



DredgDikes

Wytyczne programu Południowego Bałtyku

Zastosowanie Urobku Czerpalnego, Produktów Spalania Węgla oraz Geosyntetyków do Budowy Wałów Przeciwpowodziowych

Edycja:

Fokke Saathoff & Stefan Cantré

Universität Rostock, Chair of Geotechnics and Coastal Engineering

Zbigniew Sikora

Politechnika Gdańska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund)



Universität
Rostock



Traditio et Innovatio



GAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY



Wytyczne programu Południowego Bałtyku

Zastosowanie Urobku Czerpalnego, Produktów Spalania Węgla oraz Geosyntetyków do Budowy Wałów Przeciwpowodziowych

Polska wersja

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2012-2014
przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego

Edycja:

Fokke Saathoff & Stefan Cantré

Universität Rostock, Chair of Geotechnics and Coastal Engineering

Zbigniew Sikora

Politechnika Gdańska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund)



Universität
Rostock



Traditio et Innovatio



**GDAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY**

Wytyczne programu Południowego Bałtyku dotyczące Zastosowania Urobku Czerpalnego, Produktów Spalania Węgla oraz Geosyntetyków do Budowy Wałów Przeciwpowodziowych

Edycja:

Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff and Dr.-Ing. Stefan Cantré
Universität Rostock, Chair of Geotechnics and Coastal Engineering
18051 Rostock;
www.auf.uni-rostock.de; www.dredgdikes.eu

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sikora
Gdańsk University of Technology
Department of Geotechnics, Geology and Maritime Engineering

CIP-Short Title:

Wytyczne programu Południowego Bałtyku dotyczące Zastosowania Urobku Czerpalnego, Produktów Spalania Węgla oraz Geosyntetyków do Budowy Wałów Przeciwpowodziowych

Gdańsk i Rostock, 2015

© Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 18051 Rostock

Możliwość uzyskania oryginalnej wersji publikacji w języku angielskim:

Universität Rostock, Universitätsbibliothek, Schriftentausch, 18051 Rostock
Phone: +49 381 498 8637; Fax: +49 381 498 8632

Universität Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences
Chair of Geotechnics and Coastal Engineering
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock
Phone: +49 381 498 3701; Fax: +49 381 498 3702

Gdańsk University of Technology
Department of Geotechnics, Geology and Maritime Engineering
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Możliwość uzyskania wersji PDF publikacji w języku polskim: www.dredgdikes.eu.

ISBN (dokument oryginalny angielski): 978-3-86009-423-5

Published by Universität Rostock and Gdańsk University of Technology

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2012-2014 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego

PRZEDMOWA EDYTORSKA

Dredged materials research has been developing rapidly during the past decade. Although sediments that are taken on shore are generally considered a waste according to European legislation, the materials prove to have a good potential to be recovered in a variety of applications. Anthropogenic materials, such as by-products of coal combustion (CCPs), generally fall under the waste law, too. Therefore, comparable hurdles have to be taken when it comes to the recovery of the materials. The European Waste Framework Directive demands a recovery rate for these secondary materials of 70 % by 2020. This implicates research and development in all fields of sediment management and material recovery. With a growing environmental awareness all around the Baltic Sea, many debates discuss strategies on how to reduce the amount of dredged sediments dumped at sea. In addition, many ideas are being developed how to increase the possibilities for CCP recovery beyond the standard road construction and concrete production applications. Here, it is of vital importance to address the particular characteristics of the different types of materials in an environmental context.

Both types of materials face a number of barriers regarding legislation and administration as well as public acceptance. To overcome these obstacles, the stakeholders involved in civil and coastal engineering projects, including the affected public, need reliable information about the benefits and limitations regarding the recovery of dredged materials and coal combustion products.

Within the Baltic Sea Region, a large number of flood protection structures, including dikes, protect the people and properties from river flooding and coastal storm surges. In the South Baltic, this concerns Mecklenburg-Vorpommern, Germany (mainly sea dikes, river dikes at Elbe and Oder), northern Poland (river dikes), Zealand, Denmark (all kinds of dikes) and Lithuania (river dikes). In the context of climate change scenarios that predict rising sea levels and increasing extreme storms that lead to higher and more frequent inland flood events, considerable efforts in dike construction and reconstruction will be necessary during the next decades, associated with the need for enormous amounts of earth construction material. The project DredgDikes therefore aimed at combining both problems in providing alternative construction materials for future dike constructions and at the same time reducing the amount of waste for deposit.

The Chair of Geotechnics and Coastal Engineering at the Universität Rostock has been investigating the issue of dredged materials as replacement materials for dike construction since 2007. The topics of dikes, particularly with the focus on geosynthetics used in dikes and the determination of hydraulic design values, have been subject to research for a much longer time. The Department of Geotechnics, Geology and Maritime Engineering at the Gdańsk University of Technology has a long-term experience with the use of fly ash in geotechnical applications and the Steinbeis Innovation Centre for Applied Landscape Planning in Rostock comes with many years of experience in dredged material research. This consortium was extended by two more partners and 16 associated organisations from the South Baltic.

In the four years of interesting investigations three large-scale research dikes were built, a large number of laboratory and field experiments were performed on material stability and environmental aspects, legal aspects were clarified, a considerable number of technical and research articles were published and two international conferences were organised. The substantial experience gained during the project is now presented in this guideline which contains recommendations on the planning and construction of dikes with dredged materials and CCPs. The guideline shall initiate the increased use of the investigated materials in dike construction. The editors would appreciate to be informed about such projects.



Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff
DredgDikes Project Leader

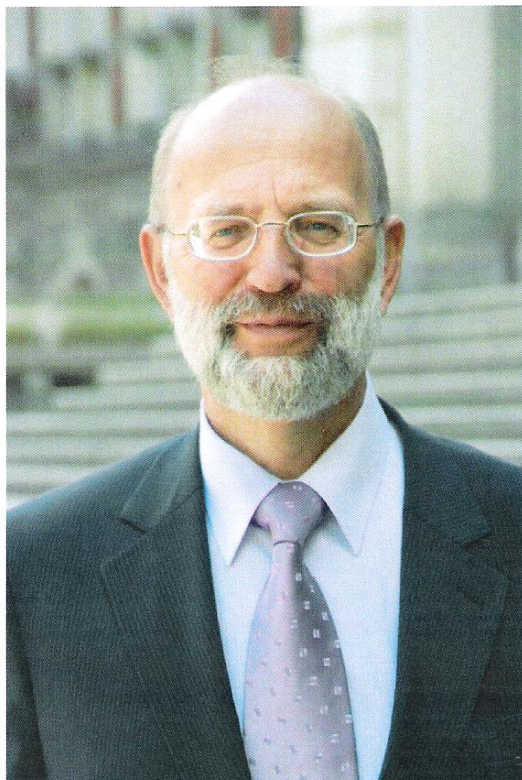


Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sikora
DredgDikes Director Poland



Dr.-Ing. Stefan Cantré
DredgDikes Project Coordinator

PRZEDMOWA REKTORA



Zagadnienia inżynierii środowiska wymagają współpracy i transgranicznej wymiany doświadczeń. Dotyczy to zwłaszcza możliwości wykorzystania refulatów i materiałów antropogenicznych do ochrony przeciwpowodziowej. Tematyka ta stanowi odpowiedź na konieczność zagospodarowania morskiego i rzeczno-urobku czerpalnego w rejonie Morza Bałtyckiego.

Międzynarodowy program badawczy DredgDikes związany jest z utrzymywaniem odpowiednich parametrów technicznych portów morskich, rzecznych, dróg wodnych oraz ujściowych odcinków rzek. Wpisuje się on w konieczność działań zmierzających do minimalizacji ilości składowanych odpadów oraz zrównoważonego wykorzystywania złóż kruszyw budo-

wlanych, które mogą być zastępowane przez szeroko dostępne materiały antropogeniczne. Projekt ten, angażujący wiodące ośrodki naukowo-badawcze państw basenu Morza Bałtyckiego we współpracy z instytucjami administracji morskiej oraz zarządzającymi bezpieczeństwem przeciwpowodziowym, pozwoli na zaproponowanie innowacyjnych metod wykorzystania tego typu materiałów do budowy wałów przeciwpowodziowych. Należy podkreślić aktualność i ważność podejmowanej tematyki badań oraz ich aplikacyjny charakter. Rozpowszechnieniu wyników projektu służyć będzie opracowany przez partnerów projektu wielojęzyczny podręcznik dobrych praktyk. Gorąco zachęcam do jego wykorzystania oraz uwzględnienia znajdujących się tam wytycznych w praktyce inżynierskiej.

prof. dr hab. inż. Henryk Krawczyk, prof. zw. PG
Rektor Politechniki Gdańskiej

PARTNERZY PROJEKTU DredgDikes

Partner 1 i Główny Beneficjent

Universität Rostock
Chair of Geotechnics and Coastal Engineering
Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff & Dr.-Ing. Stefan Cantré
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock, Germany

Partner 2:

Politechnika Gdańska
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sikora i Dr inż. Remigiusz Duszyński
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk, Poland

Partner 3:

Water and Soil Association „Untere Warnow – Küste”
Dipl.-Ing. Heike Just
Alt Batelsdorfer Str. 18a
18148 Rostock, Germany

Partner 4:

Hanseatic City of Rostock
Civil Engineering and Harbour Construction Office
Dipl.-Ing. Heiko Tiburtius, Dipl.-Ing. Ingolf Sanftleben †, Günter Lange
Holbeinplatz 14
18057 Rostock, Germany

Partner 5:

Steinbeis Innovation gGmbH
Department of Applied Landscape Planning
Dr. Michael Henneberg, Dipl.-Ing. Ricarda Neumann
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock, Germany

Stowarzyszone Organizacje:

State Agency for Agriculture and the Environment Rostock, Germany
Federal Waterways Engineering and Research Institute, Hamburg, Germany
Urząd Morski w Gdyni, Poland
Zarząd Melioracji i Urzędzeń Wodnych Województwa Pomorskiego w Gdańsku, Poland
Ekotech sp. z o.o., Szczecin, Poland
BAUGRUND STRALSUND Ing. mbH, Stralsund, Germany
Bonar GmbH & Co. KG, Obernburg, Germany
HUESKER Synthetic GmbH, distribution bureau Rostock, Germany
Heinrich Hirdes GmbH, Rostock, Germany
Danish Coastal Authority, Lemvig, Denmark
State Agency for Agriculture and the Environment Stralsund, Germany
City of Ribnitz-Damgarten, Civil Engineering Department, Germany
Zachodniopomorski Zarząd Melioracji i Urzędzeń Wodnych, Szczecin, Poland
Żułowski Zarząd Melioracji i Urzędzeń Wodnych, Elbląg, Poland
Latvian State Environmental Service, Riga, Latvia

Prof. Dr. Arnold Norkus, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania (External Expert)

PODZIĘKOWANIA

Zespół edytorski i autorski

Autorzy

Dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. PG (Gdańsk University of Technology)
Dr.-Ing. Stefan Cantré (Universität Rostock)
Dr hab. inż. Marcin Cudny (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Angelika Duszyńska (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Remigiusz Duszyński (Gdańsk University of Technology)
Dipl.-Ing. Anne-Katrin Große (Universität Rostock)
Dr. Michael Henneberg (Steinbeis Transferzentrum Angewandte Landschaftsplanung, Rostock)
Dipl.-Ing. Ricarda Neumann (Steinbeis Innovation gGmbH, Rostock)
M.Sc. Elisabeth Nitschke (Universität Rostock)
M.Sc. Jan Olschewski (Universität Rostock)
Dr inż. Rafał Ossowski (Gdańsk University of Technology)
Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff (Universität Rostock)
Prof. dr. hab. inż. Zbigniew Sikora (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Mariusz Wyroślak (Gdańsk University of Technology)

Edycja techniczna

Dr.-Ing. Stefan Cantré & Dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. PG

Tłumaczenie na język polski

Dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. PG (Gdańsk University of Technology)
Dr hab. inż. Marcin Cudny (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Angelika Duszyńska (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Remigiusz Duszyński (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Rafał Ossowski (Gdańsk University of Technology)
Dr inż. Mariusz Wyroślak (Gdańsk University of Technology)

Przegląd poszczególnych rozdziałów i udział w dyskusji

Dr. Frank Flügge (Huesker Synthetic GmbH, Rostock)
Dr. habil. Julia Gebert (HPA Hamburg, HTG Expert Panel on Dredged Material)
Dipl.-Ing. Frank Göricke (StALU MM, Rostock)
Dipl.-Ing. Michael Hering (Huesker Synthetic GmbH, Rostock)
MSc Signe Marie Ingvarsdén (Danish Coastal Authority, Lemvig)
Dr.-Ing. Christian Koepke (Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft, Stralsund/Rostock)
Dr.-Ing. Heino Müller (INROS Lackner AG, Rostock)
Dr.-Ing. Thomas Nuber (BAW Hamburg)
MSc Thorsten Piontkowitz (Danish Coastal Authority, Lemvig)
Dr.-Ing. Martin Pohl (BAW Hamburg)
Dipl.-Ing. Siegmund Schlie (Heinrich Hirdes GmbH, Rostock)
Mgr inż. Anna Stelmaszyk-Świerczyńska (Urząd Morski w Gdyni)
Dipl.-Ing. Rica Weisz (Ministry for Economic Affairs [...] M-V, Department of Waste Management)
Mgr inż. Marcin Żywna (Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych Województwa Pomorskiego w Gdańsku)

Finansowanie

Niniejsze wytyczne opracowano w ramach projektu DredgDikes realizowanego w latach 2010-2015, finansowanego przez South Baltic Programme 2007-2013, EU INTERREG IV A (www.southbaltic.eu).

Osoby i organizacje, które przyczyniły się do sukcesu projektu DredgDikes

Konsorcjum projektu DredgDikes pragnie wyrazić podziękowania wszystkim stowarzyszonym organizacjom za ich wkład i udział w dyskusjach, studentom z Rostocku i Gdańska za ich wielką pomoc w realizacji zadań projektu, obsłudze finansowej projektu, administracji uczelnianej w Rostocku i Gdańsku, kontrolerom pierwszego poziomu, pracownikom biura JTS w Gdańsku, firmom i dostawcom usług i produktów dotyczących budowy, opomiarowania, zleconych badań laboratoryjnych, rozpowszechniania informacji o projekcie, organizacji spotkań i konferencji, ograniczając się tylko do wybranych osób. Specjalne podziękowania przekazujemy tym wszystkim, którzy poprzez swoje uwagi i udział w dyskusji pomogli w opracowaniu wytycznych, a dzieląc się wiedzą uczestniczyli w warsztatach, konferencjach i wycieczkach terenowych. Wszystkie te osoby i ich aktywność pozwoliły na pomyślną realizację projektu DredgDikes oraz umożliwiły powstanie niniejszych wytycznych.

Specjalne podziękowania składamy:

Prof. Dr.-Ing. Ralfowi Bill i Dipl.-Ing. Matthiasowi Naumann M.Sc. z Katedry Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu w Rostocku za ogromną pomoc w pomiarach geodezyjnych oraz z wykorzystaniem bezzałogowych systemów lotniczych.

