

## Hybrydowa technologia wzmocnienia gruntu w renowacji wałów przeciwpowodziowych

Dr inż. Rafał Ossowski, dr inż. Mariusz Wyroślak  
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

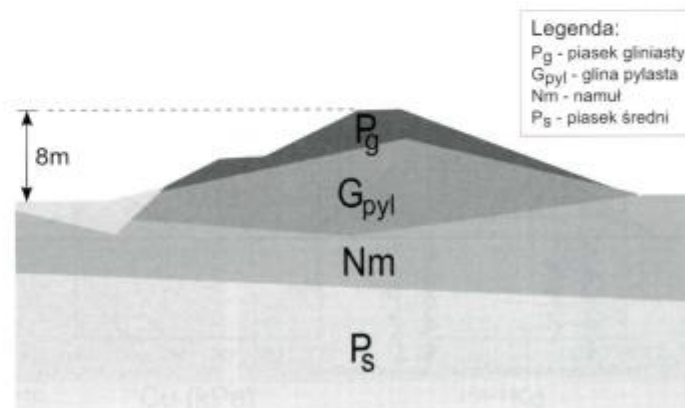
Powódź z 2010 roku, podobnie jak i ta z 1997 roku, przyniosła straty na ogromnym obszarze naszego kraju. Skala zniszczeń spowodowanych przez wodę wskutek przerwania wałów wywołuje głośną dyskusję publiczną nad przyczynami tego stanu rzeczy oraz możliwością zapobieżenia takim katastrofom w przyszłości. Z punktu widzenia inżynierskiego sprawa wygląda stosunkowo prosto: głównym „winowajcą” jest opłakany stan techniczny wałów przeciwpowodziowych.

Bieżący monitoring oraz liczne ekspertyzy diagnozujące stan techniczny urządzeń wodnych wskazują na to, że do najważniejszych przyczyn uszkodzeń wałów przeciwpowodziowych należą: makroporowatość korpusu wału, problemy tzw. słabego podłoża pod korpusem wału, a także niejednorodność zagęszczenia materiału budującego wały, zjawisko sufozji, czy też – wytworzone w sposób naturalny lub sztuczny – kawerny.

Przerwanie ciągłości wału tylko w jednym miejscu powoduje, że całość konstrukcji traci swoją funkcję ochronną i poddaje się siłom żywiołu, praktycznie bez możliwości kontroli. Dodatkowo korpus wałów, w trakcie eksploatacji, ulega oddziaływaniom biologicznym, np. korzeni drzew lub zwierząt nornych, które osłabiają konstrukcję wału, często tworząc uprzywilejowane drogi filtracji oraz realne miejsca przebieg hydraulicznych wody powodziowej. Z tego powodu niezwykle istotnym zagrożeniem dla stateczności wału jest problem nasiąkliwości, to jest wysoki stopień nasycenia porów gruntu wodą w korpusie wału i w podłożu pod wałem. Obecność takich negatywnych elementów w budowlu ziemnej generuje słabe miejsca zagrożone prze-

rwaniem konstrukcji wału przy odpowiednio wysokich wezbraniach, szczególnie jeśli wysokie stany są długoterminowe.

Spełnienie funkcji ochronnej przez wał przeciwpowodziowy jest możliwe tylko w przypadku, kiedy budowla na całej swej długości jest stateczna i odpowiednio szczelna. Z drugiej strony wykonanie całkowicie szczelnego wału (np. przez wykonanie głębokich przegród przeciwfiltracyjnych) nie jest wskazane (zagrożenie przemieszczeniami poziomymi przy znacznym naporze wody), o wiele bardziej istotne jest obniżenie krzywej depresji filtrującej wody w warunkach stabilnego, poprawnie zagęszczonego układu wał – podłoże, na czas występowania wysokich stanów wód.



