

# Wały przeciwpowodziowe z odpadów

Do budowy wałów przeciwpowodziowych można wykorzystać uboczne produkty spalania.

- W ostatnich latach udowodniono przydatność kompozytów gruntowych na bazie tzw. mieszanek hybrydowych w geoinżynierii.
- Popioły z energetyki samodzielnie i w połączeniu z piaskami z rzeczno-urobku czerpalnego stanowią materiał budowlany (grunt) skutecznie wykorzystywany w budowie nasypów dróg, np. doprowadzających do mostów. Przykładem tego może być budowa mostu Północnego w Warszawie<sup>1</sup>. Podobnie budowano nabrzeża portowe, np. nabrzeże kontenerowe w Gdańsku (fot.).

Na świecie powstają sztuczne wyspy, na których wznoszone są konstrukcje wysokich budynków mieszkalnych. Grunty spoiste skutecznie uzdatnia się spoiwami hydraulicznymi, w tym produktami pochodzącymi ze spalania węgla, takimi jak popioły i żużle wykorzystywane przy wznoszeniu nasypów autostradowych. Bez wątplenia ten niezwykle postęp w optymalizacji składu kompozytów i poprawianiu właściwości gruntów antropogenicznych daje asumpt do działań, które spowodują włączenie takich mieszanek w planowanie i wykonywanie wielu projektów geotechnicznych zarówno w kraju, jaki na świecie.

Badania naukowe w Katedrze Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej, prowadzone w ramach

projektu DredgDike<sup>2</sup>, pozwalają z optymizmem patrzeć na problem wykorzystania materiałów hybrydowych w budownictwie hydrotechnicznym. Zaobserwowano pozytywne skutki budowy wałów przeciwpowodziowych z mieszanek popiołowo-piaskowych w aspektach gospodarczym, ekologicznym i ekonomicznym. Oceny użyteczności konstrukcji geotechnicznej lub hydrotechnicznej dokonuje się poprzez ustalenie takich wskaźników, jak: emisyjność, antropogeniczność i energochłonność dla wszystkich składników materiałowych oraz wykorzystanych technologii.

## Wskaźniki

Wskaźnik emisyjności określa łączną emisję gazów cieplarnia-

nych oddanych do atmosfery podczas wznoszenia konstrukcji. Materiały i procesy technologiczne składające się na konstrukcję geotechniczną są policzone w aspekcie składających się na nie emisji gazów cieplarnianych. Jako podstawowe traktowane jest CO<sub>2</sub>, ale pod uwagę mogą być wzięte także i inne gazy. Jeżeli konstrukcja ma wiele części o różnym składzie, to wskaźnik emisyjności będzie liczony jako suma wskaźników oddzielnie liczonych dla każdej z nich, z podziałem na materiały i procesy technologiczne<sup>3</sup>.

