



## Systemy ochrony przeciwpowodziowej w Polsce

### Systemy ochrony przeciwpowodziowej w Polsce wykorzystujące stalowe grodzice

Powódź stulecia z 1997 roku wzdłuż Wisły i Odry, a także ta późniejsza z 2001 roku, wyraźnie pokazały, że aby sprostać aktualnym potrzebom stan infrastruktury przeciwpowodziowej wymaga natychmiastowej modernizacji. Rozległa analiza sytuacji wskazała najłabsze elementy. Technologia stalowych grodzic pozwala na osiągnięcie celów modernizacji i poprawy stanu wałów i ścian przeciwpowodziowych. Niniejsze opracowanie skupia się na modernizacji i przebudowie



### Konstrukcje wałów i systemy ochrony powodziowej

Grodzice mogą być zastosowane na wiele sposobów w systemach ochrony powodziowej lub zabezpieczeniach wałów. W nowych wałach mogą zapewniać szczelność, podparcie i stabilizację. Używane są także do wzmacniania istniejących wałów. W sytuacjach, gdy przestrzeń stanowi istotny problem, np. w portach lub obszarach miejskich, grodzice mogą tworzyć wolnostojące lub kotwione bariery powodziowe.

W wałach przeciwpowodziowych grodzice mogą służyć jako przesłony odcinające. Wymagana wod szczelność grodzicowych przesłon często jest zapewniana przez naturalne osadzanie się cząstek gruntu w zamkach. Jeśli to konieczne, przepływ wody przez przesłonę z grodzic może zostać zredukowany poprzez wprowadzenie do zamków wysoce efektywnych systemów uszczelniających. Przesłona z grodzic nie tylko redukuje przesączanie, ale także poprawia całkowitą stateczność wałów: grodzice przecinające płaszczyzny poślizgu stabilizują skarpe wewnętrzną i koronę wału, skarpa zewnętrzna stabilizowana jest poprzez obniżenie krzywej

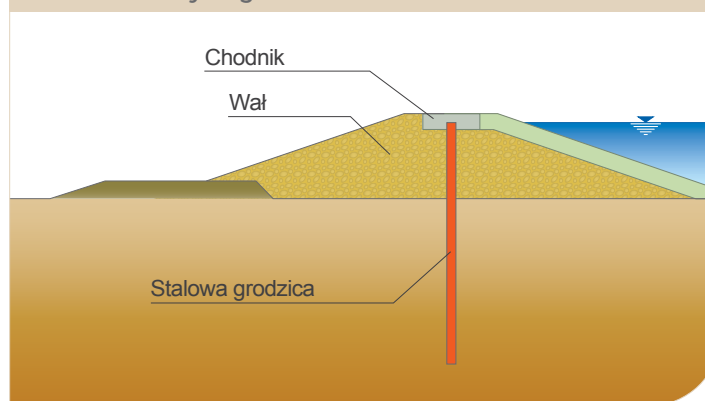
Wrocławskiego Węzła Wodnego, największego projektu ochrony przeciwpowodziowej prowadzonego obecnie w Europie oraz przebudowie Kanału Raduni w Gdańsku.

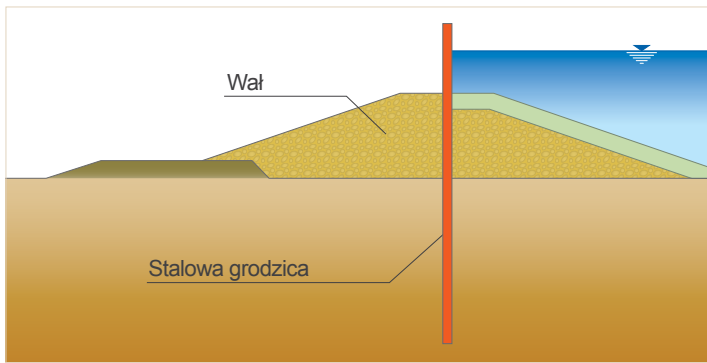
W dalszej części skrótowo opisano inne niedawne projekty ochrony przeciwpowodziowej, wykorzystujące stalowe grodzice: Lipki-Oława, Sartowice, Kanał Płonie.

Stalowe grodzice wykorzystywane są od ponad 100 lat, dowodząc że są niezawodnym i ekonomicznym rozwiązaniem. Do typowych obszarów zastosowań należą budowa przystani i tymczasowe grodze, jednak były także szeroko stosowane w konstrukcjach regulujących rzeki i chroniących przed powodzią. Tradycyjnie wykorzystywane były do wzmacniania i ochrony brzegów, konstrukcji śluz i ochrony przeciwpowodziowej.