Rys. 1. Schematyczny przekrój typowego wału wiślanego

Wały przeciwpowodziowe funkcjonujące w Polsce, w wielu miejscach stanowią wiekowe konstrukcje, historia niektórych z nich sięga przełomu XIX/XX wieku. Zdarza się, że materiał, z którego budowano wały dzisiaj nie zostałby zakwalifikowany jako materiał budowlany. Wały konstruowano z materiału lokalnie dostępnego, często o znacznej zawartości części organicznych, gruntów mineralnych bardzo wysadzinowych lub piasków o dużym współczynniku wodoprzepuszczalności. Korpus wałów jest skonstruowany bardzo często z materiału niejednorodnego pod względem cech fizyczno-mechanicznych (rys. 1). Przez lata eksploatacji konstrukcje te poddawane były naturalnym procesom degradacji związanym, np. z zalewaniem wału wodą powodziową, która przesączała się przez korpus wału, wzbudzając efekty związane z filtracją wody w gruncie.

Proponowana technologia hybrydowa pozwala na poprawienie parametrów technicznych korpusu wału i podłoża gruntowego pod wałem. W szczególności pozwala na zagęszczenie gruntu oraz ujednorodnienie parametrów fizycznych i mechanicznych materiału z którego wykonano wał przeciwpowodziowy.

Zastosowanie hybrydowej technologii, opartej na metodach dynamicznych, w celu wzmocnienia korpusu wału oraz gruntów budujących podstawę wału przeciwpowodziowego, eliminuje konieczność rozbierania korpusu wału, przygotowania podłoża i wykonywania w tym miejscu nowej budowli ziemnej, a tym samym pozwala na efektywne zmniejszenie kosztów.

### HYBRYDOWA TECHNOLOGIA WZMACNIANIA GRUNTU

Kolejność prac w proponowanej technologii hybrydowej jest następująca:

- wykonanie zagęszczenia mikrowybuchami podłoża pod korpusem wału,
- wykonanie zagęszczania impulsowego korpusu wału,
- zabezpieczenie skarp wału (mieszaniną gruntowo-popiołową z hydrosiewem lub warstwą geosyntetyków).

Dynamiczne wzmocnienie podłoża metodą mikrowybuchów ma na celu zagęszczenie gruntów zalegających w podstawie wału oraz częściowo w jego korpusie [2]. Zdetonowany ładunek wywołuje gwałtowny wzrost ciśnienia wody w porach nawodnionych gruntów niespoistych w stanie luźnym, niszcząc jednocześnie dotychczasową strukturę szkieletu gruntowego. Po relatywnie krótkim czasie następuje dysypacja ciśnienia wody

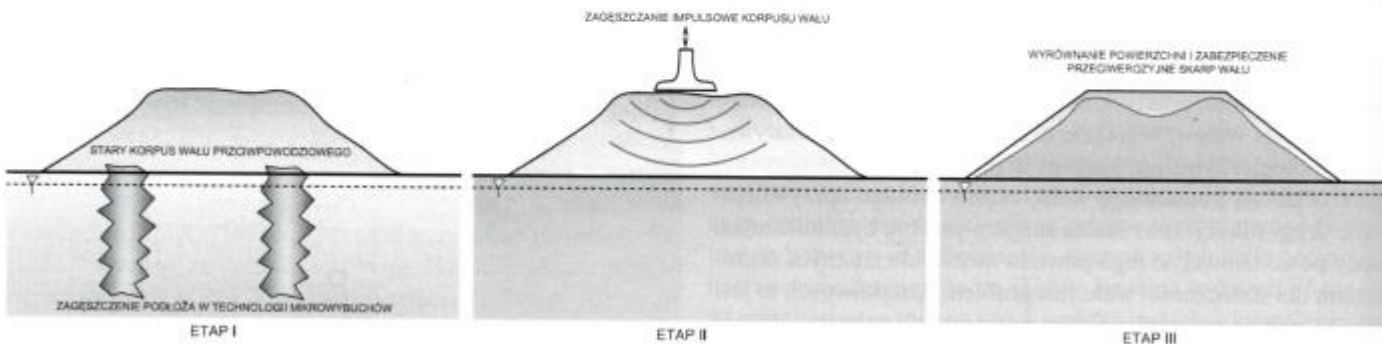
w porach i formowanie masywu gruntowego o wyższym stopniu zagęszczenia. Przechodząca fala sejsmiczna dodatkowo powoduje zapadanie się kawern wypłukanych przez filtrującą wodę oraz nor zwierząt żyjących w korpusie i u podstawy wału, co efektywnie poprawia szczelność konstrukcji. Zastosowanie technologii mikrowybuchów wymaga pełnego nasycenia gruntu wodą, ze względu na fakt, że widoczny rezultat zagęszczenia uzyskuje się poniżej zwierciadła wody gruntowej.

