

Inżyniersko-geologiczne i geotechniczne badania wałów przeciwpowodziowych województwa lubuskiego jako metoda oceny stanu wałów

Urszula Kołodziejczyk*

Powódź 1997 r. oraz późniejsze badania wałów przeciwpowodziowych wykazały zły stan tych obiektów, zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Kompleksowe badania inżyniersko-geologiczne i geotechniczne wałów województwa lubuskiego, zlokalizowanych wzdłuż 409,00–614,20 km biegu rzeki, wykazały znaczne różnice pod względem ich składu, struktury i stanu. Większość wałów należy poddać remontowi lub modernizacji, a tylko niewielkie fragmenty można uznać za obiekty wymagające jedynie konserwacji.

Słowa kluczowe: powódź, wały przeciwpowodziowe, badania inżyniersko-geologiczne i geotechniczne wałów

Urszula Kołodziejczyk — **Engineering-geological and geotechnical investigations of river flood embankments in the Lubuskie province (western Poland) as a method for assessment of embankment conditions.** Prz. Geol., 49: 607–612.

S u m m a r y. The 1997 flood in the Odra basin and consecutive investigations of flood-embankments showed poor quantitative and qualitative state of these objects. The complex engineering-geological and geotechnical investigations of the Lubuskie province embankments, located at a river interval of 409.0–614.2 km, showed considerable differences in their content, state and structure. Most of these embankments need to be rebuild or modernized, and only small fragments should be conserved.

Key words: flood, flood embankments, engineering-geological and geotechnical investigations, Lubuskie province

Budowa, renowacja i rekultywacja wałów przeciwpowodziowych jest uwarunkowana budową geologiczną ich podłoża, ustrojem rzeki i warunkami meteorologiczno-hydrologicznymi dorzecza. Dlatego też przystępując do inżyniersko-geologicznych i geotechnicznych badań wałów przeciwpowodziowych zlokalizowanych w obrębie województwa lubuskiego, konieczne jest scharakteryzowanie warunków meteorologiczno-hydrologicznych tego rejonu oraz ustroju środkowej Odry.

Dorzecze Odry zajmuje powierzchnię 119 149,0 km², w tym: 106 159 km² znajduje się w Polsce, a pozostałe 12 990 km² — na obszarze Niemiec i Czech. Odra jest drugą pod względem wielkości rzeką Polski. Jej całkowita długość wynosi 854,4 km, a znacząca większość, bo 742,0 km płynie w obrębie naszego kraju (ryc. 1). W granicach województwa lubuskiego Odra płynie od Bytomia Odrzańskiego po Kostrzyn.

Odra w poszczególnych odcinkach jest rzeką swobodnie płynącą lub skanalizowaną. Systemem swobodnym płynie od źródeł do Kędzierzyna-Koźla oraz od Brzegu Dolnego aż do ujścia do Zatoki Pomorskiej. Na tych odcinkach rzeka wykorzystuje naturalne koryto, w którym — w ramach zagospodarowania Odry — wykonano jedynie zwykłe prace hydrotechniczne, w tym: budowę wałów przeciwpowodziowych, umacnianie brzegów i pogłębianie dna. System skanalizowany dotyczy odcinka o długości 186,0 km, znajdującego się pomiędzy Kędzierzynom-Koźle i Brzegiem Dolnym, gdzie Odra została dodatkowo wyposażona w 24 stopnie wodne, pokonujące spad 64 m. Funkcjonuje tutaj unikatowy zespół hydrotechniczny zwany Wrocławskim Węzłem Wodnym, służący m.in. żegludze, hydrotechnice i ochronie przeciwpowodziowej.

W dorzeczu Odry znajduje się 16 dużych zbiorników retencyjnych o znaczeniu energetycznym, przeciwpowodziowym i komunalnym. Największymi zbiornikami są: Otmuchów o pojemności 124,5 mln m³ oraz Nysa — o pojemności 116,8 mln m³. W *Programie dla Odry-2006*

przewiduje się budowę nowych zbiorników: Racibórz Dolny o pojemności 170,0 mln m³ i Kamieniec-Pilce o pojemności 68,0 mln m³, a także zwiększenie rezerwy w istniejących zbiornikach: Otmuchów o 25 mln m³ i Nysa — o 30,0 mln m³. W województwie lubuskim nie planuje się budowy zbiorników retencyjnych. Zakłada się natomiast utrzymanie istniejących polderów: Kielcz-Tarnów Bycki o pojemności ok. 15,0 mln m³, Połupin o pojemności 70, 0 mln m³ i Krzesin-Bytomiec o pojemności 20,0 mln m³ oraz budowę trzech nowych obiektów: polderu Urad o pojemności 30,0 mln m³, polderu Słubice-Górzycza o pojemności 60,0 mln m³ i polderu Ługi Górzycskie o pojemności 30,4 mln m³.