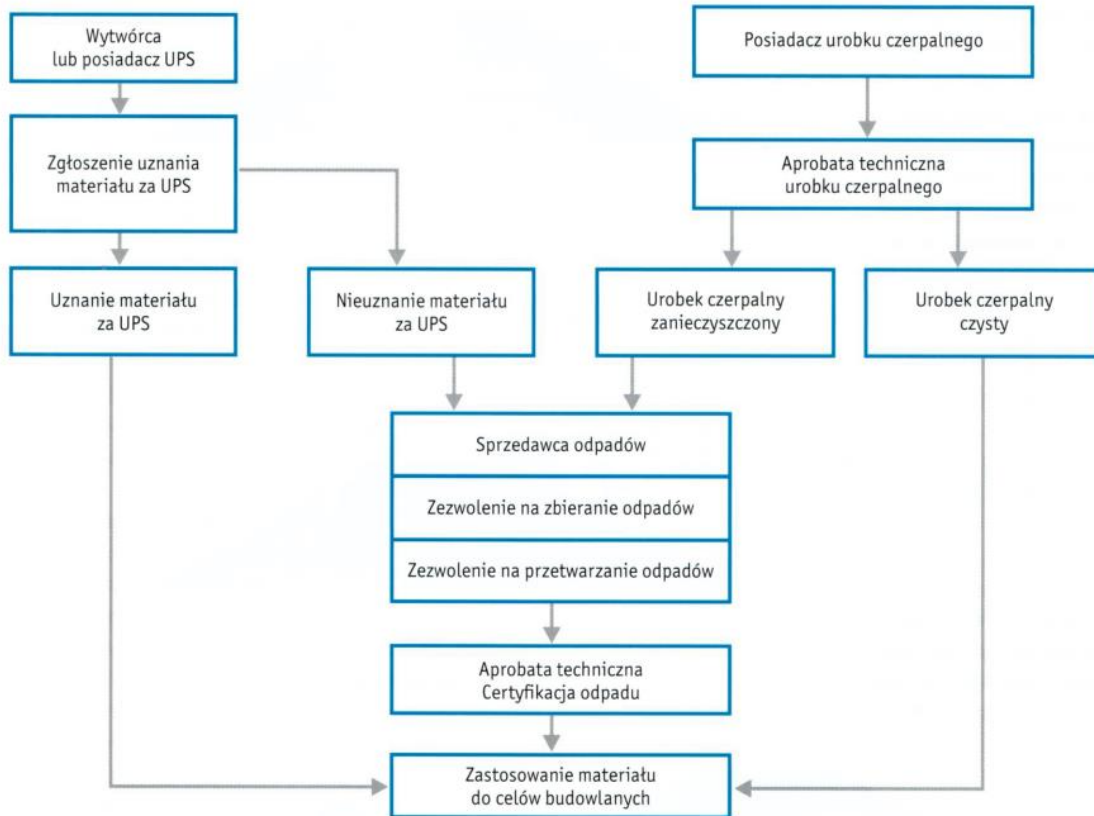
Wskaźnik antropogeniczności to zawartość surowców antropogenicznych w konstrukcji geotechnicznej. Można go zdefiniować jako procentową zawartość objętości materiału antropogenicznego w objętości konstrukcji. Jeżeli konstrukcja ma wiele części o różnym składzie, to wskaźnik ten będzie liczony jako suma wskaźników oddzielnie liczonych dla każdej z nich<sup>3</sup>.

Wskaźnik energochłonności określa łączną energię zużytą do wzniesienia konstrukcji. Składowymi są energia zużyta do wytworzenia materiałów i procesów technologicznych składających się na konstrukcję geotechniczną. Jeżeli konstrukcja ma wiele części o różnym składzie, to wskaźnik ten będzie liczony jako suma wskaźników oddzielnie liczonych dla każdej z nich z podziałem na materiały i procesy technologiczne<sup>3</sup>.



EDF Polska

Nabrzeże kontenerowe w Gdańsku



Rys. 1. Schemat postępowania z materiałem UPS i urobkiem czerpalnym

### Cenne odpady

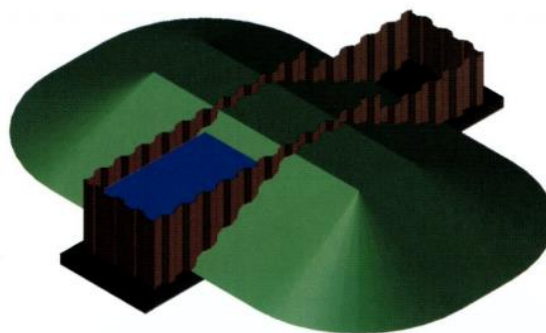
Jednym ze źródeł pozyskiwania energii jest spalanie węgla lub innych materiałów energetycznych. Szacuje się, że elektrownie węglowe generują 41% światowej produkcji energii elektrycznej. To więcej niż jakiegokolwiek inne paliwa<sup>4</sup>. Ta energia może być pozyskana przy zerowym udziale odpadów. Z punktu widzenia globalnej gospodarki kraju jest to kluczowe zagadnienie. Węgiel stanowi też podstawowy zasób energii dla innych procesów technologicznych, takich jak wytwarzanie ciepła i produkcja stali. W efekcie uzyskuje się ogromne masy ubocznych produktów spalania (UPS), np. popioły, popioły lotne, popiołozuże, żuże i inne minerały antropogeniczne. Należy również zastrzec, że uboczne produkty

spalania nie są już ogólnie rozumianym bezużytecznym odpadem, nie są też odpadami niebezpiecznymi, jeśli nie zostały zanieczyszczone w innych procesach przemysłowych. Są one pełnoprawnym i pełnowartościowym materiałem budowlanym, odpowiednio przygotowanym i zastosowanym.

Prawidłowa procedura obchodzenia się z takimi materiałami daje gwarancję, że nie dojdzie do zanieczyszczenia środowiska. Minerały powstałe w trakcie procesu spalania węgla lub innych stałych nośników energii nie są niebezpieczne, podobnie jak materiał wyjściowy.