Elfriede Bockholt za olbrzymią pomoc w zagadnieniach administracyjnych i finansowych w Katedrze Geotechniki i Inżynierii Brzegu Uniwersytetu w Rostocku.

Gdańskiemu Starostwu Powiatowemu w Pruszczu Gdańskim za pomoc administracyjną dotyczącą wału badawczego koło Gdańska.

Dr. Antje Hiller i Dipl.-Ing. Frankowi Graage (Steinbeis Team Nordost) za pomoc w przygotowaniu wniosku oraz za funkcję zewnętrznej obsługi finansowej projektu.

Dipl.-Ing. Heike Just, dyrektorowi zarządzającemu stowarzyszenia woda i grunt "Untere Warnow – Küste" za wsparcie dotyczące wału pilotażowego.

Panu Igorowi Kanieckiemu and Pani Małgorzacie Skołmowskiej z Joint Technical Secretariat programu South Baltic w Gdańsku za obsługę administracyjną projektu.

Dr. Kristinie Koebe z Rotorwerk Project Services za doskonałe sprawdzenie poprawności wniosku projektu DredgDikes.

Dipl.-Ing. Martinowi Kresin reprezentującemu miejski Urząd Nadzoru Budowlanego Ribnitz-Damgarten za wsparcie dotyczące wału pilotażowego.

Dipl.-Ing. Heiko Tiburtius dyrektorowi miejskiego Urzędu Nadzoru Budowlanego i Konstrukcji Portowych w Rostocku za wsparcie dotyczące wału badawczego w Rostocku.

Dr inż. Marzenie Wójcik za zarządzanie finansowe projektem w Katedrze Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej.

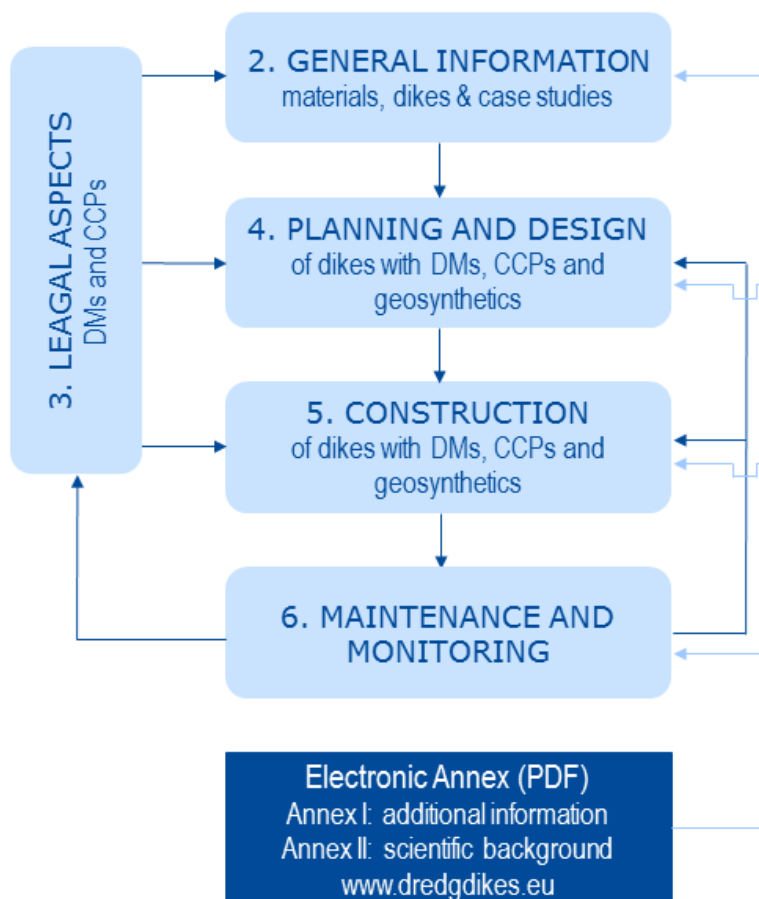
SPIS TREŚCI

Przedmowa	3
Partnerzy projektu DredgDikes	5
Podziękowania	6
1. Wprowadzenie	
1.1 Zakres wytycznych	9
1.2 Podstawa opracowania	10
1.3 Odbiorcy dokumentu	12
2. Informacje ogólne	
2.1 Urobek czerpalny	13
2.2 Uboczne produkty spalania	17
2.3 Geosyntetyki	22
2.4 Wały przeciwpowodziowe	24
2.5 Przykłady wałów zbudowanych z wykorzystaniem urobku czerpalnego	29
3. Kontekst prawne	
3.1 Kontekst prawny użycia DM	33
3.2 Kontekst prawny użycia CCPs	36
4. Planowanie i Projektowanie	
4.1 Proces planowania	41
4.2 Podmioty zainteresowane	42
4.3 Podłoże gruntowe i teren budowy	43
4.4 Ogólne kryteria doboru materiałów do budowy wałów	45
4.5 Dobór i charakterystyka urobku czerpalnego	47
4.6 Wybór i charakterystyka CCPs	56
4.7 Projektowanie wału	58
5. Budowa	
5.1 Jakość materiałów i wykonania	69
5.2 Uzdatnianie i ulepszanie	71
5.3 Transport i składowanie	73
5.4 Kontrola jakości	73
5.5 Technologia budowy	76
5.6 Pokrywa roślinna	82
6. Utrzymanie i monitorowanie	
6.1 Utrzymanie i monitorowanie wałów wykonanych z drobnopziarnistego DM	88
6.2 Utrzymanie i monitorowanie wałów z mieszanek CCP	90
6.3 Odpowiedzialność	91
Słownik	93
Skróty	98
Oznaczenia	99
Aneksy elektroniczne (pliki PDF dostępne na www.dredgdikes.eu)	
Annex 1: Informacje dodatkowe	
Annex 2: Podstawy naukowe	

1. WPROWADZENIE

1.1. Zakres wytycznych

W wytycznych opisano proces planowania i budowy wałów przeciwpowodziowych z wykorzystaniem składowanego urobku czerpalnego (DM) produktów spalania węgla (CCPs) oraz geosyntetyków. Rozpatrywana jest procedura uzyskania pozwolenia na wykorzystanie DM i CCPs jako materiału zastępującego tradycyjne grunty stosowane przy budowie wałów takie jak gliny, gliny organiczne lub margle z odwołaniem do odpowiednich przepisów prawnych obowiązujących w Niemczech, Polsce i Danii. Dokumenty są omawiane, ze szczególnym uwzględnieniem ich stosowania w przypadku, gdy przepisy wykonawcze nie są ściśle zdefiniowane. Zagadnienia prawne dotyczą zarówno procesu planowania jak i wykonawstwa. W oparciu o dane uzyskane podczas utrzymywania i monitoringu tak skonstruowanych wałów przeciwpowodziowych aktualne przepisy prawne mogą zostać przyszłości poprawione i uzupełnione. Poszczególne etapy planowania i projektowania wałów wykonanych z DM, CCPs i geosyntetyków przedstawiono w rozdz. 4 z uwzględnieniem wymagań odnośnie jakości materiału oraz procedur ich badania. W rozdz. 5 podano zalecenia dotyczące robót budowlanych oraz kontroli jakości materiałów oraz metod ich wbudowywania. Wymagania ogólne dotyczące planowania, projektowania i wykonawstwa wałów podane są jedynie wtedy, gdy jest to konieczne ze względu na kompletność opracowania, jednakże główną uwagę skupiono na dodatkowych wytycznych dotyczących nowych materiałów. W rozdz. 6 przedstawiono wytyczne na temat utrzymania i monitoringu wałów z uwzględnieniem pomiarów i zbierania danych. Z dwóch aneksów w formie elektronicznej, pierwszy zawiera dodatkowe informacje bezpośrednio związane z poszczególnymi rozdziałami, a Aneks II opisuje badania doświadczalne stanowiące podstawę tych wytycznych. Rys. 1.1 przedstawiono strukturę wytycznych wraz z powiązaniami między poszczególnymi rozdziałami.



Rys. 1.1. Diagram przedstawiający strukturę wytycznych i odniesienia między rozdziałami

1.2. Podstawa opracowania

1.2.1. Powody opracowania wytycznych

Niniejsze wytyczne opracowano ze względu na brak w istniejących zaleceniach informacji na temat aspektów prawnych i konstrukcyjnych dotyczących budowy wałów z wykorzystaniem urobku czerpalnego (DM) i produktów spalania węgla (CCPs). Brak takich wytycznych stanowił również powód wielokrotnej odmowy władz oraz wykonawców robót stosowania DM w kilku projektach konstrukcyjnych wałów w Meklemburgii-Pomorzu Przednim. Pomimo znaczących doświadczeń ze stosowaniem tej technologii w Bremie, wykorzystanie drobnoziarnistych DM jako warstwy wierzchniej wałów stanowi nowość na niemieckim wybrzeżu Morza Bałtyckiego. Jednocześnie wydaje się to być podejściem jeszcze bardziej nowatorskim w innych krajach obszaru Południowego Bałtyku. Drobnoziarniste DM zostały z sukcesem zastosowane w rolnictwie, architekturze krajobrazu i rekultywacji składowisk z dobrym skutkiem jeśli chodzi o żyzność gleby, stateczność konstrukcji oraz odporność na erozję. Pomimo swej użyteczności jako materiału konstrukcyjnego oraz wykorzystywanego do polepszania parametrów podłoża, materiał czerpalny jest traktowany generalnie jako odpad zgodnie z Europejskim Katalogiem Odpadów (EWC) [1]. Stosowanie tego materiału w każdym przypadku wymaga zatem uzyskania zgody. Nie stanowi to problemu, ale sprawia dodatkową trudność, gdyż procedury do uzyskania takiego pozwolenia nie zostały wcześniej opisane. Niniejszy dokument po raz pierwszy podaje szczegółowe wytyczne w tej sprawie.

Z drugiej strony, w Polsce występuje istotna nadwyżka CCPs z elektrowni. Produkty te zazwyczaj mieszane z gruntami są często wykorzystywane w drogowych projektach geotechnicznych. Wiele międzynarodowych projektów dotyczy wzmocnienia i stabilizacji DM w zastosowaniach geotechnicznych z wykorzystaniem popiołów lotnych (i innych CCPs) lub wzmocnienia popiołów poprzez dodatek gruntów lub spoiw. Podobnie jak DM, CCPs zgodnie z EWC [1] są uważane za materiały odpadowe i dotyczą ich wszelkie regulacje związane z wykorzystaniem odpadów. Z tego względu stosuje się tu te same przepisy gospodarki odpadami i podobne wymagania prawne jak w przypadku DM. Na poziomie Wspólnoty Europejskiej CCPs mogą być deklarowane jako materiały konstrukcyjne

z odzysku certyfikowane zgodnie z europejskim zarządzeniem odnośnie substancji chemicznych REACH [2]. Wykorzystanie kompozytu CCP w konstrukcji wałów przeciwpowodziowych jest nowym pomysłem.

Geosyntetyki mogą spełniać w geotechnice różne role takie jak filtracja, separacja, wzmocnienie oraz drenaż, zmniejszając jednocześnie objętość i koszty robót ziemnych oraz zużycie zasobów naturalnych. Spełniają one szereg funkcji w konstrukcjach wałów i z tego względu uwzględnia się je w wytycznych, pokazując możliwości projektowania z wykorzystaniem DM, CCPs i geosyntetyków w celu redukcji kosztów i oddziaływania inwestycji na środowisko.

1.2.2. Projekt DredgDikes

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił gwałtowny rozwój badań dotyczących urobku czerpalnego. Każdego roku pobiera się duże ilości sedymentów w ramach projektów bieżącego utrzymania i środowiskowych robót czerpalnych. Duże projekty portowe we wschodniej części Morza Bałtyckiego będą wymagały poważnych objętości robót czerpalnych [3]. Zasadnicza część tych DM będzie ponownie zdeponowana w zbiornikach wodnych [4], [5]; jednakże, gdy ilość cząstek drobnych w refulacie będzie powodowała zmętnienie w miejscu depozycji lub jest on zanieczyszczony, materiał ten powinien być składowany na lądzie. Pomimo tego, że sedymenty deponowane na lądzie są traktowane zgodnie z prawem Europejskim [6] jako odpady, materiały te mają wysoki potencjał do szerokiego wykorzystania, szczególnie w przypadku, gdy są one wolne od zanieczyszczeń lub zanieczyszczone w niewielkim stopniu. Dodatkowo, Europejska Dyrektywa o Odpadach [7] wymaga osiągnięcia co najmniej 70 % poziomu odzysku odpadów do roku 2020. Stwarza to konieczność badań i rozwoju we wszystkich dziedzinach zarządzania DM. Przy wzrastającej świadomości ekologicznej w krajach basenu Morza Bałtyckiego prowadzone są również liczne dyskusje na temat strategii zmniejszania ilości materiałów czerpalnych składowanych w morzu.

Filozofia recyklingu stanowi również motywację w badaniach nad CCPs. Przez długi czas, CCPs były traktowane jako odpady przeznaczone do składowania, co istnie zwiększyło powierzchnię składowisk odpadów przemysłowych. Pierwsza idea ich zastosowania jako kruszywa zastępczego wynikała z badań nad stabilizacją podbudowy dróg z wykorzystaniem popiołów lotnych

prorowadzonych w latach 70-tych [8]. Prawo europejskie stosunkowo niedawno zaakceptowało CCPs jako materiał konstrukcyjny, propagując jego stosowanie w inżynierii i budownictwie. Rozporządzenie EU 305/2011 [9] ustala warunki marketingu wyrobów budowlanych i zaleca pierwszeństwo stosowania materiałów z odzysku zgodnie z § 55 [9].

Katedra Geotechniki i Inżynierii Brzegu na Uniwersytecie w Rostocku zajmuje się badaniami DM jako materiału zastępczego do budowy wałów od 2007 roku. Zagadnienie wałów przeciwpowodziowych ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania geosyntetyków oraz projektowych parametrów hydraulicznych są przedmiotem badań naukowych od znacznie dłuższego czasu.

Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej dysponuje długoletnim doświadczeniem w stosowaniu popiołów lotnych w geotechnice. Współpraca z Polską Unią Produktów Spalania CCPs dodatkowo ułatwia dobór właściwego rodzaju materiału w zależności od wymaganych właściwości mechanicznych. Pomysł wykorzystania popiołów w konstrukcji wałów był również niezwykle interesujący ze względu na możliwość przeprowadzania badań w warunkach naturalnych.

Centrum Innowacji Steinbeis w zakresie Architektury Krajobrazu w Rostocku posiada prawie trzydziestoletnie doświadczenie w badaniach nad DM. Naukowcy pracujący poprzednio również w Uniwersytecie w Rostocku byli zaangażowani w usprawnienie miejskiego zakładu przeróbki DM, jak również w opracowanie zasad zarządzania osadami z naciskiem na ich wykorzystanie w rolnictwie, architekturze krajobrazu i jako warstwa okrywowa składowisk odpadów.