Odra ma ogromne znaczenie gospodarcze:

□ przepływa przez nią 1,67 mln m³ wód powierzchniowych, pochodzących z jej dorzecza,

□ jest ważną drogą wodną; na odcinku 742 km (razem z Kanałem Gliwickim) reprezentuje najlepszy w Polsce szlak wodny),



Ryc. 1. Lokalizacja badań
Fig. 1. Location of investigations

*Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Zielonogórska, ul. Podgórna 50, 65-516 Zielona Góra; u.kolodziej@iis.pz.zgora.pl

□ dorzecze Odry jest źródłem energii; funkcjonuje tutaj 46 elektrowni o rocznej produkcji 380 000 MWh, w rejonie lubuskim działa obecnie Zespół Elektrowni Wodnych Dychów, który obejmuje m.in. elektrownie: „Dychów”, „Gorzupia”, „Żagań I”, „Żagań II” i „Małomice”. Elektrownia szczytowo-pompowa „Dychów” ma największą moc (79,5 MWh) spośród wszystkich obiektów w dorzeczu Odry,

□ obszar dorzecza stanowi doskonały korytarz ekologiczny, bogaty w liczne gatunki flory i fauny. Utworzono w nim 3 parki narodowe, 143 rezerваты, 22 parki krajobrazowe oraz 34 obszary chronionego krajobrazu, w związku z tym ok. 10% dorzecza zalicza się do obszarów chronionych. Projektowane jest utworzenie dalszych 38 obszarów chronionych. W województwie lubuskim zostaną utworzone następujące obiekty: Park Krajobrazowy Bytom Odrzański–Stany, Park Krajobrazowy Cigacice–Krosno, Park Krajobrazowy Dolina Pliszki, Park Krajobrazowy Dolina Ilanki, rezerwat Owczary, rezerwat ścisły w okolicy Porzecha, użytek ekologiczny w rejonie Górzycy oraz zespół przyrodniczo-krajobrazowy „Zalewowa Dolina Odry” w okolicy Ślubic. Planuje się również powiększenie istniejących rezerwatów w okolicach Pamięcina oraz Słońska.

□ Odra i jej dorzecze ma również walory turystyczno-rekreacyjne.

Odra dzielona jest na: górną, środkową oraz dolną (Kolago i in., 1972). W podziale administracyjnym Polski środkowa Odra jest związana niemal w całości z województwem lubuskim. Płynąc przez ten region zachowuje charakter rzeki nizinnej, związanej z umiarkowanymi warunkami klimatycznymi. Z pomiarów przeprowadzonych w ciągu ostatniego 30-lecia w stacjach meteorologicznych Środkowego Nadodrza wynika, że średnia roczna temperatura powietrza wynosi tutaj 9,5–9,9 °C, a najwyższa średnia temperatura (18°C) jest osiągnięta w lipcu. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych waha się w przedziale 616–663 mm, przy czym najwyższe opady występują w miesiącach letnich (lipiec–sierpień) i wynoszą 63,0–68,0 mm. Największe objętości przepływu w środkowej Odrze (wodowskaz Nowa Sól) zaznaczają się w marcu (średnio 200–350 m³/s) i czerwcu (400–600 m³/s). Stan wody, poza okresami wód wysokich i powodzi, utrzymuje się w stanie wody niskiej i średniej, wykazując kulminacje głównie podczas wiosennych roztopów.

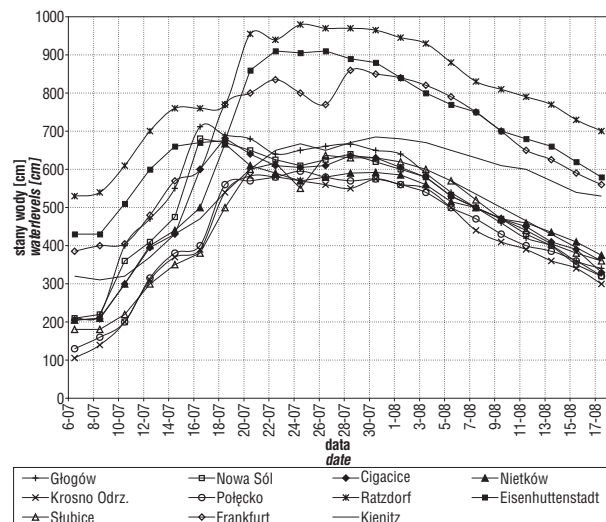
Woda w Odrze potrafi być żywiołem. Z badań historycznych (Dubicki i in., 1999) wynika, że powódzie na Odrze występowały wielokrotnie, m.in. w latach: 1813, 1854, 1902, 1903, 1930. Jednak największa powódź miała miejsce w lipcu 1997 r., kiedy to w górnym i środkowym odcinku rzeka przekroczyła wszystkie dotychczasowe maksima o 20–284 cm (Ozga-Zielińska, 1998). Przyczyną tej powodzi były intensywne i długotrwałe opady, jakie wystąpiły na początku lipca w dorzeczu górnej Odry (Łysa Hora w Czechach), gdzie np. 6 lipca spadło 234 mm opadu, a stosunek sumy opadów do średniej sumy lipca z 30-lecia (1961–1990) przekraczał nawet 250%. Gwałtowne wezbranie wód w dopływach uformowało tzw. pierwszą falę powodziową, która z biegiem rzeki ulegała dalszej rozbudowie, zalewając kolejne miejscowości. Fala ta przepływała przez środkową Odrę od 16 lipca (Głogów) do 22 lipca (Ślubice) — ryc. 2.