Drugi etap – zagęszczanie impulsowe – wykonuje się z korony wału. Jest to również metoda dynamiczna i polega na przekazywaniu na grunt ściśle zdefiniowanej energii kinetycznej [4]. Zagęszczanie wykonuje się wzdłuż osi wału. Energia generowana jest przez wolnospadający młot z regulowanej wysokości do 1,0 m na stopę o średnicy 1,5 m z częstotliwością do 60 impulsów na minutę. W celu prawidłowego zagęszczenia podłoża wymagane jest co najmniej dwukrotne przejście urządzenia zagęszczającego. Powoduje to, że w podłożu, po każdym przejściu roboczym sprzętu na powierzchni, powstają kraterki o głębokości około 80 cm, które należy uzupełnić zagęszczalnym materiałem niespoistym. Dobrym rozwiązaniem jest użycie mieszaniny gruntowo-popiołowej o ściśle dobranych proporcjach, aby uzyskać jak najlepsze zagęszczenie gruntu. Materiał taki zmniejsza współczynnik filtracji w korpusie wału i dodatkowo poprawia wytrzymałość gruntu, stanowiąc jednocześnie przeszkodę do penetracji gruntu przez zwierzęta norne. Zagęszczanie impulsowe powoduje likwidację nor zwierzęcych i kawern w gruncie oraz pozwala na uzyskanie jednorodnie zagęszczonego materiału budującego korpus wału.

### DOŚWIADCZALNY ODCINEK RENOWACJI WAŁU PRZECIWPOWODZIOWEGO

W ramach współpracy Politechniki Gdańskiej z przemysłem stworzono stanowisko eksperymentalne w celu przebadania skuteczności opracowanej technologii hybrydowej. We wrześniu 2010 r. wykonano na nieczynnym wale przeciwpowodziowym w miejscowości Steblewo-Giemlice, koło Pruszcza Gdańskiego, procedurę wzmocnienia według wyżej opisanej technologii. Wybrany fragment wału stanowi typową konstrukcję wiślaną, zbudowaną z gruntów rodzimych, z dużą zawartością gruntów organicznych.

Wstępne rozpoznanie geotechniczne wykazało następującą budowę typowego przekroju: wierzchnia warstwa składająca się z około 2m warstwy piasków gliniastych i glin w stanie pla-



Rys. 2. Etapy hybrydowej technologii renowacji wałów przeciwpowodziowych

podłoża pod korpusem. Badania wykazały też większą jednorodność konstrukcji w kierunku wzdłużnym oraz zmniejszenie liczby „punktów słabych” (ewentualnych kawern).

## EKSPERYMENTALNE STANOWISKO BADAWCZE

Motywacją do budowy stanowiska są obserwacje dotyczące powodzi z 2010 roku. Pierwszym problemem jest problem przelania się wody przez koronę wału, co powoduje jego zniszczenie. Motywuje to do poszukiwania rozwiązań wzmacniających skarpy w ten sposób, aby zminimalizować ryzyko takiego zniszczenia [3]. Drugi problem to „rozpulchnienie” korpusu wału po nasiąknięciu wodą, co spowodowane jest użyciem niewłaściwych materiałów do budowy wałów, które nie zapewniają odpowiedniej szczelności. Woda przesiąkająca przez wał tworzy w jego korpusie krzywą filtracji, która przy długotrwałych wzebraniach systematycznie podnosi się, podchodząc aż pod koronę wału i dochodzi do skarpy odpowietrznej na dużej wysokości. Skutkiem tego są wysięki i erozja skarpy, spływ powierzchniowy, obrywy, osuwiska, a na koniec wał traci stateczność i ulega zniszczeniu.