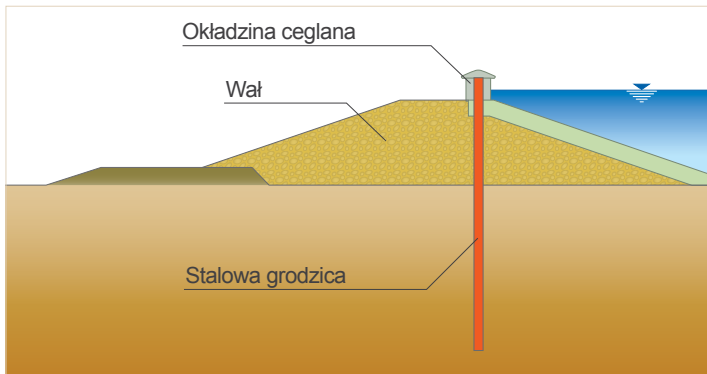
Łatwość stosowania, szybkość wykonywania, wieloletnia trwałość i możliwość pogrążania w wodzie sprawiły, że grodzice stanowią oczywisty wybór dla stałych i tymczasowych konstrukcji. Kształt profili zapewnia maksymalną wytrzymałość i trwałość przy najniższym możliwym ciężarze, biorąc pod uwagę pogrązalność. Zależnie od typu konstrukcji, występujących obciążeń, warunków gruntowo-wodnych można zastosować typowe gorącowalcowane grodzice typu U lub Z jak również ściany kombinowane z pali skrzynkowych lub systemu HZ/AZ.

Rys. 1 Stabilizacja istniejącego wału przy użyciu stalowych grodzic

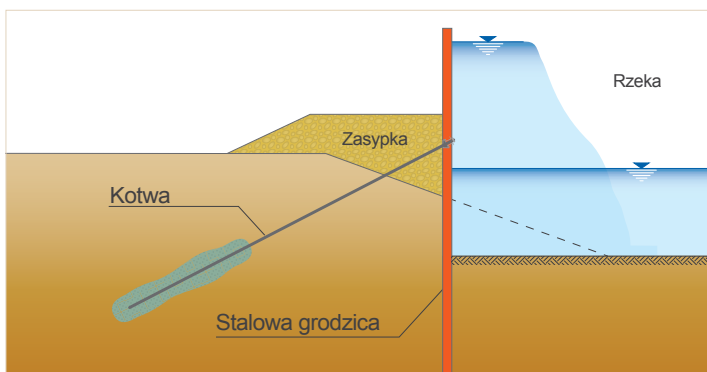




Rys. 2 Rozszerzenie wysokości systemu ochrony przeciwpowodziowej



Rys. 3 Rozszerzenie wysokości systemu ochrony przeciwpowodziowej z okładziną ścian z cegły



Rys. 4 Poszerzenie przekroju rzeki i powodziowa ściana oporowa

filtracji. Dzięki ścianie z grodzic przepływ może być kontrolowany: uszczelnienie zamków zmniejsza wyciek, a naturalny przepływ może zostać odtworzony poprzez otwory odwadniające (patrz EAU 2012, R.51 [1]). W tym ostatnim przypadku wał jest chroniony przed wyschnięciem. Przesłona z grodzic jest odporna na przekopanie przez zwierzęta lub penetrację przez korzenie drzew. Eliminuje to ryzyko erozji poza przesłoną z uwagi na powstanie dogodnych kanałów przepływu.

Wał z grodzicami może być wodoszczelny, ale może być również modyfikowany, aby wytrzymać napór większych wód powodziowych bez konieczności jego poszerzenia. Kwestia ta polega na zaprojektowaniu przesłony posiadającej odpowiednią wymaganą wysokość ponad koronę wału. Ze względu na ich wytrzymałość na zginanie, wspornikowe ściany z grodzic nie wykazują żadnych trudności w przenoszeniu ciśnienia wody do korpusu wału poniżej. A jeśli zatrzymują się w koronie, wspornikowe ściany z grodzic stabilizują skarpe wewnętrzną wraz z koroną oraz obniżają krzywą filtracji w skarpie zewnętrznej.

Dodatkowo, oprócz klasycznej stabilizacji, stalowe grodzice mogą również, pośrednio, stwarzać dodatkowe korzyści dla całkowitej stateczności wału:

- obniżenie linii infiltracyjnej zwiększa trwałość zewnętrznej skarpy, która w rezultacie może być bardziej stroma i zoptymalizowana w inny sposób,
- wydłużenie linii infiltracyjnej zwiększa bezpieczeństwo w odniesieniu do ryzyka zniszczenia hydraulicznego,
- w przypadku wycieku przez nieprzepuszczalną warstwę, centralnie umieszczona przesłona z grodzic zapobiega migracji drobnych cząstek gruntu, zapobiegając erozji wstecznej w skarpie odlądowej. Ponadto ściana znacznie zmniejsza ryzyko powstania kanałów spowodowanych zagnieżdżeniem się zwierząt.

W pewnych przypadkach stalowe grodzice mogą być wykorzystane do poszerzenia przekroju rzeki, pracując jednocześnie jako powodziowe ściany oporowe.