Kolejna fala opadów, jak miała miejsce w dorzeczu górnej Odry w dniach 17–21 lipca 1997 r., spowodowała ponowny przybór wód i utworzenie drugiej fali powodziowej, zaznaczającej się 28 lipca w Głogowie, a 30 lipca — w Połęczku. W dalszym biegu Odry nastąpiło nałożenie się obydwu fal powodziowych, co dało w sumie falę o znacznej długości (150–200 km) i niespotykanej objętości.

Podczas letniej powodzi 1997 r. stan wody na środkowej Odrze przewyższał dotychczasowe absolutne maksima: w Głogowie o 39 cm, Nowej Soli o 22 cm, w Cigacicach i Nietkowie o 33 cm, w Połęczku o 39 cm, a w Ślubicach o 3 cm. Można przyjąć, że na całej Odrze stany wody w niewielkim stopniu odbiegały od stanów kulminacyjnych. Specyfiką powodzi na Środkowym Nadodrzu był łagodny przyrost i spadek wód powodziowych, płynących z niewielką prędkością (poniżej 2m/s). Wpłynęło to na długi czas wezbrania, który wynosił tutaj 42 dni. Wystąpiło również podpiętrzenie wód gruntowych odprowadzanych do Odry. Na Środkowym Nadodrzu najwyższe stany wód podziemnych zaobserwowano przy ujściu Bobru, gdzie średnia z wielolecia 1951–1996 dla lipca została przekroczona o 17–41 cm.

Wałce z powodziami zawsze służyły wały przeciwpowodziowe. Pierwsze umocnienia na Odrze pojawiły się w XIV w., ale największe prace obwałowujące rzekę wykonano w XVI–XVIII w. Na Środkowym Nadodrzu wały przeciwpowodziowe zostały uformowane głównie w latach 1750–1790. Przez niemal sto lat miały one zaledwie 0–10 stóp szerokości w koronie. Dopiero po powodzi w 1854 r. zostały wzmocnione ławką o szerokości 3,0–4,0 m, którą dobudowano ok. 1,5 m poniżej korony. Kolejne powódzie w 1897 r. i 1903 r. wymusiły nowe inwestycje. Wykonane wówczas zabezpieczenia skutecznie ochroniły rejon przed następną powodzią, jaka miała miejsce w 1930 r., mimo, że nie była ona mniejsza od poprzednich. W okresie powojennym modernizacja wałów przeciwpowodziowych przebiegała w niewielkim zakresie; na Środkowym Nadodrzu zmodernizowano wówczas tylko ok. 5 km wałów. Pozostałe wały nadal w 35% nie spełniały wymogów normatywnych, zarówno pod względem wyniesienia korony wałów ponad lustro wody 100-letniej, jak i szerokości międzywał.

Kolejne powódzie, a szczególnie długotrwała powódź w 1997 r., spowodowały znaczne osłabienie obwałowań. Poprzez rozmiękczenie i wymywanie cząstek gruntu, przenikanie wody przez wał, wypieranie materiału nasyconego wodą, a także zwykłą erozję boczną, została naruszona stabilność i szczelność korpusu wałów oraz podłoża. Wody powodziowe uszkodziły istniejące zabezpieczenia tworząc w wałach przeciwpowodziowych Środkowego Nadodrza 40 wyrw (Warcholak, 2000). W osiemnastu przypadkach powstały one w wałach o koronie przewyższającej wody



Ryc. 2. Stany wody na środkowej Odrze podczas powodzi w 1997 r.

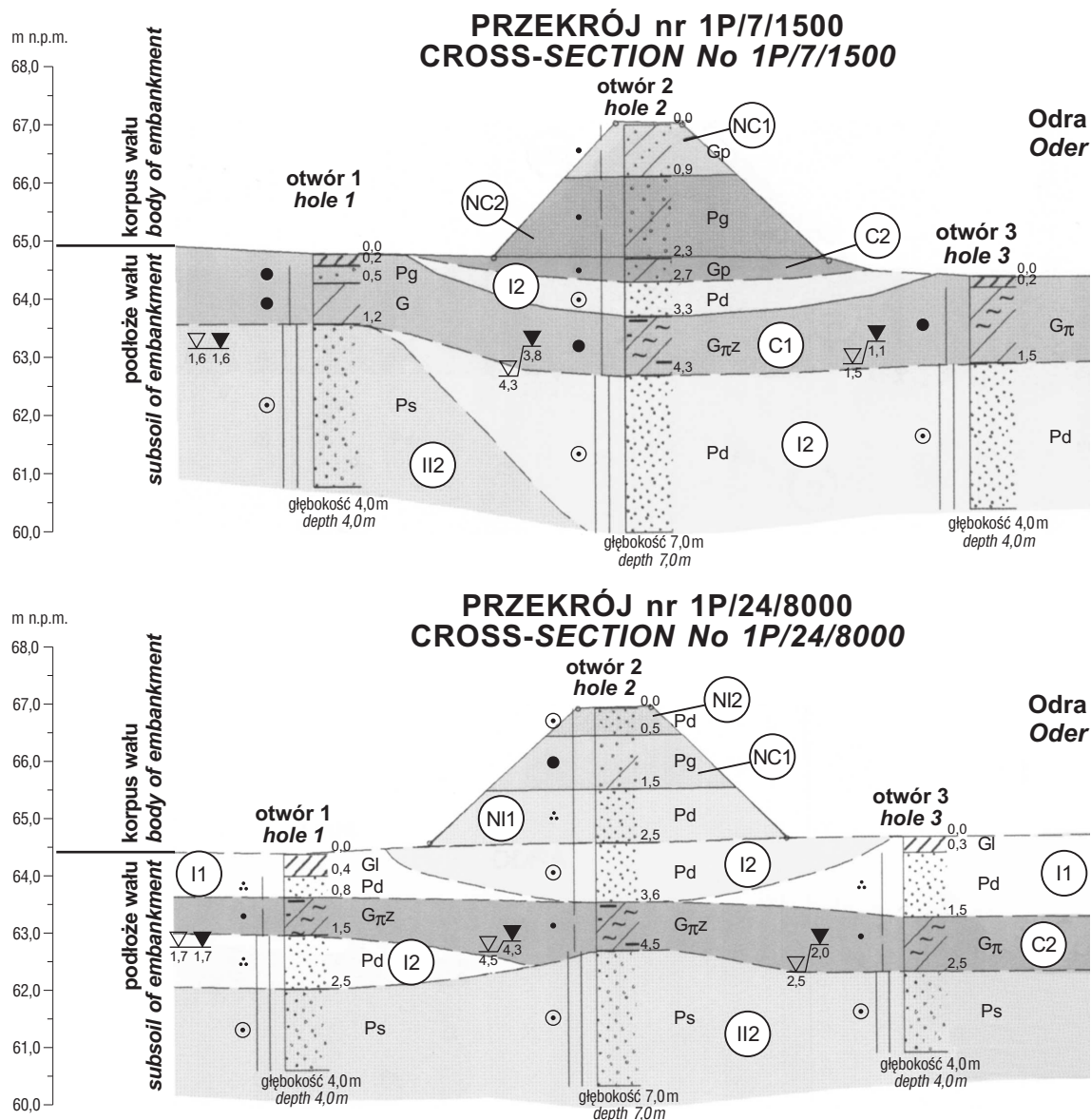
Fig. 2. Water levels in the middle part of the Odra-riever during the 1997 flood