Zakumulowana baza wiedzy łącząca zagadnienia geotechniczne, inżynierii brzegu, DM, CCP oraz wałów przeciwpowodziowych doprowadziła do wyłonienia projektu DredgDikes opracowanego wspólnie z dwoma partnerami: Hanzeatyckim Miastem Rostock, dysponującym zakładem przeróbki DM oraz Stowarzyszeniem Woda i Grunt "Untere Warnow – Küste" w Rostocku, którzy byli odpowiedzialni za inwestycje w dwa wały badawcze w Niemczech. Dodatkowo, 16 stowarzyszonych organizacji z Danii, Litwy, Polski i Niemiec włączyło się do projektu, który rozpoczął się oficjalnie we wrześniu 2010 roku i trwał 53 miesiące. Projekt był współfinansowany przez South Baltic

Programme 2007-2013 w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (ERDF).

Projekt miał trzy główne cele: Zastosowanie drobnoziarnistego DM jako materiału zastępczego standardowej warstwy wierzchniej wału lub w przypadku wałów jednorodnych wykorzystanie kompozytu popiołu i piasku czerpalnego w korpusie wału albo jako warstwy wierzchniej, oraz zastosowanie geosyntetyków do poprawy funkcjonalności tych wałów, redukcji kosztów i oddziaływania na środowisko.

Zamiana tradycyjnych materiałów do budowy wałów jest szczególnie interesująca, gdy brakuje typowych materiałów na warstwę wierzchnią takich jak gliny organiczne (Morze



Rys. 1.2. Wał badawczy DredgDikes w Rostocku



Rys. 1.3. Wał badawczy DredgDikes koło Gdańska



Rys. 1.4. Wał pilotażowy DredgDikes na wschód od Rostocku

Północne), czy gliny (Morze Bałtyckie), które muszą być często wydobywane w obszarze środowiskowo wrażliwym, gdzie nie zawsze udzielane jest na to pozwolenie.

Biorąc pod uwagę rozwiązanie różnych problemów, w ramach projektu wybudowano trzy obiekty wałów w skali naturalnej w celu analizy metod wbudowywania materiałów z odzysku i ich zachowania w warunkach rzeczywistych: Wał badawczy w Rostocku (Rys. 1.2), zbudowany z różnych DM, przeanalizowano pod względem konstrukcyjnym, stateczności, odkształceń, pokrycia roślinnego, stateczności ze względu na erozję, na pojawienie się rys skurczowych, infiltrację wód oraz filtrację przez wał. Podobny zakres badań podjęto na doświadczalnym wale badawczym niedaleko Gdańska (Rys. 1.3), zbudowanym z materiału kompozytowego stanowiącego mieszaninę popiołu i piasku z refulacji. Dodatkowo w celu potwierdzenia dobrych właściwości tego materiału w zastosowaniu do budowy wałów, wybudowano wspólny wał pilotażowy w Körkwitzer Bach niedaleko Rostocku (Rys. 1.4), gdzie odbudowano 500 m długości sekcję rzeczywistego wału chroniącego obszar użytkowany rolniczo wykorzystując odpowiednio przygotowany DM z Rostocku. Powyżej opisane konstrukcje będą wykorzystywane zarówno do długoletniego monitoringu jak i do celów informacyjnych. Więcej wiadomości o projekcie znajduje się na stronie www.dredgdikes.eu.

1.3. Odbiorcy dokumentu

Niniejszy dokument stanowi wytyczne dla planistów, projektantów, administracji oraz wykonawców na temat postępowania z DM, CCPs i geosyntetykami w procesie planowania, uzyskiwania pozwoleń oraz budowy wałów. Odbiorcy wytycznych skupieni są w regionach Południowego Bałtyku, określonych na Rys. 1.5. Wytyczne zredagowano w języku angielskim, jednakże ze względu na łatwiejsze ich wykorzystanie w krajach uczestniczących w projekcie są one również dostępne w językach niemieckim i polskim. Ponadto, istnieje również Aneks w formie elektronicznej zawierający dodatkowe informacje na temat niektórych rozdziałów oraz podstawy naukowe przedstawiające uzyskane wyniki oraz proponowane zalecenia, z uwzględnieniem szczegółowej kompilacji wyników badań laboratoryjnych i polowych wykonanych w



Rys. 1.5. Obszar programu Południowego Bałtyku [10]

trakcie projektu. Wszystkie dokumenty są dostępne w formie elektronicznej w postaci plików PDF na stronie projektu DredgDikes www.dredgdikes.eu lub na stronie Katedry Geotechniki i Inżynierii Brzegu Uniwersytetu w Rostocku: www.auf-gk.uni-rostock.de.

Bibliografia

- [1] EC 2000. European Waste Catalogue (EWC) 2000/532/EC.
- [2] EC 2006. EU Regulation 1907/2006 of 18 December 2006 concerning the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals (REACH) and establishing a European Chemicals Agency.
- [3] Ecodump 2014. Website of the ecodump project „Application of ecosystem principles for the location and management of offshore dumping sites in the SE Baltic Region. <http://corpi.ku.lt/ecodump> [cited Nov 06 2014].
- [4] Netzbund, A., Christiansen, H., Maaß, B. & Werner, G. 1998. Relocation of dredged material from Hamburg harbour in the River Elbe, *Water Science and Technology*, **37**(6-7): 241-248.
- [5] HELCOM 2011. Report on disposal of dredged materials at sea. Available online: <http://meeting.helcom.fi/web/monas> [cited Oct 23 2013].
- [6] Neumann, R. & Henneberg, M. 2014. Legal aspects for the reuse of dredged material and the application in dike construction, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock, 10-11 April 2014, 189-194.
- [7] EC 2008. EU Directive 2008/98/EC. European Waste Framework Directive, Article 11 2b.
- [8] Pachowski, J. 1976. Fly-ashes and its usage in road constructions WKŁ, Warsaw (in Polish).
- [9] EC 2011. EU Regulation 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 [...] laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.
- [10] Figure provided by the South Baltic Programme, ERDF, www.southbaltic.eu.

2. INFORMACJE OGÓLNE

Bieżący rozdział stanowi całościowy opis problematyki związanej z urobkiem czerpalnym (DM), ubocznymi produktami spalania (CCPs/ po polsku UPS) i geosyntetykami w kontekście budowy wałów przeciwpowodziowych. Dodatkowo zaprezentowano kilka przypadków zastosowania ww. materiałów w wałach i nasypach.

2.1. Urobek czerpalny

Urobek czerpalny stanowi materiał osadowy, który został wydobyty z dna zbiorników lub rzek/kanalów. Materiał zawieszony w wodzie, a następnie sedymentujący na dnie jest integralną częścią ekosystemu wodnego. Naturalny proces sedymentacji materiałów zawieszonych i kruszywa prowadzi do powstawania osadów, a w konsekwencji do zmniejszenia głębokości dostępnej dla żeglugi. Osady te muszą być regularnie usuwane za pomocą bagrowania. Urobek czerpalny składa się generalnie z części organicznych i nieorganicznych. Części nieorganiczne stanowią zerodowane okruchy skalne pochodzące z dna cieku (głównie piasek i pył), jak również materiał pochodzący z erozji obszarów sąsiednich, transportowany do cieku z wodami opadowymi. Materiał organiczny (OM) to głównie mikroorganizmy oraz szczątki roślinne i zwierzęce.

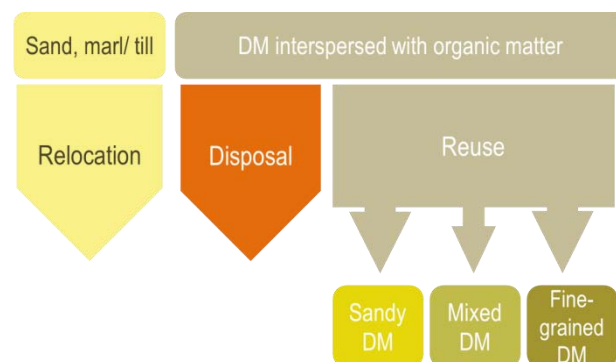
Skład i charakterystyka osadu, a co za tym idzie, urobku czerpalnego zależą od morfologii i procesów hydrodynamicznych i hydrologicznych zachodzących w wodach powierzchniowych. Osobnym problemem jest zawartość soli oraz skład chemiczny osadu. Procesy transportu w ciekach są z kolei odpowiedzialne za akumulację ziaren osadu o charakterystycznej granulacji w różnych obszarach akwenów.

W Niemczech corocznie wydobywa się ok. 41 mln m³ urobku czerpalnego z pogłębiania dróg wodnych na morzu oraz ok. 5 mln m³ na drogach śródlądowych. Prace te wykonują agencje federalne oraz regionalne. W Danii bagrowanie obejmuje rocznie ok. 5 mln m³ [1]. W Polsce roczny bilans prac pogłębiarskich to średnio ok. 1,1 mln m³ w ostatnich pięciu latach (2010 – 2014) [2]. Więcej informacji na ten temat zawierają prace [1] i [3].

DM posiada pewne specyficzne właściwości, które predestynują go jako materiał mogący zastąpić lub zmniejszyć



Rys. 2.1. Roboty pogłębiarskie koło tunelu Warnow w Rostocku, bagrowanie organicznego urobku pylastego



Rys. 2.2. Relokacja, uzdatnianie i składowanie urobku czerpalnego

zyć zapotrzebowania na surowce naturalne (w tym kruszywa), co sprzyja ochronie przyrody. Strategia uzdatniania lekko zanieczyszczonego DM jest również uzasadniona ekonomicznie.

Osady denne są bagrowane głównie w celach żeglugowych – aby utrzymać żeglowność (a więc wymaganą głębokość) dróg wodnych i portów (Rys. 2.1). Czynniki ekologiczne i ekonomiczne powodują, że dąży się do minimalizacji prac pogłębiarskich tak, aby uniknąć turbulencji i nie dopuścić do podnoszenia się osadów z dna (strategia zapobiegania). Dodatkowe czynniki, jak na przykład zanieczyszczenia osadu, mogą jednakże skutkować koniecznością usunięcia osadu z akwenu. Zdrowy rozsądek pozwala jednak uszeregować priorytety i dać pierwszeństwo uzdatnianiu osadu przed deponowaniem na składowisko odpadów[4].

Na Rys. 2.2 pokazano możliwości postępowania z pozyskanym DM. Materiały nieorganiczne oraz niezanieczyszczone mogą być przemieszczane (relokowane) w akwenu. Zanieczyszczony organiczny DM jest zwykle usuwany, natomiast niezanieczyszczony urobek organiczny powinien być uzdatniony (w zależności od rodzaju DM).

Ratyfikacja umów międzynarodowych dotyczących ochrony środowiska morskiego, a w szczególności Bałtyku, umożliwiła porozumienie stron zainteresowanych ochroną środowiska morskiego: Przykładowo w Meklemburgii-Pomorzu Przednim składowanie w morzu zanieczyszczonego DM oraz organicznego DM zawierającego przewagę cząstek drobnych zostało zakazane już w roku 1983 [5]. Tego typu materiały mogą zawierać substancje absorbujące tlen rozpuszczony w wodzie, powodując degradację wód Bałtyku. Ponadto drobnoziarnisty urobek składowany na dnie morza niszczy florę dna morskiego, przykrywając ją warstwą osadu. Należy też wspomnieć, że w wielu przypadkach składowanie takiego urobku na dnie morskim jest sprzeczne z regułą "wymogu tej samej granulacji" [6].

2.1.1. Definicje i klasyfikacja

Urobek czerpalny można klasyfikować według granulometrii oraz miejsca pochodzenia. W tej części podano krótkie definicje terminów używanych w podręczniku, podczas gdy wyczerpujące wyjaśnienia zawiera załączony Słownik.

Urobek czerpalny można zaklasyfikować jako grunt antropogeniczny o różnorodnym składzie mineralnym i różnej zawartości części organicznych, zdeponowany w wodach powierzchniowych i wydobyty w trakcie prac pogłębiarskich oraz hydrotechnicznych projektów inżynierskich [4]. W wytycznych podzielono go na piaszczysty, mieszany i drobnoziarnisty (Rys. 2.2). Urobek piaszczysty zawiera głównie frakcję piaszczystą ($d > 0.063$ mm) oraz małą zawartość cząstek drobnych ($< 10\%$ o $d < 0.063$ mm). *Mieszany*, jak określono w niniejszych wytycznych, zawiera dużą ilość frakcji piaszczystej oraz znaczną cząstek drobnych (Tab. 2.1). Urobek *drobnoziarnisty* oznacza materiał zawierający co najmniej 15 % frakcji najdrobniejszych ($d < 0.002$ mm). Urobek czerpalny jest zgodnie z wytycznymi traktowany jako *bogaty w części organiczne i wapno* jeśli zawartość części organicznych i wapnia przekracza odpowiednio 5 % wagowo.

Termin *dojrzewanie* oraz *proces dojrzewania* jest używany w odniesieniu do odwadniania i suszenia DM, w powiązaniu z mineralizacją oraz procesem glebotwórczym. W tym sensie dojrzewanie DM jest procesem fizykochemicznym oraz biologicznym.

W przypadku osadów morskich i portowych należy zwrócić uwagę na zasolenie. Większość DM wykorzystywa-

Tab. 2.1. Typowe parametry osadów zasolonych (IAA Rostock)

Urobek czerpalny	Piasek	Pył	Gлина	TOC	CaCO ₃
Drobnoziarnisty DM średnio	40	38	24	6	8
Drobnoziarnisty maksymalnie	74	64	46	10	16
Mieszany średnio	74	16	8	3	6
Mieszany maksymalnie	90	26	15	6	10

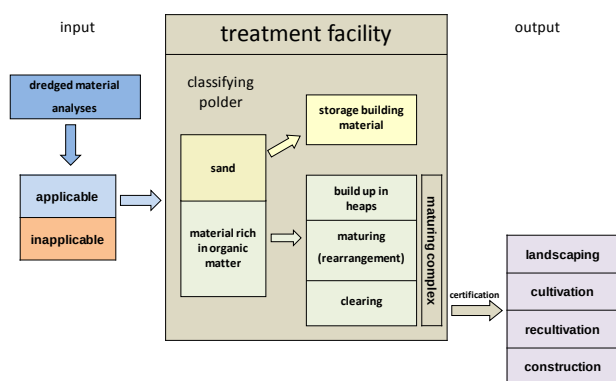
-nego w projekcie DredgDikes bagrowano z obszarów zatok morskich, stąd też zostały one zaklasyfikowane jako osady zasolone w niniejszym podręczniku. Tab. 2.1 zawiera uśrednione parametry DM pochodzącego z zakładu przeróbki DM w Rostocku. DM pochodzenia słodkowodnego zazwyczaj zawiera jedynie niewielką zawartość jonów sodowych i chlorkowych oraz ewentualnych biogennych związków siarki.

2.1.2. Obróbka urobku czerpalnego

Po bagrowaniu DM jest poddawany obróbce zanim zostanie uzdatniony. Proces ten może odbywać się bezpośrednio na placu budowy lub w zakładzie przetwórczym. Odwadnianie jest podstawową metodą obróbki DM. Przykładowy schemat zakładu przetwórczego, w którym wykorzystuje się naturalne procesy sedymentacji i samorzutnego odwadniania przedstawiono na Rys. 2.3. W tym przypadku możliwy jest też podział DM na frakcje w podłużnych polderach odwadniających, gdzie największe cząstki sedymentują najbliżej otworu wylotowego.