Odpad, jako materiał, jest pojęciem zdefiniowanym w ustawie o odpadach<sup>5</sup> i rozporządzeniach do tej ustawy<sup>6,7</sup>. Definicja odpadu to nie wskazanie, czym taka substancja jest pod względem fizykochemicznym. O odpadzie mówimy wówczas, gdy nie jest on użyteczny ekonomicznie lub środowiskowo i musi być depozytowany na składowiskach. W wyniku procesów spalania otrzymujemy minerały użyteczne, które mogą być wykorzystane w różnych procesach technologicznych lub dziedzinach inżynierii, czego przykładami są geotechnika, geoinżynieria lub tzw. zielona geotechnika<sup>8</sup>.

W przypadku budowy korpusu wałów przeciwpowodziowych samo UPS nie jest odpowiednim materiałem budowlanym z punktu widzenia właściwości fizyko-



Rys. 2. Schemat stanowiska modelowego wału przeciwpowodziowego<sup>11</sup>







mechanicznych, dlatego komponuje się geokompozyty na bazie mieszanek, np. z piaskiem czerpalnym ze zbiorników wodnych lub rzek. Piasek ten jest materiałem naturalnym i w swojej postaci depozytu geologicznego – budowlanym, dlatego nie jest niebezpieczny dla środowiska. Wyjątek

dzeniu Ministra Środowiska z 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony<sup>8</sup>. Obecnie, po zmianie ustawy o odpadach<sup>5</sup> w 2013 r., analiza osadów dennych zalegających na dnie akwenów portowych jest wykonywana w oparciu o wytyczne

nych<sup>7</sup>. Taką procedurę obrazuje rysunek 1.

## Modelowe stanowisko badawcze

W ramach projektu DredgDike wykonano stanowisko badawcze. Jest to fragment nasypu imitujący

gruntu spoistego grubości 50 cm z warstwą vegetacyjną w postaci darni trawiastej.

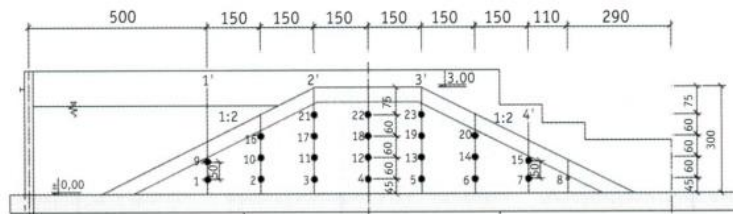
Przeprowadzono szereg badań w skali naturalnej na modelowym wale przeciwpowodziowym i wykazano przydatność materiału hybrydowego jako geokompozytu popiołowo-piaskowego do budowy i/lub renowacji tego rodzaju konstrukcji hydrotechnicznych.

W przypadku zaprojektowania korpusu nasypu z mieszanki popiołu i piasku nie zakładano pełnej szczelności przegrody. Po odpowiednio długim czasie występowania wysokiej wody w nasypie ustala się poziom przepływu. Celem projektowania jest również takie ustalenie wymiarów konstrukcyjnych walu, aby woda filtrująca przez wale nie wypływała w postaci otwartego cieku wodnego po stronie odpowietrznej. W projekcie bierze się pod uwagę: czas trwania powodzi, wysokość fali powodziowej, współczynnik filtracji materiału walu, długość drogi filtracji przez wale itp.

Czujniki zmiany wilgotności, zainstalowane w korpusie modelowego walu, pozwoliły na precyzyjne ustalenie kształtowania się linii przepływu w czasie przez materiał popiołowo-piaskowy.

Badania dowiodły, że linia przepływu ustala się po ok. 72 godzinach od czasu osiągnięcia maksymalnego poziomu wody powodziowej, a potem pozostaje stabilna. Wysoki poziom wody utrzymywano przez tydzień i nie zaobserwowano zmian ustabilizowanej linii przepływu.