100-letnie, co było wynikiem dodatkowego podpiętrzania wód powodziowych przez roślinność zarastającą między-wale (Immendorf, 1999).

Badania geologiczno-inżynierskie i geotechniczne stanu wałów przeciwpowodziowych i ich podłoża

Po analizie skutków powodzi i doraźnym usunięciu uszkodzeń przystąpiono do kompleksowych badań geologicznych wałów przeciwpowodziowych. Badania takie zostały przeprowadzone w latach 1998–2000 (Pilecki i in.,

1998; Zarębski i in., 1999; Reszka i in., 2000) wzdłuż całego województwa lubuskiego (ryc. 1), od Bytomia Odrzańskiego do Kostrzyna. Objęły one wiele odcinków wałów o łącznej długości 240,5 km, zlokalizowanych wzdłuż fragmentu Odry środkowej, od 409,0 do 614,2 km biegu rzeki. Były to badania nieinwazyjne, na które składały się: kartowanie geologiczne, bioindykacja, badania geofizyczne (profilowanie elektrooporowe), wiercenia ręczne, sondowanie sondą lekką SL, badania makroskopowe oraz badania laboratoryjne.



Ryc. 3. Poprzeczne przekroje inżyniersko-geologiczne przez wał przeciwpowodziowy i jego podłoża (lokalizacja na ryc. 4). 1P/7/1500 — nr odcinka wałów/ nr przekroju poprzecznego/ metraż odcinka wału. Korpus wałów — grunty nasypowe: NC1 — glina piaszczysta (G_p) i piasek gliniasty (P_g) w stanie plastycznym [$I_L=0,35$], NC2 — piasek gliniasty (P_g) w stanie twardoplastycznym [$I_L=0,20$], NI1 — piaski drobne (P_d) średnio zagęszczone i luźne [$I_D=0,30$], NI2 — piaski drobne (P_d) średnio zagęszczone [$I_D=0,45$]. Podłoża wałów — grunty rodzime: I1 — piaski drobne (P_d) luźne [$I_D=0,30$], I2 — piaski drobne (P_d) średnio zagęszczone [$I_D=0,50$], II2 — piaski średnie (P_s) średnio zagęszczone [$I_D=0,50$], C1 — glina pylasta zwięzła ($G_{\pi z}$) w stanie plastycznym [$I_L=0,45$], C2 — glina pylasta (G_{π}) na pograniczu stanu plastycznego i twardoplastycznego [$I_L=0,25$]

Fig. 3. Transverse engineering-geological cross-sections through the flood-banks and their bedrock (for location see Fig. 4). 1P/25 — No. of bank section/No. of transverse section/distance of section in meters. Body of embankment — made grounds; NC1 — sandy clay (G_p) and clayey sand (P_g) in plastic state [$I_L=0.35$], NC2 — clayey sand (P_g) in hard-plastic state [$I_L=0.20$], NI1 — sands fine (P_d) middle-dense and loose [$I_D=0.30$], NI2 — sands fine (P_d) middle-dense [$I_D=0.45$]. Bedrock of embankment — native grounds: I1 — sands fine (P_d) loose [$I_D=0.30$], I2 — sands fine (P_d) middle-dense [$I_D=0.50$], II2 — sands middle (P_s) middle-dense [$I_D=0.50$], C1 — concise silty clay ($G_{\pi z}$) in plastic state [$I_L=0.45$], C2 — silty clay (G_{π}) at plastic/hard-plastic state boundary [$I_L=0.25$]

Wiercenia i sondowania przeprowadzono w przekrojach poprzecznych, których lokalizację typowano na podstawie badań bioindykacyjnych i geofizycznych. Otwory badawcze zostały wykonane od strony odpowietrznej, w koronie wału i od strony odwodnej. W lubuskim odcinku Odry zinterpretowano budowę geologiczną wałów przeciwpowodziowych w ok. 600 przekrojach poprzecznych, po wykonaniu blisko 2000 otworów badawczych. Wybrane losowo przekroje zaprezentowano na ryc. 3.