## Wrocławski Węzeł Wodny

Wrocławski Węzeł Wodny jest jednym z największych będących obecnie w toku europejskich projektów przeciwpowodziowych. Stalowe grodzice ArcelorMittal wyprodukowane w Luksemburgu i Polsce odgrywają kluczową rolę w odbudowie ochrony przeciwpowodziowej.

Wrocław jest dość wyjątkowym miastem pod wieloma względami w skali europejskiej. Czwarte co do wielkości w Polsce miasto wyrosło nad Odrą, rzeką mającą swe źródła w górach w Czechach. Wyzwaniem dla planistów było poradzenie sobie z 12 wyspami i 117 mostami i kładkami. Mieszkańcy miasta mają długą historię walki z powodzią spowodowaną przez wylewającą rzekę.

Historia budowy wałów przeciwpowodziowych, które były modernizowane przy każdej późniejszej większej powodzi, sięga połowy XIX wieku.

Wrocławski Węzeł Wodny w obecnej formie został zbudowany w 1923 roku. Przez lata zapewniał wysoki poziom ochrony aż do pamiętnej nocy 11 lipca 1997 roku. Największa, kiedykolwiek zarejestrowana fala powodziowa zalała całe

miasto z wyjątkiem historycznego Starego Miasta, które ocalało dzięki zaangażowaniu tysięcy wolontariuszy wznoszących tymczasowe wały z worków z piaskiem. Powódź wyrządziła niewyobrażalne straty szacowane na kilka miliardów dolarów.

### Jaz Wrocław



Konsorcjum kilku doświadczonych międzynarodowych firm projektowych podpisało umowę na wykonanie projektu odbudowy istniejącego systemu kanałów rzecznych i urządzeń przeciwpowodziowych, biorąc pod uwagę niszczącą powódź i ograniczenia żeglugi. Odra w dalszym ciągu jest istotnym szlakiem żeglownym. Warto podkreślić, że w ramach trwania projektu przebudowy 4 miliony metrów sześciennych gruntu zostanie usuniętych. Dodatkowo, jednym z kluczowych problemów są fundamenty mostów i ich konstrukcja, która wymaga zabezpieczenia na czas trwania całego projektu.

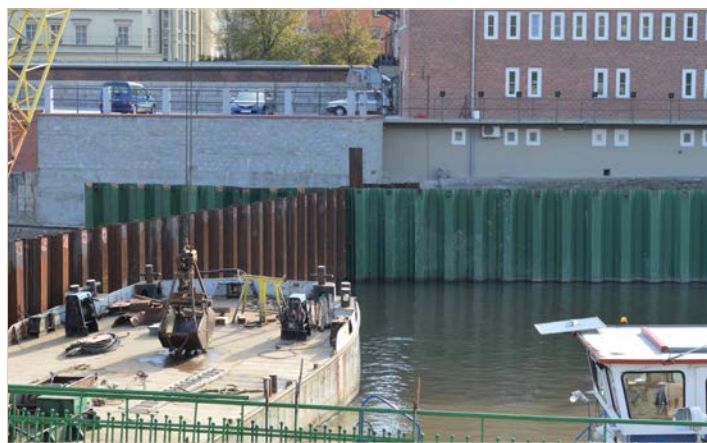
Prace budowlane rozpoczęły się w 2012 roku i będą trwały do roku 2015. ArcelorMittal dostarczył ponad 14 000 ton stalowych grodzic dla czterech różnych generalnych wykonawców. Projekt jest finansowany przez polski rząd, Bank Światowy i Europejski Fundusz Spójności.

## Jaz Wrocław 1

Przebudowa Jazu Wrocław I jest jednym z najważniejszych projektów w ramach modernizacji systemu ochrony przeciwpowodziowej. Jaz położony jest w środku miasta, nad Odrą. Został zbudowany między 1921 i 1924 rokiem, a później przebudowany z konstrukcji kamiennej na żelbetową w celu zwiększenia poziomu piętrzenia o 0,96 m. Posiada 3 przęsła: z lewej strony o rozpiętości 6.5 m z 3 zasuwami, pośrodku o rozpiętości 22.4 m – stałe – bez zasuw, po prawej stronie o rozpiętości 11.0 m wraz z 4 zasuwami.

Odra posiada dorzecze o powierzchni 20 000 km<sup>2</sup> we Wrocławiu i przez wiele lat stanowiła istotny szlak transportowy. Mimo, że w ostatnim czasie transport wodny zmniejszył się, rzeka w dalszym ciągu przystosowana jest do celów żeglownych wraz z pięcioma jazami kłapowymi, śluzami i dwoma kanałami żeglownymi wzdłuż kanału powodziowego.