Niezwykle istotnym i często poruszonym problemem jest obawa o możliwość zanieczyszczania środowiska niebezpiecznymi związkami chemicznymi, a przede wszystkim metalami ciężkimi. Przeprowadzone analizy porównawcze piasku pochodzenia rzeczno-ego z rzeki Martwa Wisła, popiołu z elektrociepłowni Gdańsk oraz odcieków wody po przefiltrowaniu

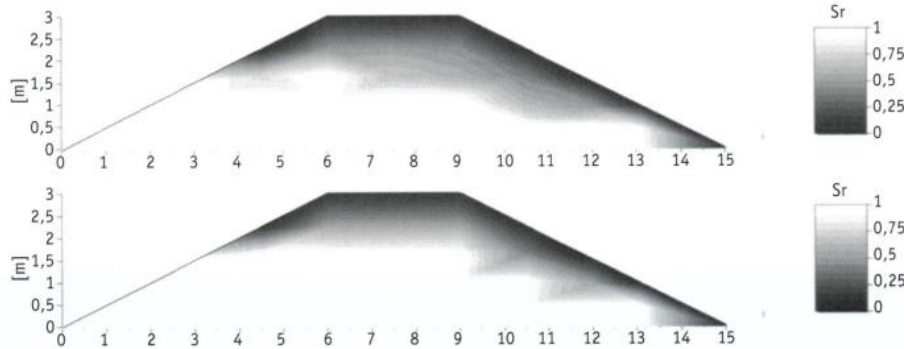


Rys. 3. Przekrój przez modelowy wale przeciwpowodziowy z zaznaczeniem czujników wilgotności<sup>11</sup>

mogą stanowić niektóre obszary przyportowe lub rzeczne, gdzie może występować wysoki poziom kontaminacji, np. duża koncentracja

do konwencji helsińskiej HELCOM<sup>10</sup>. Osady rzeczne są oceniane na podstawie ustawy<sup>8</sup> oraz rozporządzeń do tej ustawy<sup>6,7</sup>.

wal przeciwpowodziowy w skali naturalnej, wraz z zabudowanymi ściankami szczelnymi wanną, która umożliwia badanie wpływu różnych



Rys. 4. Rozkład stopnia nasycenia  $S_r$  materiału hybrydowego; biały kolor pokazuje pełne nasycenie porów materiału<sup>11</sup>

cja zanieczyszczeń chemicznych, będących pochodnymi eksploatacji przemysłowej.

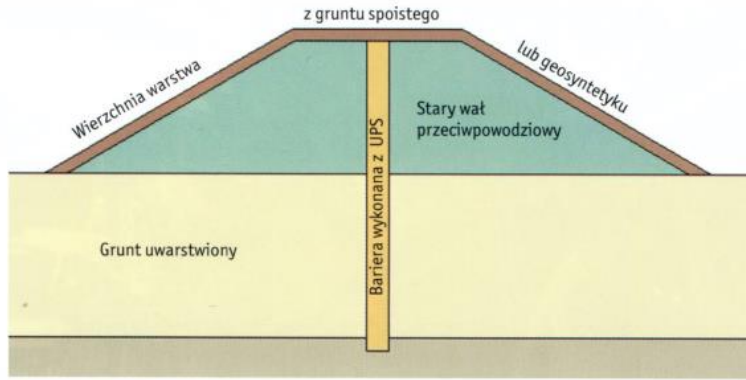
Ustalanie czystości osadów dennych, zalegających na dnie akwenów portowych, do końca 2012 r. przebiegało zgodnie z procedurami zawartymi w Rozporządzeniu

Zgodnie z obowiązującymi zaleceniami<sup>9</sup>, zarówno uboczne produkty spalania, jak i urobek czerpalny należy poddać procedurom administracyjnym, w których materiały zostaną poddane odpowiedniej weryfikacji jakości i przydatności do celów budowlanych<sup>7</sup>.

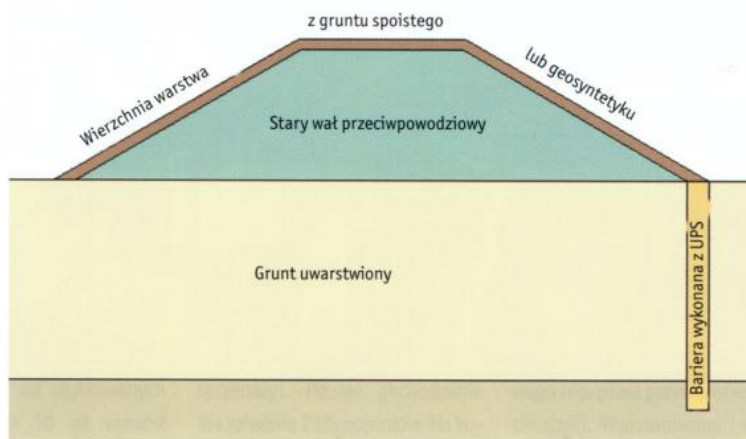
poziomów wody i zmiennych długości czasu symulacji wysokiej wody powodziowej, włącznie z sytuacją stanów przelewowych. Korpus walu wykonano z mieszanki popiołowo-piaskowej w stosunku objętościowym 30/70. Zewnętrzną powłokę walu stanowiła warstwa