Z kompleksowej analizy wyników badań wałów przeciwpowodziowych Odry zlokalizowanych w obrębie całego województwa lubuskiego wynika, że zarówno w podłożu wałów (tab. 1), jak w ich korpusie (tab. 2) występuje duże zróżnicowanie osadów pod względem uziarnienia oraz oznaczonych parametrów.

Podłoże wałów stanowi holoceniński taras zalewowy, w którym wydzielono dwie serie:

— piaszczystą (warstwy I 1, I 2, II 1, II 2 oraz II 3), zbudowaną z piasków średnich (P_s), drobnych (P_d) i pylastych (P_π), a miejscami grubych (P_r), pospółki (P_o) oraz żwirów (\dot{Z}), słabo lub średnio zagęszczonych. Wytrzymałość osadów sypkich znacznie obniża ich zapylenie i wysoki stan wód gruntowych.

— madową (warstwy C 0, C 1, C 2, C 3, C 4), utworzoną głównie przez piaski gliniaste (P_g), namuły (N_{mg}), gliny (G), gliny piaszczyste (G_p), gliny pylaste (G_π), ily (I) i ily pylaste (I_π), w stanie plastycznym lub twaroplastycznym, zawierające znaczne ilości części organicznych (niekiedy ponad 5%). Osady te charakteryzują się dużą porowatością i wrażliwością na uplastycznienie pod wpływem wody (Kołodziejczyk, 1999).

Korpus wałów budują:

— grunty nasypowe sypkie, zawierające domieszki gruntów spoistych, reprezentowane przez różnego rodzaju piaski (P_d , P_s , P_r , P_o , P_π , P_g) w stanie luźnym (warstwy NI 1, NII 1) i średnio zagęszczonym (warstwy NI 2, NII 2, NII 3),

— grunty nasypowe spoiste, zawierające głównie osady madowe, wykształcone w postaci glin, glin piaszczystych i pylastych (G, G_z , G_{pz} , G_p , G_π , $G_{\pi z}$), ilów (I, I_p , I_π) oraz piasków gliniastych (P_g), w stanie plastycznym (warstwy NC 1, NC 2) i twaroplastycznym (warstwy NC 3, NC 4).

Przeprowadzone badania wykazują, że stan wałów przeciwpowodziowych jest w znacznym stopniu determinowany stanem podłoża, gdzie często zalegają osady madowe, bogate w substancję organiczną, a niekiedy torfy. Utwory te z biegiem lat ulegają rozkładowi, prowadząc do powstawania pustek powietrznych oraz zmian w strukturze gruntu i jego wytrzymałości (Kowalski, 1988). Doliny rzeczne, stanowiące podłoże wałów, charakteryzują się dużym zróżnicowaniem budowy geologicznej, co sprzyja procesom sufozji, drenażu, przebieg hydraulicznych, itp. (Wittmann, 1980). Posadowienie wałów przeciwpowodziowych na słabym podłożu spowodowało, że podczas długotrwałych wezbrań filtracja przyjęła charakter ustalony, a w wałach wystąpiły liczne przesiąki i wyrwy.

Wały przeciwpowodziowe zostały zbudowane z materiału zróżnicowanego pod względem uziarnienia oraz stanu zagęszczenia (Kołodziejczyk, 2000). Materiał był dostarczany z najbliższego otoczenia, a formowanie wałów zachodziło najczęściej w sposób całkiem przypadkowy. Efektem tego jest zróżnicowanie parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów. Zjawisko to spotęgował czas. Kolejne powodzie, niewłaściwe użytkowanie wałów, jak np. rozjeżdżanie ich przez samochody, a także procesy erozyjne doprowadziły do naruszenia struktury gruntu. Finał tych zjawisk miał miejsce podczas powodzi, kiedy w wałach powstawały liczne spękania i powierzchnie osłabień, a w konsekwencji — dochodziło do utraty stateczności zboczy i tworzenia wyrw wałowych.

Ocena stanu wałów przeciwpowodziowych

Kompleksową ocenę stanu wałów przeciwpowodziowych województwa lubuskiego wykonano poprzez analizę utraty stateczności skarp, ocenę możliwości przepływu wody przez korpus wału lub jego podłoże oraz przebicia hydraulicznego nieprzepuszczalnej warstwy gruntowej zalegającej w podłożu wału.