Technologia stalowych ścianek szczelnych została wybrana do wykonania wszystkich prac poniżej poziomu wody i w nurcie rzeki. Inwestycja polega na przebudowie części jazu: rozbiórce dotychczasowego środkowego przęsła jazu i budowie nowego jazu kłapowego z przęsła 2 x 20 m bezpośrednio poniżej istniejącej konstrukcji. W celu zapewnienia bezpiecznego środowiska w okresie wykonywania prac,



zainstalowano od strony wody dolnej grodzę wykonaną ze stalowych grodzic, wokół betonowego umocnienia dna i połączono ze ścianą otaczającą prawy przyczółek. Ścianka szczelna z grodzic równoległa do osi jazu wykorzystana została także jako deskowanie tracone dla żelbetowej konstrukcji. Po zakończeniu prac, grodzice od strony wody dolnej zostaną przycięte w poziomie dna rzeki, służąc dalej jako zabezpieczenie antyerozyjne. Analiza modelowa wykazała konieczność poprawy warunków napływu hydraulicznego do jazu, które zostanie osiągnięte poprzez przebudowę konstrukcji oporowych.

Zakres projektu obejmuje również wykonanie **dwóch przepławek dla ryb** w celu utrzymania ciągłości morfologicznej rzeki. Grodzia tej konstrukcji została połączona z grodzą jazu. Jej trasa biegnie równoległe do lewostronnej krawędzi odwodnej. Ścianka szczelna została zakotwiona kotwami wierconymi w odstępach 1.0 m. Po zakończeniu prac, grodzice zostaną przycięte w poziomie korony ścian przepławki.

Profile GU 16N w gatunku stali S 390 GP i długościach od 10 do 15 m zostały zagłębione do warstw nieprzepuszczalnych (głina i ły) w celu odcięcia napływu wody do wykopu. Grodzice pogrążono przy pomocy wibromłota PVE 2319 VM zawieszono na żurawiu.

Jako wynik powyższych prac budowlanych przepustowość Odry w tym miejscu wzrosła o prawie 80 %. Prace na budowie rozpoczęły się w 2012 roku i zakończą się pod koniec 2014 roku.



### Jaz Wrocław 1

Inwestor

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej (RZGW) we Wrocławiu

Projektant

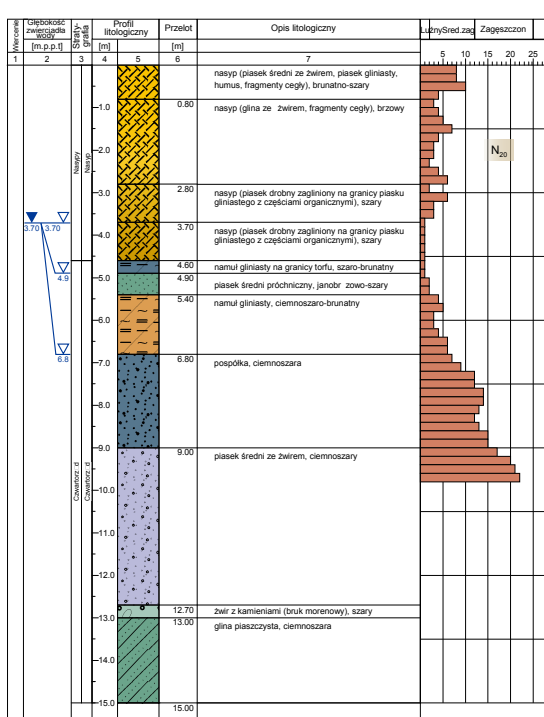
Halcrow Group Ltd | Scott Wilson | BRL Ingerierie

Generalny Wykonawca

Hydrobudowa Gdańsk S.A.

Grodzice

GU 16N S 390 GP 10.0 – 15.0 m



Rys.5 Profil litologiczny



# Kanał Raduni w Gdańsku. Ochrona przeciwpowodziowa



Kanał Raduni

Radunia jest 100-kilometrową małą rzeką na Kaszubach, biegnącą od jeziora Stężyckiego i wpadającą do Motławy nieopodal Gdańska. Część jej wód przenoszona jest od miasta przez liczący 13.5 km kanał Raduni. To średniowieczne, wybitne dzieło inżynierii powstało w latach 1338–1356, dzięki zbudowaniu przez Krzyżaków zapory i nowego sztucznego kanału wzdłuż rzeki. Kanał ma swój początek w Pruszczu Gdańskim, przepływa przez kilka zurbanizowanych dzielnic Gdańska i wpada do rzeki Motławy w centrum, na „Starym Mieście”. Zbudowano go w celach obronnych i rolniczych, a także jako źródło dostaw wody pitnej dla mieszkańców miasta. Jego unikatowa konstrukcja została zniszczona podczas II wojny światowej.



Miasto Gdańsk położone jest nad zatoką i otoczone wyżyną morenową. Nachylenie wyżyny charakteryzuje się dużymi spadkami hydraulicznymi (osiągając więcej niż 10 %) i brakiem naturalnej retencji. Stąd, w okresach mocno deszczowych, duże nieregularne spływy wody napełniają kanał niezwykle

szybko. Z uwagi na szybko rosnącą gęstość zabudowy, naturalna retencja położonej na wzniesieniu części miasta stale zmniejszała się. W wyniku tego, woda spływa jeszcze szybciej do kanału zwiększając niebezpieczeństwo zalania terenów zlokalizowanych po prawej stronie kanału.