W tym celu w ramach projektu badawczego DREDGDIKES, finansowanego przez europejski program *South Baltic Programme*, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej zaprojektowała wykonanie stanowiska badawczego do badania nowych technologii budowy i rekonstrukcji wałów przeciwpowodziowych. Stanowisko wykonane jest w skali naturalnej (rys. 5).

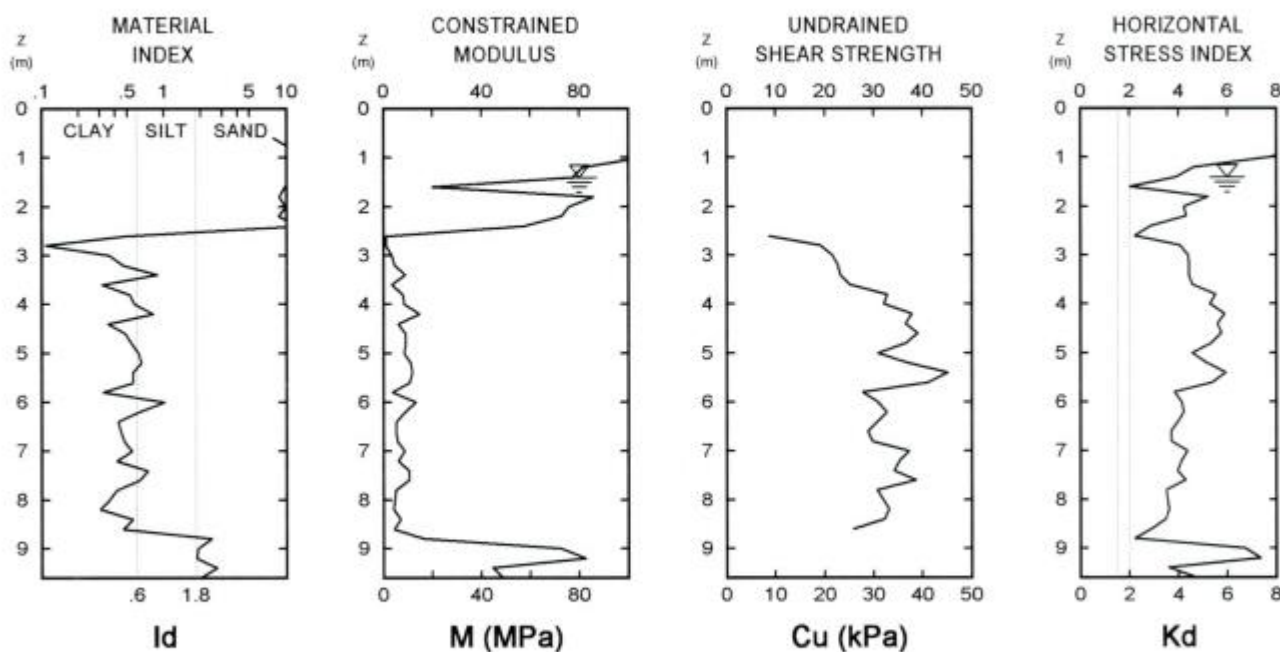
Budowa stanowiska eksperymentalnego jest logiczną kontynuacją opisanego doświadczenia w Steblewie-Giemlicach. Celem badań jest ustalenie przydatności mieszanek gruntowo-popiołowych jako materiału konstrukcyjnego do renowacji starych i budowy nowych wałów przeciwpowodziowych oraz metod przeciwoerozyjnego zabezpieczania skarp wałów.