Tab. 2.2. Możliwe sposoby obróbki urobku czerpalnego

Sposoby obróbki urobku czerpalnego
Klasyfikacja granulometryczna i sortowanie Klasyfikacja ze względu na ciężar i rozmiar, sortowanie wg gęstości i kształtu ziaren i cząstek
Separacja w oparciu o rozmiar cząstek Można przeprowadzić np. poprzez przesiewanie lub odwirowanie (hydro-cyclone). Stosuje się przy cząstkach z zakresu 20 - 63 μ m.
Odwadnianie Oddzielenie wody od ziaren gruntu. Czas potrzebny do odwodnienia zależy od zawartości cząstek drobnych i organicznych.
Procesy biologiczne/ biodegradacja Rozkład części organicznych przez mikroorganizmy
Procesy termiczne Desorpcja, utlenianie, immobilizacja zanieczyszczeń i części organicznych
Związywanie chemiczne Immobilizacja zanieczyszczeń przez dodanie substancji, które zmniejszają ich wymywanie



Rys. 2.3. Przykład instalacji do naturalnej sedimentacji [11]

Aby uniknąć wymywania zanieczyszczeń można je związać chemicznie dodatkami. W Niemczech metodę tą stosuje się, jeśli stężenie zanieczyszczeń nie przekracza limitów ustalonych dla uzdatniania (zgodnie z [8] i [9], patrz również Rozdział 4).

Pozostałe możliwości uzdatniania urobku przedstawiono w Tab. 2.2 i szczegółowo opisano w pracach [4] i [10].

2.1.3. Zanieczyszczenia

Znacząca część zanieczyszczeń przedostających się do wód powierzchniowych jest absorbowana na powierzchni cząstek osadów dennych. Ładunek zanieczyszczeń jest bardzo różnorodny, a dodatkowo może być zmienny w czasie. Ich pochodzenie może być natury punktowej lub rozmytej – ze środowiska powietrznego, wodnego lub gruntowego.

Szczegółowe informacje na temat zawartości zanieczyszczeń DM w krajach bałtyckich takich jak Polska, Dania, Litwa i Niemcy można znaleźć na oficjalnych stronach internetowych Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO) [12] oraz Komisji Helsińskiej (HELCOM) [13]. Informacji nt. zanieczyszczeń w osadach rzecznych w zlewniach rzek Europy dostarcza SedNet [14]. DM z wód morskich zawiera duże ilości chlorków oraz soli siarkowych, które trzeba uwzględnić w procesie uzdatniania.

Zawartość metali ciężkich oraz zanieczyszczeń organicznych w osadach przybrzeżnych jest bardzo zróżnicowana. Wielkość ta jest generalnie skorelowana z zawartością cząstek drobnych oraz organicznych. Rozpuszczalność związków metali ciężkich zależy od potencjału redoks oraz zawartości wapna w DM. Czasami pojawiają się zwiększone stężenia jonów cynku oraz węglowodorów; jednakże mogą być one pochodzenia biologicznego. W Meklemburgii-Pomorzu Przednim rzadko

Tab. 2.3. Typowe zawartości metali ciężkich w drobnociastym DM ze strefy przybrzeżnej; różne składowiska w M-V i miejski zakład obróbki w Rostocku (IAA) [16]

Pierwiastek	M-V	IAA Rostock
	mg/kg SM	mg/kg SM
Arsen	0.6 - 6.8	5 - 25
Ołów	15.9 - 38.7	10 - 35
Kadm	0.3 - 1.0	0 - 0.76
Chrom	16.7 - 44.0	12 - 63.5
Miedź	15.8 - 41.5	14 - 37
Nikiel	15.8 - 27.7	11 - 18
Rtęć	0.05 - 0.35	0 - 0.9
Cynk	55 - 178.7	36 - 177

Tab. 2.4. Typowe zawartości metali ciężkich w drobnociastym DM ze strefy przybrzeżnej w Polsce [17]

Pierwiastek	Polska - porty	Polska - stocznie
	mg/kg SM	mg/kg SM
Arsen	n/a	n/a
Ołów	2.9 - 31.4	3.3 - 865.0
Kadm	0.1 - 1.0	0.9 - 25.9
Chrom	0.6 - 7.9	0.0 - 46.6
Miedź	6.8 - 30.1	0.4 - 344.0
Nikiel	n/a	n/a
Rtęć	0.004 - 0.023	0.008 - 0.416
Cynk	38.4 - 156.0	9.9 - 797.0

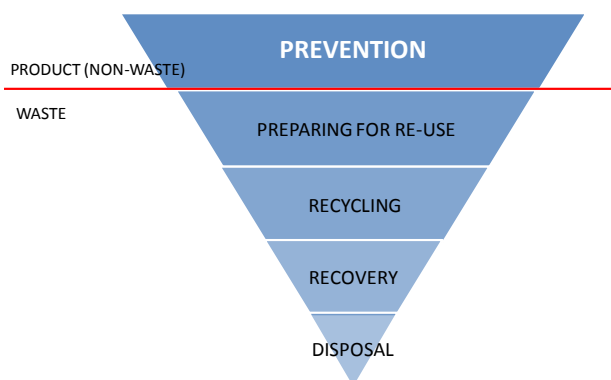
zdarzają się osady z podwyższoną zawartością cyny; występują one na niewielkich obszarach portowych i stoczniowych. Przykładowe wartości stężenia metali ciężkich w drobnociastych osadach dennych Meklemburgii-Pomorza Przedniego przedstawiono w Tab. 2.3. W trakcie prac pogłębiarskich (np. droga wodna Wismaru) stwierdza się podwyższone stężenia rtęci i ołowiu, jak również miedzi i cynku [15]. Informacje nt. zawartości metali ciężkich w DM w Polsce zawiera Tab. 2.4.

Wysokie stężenia metali ciężkich są dużym problemem dla wód rzecznych. Wody stojące wykazują zazwyczaj nieznaczne zanieczyszczenie metalami ciężkimi, chociaż są bardziej narażone na zanieczyszczenia pestycydami chloroorganicznymi. Ponadto PCB, pierścieniowe węglowodory aromatyczne PAH, węglowodory, PCDD/PCDF oraz organiczne związki cyny (TBT) stwierdzono w wodach stojących Meklemburgii-Pomorza Przedniego [15].

Ogólnokrajowe badania środowiska morskiego Danii, przeprowadzone w 2008 roku podsumowały status osadów

Tab. 2.5. Metody uzdatniania urobku czerpalnego w zależności od granulometrii [20]

Zastosowanie urobku uczerpального	Rodzaj urobku czerpalnego				
	Skala	Żwir	Piasek	Gлина/Pył	Grunt mieszany
Budowa dróg	x	x	x	x	x
Zasyпки	x	x	x	x	x
Budowa i odbudowa wałów	x	x	x	x	x
Bariery akustyczne i przeciwwiatrowe			x	x	x
Prace refulacyjne		x	x	x	x
Stabilizacja		x	x		x
Uszczelnianie wyznaczonych składowisk urobku				x	
Warstwa okrywowa składowisk odpadów i zanieczyszczonego urobku		x	x	x	x
Rekultywacja terenów przemysłowych			x	x	x
Polepszenie warunków środowiskowych (rolnictwo, budowa siedlisk)				x	x



Rys. 2.4. Hierarchia gospodarki odpadami [19].

morskich w sposób następujący: „Zanieczyszczenie metalami stwierdzono w 20-40% próbek pobranych w 2008 roku, przy czym stężenia przekroczyły poziom tła zdefiniowany przez OSPAR w odniesieniu do As, Ni, Zn, Pb, Cu oraz Cr. Zanieczyszczenie metalami ciężkimi, takimi jak Cd i Hg obejmowało 70% próbek, gdzie stwierdzono przekroczenie poziomu tła, szczególnie dotyczyło to wód śródlądowych Danii. Oprócz metali ciężkich największym problemem są wciąż TBT oraz PAH” [18].

2.1.4. Metody uzdatniania urobku czerpalnego

Urobek czerpalny wydobyty z dna akwenu i przetransportowany na ląd zostaje generalnie uznany za odpad. W tym przypadku należy postępować z DM zgodnie z załączoną hierarchią gospodarki odpadami (Rys. 2.4).

Proces uzdatniania DM może być prowadzony na wiele sposobów. Liczne przykłady metod uzdatniania można znaleźć w [4], [7], [20]. W Tab. 2.5 przedstawiono przykładowe sposoby uzdatniania DM, w zależności od jego

rodzaju. Aspekty prawne, związane z uzdatnianiem DM w zastosowaniach geotechnicznych wraz z informacją o możliwych zastosowaniach zawarte są w dalszych rozdziałach niniejszego podręcznika.

2.1.5. Aspekty środowiskowe

W każdym procesie uzdatniania materiałów zaklasyfikowanych jako odpady należy przeanalizować ich oddziaływanie na środowisko. Należy między innymi rozpatrzyć warianty uwalniania niepożądanych substancji do środowiska oraz ocenić ich możliwe negatywne skutki dla środowiska w trakcie procesu uzdatniania DM.

2.1.5.1. Ocieki

Ze względu na niską zawartość metali ciężkich ocieki pochodzące z DM nie stanowią większego zagrożenia dla środowiska glebowego oraz organizmów żywych. Niską zawartość tego typu zanieczyszczeń potwierdzają m.in. badania prowadzone w projekcie DredgDikes oraz innych programach naukowych ([21], [22]). Wartości stężeń szkodliwych pierwiastków - zarówno w odciekach, jak i na cząstkach DM - są zazwyczaj poniżej dopuszczalnych stężeń określonych w obowiązujących aktach prawnych. Metale ciężkie oraz zanieczyszczenia organiczne w DM są na ogół stabilne chemicznie, w związku z tym nie ma dużego ryzyka ich uwalniania. Istnieje jednak niebezpieczeństwo, że zmiana warunków redoks może zaburzyć równowagę chemiczną, uwalniając metale ciężkie (np. w czasie pierwszych tygodni procesu wysychania świeżo bagrowanego organicznego DM). Na szczęście

w większości przypadków, gdy faktycznie dochodzi do zmiany warunków redoks, efekt ten jest krótkotrwały i ew. ładunek wymywanych substancji niebezpiecznych szybko spada poniżej dopuszczalnych wartości [23].

W projekcie DredgDikes nie stwierdzono uwalniania z materiału wałów zbudowanych z DM zarówno metali ciężkich, jak i związków azotu i fosforu. Przy niskiej zawartości metali ciężkich, słonowodny DM zawiera spore ilości biogenów i soli. Biorąc pod uwagę zastosowania rolnicze, tego typu osady zawierają dużo magnezu, potasu i wapnia, które mogą służyć jako nawóz [24], a z drugiej strony będą podlegały wymywaniu, jeśli nie zostaną zabsorbowane przez rośliny.

Analogiczne procesy występują w przypadku jonów soli. Chlorki są bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie, co skutkuje ich łatwą i szybką podatnością na wymywanie z DM. W badanych odciekach stwierdzono wysoką zawartość chlorków, siarczanów i związków sodu. Dodatkowo stwierdzono wysokie stężenia biogennych związków magnezu, potasu i wapnia.

Podsumowując można stwierdzić, że w większości przypadków zanieczyszczenia nieorganiczne zawarte w DM spełniają normy czystości gruntu, natomiast problemem środowiskowym może być uwalnianie soli z DM pochodzenia morskiego [21], [25].

Wobec powyższego należy monitorować wszelkie konstrukcje wykonywane z DM wydobywanego z wód słonych. Nie dotyczy to oczywiście wałów morskich, które w sposób naturalny kontaktują się z wodą morską.

2.1.5.2. Transport zanieczyszczeń wraz z cząstkami osadu

Oprócz niebezpieczeństwa wymywania niepożądanych substancji z DM istnieje potencjalne niebezpieczeństwo związane z wymywaniem drobnych cząstek samego osadu. Może to być spowodowane erozją wietrzną lub wodną. Okrywa antyerozyjna (roślinna lub konstrukcyjna) zabezpiecza przed erozją. Szczególną uwagę należy zwrócić na początkowy okres po wybudowaniu wału, kiedy pokrywa antyerozyjna nie uzyskała jeszcze pełnej efektywności (dotyczy to głównie pokrywy roślinnej); z drugiej strony mało prawdopodobne jest wymywanie cząstek gruntu z uwagi na spory zapas bezpieczeństwa w obliczeniach filtracji przez wał w nowo projektowanych konstrukcjach.

2.1.5.3. Biodegradowalność

Drobnoziaisty DM, poddany dojrzewaniu zawiera bardzo często znaczny udział części organicznych. DM bagrowany w Rostocku zawiera od 4 do 10 % części organicznych (6 do 17 % w przeliczeniu na humus). Materia organiczna oraz wapń budują w osadach stabilne aglomeraty złożone ze związków mineralno-organicznych, charakteryzujące się dużą zdolnością sorpcyjną, zdolnością retencji wody oraz dużym ładunkiem substancji użyźniających. Wątpliwości związane ze stabilnością materii organicznej zostały rozwiane w serii badań z zastosowaniem testu respiracji AT₄ [26]. Badania wykazały, że materia organiczna jest bardzo stabilna, co wynika częściowo z zawartości substancji humusowych. Tempo biodegradacji w badaniu AT₄ urobku po procesie dojrzewania (< 0.5-0.6 mg O₂/ gSM) spada znacznie poniżej granicy podanej w odpowiednim rozporządzeniu (5 mg O₂/ gSM, DepV) [26].

2.1.6. Dalsze informacje

Dalsze, szczegółowe informacje nt. urobku czerpalnego, jego uzdatniania oraz składowania na dnie morskim w regionie południowego Bałtyku zawierają publikacje [3], [4], [5], [7], [10], [20], [26] i [27].

2.2. Uboczne produkty spalania

Uboczne produkty spalania węgla (CCPs/ po polsku UPS) powstają w elektrowniach węglowych, spalających węgiel brunatny lub kamienny. Głównym składnikiem wydobywanego węgla jest pierwiastek węgla (C) oraz wodór, jednakże zarówno węgiel kamienny, a w szczególności węgiel brunatny zawierają różne domieszki mineralne (kwarc, min. ilaste, łupki, kalcyt). Ilość CCPs produkowana w elektrowni zależy od objętości węgla spalanego w kotłach oraz zawartości minerałów w węglu, a także w pewnym stopniu od technologii spalania.

Do CCPs zalicza się także produkty odsiarczania spalin pozyskiwane w procesie reakcji chemicznej wiązania dwutlenku siarki (pochodzącego ze spalania siarki zawartej w węglu) przez absorbenty wapniowe w różnego rodzaju instalacjach odsiarczających.

Całkowitą ilość wytwarzanych CCPs szacuje się na ok. 550 mln ton rocznie. Kraje UE produkują około 95 milionów ton CCPs rocznie [28].