Ocenę stateczności zbadanych odcinków wałów zanalizowano poprzez obliczenie wskaźnika stateczności wałów. Wykorzystano tutaj metodę Felleniusa, uwzględ-

Tab. 1. Charakterystyczne wartości parametrów warstw geotechnicznych wydzielonych w podłożu wałów przeciwpowodziowych

Table 1 Characteristic parameter values of geotechnical layers in flood-banks bed

Stratygrafia	Seria	Symbol warstwy geotechnicznej	Rodzaj gruntu wg PN-86/B-02480	Stopień zagęszczenia I_D	Stopień plastyczności I_L	Gęstość objętościowa ρ_o [t/m^3]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_u [deg]	Spójność c_u [MPa]	Edometryczny moduł ścisłości M_o [MPa]	Moduł odkształcenia E_o [MPa]	
Holocen	piaszczyzsta	I 1	P_d, P_π	0,30	—	1,80	29,5	—	43	33	
		I 2	P_d, P_π	0,50	—	1,85	30,5	—	63	47	
		II 1	P_s, Π	0,30	—	1,90	31,5	—	68	57	
		II 2	P_s, P_g, P_r	0,50	—	1,95	33,0	—	97	82	
		II 3	P_o, \dot{Z}	0,55	—	2,05	39,0	—	165	145	
	madowa	C 0	$P_g, N_{mg}, G_{\pi z}, \Pi, T$		$I_L < 0,50$						
		C 1	$P_g, G_z, G_{pz}, G_\pi, G_{\pi z}, I, I_\pi$	—	0,45	1,95	10,5	0,009	16,5	12	
		C 2	$P_g, G, G_p, G_\pi, G_z, G_{pz}, G_{\pi z}, I, I_\pi$	—	0,25	1,90	14,0	0,014	26	18	
		C 3	P_g, G_π, G, I, I_π	—	0,20	1,90	14,5	0,016	29	20	
		C 4	$G, G_z, G_p, G_\pi, G_{\pi z}, I, I_\pi$	—	0,10	1,90	16,5	0,021	37	25,5	

Tab. 2. Charakterystyczne wartości parametrów warstw geotechnicznych wydzielonych w korpusie wałów przeciwpowodziowych

Table 2 Characteristic parameters values of geologic layers in flood-banks trunk

Stratygrafia	Seria	Symbol warstwy geotechnicznej	Rodzaj gruntu wg PN-86/B-02480	Stopień zagęszczenia I_D	Stopień plastyczności I_L	Gęstość objętościowa ρ_0 [t/m ³]	Kąt tarcia wewnętrzznego φ_u [deg]	Spójność c_u [MPa]	Edometryczny moduł ściśliwości M_0 [MPa]	Moduł odkształcenia E_0 [MPa]
Holcen	grunty nasypowe sypkie	NI 1	P_d, P_π, P_g	0,30	–	1,70	29,5	–	45	32
		NI 2	P_d, P_π, P_g	0,45	–	1,75	30,5	–	57	44
		NII 1	P_s	0,30	–	1,80	31,5	–	68	56
		NII 2	P_s, P_r, P_g	0,45	–	1,85	32,5	–	90	74
		NII 3	P_o, P_s	0,60	–	1,88	33,5	–	112	96
	grunty nasypowe spoiste	NC 1	$P_g, G, G_z, G_d, G_{Dz}, G_\pi, G_{\pi z}, I$	–	0,35	1,96	12,5	0,012	21	14,5
		NC 2	$P_g, G, G_d, G_{\pi z}, G_{Dz}, I, I_\pi$	–	0,20	1,96	15,0	0,016	29	20
		NC 3	$P_g, G, G_d, G_{\pi z}, G_{Dz}, I, I_\pi$	–	0,10	1,93	16,5	0,021	37	25,5
		NC 4	$P_g, G, G_d, G_{\pi z}, G_{Dz}, I, I_\pi$	–	0,05	1,91	17,5	0,025	42	29

niającą efekty przepływu wody przez korpus wału przy kołowo-cylindrycznych powierzchniach poślizgu.

Analizę możliwości przepływu wody przez wał lub jego podłoże przeprowadzono zgodnie z regułą Tiema, według której filtracja nie stanowi zagrożenia dla wału przy czasie przesiąku dłuższym od czasu trwania wezbrania. Przyjmując czas wezbrania równy 14 dni wydzielono trzy kategorie wałów:

□ kategoria a — w której wykluczono możliwość przesiąków w okresie 14 dni,

□ kategoria b — dopuszczono przesiąki w okresie od 7 do 14 dni,

□ kategoria c — przyjęto czas przesiąku mniejszy od 7 dni i możliwe szybkie rozmoknięcie wału.

Ocena zagrożenia przebiciem hydraulicznym polegała na ustaleniu miąższości gruntów nieprzepuszczalnych i słabo przepuszczalnych, zalegających w podłożu wałów i ocenie możliwości przebicia hydraulicznego tych warstw wskutek parcia wody podczas wezbrania.

Analiza stopnia prawdopodobieństwa wystąpienia powyższych zjawisk w poszczególnych odcinkach wałów pozwoliła na dokonanie zbiorczej oceny geotechnicznej:

— **stan dobry** przypisano fragmentom gwarantującym bezpieczną eksploatację wału podczas wezbrania powodziowego,

— **stan średni** odpowiada wałom niepewnym, czyli fragmentom, gdzie możliwe jest wystąpienie awarii,

— **stan zły** obejmuje fragmenty wałów zagrożonych awariami, nie w pełni spełniających wymagania techniczno-konstrukcyjne.