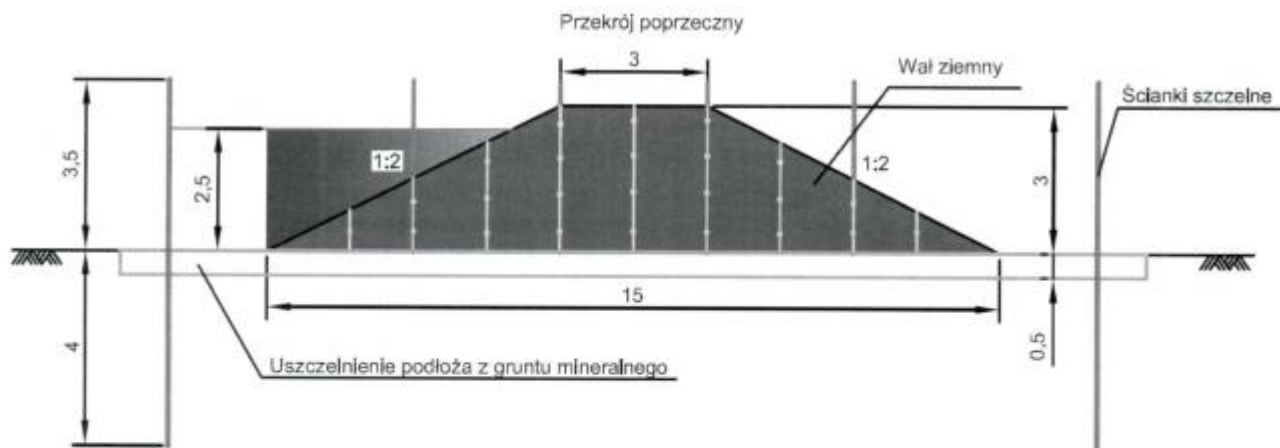
Rys. 3. Lokalizacja poletka doświadczalnego

stycznym, następnie gliny pylaste oraz warstwy gruntów organicznych (głównie namuły) w stanie plastycznym do głębokości około  $8 + 9$  m p.p.t., tworzących większą część korpusu. Niżej zalegają warstwy budujące podłoża rodzime pod wałem – piaski drobne średniozagęszczone. Badania wykazały ponadto istnienie słabych fragmentów w korpusie wału oraz duże wahania dotyczące stopnia zagęszczenia podłoża rodzimego.

Po przeprowadzeniu zagęszczenia z wykorzystaniem technologii hybrydowej (seria wzmocnienia podłoża pod wałem z użyciem mikrowybuchów, a następnie zagęszczanie dynamiczne korony wału) przeprowadzono badania kontrolne z zastosowaniem dylatometru (rys. 4), które potwierdziły poprawę parametrów mechanicznych konstrukcji. Przede wszystkim uzyskano pożądane zagęszczenie warstwy wierzchniej wału oraz warstwy



Rys. 4. Wynik badań dylatometrycznych po zastosowaniu technologii hybrydowej



Rys. 5. Przekrój stanowiska badawczego [1]

Korpus wału przeciwpowodziowego, zamknięty w obu-  
 dwie ścianek szczelnych, wykonany jest z mieszanki grunto-  
 popiołowej. Powierzchnia skarp będzie zabezpieczona przez  
 wykonanie darni trawiastej. Obecnie trwa uzbrajanie stanowi-  
 ska w instrumenty pomiarowe: 24 czujniki wilgotności (białe  
 punkty na przekroju – rys. 5) oraz 4 piezometry kontrolne w ro-  
 stawie 3 m.

Utrzymywanie po jednej stronie wału stałego poziomu wody  
 symulującej stan powodziowy pozwoli na badanie krzywej de-  
 presji filtrującej wody oraz stanów wilgotności w całym kor-  
 pusie wału. Ponadto planowane jest zbadanie erozji na skutek  
 przelania się wody przez koronę wału.

## WNIOSKI

Zastosowanie dynamicznych metod wzmocnienia gruntu  
 (podłoża i korpusu wału) pozwala na zlikwidowanie makropo-  
 rowatości (uszkodzenia wykonane przez zwierzęta norne, jak  
 też i uszkodzenia strukturalne spowodowane przez negatywne  
 oddziaływanie filtracji, np. sufozja, kawerny, kanały filtracyjne  
 prowadzące do przebić hydraulicznych). Dynamiczne metody  
 wzmocnienia powodują zmianę stanu gruntu (wzmocnienie,  
 zagęszczenie), a tym samym zmianę warunków filtracyjnych,  
 przez co uzyskuje się konstrukcję wału przeciwpowodziowego  
 (łącznie z podłożem) stateczną i bezpieczną.