Bardzo brzemienne w skutkach wydarzenie miało miejsce w dniu 9 lipca 2001 r., kiedy w wyniku intensywnych opadów deszczu, które nawiedziły Gdańsk (90 l/m<sup>2</sup> deszczu w 2 godziny w porównaniu do średnio 75 l/m<sup>2</sup> dla całego miesiąca lipca), wały kanału Raduni zostały przerwane w kilku miejscach powodując katastrofalne powodzie, a co za tym idzie, duże szkody w kilku dzielnicach miasta.

Jednym z powodów tej katastrofy był słaby stan obwałowań. Analiza ich stanu po powodzi pokazała, że w wielu miejscach struktura wałów była mocno sferforowana, co pozwalało na duże przepływy wody. Rozwiązaniem była naprawa przecieków wewnątrz wałów i niszczących efektów, jakie wywarły na ich stateczność. Władze zdecydowały się podjąć kroki mające na celu przebudowę, poprawę i uszczelnienie trzonu wałów na odcinku 7.5 km w granicach miasta Gdańsk i ponad 2 km w granicach sąsiedniego Pruszcza Gdańskiego. Głównym celem było poszerzenie kanału, umocnienie brzegów, odbudowa przyczółków oraz poszerzenie i podniesienie korony wałów. Oczekiwany wynik jest większy stopień przepustowości w celu zapobieżenia powodzi na wypadek obfitych deszczy.

Oba brzegi kanału, poza drobnymi różnicami geometrycznymi, są niemal identyczne. Najbardziej odpowiednim i niezawodnym rozwiązaniem dla takiej odbudowy było wybudowanie trzonu konstrukcji ze ścianki z grodzic stalowych. Poza jej funkcją oporową, do najważniejszych zalet wskazanych przez projektantów należały czas wykonania i odporność na erozję spowodowaną działaniem wody, korzeni czy nawet gryzoni. Z uwagi na wysokość oporową wybrano 2 typy profili: AZ 17 w gatunku S 390 GP oraz GU 8S w gatunku S 355 GP w długościach od 7.0 do 13.0 m. Należy szczególnie podkreślić, że profil GU 8S był najnowszym osiągnięciem w programie produkcji ArcelorMittal w tamtym czasie. Profile GU stanowią doskonały kompromis pomiędzy trwałością (grubość ścianki 8,0 mm), ciężarem metra kwadratowego, a efektywnością pograżania (spodziewano się pewnych przeszkód, jak np. kawałków starej konstrukcji). Profil ten został stworzony przez inżynierów ArcelorMittal na potrzeby tego projektu przy bliskiej współpracy projektantów i generalnego wykonawcy.

Grodzice zostały pograżone w polodowcowych gruntach piaszczystych i gliniastych przy pomocy wibromłotów: PVE 23VM, zamocowanego na prowadnicy (Hydrobudowa Gdańsk) i MZRV 30VV, zamocowanego na prowadnicy ABI TM22 (Aarsleff).





Innym dużym wyzwaniem była logistyka. Z uwagi na brak wolnej przestrzeni do składowania grodzic wzdłuż budowy (obszary zurbanizowane), materiał dostarczany był „just-in-time” zgodnie ze szczegółowo ustalonym wcześniej harmonogramem: średnio dwa pełne samochody dziennie.

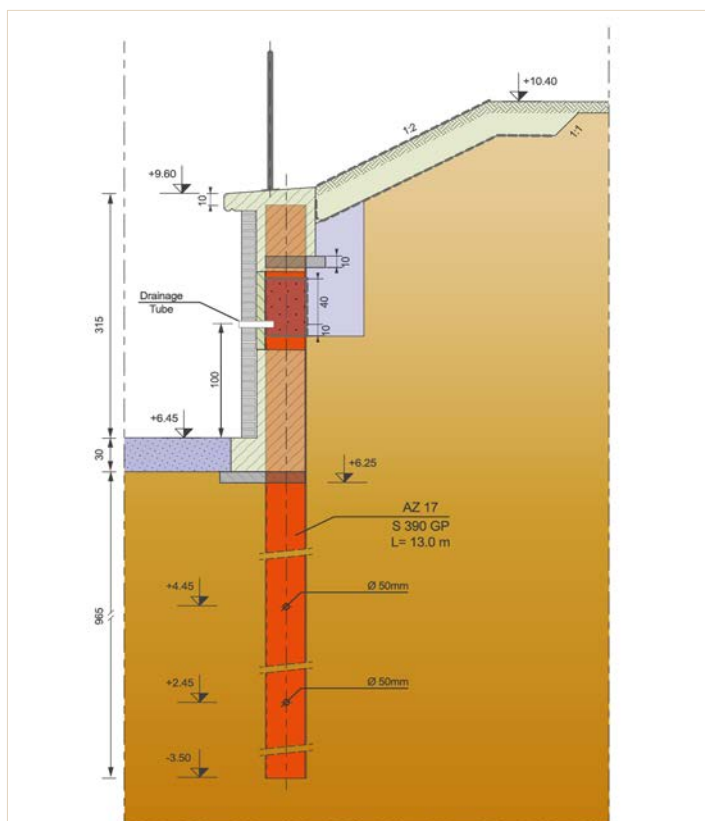
Aby przywrócić historyczny, architektoniczny aspekt kanału, czoło ścianek szczelnych zostało pokryte kamieniami lub ceglami przytwierdzonymi od wypełniającej warstwy betonu (patrz szkic).