Wyniki tej oceny, dokonanej dla wybranego fragmentu wałów, zaprezentowano na ryc. 4.

Przeprowadzone badania wykazały, że poszczególne odcinki wałów są zróżnicowane pod względem parametrów geotechnicznych; na przykład odcinek 1P, biegnący od 408,0 do 419,8 km prawego brzegu rzeki, jest znacznie zróżnicowany pod względem stanu technicznego. Zbiorcza analiza tego odcinka wykazuje, że w 52% znajduje się on w stanie dobrym, w 19% — w stanie średnim, a w 29% — w stanie złym.

Rezultatem wszystkich badań geologicznych, a także analiz klasy ważności wału w strategii przeciwpowodziowej było ustalenie sposobu poprawy stanu technicznego wałów i wytypowanie odcinków przeznaczonych do modernizacji, remontu czy konserwacji.

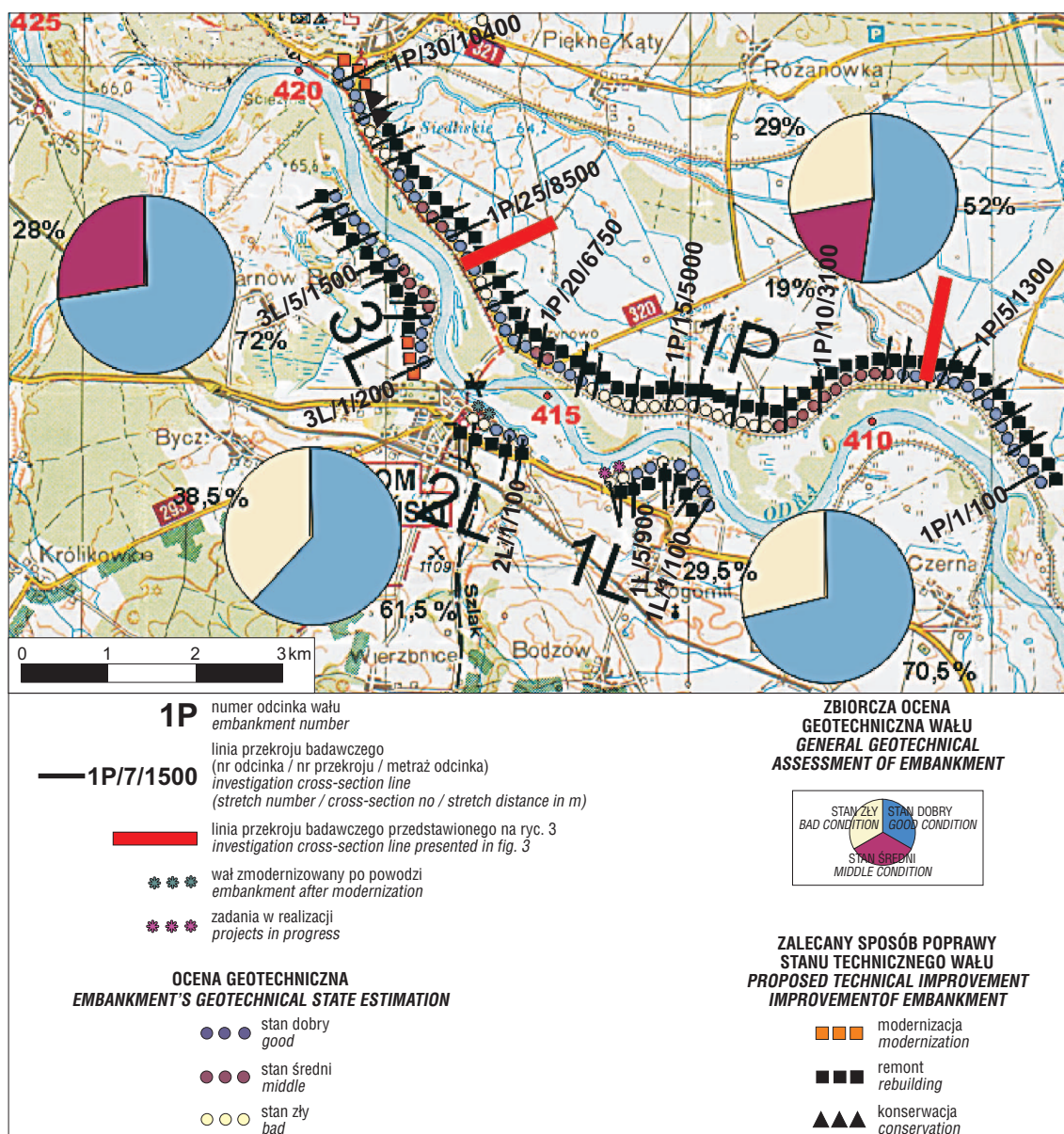
Poprzez modernizację rozumie się gruntowną przebudowę wału lub korektę jego geometrii. Remont to m.in. uszczelnienie wałów od strony odwodnej oraz wyrównanie lokalnych deformacji powstałych podczas powodzi lub niewłaściwego użytkowania wałów. Prace konserwacyjne dotyczą bieżących zadań polegających na systematycznej likwidacji krzewów i drzew w międzywałach, uzupełnianiu zadarnienia, koszeniu traw, itp.