2.2.1. Definicje i klasyfikacja CCPs

CCPs można zaklasyfikować wg składu mineralnego węgla oraz technologii jego spalania jak poniżej (szczegółowe klasyfikacje oparte na [29] są załączone w Aneksie I):

- popiół lotny (FA),
- popiół paleniskowy (BA),
- żużel (BS),
- popiół z kotłów fluidalnych (FBC).

Oprócz wyżej wymienionych do CCPs zalicza się produkty odsiarczania spalin:

- gips z odsiarczania spalin (FGD),
- produkty mokrego odsiarczania (FGD) oraz produkty półsuchej absorpcji (SDA).

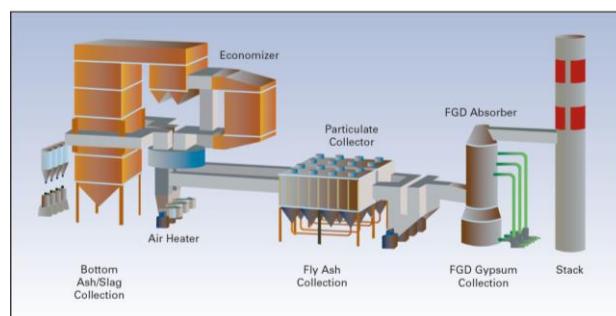
Popiół lotny (FA) uzyskuje się na drodze elektrostatycznego lub mechanicznego wytrącania cząstek pyłu ze spalin. Proces spalania węgla zachodzi w temperaturze ok. 1100 - 1400°C. FA ma konsystencję drobnego pyłu, składa się głównie z amorficznych oraz szklistych glinokrzemianów. FA tworzą drobnoziarniste cząstki o granulacji od 1 do 100 mikronów (średnia granulacja rzędu 20 - 25 mikronów).

Popiół paleniskowy (BA) jest materiałem ziarnistym złożonym z cięższych cząstek, które opadają na dno paleniska (Rys. 2.5). Podobnie jak FA składa się on z amorficznych oraz szklistych glinokrzemianów, jednakże o większych ziarnach (pylastych i piaszczystych), o średnicach w zakresie od 0.1 mm do 50 mm.

Żużel (BS) jest specjalnym rodzajem popiołów paleniskowych zbieranym w kotłach z technologią mokrą, gdzie cząsteczki popiołu są chłodzone w wodzie i formują gruboziarnisty materiał o średnicy dochodzącej do 8 mm. Żużel jest materiałem szklistym, bezpiecznym środowiskowo, który z powodzeniem jest używany m.in. w drogownictwie (jako np. warstwa drenażowa).

Popiół z kotłów fluidalnych (FBC) jest produkowany w kotłach fluidalnych. Technologia ta łączy proces spalania węgla oraz odsiarczania bezpośrednio w kotle przy temperaturze od 800 do 900°C. Popiół z kotłów fluidalnych jest bogaty w wapń oraz siarkę.

Gips z odsiarczania spalin (FGD) jest produktem analogicznym do gipsu naturalnego. Uzyskuje się go przy mokrym odsiarczaniu spalin oraz poddaniu produktu rafinacji, polegającej na utlenianiu, separacji, przemywaniu i odwadnianiu gipsu. *Produkty mokrego odsiarczania* (FGD) są również wytwarzane w procesie odsiarczania spalin



Rys. 2.5. Wytwarzanie CCPs w elektrowni [40]

Tab. 2.6. Skład chemiczny typowych popiołów w Polsce oraz porównanie do gruntów naturalnych (w oparciu o [30] i [31])

Związek	Popiół lotny z węgla	Popiół lotny z węgla brunatnego	Grunt
	[%]	[%]	[%]
SiO ₂	49-55	33-51	43-61
Al ₂ O ₃	24-31	4-33	10-20
CaO	0.1-4.5	20-33	0-7
SO ₃	0.0-1.0	0.0-8.5	-
Fe ₂ O ₃	5-9	5-11	1-14
LOI	0.2-3.4	0.1-7.9	5-17

(w mokrej technologii), zaś *produkty półsuchej absorpcji* (SDA) powstają w technologii wykorzystującej wapno jako sorbent.

2.2.2. Skład chemiczny i zanieczyszczenia

Skład chemiczny popiołów jest zdeterminowany chemizmem paliwa węglowego oraz technologią spalania. W skład popiołu wchodzi wszystkie minerały zawarte w węglu, takie jak kwarc, skalenie, minerały ilaste i tlenki metali - te same, które budują większość skał skorupy ziemskiej. Krzemiany, tlenki glinu, żelaza i wapnia stanowią ponad 90 % masy typowych popiołów (Tab. 2.6).

Pozostałe związki pierwiastków takich jak magnez, potas, sód, tytan i siarka stanowią ok. 8 % składu mineralnego popiołów, podczas gdy pierwiastki śladowe jak arsen, kadm, ołów, rtęć i selen - nie więcej niż 1 % składu. W Tab. 2.6 przedstawiono typowe zawartości ważniejszych minerałów w popiołach lotnych i paleniskowych oraz porównawczo odniesienie do składu typowych skał i gruntów. Popiół lotny zawiera również pewną część niespalonego węgla, zależnie od technologii spalania. Najłatwiej jego zawartość oszacować poprzez oznaczenie strat przy prażeniu (ang. loss on ignition - LOI), których wartość waha się od < 1 % do > 20 %.

Tab. 2.7. Typowa zawartość metali ciężkich w CCPs w Polsce [32]

Pierwiastek	Popiół lotny FA	Popiół paleniskowy BA
	[mg/kg]	[mg/kg]
Chrom	89 - 300	8 - 48
Ołów	35 - 150	64 - 170
Kadm	BDL - 4	3 - 15
Miedź	93 - 208	94 - 242
Nikiel	71 - 132	28 - 231
Rtęć	BDL - 4	BDL - 4
Cynk	16 - 2,400	48 - 220

BDL: Poniżej poziomu wykrywalności

Tab. 2.8. Typowa zawartość metali ciężkich w odciekach z CCPs w Polsce [32]

Pierwiastek/ parametr	Jedn.	Popiół lotny FA	Popiół paleniskowy BA
Przewodność	μS/cm	300 - 3,200	271 - 720
Chlor	mg/l	4 - 40	2 - 47
Siarka		25 - 357	33 - 113
Arsen	μg/l	BDL - 400	BDL - 200
Kadm		20 - 100	BDL - 50
Chrom		BDL - 643	30 - 130
Rtęć		BDL - 10	BDL
Wanad		BDL - 750	360 - 1,080

BDL: Poniżej poziomu wykrywalności

Tab. 2.9. Minimalne i maksymalne zawartości metali ciężkich w odciekach z CCPs w Niemczech [33]

Pierwiastek/ parametr	Jedn.	Popiół lotny FA	Popiół paleniskowy BA
Przewodność	μS/cm	630 - 4500	92 - 2060
Chlor	mg/l	5 - 50	2 - 50
Siarka		75 - 1056	10 - 419
Arsen	μg/l	1 - 3200	0.6 - 55
Kadm		0.5 - 100	nda
Chrom		10 - 2250	nda
Rtęć		0.02 - 5	0.03 - 2
Wanad		50 - 1050	10 - 95

nda - brak danych

Zawartość związków wapnia, żelaza i siarki w CCPs determinuje ich podstawowe własności chemiczne oraz reaktywność. Popioły pochodzące ze spalania węgla brunatnego i łupków bitumicznych mają relatywnie wysoką zawartość wapnia, przekraczającą zazwyczaj 15 % (jako zawartość CaO), co daje odcieki o charakterze alkaicznym (pH 11 - 12). Popioły ze spalania węgla kamiennego zawierają generalnie dużo mniej wapnia i dają roztwory lekko kwaśne do lekko zasadowych (pH 5 - 10).

Skład chemiczny popiołów w danej elektrowni może się zmieniać w przypadku zmiany źródła węgla, czy zmiany technologii (np. wprowadzenie odsiarczania spalin). Tab. 2.7 i Tab. 2.8 zawierają typowe zawartości metali ciężkich w CCPs i odciekach z CCPs w Polsce. Analogiczne dane dla odcieków z CCPs wg źródeł niemieckich zawiera Tab. 2.9.

2.2.3. Geotechniczna klasyfikacja CCPs

Podstawą geotechnicznej klasyfikacji gruntów jest zawartość poszczególnych frakcji, krzywa uziarnienia oraz granice konsystencji. Wielkości te wyznacza się laboratoryjnie. W przypadku CCPs, analogicznie jak dla gruntów, można oznaczyć frakcje (granulometrię) oraz krzywą uziarnienia. Z praktycznego punktu widzenia wielkość strat przy prażeniu nie jest stosowana w klasyfikacji geotechnicznej.

Dominującą frakcją w popiołach lotnych jest frakcja pylasta; stąd też są one klasyfikowane jako popioły drobnoziarniste. Popioły paleniskowe oraz popioły z odstoników zalicza się do popiołów gruboziarnistych, z uwagi na dominującą frakcję piaszczystą. Niektóre popioły paleniskowe zawierają również domieszkę frakcji żwirowej. Zalecany system klasyfikacji popiołów zawiera praca [29] (Aneks I).

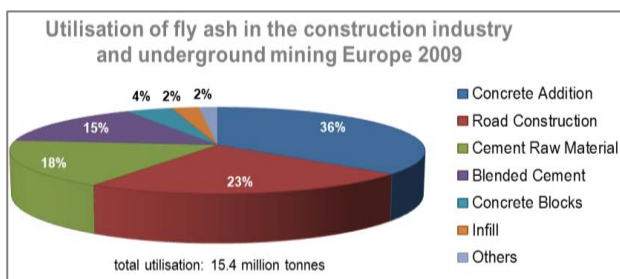
2.2.4. Metody uzdatniania CCPs

Kraje UE wyprodukowały w roku 2009 ok. 95 mln ton CCPs [28]. Większą część tej produkcji stanowią popioły lotne. W Unii Europejskiej zagospodarowanie FA w budownictwie sięga obecnie 48 %, natomiast BA około 45 %, podczas gdy stopień wykorzystania BS wynosi 100 %. W większości przypadków CCPs są stosowane w miejsce kruszyw naturalnych, co jest wymiernym efektem proekologicznym, ponieważ pozwala na ograniczenie wydobycia kruszyw naturalnych. Produkty oparte na CCPs pozwalają na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (głównie CO₂) zastępując materiały wysokoemisyjne (jak np. cement).

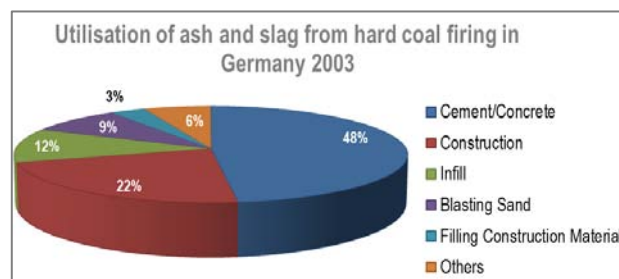
CCPs są szeroko stosowane w budownictwie: jako dodatki do cementów, ew. w zastępstwie cementu, jako kruszywo lub jako materiał wiążący w drogownictwie. Mogą służyć jako kruszywo wypełniające przy rekultywacji a nawet jako nawóz. W wielu krajach europejskich produkty oparte na CCPs uzyskują certyfikaty jako materiały budowlane. Jeśli chodzi o popiół lotny, to jego głównym odbiorcą jest przemysł cementowy, który używa go jako składnika cementu.

Tab. 2.10. Możliwości wykorzystania CCPs

	Popiół lotny	Popiół paleniskowy	Żużel	Popiół z kotłów fluidalnych	Gips z odsiarczania spalin	Produkty odsiarczania na mokro
Przemysł cementowy	x	x			x	
Drogownictwo	x	x	x	x		x
Drogi kolejowe	x	x	x	x		x
Wypełnienia strukturalne/nasypy	x	x	x	x	x	x
Wały przeciwpowodziowe	x	x	x	x		
Uzdatnianie/stabilizacja gruntów	x	x		x		x
Piaskowanie/pokrycia dachowe	x	x	x			
Stabilizacja/zestawianie odpadów	x			x	x	x
Produkcja płyt gipsowych					x	x
Rekultywacja terenów przemysłowych	x	x	x	x		
Polepszenie warunków środowiskowych (rolnictwo, budowa siedlisk)	x	x			x	



Rys. 2.6. Wykorzystanie popiołów lotnych w budownictwie oraz górnictwie podziemnym w Europie w 2009r. [36]



Rys. 2.7. Wykorzystanie popiołów i żużli ze spalania węgla kamiennego w Niemczech w 2003r. [33]

FA działa jako czynnik pucolanowy (glinokrzemian o właściwościach cementujących w połączeniu z wapnem i wodą). FA mogą bezpośrednio zastępować cement portlandzki w betonie (zastosowanie to sięga lat 50-tych XX wieku). Stosowanie FA jako dodatku do cementu daje wymierne korzyści, pozwala na poprawienie jego wytrzymałości, odporności na wodę, zapobiega degradacji betonu. Liczne normy europejskie i branżowe precyzują wymagania fizykochemiczne dla popiołów stosowanych jako domieszki do betonów, np. w USA: ASTM C618 [34] czy w Polsce: PN-EN 450:2007 [35]. Poza domieszkami do betonu FA używa się w ilości ponad 1 mln ton rocznie do rekultywacji, stabilizacji odpadów i likwidacji szybów kopalnianych. Jeśli chodzi o popioły gruboziarniste, jak np. BA czy żużel, to ich głównym obszarem zastosowań są rekultywacje i podbudowy dróg oraz piaskowanie i pokrycia dachowe [36] (Tab. 2.10). Zastosowania FA w Europie w 2009 roku przedstawiono na Rys. 2.6, natomiast na Rys. 2.7 pokazano zastosowanie popiołów i żużli w Niemczech w roku 2003.

2.2.5. Aspekty środowiskowe

2.2.5.1. Odcieki

Jedną z głównych kwestii środowiskowych dotyczących deponowania CCPs na placach składowych oraz na składowiskach jest problem odcieków oraz ryzyko uwalniania metali ciężkich do wód powierzchniowych. Szczegółowe analizy wykazały, że popioły bardzo rzadko przekraczają kryteria zdefiniowane dla odpadów niebezpiecznych np. wg.: "Toxicity Characteristic Leaching Procedure" (TCLP) opisanym w USA przez "Resource Conservation and Recovery Act" [37], czy też w ustawodawstwach krajów UE (p. tab. 4.9 oraz szczegółowe analizy w Aneksie II).

Liczne badania wykazały, że proces wymywania jest bardzo złożony i zależy od wielu czynników, m.in.: od składu chemicznego, pH roztworu i podatności związków/pierwiastków na wymywanie. Podatność na wymywanie zależy od tego, czy dany związek/pierwiastek jest skumu-

lowany na powierzchni cząstek popiołu, w zewnętrznej otoczce szklistej, czy uwięziony wewnątrz cząstki pyłu. Reakcje chemiczne zachodzące w czasie oraz mineralizacja mogą znacząco zmienić podatność na wymywanie. Przykładowo: arsen naturalnie zbiera się na powierzchni cząstek FA, stąd też może być podatny na wymywanie w świeżym FA, natomiast obecność wapnia może z czasem powodować powstawanie nierozpuszczalnych związków wapniowych arsenu [38]. W przypadku stosowania niecertyfikowanych CCPs zaleca się szczegółowe badania laboratoryjne wymywalności, aby wyeliminować ryzyko uwalniania niebezpiecznych substancji w czasie.