Dostawa 12 500 ton grodzic przewidzianych w pierwszym etapie 7.5 km rozpoczęła się we wrześniu 2011 i zakończyła się w grudniu 2012 roku. Dostawy na drugim etapie - 2 km - zamknęły się w listopadzie i grudniu 2013 r. .



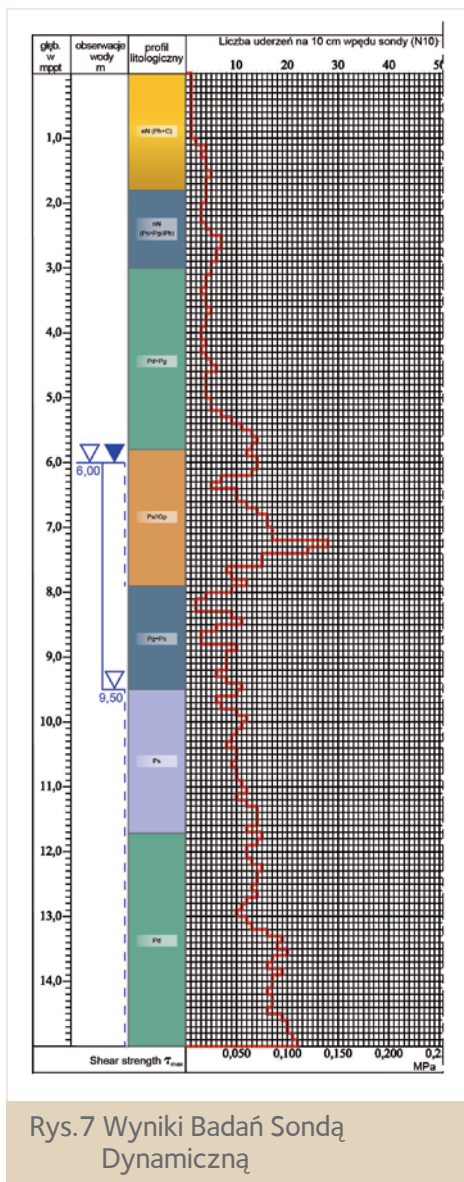
Tabela 1 Właściwości przekrojów pograżonych profili

Profil	Szerokość pojedynczej grodzicy mm	Grubość		Wskaźnik na zginanie cm <sup>3</sup> /m
		półka mm	ramię mm	
AZ 17	630	8.5	8.5	1 665
GU 8S	600	8.0	7.5	820

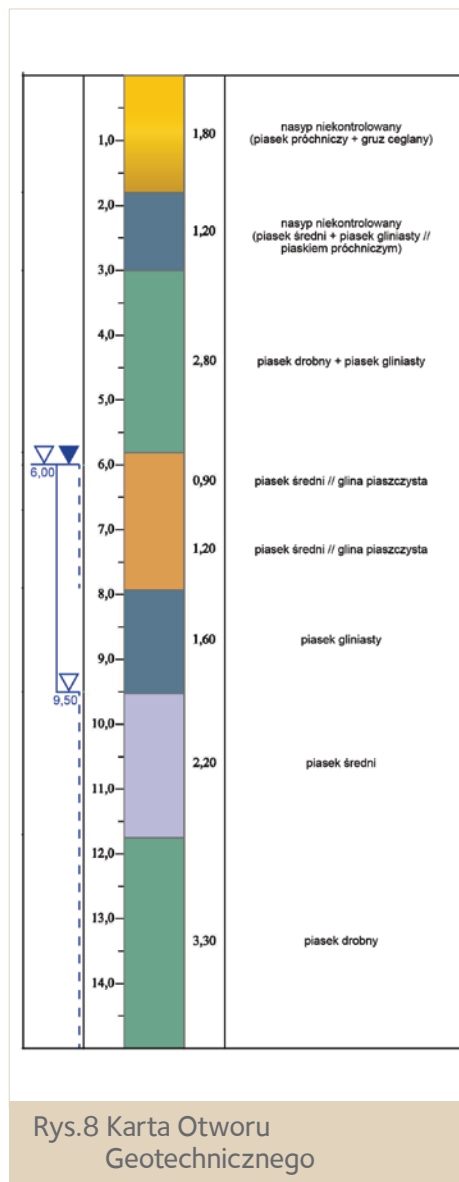


Rys. 6 Przekrój charakterystyczny odbudowywanego brzegu kanału Raduni (Gdańsk)