W wyniku przeprowadzonych prac możliwa była kompleksowa ocena stanu wałów przeciwpowodziowych województwa lubuskiego. Prace te wykazały, że tylko 38,6% wałów Środkowego Nadodrza jest w stanie dobrym, 33,2% — w stanie średnim, a 28,2% — w stanie złym.

Do realizacji w pierwszej kolejności wytypowano odcinki najbardziej zagrożone, a pełniące jednocześnie ważną rolę w ochronie przeciwpowodziowej. Wymiernym efektem prac wykonanych do końca 2000 r. było zmodernizowanie i wyremontowanie 99,15 km wałów lubuskiego odcinka Odry (w tym także prezentowanych na ryc. 3 odcinków 1L i 2L). Kolejne 12,47 km wałów znajduje się obecnie w stadium realizacji, a pozostałe 36,0 km wałów zostanie zmodernizowane w niedalekiej przyszłości. Pozostaje nam nadzieja, że prace te zostaną zakończone przed kolejną wielką powodzią.

Zaprezentowane wyniki stanowią nie tylko ocenę obecnego stanu określonej części środowiska geologicznego, ale pozwalają na postawienie wiarygodnych prognoz zmian warunków inżyniersko-geologicznych w czasie i ich wpływu na projektowanie i wykonywanie nowych obiektów (Kowalski, 1988).

Mogą one być wykorzystane do oceny stanu wałów przeciwpowodziowych innych rzek Polski i Europy, znajdujących się w podobnych strefach klimatycznych i morfologicznych. Długotrwałość powodzi, charakterystyczna dla województwa lubuskiego, jest także typowa dla nizinnych fragmentów Renu, Rodanu czy Dunaju.



Ryc. 4. Ocena geotechniczna fragmentu wałów przeciwpowodziowych Środkowej Odry
Fig. 4. Geotechnical assessment of the middle Odra river flood embankments

Składam serdeczne podziękowania mojemu wieloletniemu opiekunowi, Panu Prof. Witoldowi Cezariuszowi Kowalskiemu z Uniwersytetu Warszawskiego za cenne uwagi i życzliwość okazaną mi podczas opracowywania niniejszej pracy. Dziękuję również mgr inż. Piotrowi Warcholakowi Dyrektorowi Lubuskiego Zarządu Melioracji i Urzędzeń Wodnych w Zielonej Górze za udostępnienie materiałów oraz mgr inż. Arturowi Szymańczykowi za pomoc techniczną.

Literatura

DUBICKI A., SŁOTA H. & ZIELIŃSKI J. 1999 — Dorzecze Odry — monografia powodzi lipiec 1997. IMiGW, Warszawa.
 IMMENDORF R. 1999 — Hochwasser. Natur im Überfluss. C.F. Muller. Verlag Heidelberg.
 KOLAGO C., MOJSKI J., REZAK B. & RÓŻYCKI M. 1972 — Przewodnik geologiczno-krajoznawczy — Odra od źródeł do Bałtyku. Wyd. Geol.
 KOŁODZIEJCZYK U. 1999 — Ocena geotechniczna fragmentu wałów przeciwpowodziowych Odry. VIII Konf. Tech. Kontrola Zapór, Zakopane. IMGW, Warszawa.
 KOŁODZIEJCZYK U. 2000 — Geologic-engineering investigations as a method of Odra-river flood-embankment conditions estimation.

Tagungsband zur 9. Jahrestagung der Gesellschaft für Geowissenschaften e.V. Geologie ist Grenzenlos. Frankfurt/O, 20–25.09.2000, Germany.
 KOWALSKI W.C. 1988 — Geologia inżynierska. Wyd. Geol.
 OZGA-ZIELIŃSKA M. 1998 — Safety of flood control structures — hydrological basis. Inter. Odra Research Conf., 16–19 June, Kraków.
 PILECKI K. (red.) 1998 — Badania i ocena stanu technicznego ok. 35 km wałów przeciwpowodziowych prawostronnych rzeki Odry na odcinku od km rzeki 433,3 do km 469,5 od stanów do Głuchowa, włącznie z wałami na węźle hydrotechnicznym w Sadowej. ARCADIS-EKOKONREM Sp. z o.o. Wrocław.
 RESZKA T. (red.) 2000 — Nieinwazyjne badania geologiczne i ocena stanu technicznego prawostronnego obwałowania rzeki Odry w km 573,0–614,2 na długości 38 875 m w granicach województwa lubuskiego. Ekspertyza stanu technicznego. IMGW Oddz. w Krakowie, Samodz. Pracow. Tech. Kontroli Zapór, Kraków.
 WARCHOLAK P. 2000 — Przegląd technologii modernizacji wałów odrzańskich na terenie województwa lubuskiego. Konf. pt. Projektowanie, modernizacja i eksploatacja obwałowań rzecznych. Dychów. LZMiUW, Zielona Góra.
 WITTMANN L. 1980 — The Process of soil Filtration – Its Physic and the Approach in Engineering Practice. Proc. of the 7th European Conf. on Soil Mechanics and Found. Eng. Brighton (England), vol. 1: 303–310.
 ZARĘBSKI M. (red.) 1999 — Dokumentacja z nieinwazyjnych badań geologicznych oraz stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych rzeki Odry w km 409,0–567,5. Przedsięb. Geol. PROXIMA S.A. Wrocław.