2.2.5.2. Pylenie popiołów

Popiół lotny z uwagi na zawartość pyłów jest ze swej natury podatny na unoszenie przez wiatr i powoduje pylenie. Na placu budowy nie stanowi to większego problemu, z uwagi na relatywnie krótki czas wbudowywania. Istotniejszym problemem jest pylenie oraz wpływ pylenia na zdrowie pracowników w zakładach energetycznych i przetwarzających CCPs, z uwagi na przedłużony kontakt z zapyłonym powietrzem. Na placach budowy wystarczają zwykle środki BHP, jak maski przeciwpyłowe. Jeśli chodzi o składowiska popiołów, to najczęściej zabezpiecza się je poprzez zraszanie wodą (na aktywnych kwaterach) oraz docelowe przekrycie warstwą gruntu, gleby i roślin. Ten temat jest również poruszany w rozdziale 5, gdzie opisano metody składowania i transportu CCPs.

2.2.5.3. Rtęć

Z uwagi na silne własności toksyczne rtęć jest pierwiastkiem będącym w centrum uwagi ekologów, szczególnie w jeziorach i rzekach. Średnie stężenie rtęci w węglu jest na poziomie 0.11 mg/kg; 80 % badanych próbek węgla wykazuje zawartość rtęci poniżej 0.25 mg/kg. Rtęć w popiołach lotnych z węgla występuje w zakresie od 0.05 mg/kg do 2 mg/kg, najczęściej jednak jej zawartość waha się w granicach od 0.1 do 0.5 mg/kg.

Jednym ze sposobów redukcji emisji rtęci do atmosfery jest iniekcja aktywowanego węgla do gazów odlotowych w procesie spalania. Cząstki rtęci adsorbowane są przez aktywowany węgiel, który z kolei jest wylapywany wraz z FA w elektrofiltrach. Technologia zwiększa stężenie rtęci w FA, jednakże badania prowadzone przez amerykańską Environmental Protection Agency (EPA) i Electric Power Research Institute (EPRI), a także przez ITB w Polsce,

wskazują na dużą stabilność rtęci związanej przez aktywny węgiel oraz bardzo niskie ryzyko jej uwalniania w odciekach, czy podczas parowania [32], [38].

2.2.5.4. Radioaktywność

Węgiel wydobywany w kopalniach charakteryzuje się naturalną zawartością pierwiastków radioaktywnych, takich jak uran i tor, zawiera również produkty ich rozpadu. Pierwiastki te występują w węglu w stężeniach od 1 do 4 mg/kg [39], gdyż zostają one uwięzione w cząstkach popiołów lotnych w trakcie procesu spalania węgla. Radon obecny w węglu zostaje uwolniony do atmosfery podczas spalania.

Mimo że stężenie izotopów promieniotwórczych w FA, w porównaniu do węgla, wzrasta przy spalaniu (na skutek utraty masy), liczne badania przeprowadzone przez US Geological Survey [39], Politechnikę Szczecińską (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny) oraz Główny Instytut Górnictwa [32] pokazują, że średnie stężenia pierwiastków promieniotwórczych w popiołach są porównywalne do stężeń w skałach naturalnych. Radioaktywność wyrażana we współczynnikach stężenia radionuklidów szeregów pierwiastków K-40, Ra-224 i Th-228 są na poziomie tła, natomiast radioaktywność szeregów Ra-226 i Ra-228 jest trzykrotnie niższa niż dopuszczalne wartości dla składowisk i konstrukcji ziemnych w Polsce (wartości dopuszczalne są podane tylko dla szeregów: Ra-226 odpowiednio: 350 Bq/kg, Ra-228 odpowiednio: 230 Bq/kg, zaś współczynnik f_1 określający stężenie radionuklidów nie powinien przekraczać 1,0) [32].

Badania prowadzone na popiołach z elektrowni Dolna Odra wykazały, że sumaryczne stężenie pierwiastków promieniotwórczych oraz radonu utrzymuje się poniżej limitów dopuszczalnych dla materiałów budowlanych [32]. Obserwacje te potwierdzają również instytuty amerykańskie, m.in. EPA, US GS oraz EPRI, stwierdzając, że ekspozycja na promieniowanie pochodzące z produktów na bazie FA nie stwarza zagrożenia dla zdrowia [39].

2.2.6. Dalsze informacje

Jeżeli popioły CCPs są poddane procesowi uzdatniania, należy uwzględnić różnice w ustawodawstwie między Polską, a Niemcami (szczegóły w Rozdziale 3). Najwięcej wytycznych dotyczy zastosowań CCPs w drogownictwie i przemyśle cementowym oraz betonowym ([8], [34], [35] [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]).

2.3. Geosyntetyki

Geosyntetyki są stosowane w budownictwie od końca lat 70-tych ubiegłego wieku w zastosowaniach hydrotechnicznych i geotechnicznych, a ich funkcje są bardzo różnicowane. Geosyntetyki mogą działać na przykład jako filtry, wzmocnienie, uszczelnienie i warstwy rozdzielające. Geosyntetyki szybko się rozwinęły, począwszy od prostych włóknin i tkanin stosowanych w inżynierii geotechnicznej i hydrotechnicznej do bardzo wyrafinowanych wyrobów kompozytowych, łączących właściwości różnych materiałów i technologii produkcji.

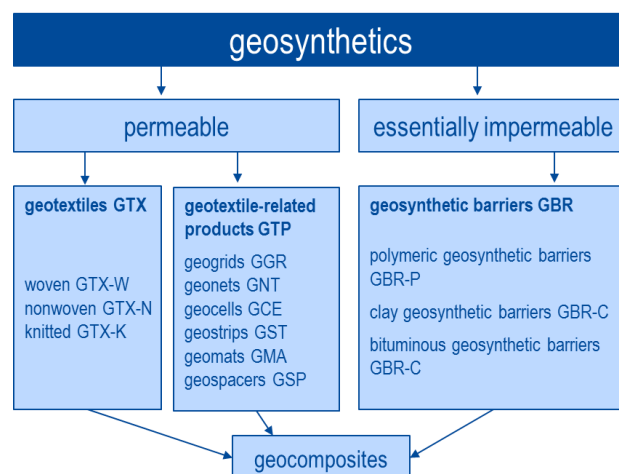
Geosyntetyk (GSY) jest to "termin ogólny określający wyrób, którego co najmniej jeden składnik wytworzony został z syntetycznego lub naturalnego polimeru, mający postać arkusza, taśmy lub formy przestrzennej, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie [50]. GSY można podzielić na przepuszczalne i nieprzepuszczalne dla wody wyroby płaskie [51]. W dalszej części, krótko wyjaśniono terminologię EN ISO 10318 [50] na podstawie [51].

2.3.1. Rodzaje geosyntetyków

Geosyntetyki można podzielić na przepuszczalne i praktycznie nieprzepuszczalne. Wyrobami przepuszczalnymi są geotekstylia i wyroby pokrewne geotekstyliom, podczas gdy bariery geosyntetyczne są nieprzepuszczalne (Rys. 2.8). Na rys. 2.9 przedstawiono przykłady różnych geosyntetyków.

Wyroby geotekstylne (GTX) są to "płaskie, przepuszczalne, polimerowe (syntetyczne lub naturalne) wyroby tekstylne, które mogą być nietkane, tkane lub dziane, stosowane w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie" [50]. Mogą być tkane - geotkaniny (GTX-W), nietkane - geowłókniny (GTX-N, wytworzone z włókien ciągłych lub ciętych, łączonych mechanicznie i/lub termicznie i/lub chemicznie) lub dziane (GTX-K).

Wyroby pokrewne geotekstyliom (GTP) są to "płaskie, przepuszczalne, polimerowe (syntetyczne lub naturalne) wyroby tekstylne, które nie odpowiadają definicji wyrobu geotekstynego" (EN ISO 10318). Mogą to być: geosiatki (GGR) i wyroby pokrewne geosiadkom takie jak pasma, geotaśmy (GST), elementy żebrowe, georuszty drenażowe (GNT), geosyntetyki komórkowe (GCE), geomaty (GMA) i geosyntetyki dystansujące (GSP).



Rys. 2.8. Podział geosyntetyków [51]

Geosyntetyki nieprzepuszczalne można podzielić na geosyntetyczne bariery ilowe (GBR-C) (lub uszczelnienia geosyntetyczno-ilowe), geosyntetyczne bariery polimerowe (GBR-P) i geosyntetyczne bariery bitumiczne (GBR-B). W GBRC zwykle stosowany jest bentonit pomiędzy dwoma arkuszami wyrobu geotekstynego, działający jak bardzo cienka warstwa gliny o małej przewodności hydraulicznej, podczas gdy dwa pozostałe wyroby z tej grupy są zasadniczo geomembranami wytworzonymi z różnych materiałów.

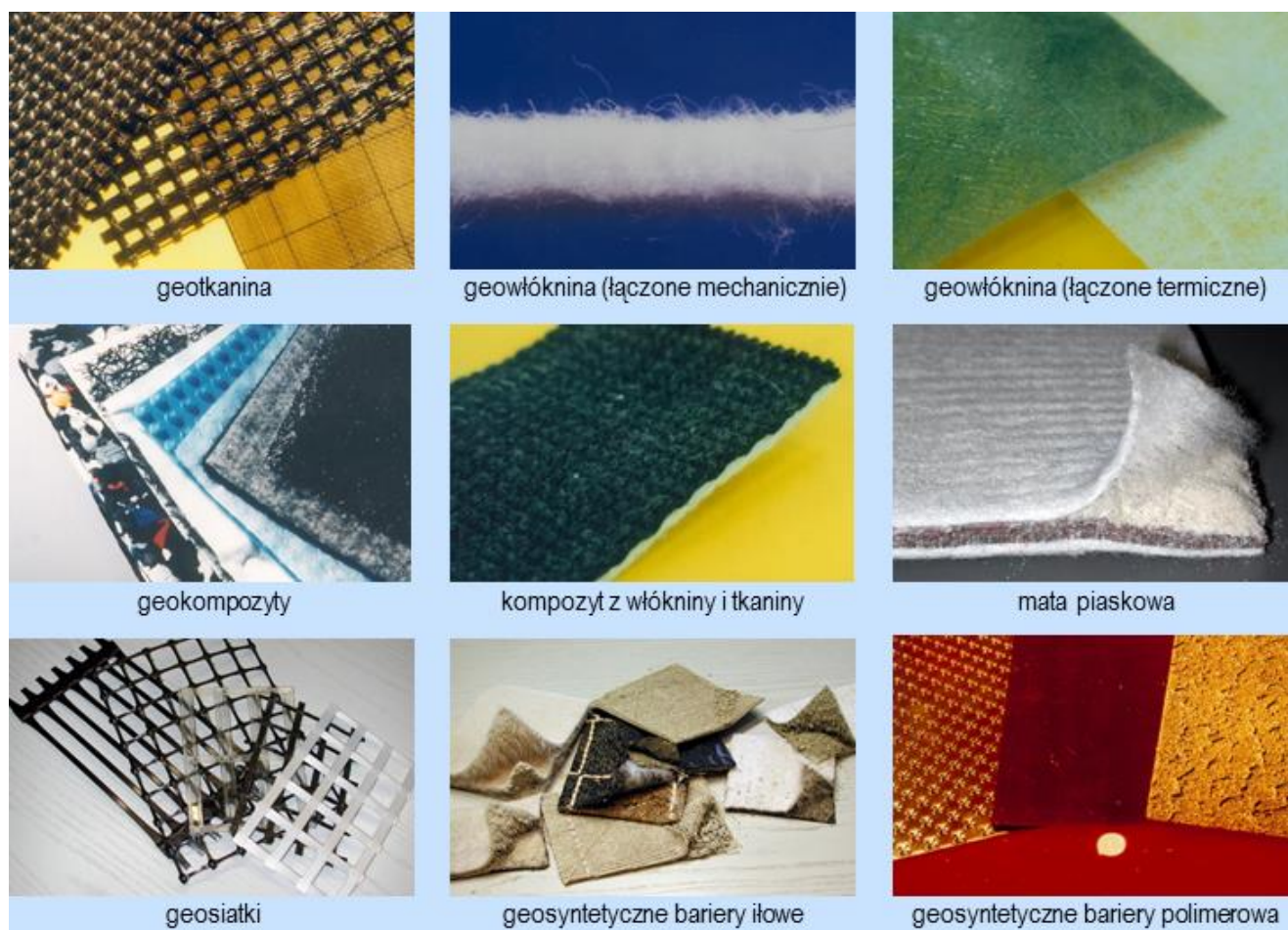
Stworzono również kombinacje różnych geosyntetyków w celu połączenia funkcji różnych wyrobów, nazywane są geokompozytami (GCO). Przykładem takiego kompozytu jest geosyntetyczny drenaż kompozytowy (geodren), składający się z wewnętrznej warstwy drenującej i dwóch zewnętrznych warstw geotekstyliów, spełniających rolę filtracyjną, separacyjną i ochronną.

2.3.2. Funkcje geosyntetyków

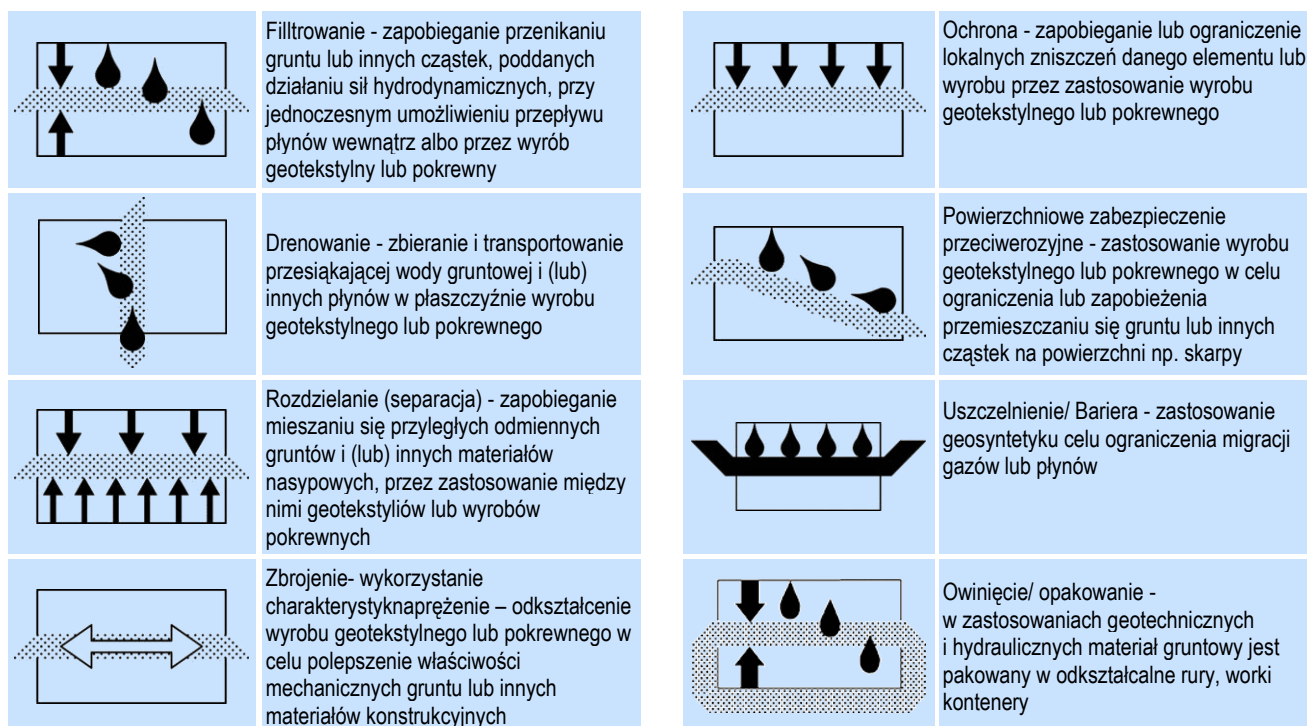
Geosyntetyki mogą pełnić jedną z funkcji przedstawionych na rys. 2.10, lub ich kombinację, zgodnie z EN ISO 10318 [50]. Szczegółowe informacje o funkcjach można znaleźć w [51].