Rys.7 Wyniki Badań Sondą Dynamiczną



Rys.8 Karta Otworu Geotechnicznego

Opis litologiczno-genetyczny	Nr warstwy geotechnicznej	Symbol gruntu wg PN-81/8-03020	Symbol geotechnicznej konsolidacji gruntu	Stan gruntu		Wilgotność naturalna $W_n$ %	Gęstość objętościowa $\rho$ t/m <sup>3</sup>	Spójność $C_u$ kPa	Kąt tarcia wewnętrznego $\phi_u$ °
				Stopień zagęszczenia	Stopień plastyczności				
1. Nasypy	Ia	Pg, Gp	-	-	0.35	17.5	2.05	24	15.5
2. Piaski drobne	Ib	Gp, Pg	-	-	0.20	12.0	2.15	32	18.0
3. Gliny piaszczyste i pylaste	IIa	Ps, Pd		0.50	-	10.0/naw	1.80/1.95	-	32.0
4. Żwiry	IIb	Ps, Pd		0.68	-	9.0/naw	1.85/2.00	-	33.0
	IIIa	Ż, Po		0.60	-	8.0	1.85	-	39.0

Tabela 2 Legenda do przekrojów

### Etap I

Investor: Miasto Gdańsk  
 Projektant: Hydroprojekt Gdańsk Sp. z o.o.  
 Generalny wykonawca: Hydrobudowa Gdańsk S.A.  
 Grodzice: GU 8S S 355 GP l= 7.0–13.0 m 6 950 t  
 AZ 17 S 390 GP l= 12.6–13.0 m 5 575 t

Razem: 12 525 t

### Etap 2

Investor: Pruszcz Gdański  
 Projektant: Hydroprojekt Gdańsk Sp. z o.o.  
 Generalny wykonawca: Aarsleff Sp. z o.o.  
 Grodzice: GU 7S S 355 GP l= 7.5– 8.3 m 995 t  
 AZ 13-770 S 355 GP l= 8.3–11.5 m 460 t  
 AZ 17 S 355 GP l= 8.3–13.0 m 120 t

Razem: 1 575 t



## Niedawne projekty ochrony przeciwpowodziowej w Polsce

Wzdłuż Wisły zostało zmodernizowanych około 10.6 km obwałowań pomiędzy miejscowościami Sartowice – Nowe. Wzmocnienie i uszczelnienie wałów obejmowało instalację grodzic o długościach od 4 do 14 m.



Sartowice – Nowe



Gryfino

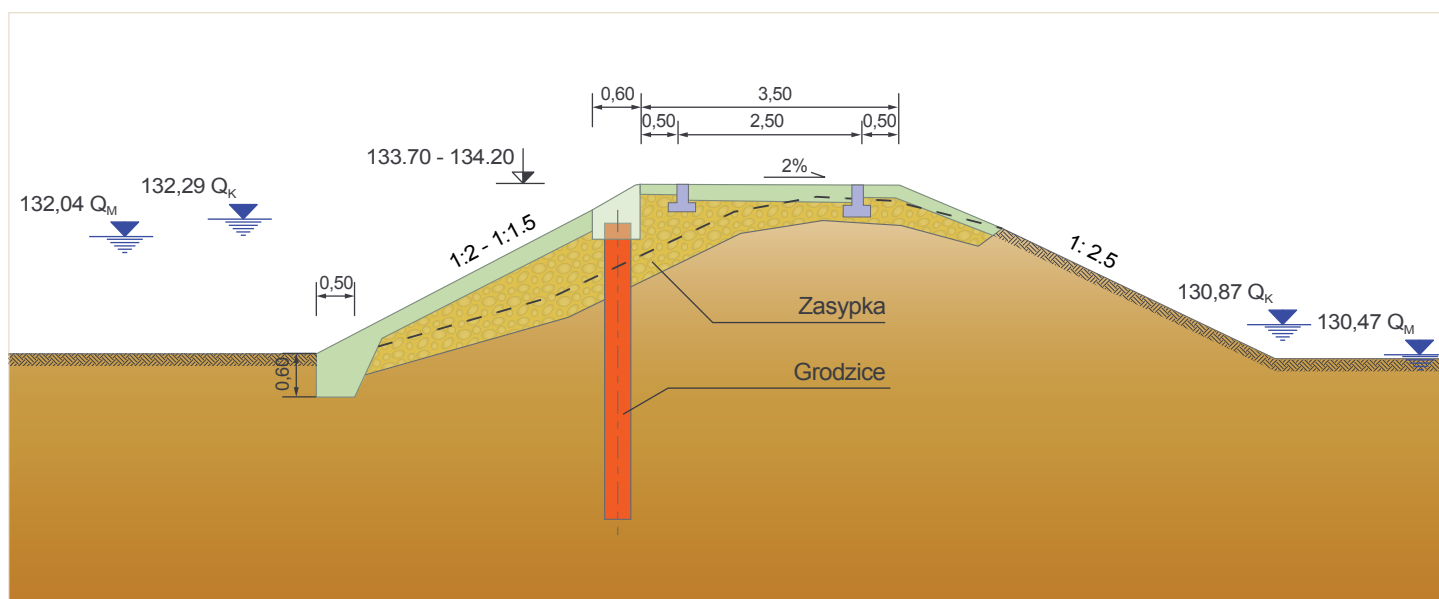
Lipki – Oława: ponad 1400 hektarów zurbanizowanych i rolniczych terenów wokół miasta Oława zostało zabezpieczonych przez odbudowę istniejących wałów wzdłuż rzeki Odry. Ponad 12 000 m<sup>2</sup> 4-metrowych grodzic GU 16-400 pograżono na odcinku ponad 3 km. W celu zapewnienia wyższego poziomu przeciwpowodziowego rzędna korony wałów została podniesiona.