Rys. 5. Przykład rozbudowy walu przeciwpowodziowego<sup>11</sup>



Rys. 6. Popioły, jako bariera uszczelniająca korpus wału przeciwpowodziowego<sup>11</sup>



Rys. 7. Bariera z popiołu wydużająca drogę filtracji w podłożu gruntowym<sup>11</sup>

przez modelowy wał wykazały, że poziom zanieczyszczeń metalami ciężkimi w przefiltrowanej przez wał wodzie maleje nawet o dwa rzędy wielkości (tab.).

### Budowle hydrotechniczne

Materiał hybrydowy popiołowo-piaskowy może być wykorzystany nie tylko do budowy nowych wałów przeciwpowodziowych,

ale również do ich rozbudowy i renowacji. Przy użyciu takiego materiału wał przeciwpowodziowy może być poszerzany lub/i podwyższany, jeżeli wymagają tego warunki lokalne.

W przypadku renowacji, materiałem przydatnym może być popiół, ze względu na swoje cechy fizyczne i mechaniczne. Jako materiał o bardzo niskiej granulacji może być wykorzystany do budowy barier w korpusie wału lub poza

wałem przeciwpowodziowym. W takim przypadku UPS może stanowić element konstrukcyjny uszczelniający lub wydłużający drogę filtracji.

### Cenny ekwiwalent

Liczne badania<sup>11</sup> wykazały aktywność pucolanowo-hydrauliczną popiołów, którą przez wykorzystanie odpowiednich metod można kontrolować. Dodatek

popiołu do kompozytu mineralno-gruntowo-antropogenicznego modyfikuje jego strukturę poprzez efekt wypełniający oraz właściwości pucolanowe. Zastosowanie popiołu jako dodatkowego, wartościowego składnika kompozytu mineralno-gruntowo-antropogenicznego prowadzi do uzyskania kompozytu (w tym wykazującego właściwości uszczelniające) o wyższych parametrach wytrzymałościowych w stosunku do kompozytów niemodyfikowanych popiołami. Materiały pochodzące z ubocznych produktów spalania okazują się skutecznym i ekonomicznym ekwiwalentem cennych mineralnych kruszyw budowlanych. Wykorzystanie takich materiałów w samodzielnej lub hybrydowej postaci jest istotnym wkładem w utylizację produktów uznawanych dotychczas za odpady.

#### Źródła

1. <http://mostpolnocny.warszawa.pl>.
2. [www.dredgdikes.eu/pl](http://www.dredgdikes.eu/pl).
3. Szczygielski T.: *Zielona geotechnika w aspekcie Narodowego Programu Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 11-12/2012.
4. Szczygielski T.: *Towards Zero Waste Coal Power*. EUROCOALASH. Monachium 2014.
5. Ustawa z 14 grudnia 2014 r. o odpadach (DzU z 2013 r., nr 0, poz. 21).
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 maja 2004 r. w sprawie warunków, w których uznaje się, że odpady nie są niebezpieczne (DzU z 2004 r. nr 128, poz. 1347).
7. Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), ze zm.
8. Sikora Z.: *Zielona Geotechnika: odbiorca produktów z energetyki*. XXI Konferencja Popioły z Energetyki. Zakopane 22-24.10.2014.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (DzU z 2002 r. nr 55, poz. 498).
10. Konwencja Helsińska HELCOM Guidelines for the disposal of dredged material at sea adopted in June 2007.
11. South Baltic Cross-Border Co-operation Programme 2007-2013. Project DredgDikes.

prof. dr hab. inż. Zbigniew Sikora,  
dr inż. Mariusz Wyróśła,  
Katedra Geotechniki, Geologii  
i Budownictwa Morskiego,  
Politechnika Gdańska

Tytuł i śródtytuły od redakcji

Zawartość metali ciężkich po przefiltrowaniu przez geokompozyt<sup>11</sup>

Zawartość metali [mg/kg]	Piasek	Popiół	Odciek wody przez wał	Wartości referencyjne	
Pb	16,0000	23,000	< 0,2000	50,0	
Cd	< 0,5000	< 0,500	< 0,0100	1,0	
Cu	< 2,0000	30,000	< 0,0500	30,0	
Hg	0,0018	0,014	0,0009	0,5	
pH	[-]	7,9800	8,900	7,5200	-