2.3.3. Informacje dodatkowe

Dalsze informacje na temat geosyntetyków, łącznie z zaleceniami dot. doboru, wytycznymi instalacji, surowców, zachowania się materiałów, badań i kontroli jakości można znaleźć w [51] oraz normach europejskich i krajowych, jak również w [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59], [60].



Rys. 2.9. Przykłady różnych rodzajów geosyntetyków [51]



Rys. 2.10. Funkcje geosyntetyków [50]

2.4. Wały przeciwpowodziowe

Wały przeciwpowodziowe to konstrukcje, których główną funkcją jest zapobieganie powodzi, dzięki utrzymywaniu w korycie podwyższonych stanów wód w czasie powodzi. Wały są zbudowane z różnych gruntów naturalnych i kruszyw, czasami wzmacnianych geosyntetykami.

Generalnie wały można podzielić na konstrukcje rzeczne oraz morskie. Mogą one występować bezpośrednio przy akwenie, mogą też być od niego oddzielone terenami zalewowymi (Rys. 2.11). Niektórzy wyróżniają też podział na wały zimowe oraz letnie. Wały rzeczne muszą wytrzymywać napór hydrauliczny w okresie powodzi trwający do kilku tygodni, podczas gdy wały morskie poddawane są obciążeniom w stosunkowo krótszych okresach sztormowych [60], [61].

Zadaniem wałów jest ochrona terenów zalewowych, dzięki odpowiednio dobranej wysokości i kubaturze wałów. Projektowany przekrój oraz nachylenie skarp dobiera się w zależności od lokalnych warunków geograficznych i hydrologicznych. Obszar dostępny do zabudowy może też być czynnikiem warunkującym projekt. Wysokość korony wału zależy od tego, na jaką wodę projektuje się wał oraz od współczynników bezpieczeństwa (stateczności).

Przy wymiarowaniu wałów należy uwzględnić możliwe stany hydrologiczne oraz wpływ wydłużonej fali powodziowej na wytrzymałość konstrukcji. Wydmy oraz lasy porastające obszar odwodny wału cofkowego sprzyjają redukcji stanów wód. Jeżeli wał jest bezpośrednio narażony na obciążenie hydrauliczne, a zwłaszcza na falowanie, stronę odwodną zaleca się wzmocnić za pomocą narzutu (np. kamiennego).

Wały przeciwpowodziowe nie są projektowane jako wodoszczelne; ich średnią wodoprzepuszczalność dobiera się w zależności od ich rodzaju i lokalizacji. Z uwagi na stateczność konstrukcji filtrujące wody powinny być ujęte i odprowadzone w sposób kontrolowany, dzięki stosowaniu odpowiednich systemów drenażowych. Szczegółowy opis aspektów projektowych i wykonawczych wałów przeciwpowodziowych zawiera publikacja [62].

Wały morskie poddawane są obciążeniom hydraulicznym w czasie krótkotrwałych wezbrań sztormowych (maksymalnie do kilku dni). Z uwagi na krótkotrwały charakter tych wezbrań w wale dominuje przepływ nieustalony. Na przepływ w przekroju poprzecznym wału

można wpływać przez dobór odpowiednich materiałów i ich rozmieszczenie. Warstwa okrywowa wału musi być chroniona przed ewentualną erozją powierzchniową wskutek deszczy nawalnych, prądów i falowania oraz przelania wody przez wał. Istotne jest też zabezpieczenie przed erozją wewnętrzną oraz kontaktową (Rys. 2.15). Warstwa okrywowa, wykonana z gruntów mineralnych musi być wobec tego odpowiednio starannie zagęszczona i poddana kontroli jakości [60], [61], a tam gdzie konieczne pokryta dodatkowo warstwą dociażającą.

Obciążenia hydrauliczne, jakim poddawane są wały rzeczne, są z reguły inne niż w przypadku konstrukcji nadmorskich – wezbrania powodziowe są tu znacznie dłuższe i mogą trwać nawet do kilku tygodni. W przekroju poprzecznym wału mogą ukształtować się warunki przepływu ustalonego [63], zwłaszcza w wałach dawno nieodnawianych, gdzie uszczelnienie jest zwykle dużo gorsze niż w wałach budowanych współcześnie.

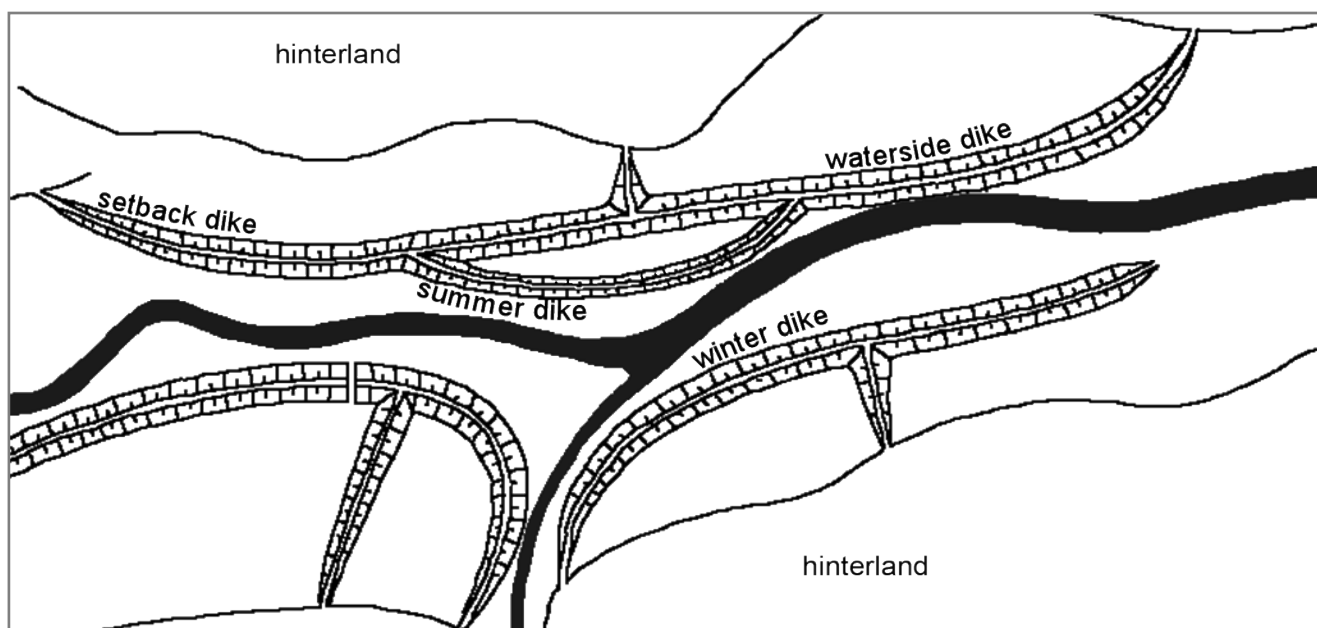
W kolejnym rozdziale na potrzeby niniejszych wytycznych podano podstawowe pojęcia i terminologię związaną z wałami przeciwpowodziowymi. Przedstawiono także pewne szczegóły wałów morskich i rzecznych w Niemczech, Polsce i Danii oraz podstawowe mechanizmy zniszczenia wałów, jako wstęp do rozdziału 4.

2.4.1. Wały przeciwpowodziowe - terminologia

Przekrój wału jest określony przez nachylenia skarp, wysokość i szerokość korony oraz ew. ułożenie ławeczek (Rys. 2.12). Projekt wału musi uwzględnić wszystkie możliwe obciążenia oddziałujące na sam wał oraz podłoże gruntowe, na którym jest posadowiony.

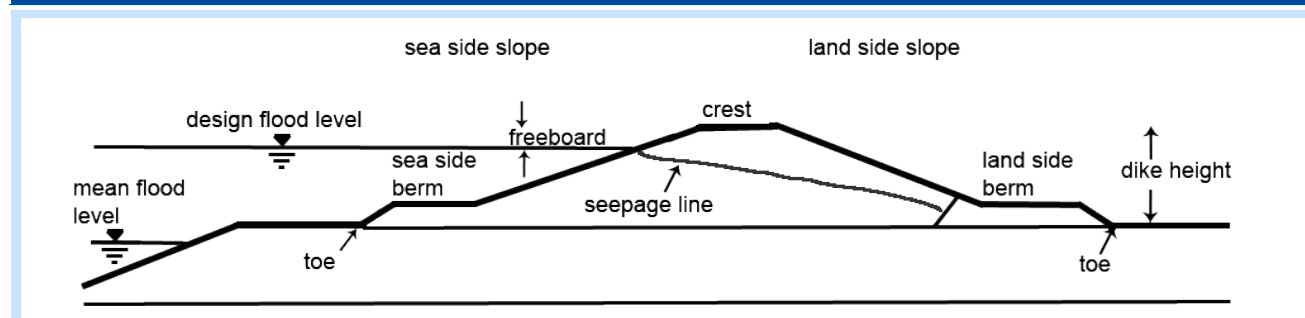
Korona wału ma z reguły co najmniej 3 m szerokości. Jeżeli projektuje się drogę kołową na koronie wału, jej minimalna szerokość to 4 m. Sama korona powinna być nieznacznie nachylona ze spadkiem w kierunku skarpy odwodnej (zwykle > 2 %) [64], [65].

Wybór materiału do budowy wału jest uzależniony od wymagań odnośnie stateczności, dostępności w przypadku napraw, kwestii utrzymania technicznego, również wymagań krajobrazowych. Dopuszczalne nachylenia skarp dobiera się odpowiednio do rodzaju użytego gruntu, zaleca się sprawdzenie stateczności za pomocą obliczeń. Nachylenia skarp są różne dla wałów rzecznych i morskich. Pewne różnice w wytycznych projektowych wynikają też z tradycji typowych dla danego kraju [60], [63].



Rys. 2.11. Podstawowe rodzaje wałów przeciwpowodziowych [64]

Summary of important aspects to be considered in the dimensioning of a dike



Available area	Properties of the foreshore	Foundation conditions	Settlement of the underground
Design flood level (DFL)	Wave run-up level	Freeboard (FB)	Design height - crest (DFL+FB)
Dike stability reg. shear strength	Seepage, erosion	Elevations for residential, commercial and industrial development	
Available dike materials	Available construction equipment	Flood zone boundaries	Material deformation

Rys. 2.12. Terminologia i części składowe wału ([63], [64], [66])

Ławeczki stanowią dolną część korpusu wału, tworząc ciągi komunikacyjne równoległe do korony. Z uwagi na umiejscowienie, ławeczka na skarpie odwodnej jest częściej poddana obciążeniom powodziowym, falowaniu, czy też zwiększonej wilgotności. Stąd też częstotliwość powodzi ma tu większe znaczenie niż projektowy poziom wysokiej wody.

Najlepszą ochronę przed rozmywaniem podnoża wału stanowi naturalny teren zalewowy. W przypadku braku terenu zalewowego należy stopę wału wzmocnić integrując z podłożem [60], [63].

Ławeczki ułatwiają naprawy oraz przeglądy wałów oraz zwiększają jego stateczność. Ich szerokość oraz umiejscowienie określają szczegółowe wytyczne projektowe. Wzniesienie korony wału ponad zwierciadło wody

obliczeniowej zależy od klasy wału i stanowi zapas bezpieczeństwa. Parametr ten zależy również od siły wiatru i falowania wywołanego przez wiatr [63].

Drogi techniczne są dostosowywane do przewidywanych środków transportu oraz pojazdów, których zadaniem jest dostarczenie maszyn i materiałów do budowy i utrzymania wału. Drogi powinny być umiejscowione na ławeczce odpowietrznej, ew. koronie wału i mieć połączenia z drogami lokalnymi przynajmniej co 4 km [64].

2.4.2. Wały morskie

Wały przeciwpowodziowe na wybrzeżach mórz Północnego i Bałtyckiego oraz na obszarach narażonych na cofki morskie są tradycyjnie zbudowane z materiałów

miejscowych, co jest źródłem ich sporego regionalnego zróżnicowania. W trakcie wezbrań sztormowych ich skarpy odwodne są poddawane znacznym obciążeniom; okresowo występuje przelewanie wody przez koronę wału, co oddziałuje również na skarpę odpowietrzną. Wały morskie można podzielić na usytuowane bezpośrednio przy brzegu oraz na wały wewnętrzne [61], [60]. Na wybrzeżu morskim w Niemczech (nad Bałtykiem i Morzem Północnym) spotyka się generalnie dwa rodzaje wałów: z rdzeniem zbudowanym z piasków i warstwą okrywową z ilów lub margli (Rys. 2.13) oraz wały jednorodne [60].

W dalszej części zostały opisane bałtyckie wały morskie z Niemiec i Danii. W Polsce nie występują typowe wały morskie z uwagi na praktyczny brak pływów i częste wybrzeża klifowe. Niziny występują w obszarach deltowych rzek i ochrona przeciwpowodziowa związana jest tam z wałami rzecznyymi. (Rozdział 2.4.3).

2.4.2.1. Niemieckie wały na wybrzeżu Bałtyku

Dokładne wytyczne na temat projektowania, konstrukcji oraz monitoringu morskich wałów przeciwpowodziowych w bałtyckich landach Niemiec (Szlezwik-Holsztyn; Mecklemburgia-Pomorze Przednie) zawiera norma EAK 2002 [60].

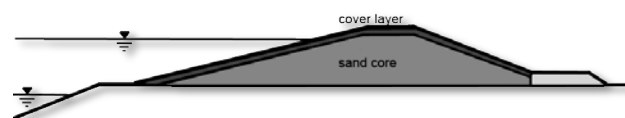
Wały zewnętrzne na wybrzeżu Bałtyku w M-V stanowią część złożonego systemu ochrony wybrzeża, który składa się z plaż, wydmy oraz lasów nadbrzeżnych jako przedpola wału. Oprócz tego istnieją również wały wzdłuż wewnętrznych lagun (Bodden), a także wały na wyspach: Rugii i Hiddensee, które są wałami przybrzeżnymi.