Istniejące wały Kotowice – Siedlce zlokalizowane są na lewym brzegu rzeki Odry, w odległości do 1 km od niej. Modernizacja w latach 2012-2013 obejmowała zainstalowanie w gruncie ponad 1300 ton 4-metrowych grodzic GU 14N na długości ponad 3 km.

Zlokalizowane na wschodnim brzegu rzeki Odry Gryfino zostało zabezpieczone przed powodzią poprzez podniesienie istniejących i budowę nowych ścian przeciwpowodziowych. Ich trzon składa się ze ścianki szczelnej z grodzic, zwieńczonych oczepem żelbetowym, zagłębionych w gruncie przy pomocy wibromłota zamocowanego na koparce.



Świnna Poręba



Rys.9 Lipki – Oława. Przekrój charakterystyczny



Opatowice

Przebudowa Kanału Miejskiego rzeki Odry we Wrocławiu jest częścią większego, wspomnianego wcześniej projektu.

Grodzice zostały zainstalowane w celu zabezpieczenia prawego brzegu i obwałowania oddzielającego Kanał Miejski i Starą Odrę. Brusy zostały pogrążone w wodzie przy pomocy wibromłota.

W miejscowości Kłokowa erozja nasypu wzdłuż toru kolejowego wstrzymała ruch. Szybkie rozwiązanie naprawcze polegało na pogrążeniu grodzic wzdłuż toru przy pomocy wibromłota w celu zapewnienia stateczności zbocza. Przed naprawą torowiska wykonano też zasypkę za konstrukcją oporową.



Wrocław – Kanał Miejski



Kłokowa

## Wnioski

1. Ostatnie wydarzenia pokazały, że powódzie są zjawiskami nieprzewidywalnymi i mogą prowadzić do poważnych następstw, nawet dla populacji żyjących w obszarach teoretycznie zabezpieczonych przed powodzią. Awaryjne wałów i innych podobnych obiektów wynikają głównie z braku ich konserwacji i wewnętrznej erozji starszych konstrukcji lub czasami z niespodziewanych większych działań powodziowych, spowodowanych zmianami w sąsiednich obszarach (urbanizacja).
2. Imponująca liczba kilometrów obwałowań została zmodernizowana lub naprawiona w Polsce w ciągu ostatnich lat. Większość tych projektów polegała na wykorzystaniu stalowych grodzic.
3. Stalowe grodzice stanowią ekonomiczne i technicznie sprawdzone rozwiązanie do budowy nowych systemów przeciwpowodziowych oraz odbudowy istniejących, w tym grobli i wałów rzecznych.
4. Szeroki zakres produkcji grodzic stalowych umożliwia dobór odpowiedniego rozwiązania do specyficznych wymagań każdego projektu ochrony przeciwpowodziowej.
5. Wybór grodzic powinien uwzględniać teoretyczne aspekty projektowania, właściwości pogrążania, trwałość, szczelność, wpływ na środowisko, jak również estetyczne aspekty krajobrazu.

## Bibliografia

- [1] EAU 2012, Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen". Häfen und Wasserstrassen. Ernst und Sohn, 2012, 688 p.

**ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.**  
 Sheet Piling | 66, rue de Luxembourg  
 L-4221 Esch-sur-Alzette | Luxembourg  
 T (+352) 5313 3105  
 sheetpiling@arcelormittal.com  
 sheetpiling.arcelormittal.com

**ArcelorMittal Commercial Long Polska sp. z o.o.**  
 Grodzice | Al. J. Piłsudskiego 92  
 PL-41 308 Dąbrowa Górnicza | Poland  
 T (+48) 32 776 68 17  
 F (+48) 32 776 75 49  
 Michal.Januszewski@arcelormittal.com  
 www.grodzice.pl