 1,176 sk. dwodna	c	a	a	A	-	III	a/c	
	3	3,4	3,0	4,9	1,0	2,9	A 2,532 sk. odpow.	-	-	-	-	-	-	-	
	4	3,5	3,0	4,7	1,0	3,0	A 1,9	c	a	a	A	-	I	a/c	
	5	3,7	3,0	5,0	1,0	3,0	C / 1,5 sk. dwodna	c	a	a	A	-	III	a/c	
	6	3,5	3,1	4,7	1,0	3,0	B 1,657 sk. dwodna	b	a	b	B	-	II	a/c	
	7	3,5	3,1	4,7	1,0	3,0	A 3,0 sk. odpow.	-	-	-	-	-	-	-	
	8	3,4	3,3	3,7	0,8	3,2	A 2,2	a	a	a	A	A	I	a/a	
	9	3,6	3,3	4,0	0,9	3,3	A 2,5	b	a	b	B	A	I	a/a	
	10	3,9	3,2	3,2	1,0	4,0	A 3,0	b	a	a	A	-	I	a/a	
	11	3,9	3,2	3,8	1,0	3,6	B 1,7	b	a	b	B	A	II	a/a	
Kl. I	12	3,9	3,2	3,2	1,0	4,0	A 1,9	b	a	b	B	A	I	a/a	
	13	3,9	3,2	3,8	1,0	3,6	C / 1,288 sk. dwodna	c	a	a	A	-	III	a/c	
	14	3,9	3,2	3,8	1,0	3,6	A 3,5 sk. odpow.	-	-	-	-	-	-	-	

Rys.4 Zestawienie zbiorcze zagrożeń wale; a, b, c – kategorie zagrożeń filtracyjnych (a – max); I, II, III – stopień zagrożenia przerwaniami wale (I – max)



Rys.5 Wyniki pomiarów struktury wału przeciwpowodziowego radarem GPR

Porównanie wyników badań odcinka wału przeciwpowodziowego

Wzrokowa ocena stanu wału przeciwpowodziowego, na odcinku między 200 a 400 metrem jego długości, wskazuje na 300 metrze zniszczone schody i na 380 nieczynny rurociąg. Laboratoryjna analiza próbek gruntu pobranych z odwiertu na 350 m (1Pc/2/2) zawiera informację o składzie gruntu w tym miejscu. W większości wykonanych odwiertów widać, że wał zbudowany jest z różnej grubości piasku z domieszką żwiru.

Wyniki uzyskane z radaru GPR wskazują na pewną niejednorodność w strukturze falogramu

w okolicy 300 m wału (schody betonowe). Podobnie w okolicy 380 m widać sporą niejednorodność w strukturze wału spowodowaną istnieniem wale nieczynnego rurociągu. Jest zatem zgodność wyników uzyskanych z metody radarowej ze wzrokową oceną stanu wały. Metoda radarowa wskazuje jednak jeszcze kilka miejsc, niezauważalnych na powierzchni wału, o zmienionej strukturze wewnętrznej. Zaburzenia takie występują w okolicach 220 i 250 metra długości wału.

Ocena stanu technicznego wału klasycznymi metodami, tj. ocena wzrokowa, wybór miejsc sondowania, analiza laboratoryjna pobranych próbek gruntu, zajęła co najmniej kilka dni. Profilowanie falą elektromagnetyczną niespełna 2 godziny. Przy użyciu radaru do penetracji gruntu możliwe jest bezinwazyjne i liniowe śledzenie struktury wału na całej jego długości. Metoda ta jednak nie daje wprost odpowiedzi jaka jest mikroskopijna struktura wału i jaka jest wilgotność poszczególnych jego warstw. Pozwala jednak wskazać, w stosunkowo krótkim czasie, miejsca o zmienionej strukturze wewnętrznej wału. Wytypowanie takich miejsc może pozwolić na dokładniejszą ich analizę, czyli ocenę wzrokową, ewentualne odwierty geologiczne i

analizę laboratoryjną uzyskanych próbek. Celowe jest zatem stosowanie metody georadarowej do wstępnej oceny stanu technicznego wału przeciwpowodziowego i przy jej pomocy wskazywania zagrożonych miejsc wale do dalszej analizy.

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 punktowo osłabia strukturę wału przeciwpowodziowego

4) Stosowanie radaru GPR pozwala na liniowe i bezinwazyjne śledzenie struktury wału na całej jego długości. Stosowanie tej metody nie daje jednakże dokładnych informacji na temat składu poszczególnych warstw wału ani ich wilgotności, itp..

5) Celowe jest stosowanie metody georadarowej do wstępnej oceny struktury wału przeciwpowodziowego. Wykonanie pomiarów w stosunkowo krótkim czasie pozwala na wskazanie miejsc w których struktura wału jest zmieniona. Wskazane miejsca mogą być pomocne przy wyborze miejsc sondowań klasyczną metodą pomiarową.

Literatura

- [1] Szyrkiewicz A.: GPR monitoring of earthen flood banks/levees. 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. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.799-802.
- [3] Watters M.S.: GPR: A tool for archaeological management. 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. 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., Szyrkiewicz 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, 2007, Vol.4, no 4, pp.83-88.