Wykorzystanie mieszanek grunto-popiołowych w pro-  
 cesie renowacji wałów przeciwpowodziowych pozwala na  
 użycie odpadów paleniskowych. Popiół będący produktem  
 ubocznym przy spalaniu węgla w elektrowniach ma dobre wła-  
 ściwości mechaniczne, które mogą być porównywane z wła-  
 ściwościami mechanicznymi pyłów-gruntów mineralnych. Za-  
 tem, spełnia istotną rolę jako materiał wypełniający oraz poprawia  
 zagęszczalność masy budującej korpus wału. Wykonanie prze-  
 grody o współczynniku filtracji  $k = 10^{-7} \div 10^{-8}$  m/s stanowi po-  
 tencjalnie dostateczną barierę przeciw przenikaniu wody przez  
 wał i pod wałem, co będzie zweryfikowane eksperymentalnie na  
 stanowisku badawczym.

Uzupełnieniem technologii hybrydowej jest regeneracja po-  
 wierzchni biologicznie czynnej na zmodernizowanych wałach,  
 na przykład przez hydrosiew.

## LITERATURA

1. Cudny M.: Projekt stanowiska badawczego w ramach projektu DREDGDIKES. SBP, 2011.
2. Patent europejski nr05752697.2-2303-PL 2005000039: Metoda wybu-  
 chów do stabilizacji gruntów słabonośnych. E. Dembicki, Polbud Wykonaw-  
 stwo.
3. Sikora Z.: Renowacja wałów przeciwpowodziowych. Inżynier Budow-  
 nictwa, nr 4/2011, 69-72.
4. www.menard.pl

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono propozycję kompleksowego po-  
 djęcia do renowacji wałów przeciwpowodziowych z zastosowaniem tzw. tech-  
 nologii hybrydowych. Autorzy prezentują technologię, opracowaną z udziałem  
 Katedry Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdań-  
 skiej, łączącą wybrane metody dynamicznego wzmocnienia podłoża grunto-  
 wego, w celu uzyskania efektu synergii. Istotą metody jest połączenie metody  
 mikrowybuchów i metody zagęszczenia impulsowego, uzupełnionych o zastoso-  
 wanie geosyntetyków i mieszanek grunto-popiołowych. Technologia, w swej  
 hybrydowej formule, zapewnia odpowiednie wzmocnienie podłoża zalegające-  
 go pod wałem, wzmocnienie samego korpusu wału oraz zabezpieczenie jego  
 powierzchni przed erozją. Autorzy przedstawiają wnioski z przeprowadzonego  
 doświadczenia w skali naturalnej oraz opisują konstruowane pole doświadczal-  
 ne, realizowane w ramach projektu DREDGDIKES, finansowanego przez UE  
 (ERDF) w ramach *South Baltic Programme*.

### Hybrid technology of ground improvement in dike renovation

The article presents a new proposal of comprehensive approach to dike reno-  
 vation using so-called hybrid technology. The essence of the technology is to com-  
 bine the micro-blasting technique with the impulse compaction, supplemented  
 with the geosynthetics or soil-ash mixing. The idea is to gain synergy in soil  
 improvement – both under the dike, as well as in the dike body. Additionally  
 the erosion reduction should be achieved. The authors show some results and  
 conclusions from an experiment in natural scale and describe a test field being  
 constructed within project DREDGDIKES, financed by EU (ERDF) in *South  
 Baltic Programme*.

**PODZIĘKOWANIE:** Przeprowadzenie opisanego eksperymentu w skali  
 naturalnej było możliwe dzięki współpracy z Zarządem Melioracji i Urzą-  
 dzeń Wodnych Województwa Pomorskiego przy wsparciu Wojewody Po-  
 morskiego, Pana Romana Zaborowskiego.

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach  
 2011-13 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfi-  
 nansowanego. Projekt DREDGDIKES częściowo finansowany przez UE  
 (ERDF) w ramach *South Baltic Programme*.