Wały Meklemburgii-Pomorza Przedniego są głównie wałami z rdzeniem piaszczystym, pokrytym miejscowym gruntem spoistym – marglem, charakteryzującym się odpornością na erozję i niską wodoprzepuszczalnością. Warstwę wierzchnią stanowi gleba wraz z pokrywą roślinną. Wały usytuowane bezpośrednio na brzegu morskim są zazwyczaj chronione odpowiednim narzutem (kamiennym, betonowym, tetrapodami). Wymiary wałów morskich wg wytycznych niemieckich zawarto w Tab. 2.11.

Niemieckie prawo reguluje aspekty związane z utrzymaniem wałów; jest to prawo regionalne krajów związkowych (Landeswassergesetze der Länder). W Meklemburgii-Pomorzu Przednim spółki wałowe (Deichverbände) odpowiadają za planowanie, budowę oraz

Tab. 2.11. Ogólna charakterystyka niemieckich wałów bałtyckich

Wytyczne projektowe	EAK 2002 [60]	
Wysoka woda	Z obszarem zalewowym	Bez obszaru zalewowego
Nachylenie podnóża wału	1V:15H	1V:3H - 1V:4H
Szerokość korony	2.5 m to 3 m	
Nachylenie skarpy odwodnej	1V:3H to 1V:6H	
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1V:3H	
Grubość okrywy	0.5 m to 1.2 m skarpa odwodna 0.5 m to 0.7 m skarpa odpowietrzna	



Rys. 2.13. Przykładowy przekrój wału morskiego z korpusem piaszczystym w Niemczech

utrzymanie wałów morskich. Z uwagi na ich małą liczbę obowiązki te przejęła Krajowa Agencja Rolnictwa i Środowiska (StÄLU).

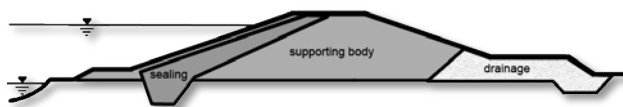
2.4.2.2. Duńskie wały na wybrzeżu Bałtyku

W Danii ochrona przeciwpowodziowa, a w szczególności wały morskie, są w gestii samorządów oraz osób prywatnych. Duński Urząd Morski wspiera i konsultuje właścicieli nieruchomości na wybrzeżu przy projektowaniu wałów, jednakże nie ma rangi centralnego nadzoru, tak jak jest to w Niemczech. Konstrukcja samych wałów jest podobna jak wałów niemieckich, występują wały z rdzeniem piaszczystym i okrywą ilastą, bądź też jednorodne wały zbudowane z glin/ilów. Niemieckie wytyczne EAK [60] służą zwyczajowo jako podstawa projektowania duńskich wałów morskich. Aktualnie w Danii przygotowywany jest podręcznik nt. konstrukcji wałów [67].

2.4.3. Wały rzeczne

2.4.3.1. Wały rzeczne w Niemczech

Wały rzeczne w Niemczech są projektowane zgodnie z normą DIN 19712 [63] i DWA-M 507 [64]; zazwyczaj jako wielo-(trzy) strefowy wał i budowane zgodnie z wymogami ZTV-W-205 [68] and ZTV-W-210 [69]. Projektowe przekroje wału składają się z rdzenia, okrywy oraz uszczelnienia przeciwdziałającego sufozji (np. fartuchy ilowe, uszczelnienia geosyntetykami), ew. systemów drenażowych, odwadniających skarpy odpowietrzną.



Rys. 2.14. Przykładowy przekrój wału rzecznej w Niemczech, wyróżniono trzy strefy wału (uszczelnienie, korpus, drenaż)

Tab. 2.12. Ogólna charakterystyka wałów rzecznych w Niemczech

Wytyczne projektowe	DIN 19712 [63] / DWA-M 507 [64] / ZTV-W 205 [68] / ZTV-W 210 [69]
Szerokość korony	3 m (min 2 m)
Nachylenie skarpy odwodnej	1V:3H
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1V:3H
Rekomendowany współczynnik filtracji elem. uszczelniających	2 rzędy wielkości niższy niż w korpusie wału [63] Wg ZTV-W 210 [69]: wydatek $q_s < 2.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s/m}^2$

Istniejące wały, zwłaszcza te starsze, niekoniecznie spełniają założenia w/w norm. Wały zbudowane z materiałów miejscowych cechują się dużą niejednorodnością. W ostatnich latach wiele z nich było poddawanych renowacji i doszczelnieniu. Wybrane parametry tych konstrukcji podano w Tab. 2.12. Szczegółowe informacje można znaleźć w [63] i [64].

2.4.3.2. Wały rzeczne w Polsce

Ochrona przeciwpowodziowa w Polsce jest regulowana przez ustawę Prawo Wodne (PW) [70]. Zgodnie z art. 81 PW, ochrona przeciwpowodziowa jest zadaniem organów administracji rządowej i samorządowej. Ogólne zasady projektowania budowli przeciwpowodziowych są opisane w §1 art.63 PW, natomiast wymagania techniczne określa rozporządzenie ministerialne [65]. Konstrukcje przeciwpowodziowe dzieli się na tymczasowe oraz trwałe. Wały należą do konstrukcji trwałych i dzielą się na klasy wg powierzchni obszaru chronionego przez wał (Tab. 2.13). Wały projektuje się na przepływy wysokich wód o określonym prawdopodobieństwie występowania $p\%$. Wyróżnia się dwa najważniejsze przepływy projektowe: miarodajny Q_m , oraz kontrolny Q_k . Projektowe wartości prawdopodobieństwa wystąpienia p dla poszczególnych klas wałów zawiera Tab. 2.14.

Poziom wody wysokiej H_m , zalecany do obliczeń, ustala się na podstawie danych obserwacyjnych z wielolecia, z uwzględnieniem wystąpienia niekorzystnych czynników hydraulicznych (falowanie, cofka, itp.). Szczegóły obliczeń

Tab. 2.13. Klasyfikacja wałów w Polsce

Klasa wału	I	II	III	IV
Chroniony obszar $F [\text{km}^2]$	$F > 300$	$150 < F \leq 300$	$10 < F \leq 150$	$F \leq 10$

Tab. 2.14. Prawdopodobieństwa przepływów dla klas wałów

Obiekt	Przepływ	Prawdopodobieństwo przepływu w $p\%$ dla danej klasy wału			
		I	II	III	IV
Wał	Q_m	0.5	1.0	2.0	3.0
	Q_k	0.1	0.3	0.5	1.0

Tab. 2.15. Ogólna charakterystyka wałów rzecznych w Polsce

Wytyczne projektowe	Prawo Wodne [70] / Rozporządzenia [65] / [71]
Szerokość korony dla wałów wyższych niż 2 m	Min 4.5 m (jeżeli jest droga na koronie), 3.0 m bez drogi
Nachylenie skarpy odwodnej	1V:2H do 1V:2.5H ¹⁾
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1V:2H do 1V:2.25H ²⁾
Rekomendowany współczynnik filtracji warstwy uszczelniającej	Brak wytycznych

¹⁾ grunty niespoiste

²⁾ grunty niespoiste bez drenażu.

statycznych i hydraulicznych zawarto w [65]; przeprowadza się je uwzględniając obciążenia stałe, zmienne i wyjątkowe. Wymaganą wysokość korony wału ponad poziom wysokiej wody określa się wg klasy wału, z uwzględnieniem falowania [65]. Celem obliczeń jest sprawdzenie warunków równowagi w odniesieniu do stateczności globalnej i lokalnej oraz filtracji. W polskich wytycznych nie ma ścisłych wymagań odnośnie warstw uszczelniających.

Najbardziej typowym kształtem wału jest kształt trapezowy, o maksymalnych nachyleniach skarp podanych w Tab. 2.15. Szerokość korony zależy od rodzaju ruchu dopuszczonego po koronie (droga kołowa, ew. ścieżka piesza). Aby zwiększyć współczynnik stateczności wału często stosuje się ławeczki; ich powierzchnia powinna być nachylona z min. 5 % spadkiem celem zapewnienia odpływu wód opadowych.

Oprócz standardowych wałów podejmuje się próby budowy nietypowych konstrukcji, spełniających specyficzne role, szczególnie jeśli chodzi o potrzeby ekologiczne. Zazwyczaj rdzeń takich wałów spełnia rolę ściśle konstrukcyjną, zapewniając stateczność w sensie mechanicznym i hydraulicznym. Warstwa okrywowa to warstwa biologiczna o grubości powyżej 1 m. Powinna ona być wzniesiona odpowiednio wysoko ponad poziom

zwierciadła wody. Takie rozwiązanie minimalizuje ryzyko uszkodzeń mechanicznych wału przez zwierzęta, poprawia stateczność konstrukcji i obniża koszty jej utrzymania. Minusem tego rozwiązania są większe rozmiary (przekroje) wału oraz zwiększona kubatura robót ziemnych.

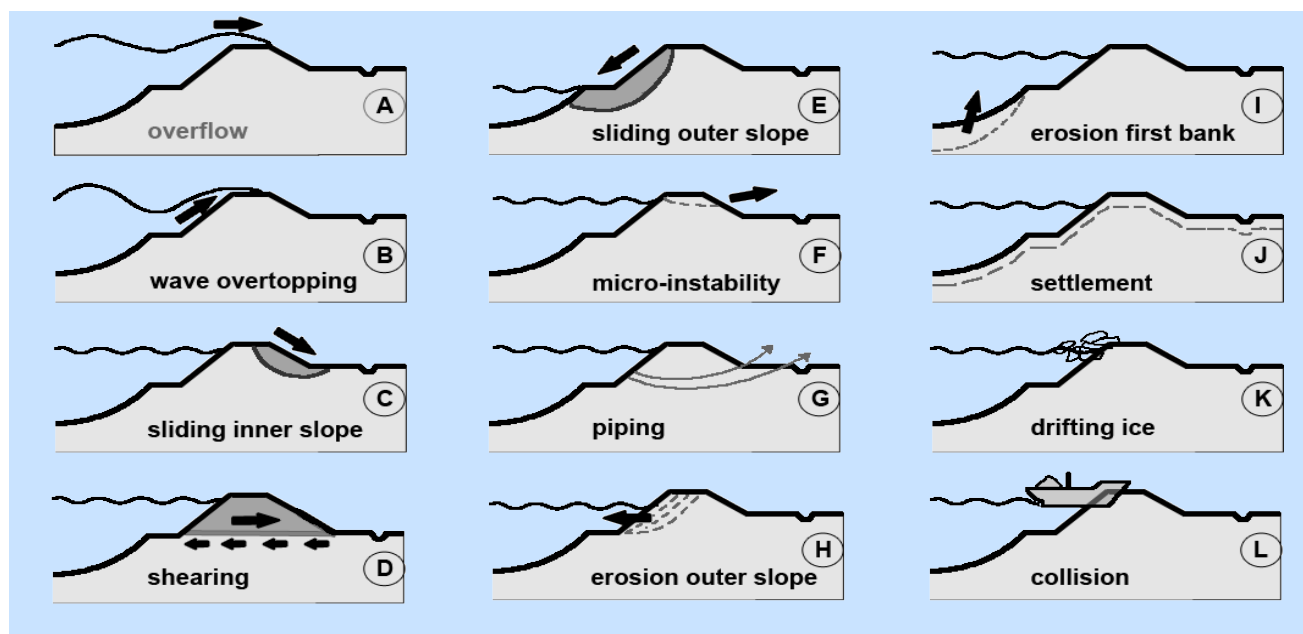
Do budowy wałów używa się najczęściej materiałów miejscowych. Grunty mineralne, stosowane w tych konstrukcjach, powinny spełniać następujące wymagania:

- dla gruntów spoistych przedział w $0.95 \div 1.15 \cdot w_{opt}$,
- dla gruntów niespoistych w $> 0.7 \cdot w_{opt}$.

Nie zaleca się stosowania gruntów mocno pęczniejących oraz łatwo upłynniających się, a także ilów o granicy płynności $> 65\%$, chyba że zastosuje się specjalne techniki ich ulepszania. Grunty organiczne mogą być w szczególnych przypadkach dopuszczone do budowy wałów

pod specjalnym nadzorem geotechnicznym, np. gdy wał jest budowany na słabym podłożu organicznym, a grunty mineralne nie są w pobliżu dostępne. Grunty antropogeniczne, w tym kompozyty zawierające UPS mogą być wykorzystane po uprzednich badaniach (Rozdziały 3, 4, 5).

Wały istniejące w Polsce zbudowane są zazwyczaj z materiałów miejscowych, bardzo niejednorodnych (lokalne inkluzje i soczewki). Ich zagęszczenie jest zazwyczaj niewystarczające i często nie spełnia współczesnych wymagań dla konstrukcji ziemnych, np. co do stanu zagęszczenia. Obecnie prowadzi się zatem dużo inwestycji doszczelniających (przesłony szczelne, fartuchy ilowe). Przesłony pionowe instaluje się w koronie wału, ew. u podnóża skarpy odwodnej, łącząc je wówczas z fartuchem ilowym na skarpie.



A	Wysoka woda oraz przelewanie przez wał prowadzą do rozmywania podnóża wału od strony lądu, jednak bez przerwania wału
B	Erozja skarpy odwodnej spowodowana falowaniem oraz przelewaniem wody przez wał
C	Wysoka woda oraz przelewanie prowadzą do infiltracji skarpy odpowietrznej. Może to prowadzić do utraty stateczności skarpy. Osunięcie skarpy może być również spowodowane wzrostem ciśnienia w porach gruntu.
D	Utrata równowagi poziomej (ścięcie) na skutek zwiększonego parcia wody na skarpe odwodną.
E	Nagłe obniżenie zwierciadła wody może spowodować osunięcie skarpy odwodnej.
F	Infiltracja wody przy niższych stanach może powodować skutki jak w C, jednak na mniejszą skalę (mikroniestateczność).
G	Przebiecie hydrauliczne spowodowane filtracją w gruncie pod wałem. Erozja zaczyna się od strony odpowietrznej, można tu zaobserwować charakterystyczne "gejzery" gruntowe.
H	Falowanie może prowadzić do erozji skarpy odwodnej, szczególnie jej podnóża.
I	Erozja obszaru zalewowego na skutek falowania.
J	Osiadania powodują obniżenie korony wału.
K	Czynniki mechaniczne jak np. spiętrzenie kry może uszkodzić konstrukcję wału.
L	Kolizje spowodowane przez jednostki pływające również zagrażają wałom przeciwpowodziowym.

Rys. 2.15. Mechanizmy zniszczenia wałów [72]

2.4.4. Mechanizmy zniszczenia wałów

Przy projektowaniu wałów najistotniejszym aspektem analiz obliczeniowych jest ich stateczność. W użyciu są złożone modele geotechniczne i hydrauliczne, które pozwalają na prowadzenie symulacji różnych scenariuszy powodziowych. Główne warunki stateczności, jakie wał musi spełnić dotyczą: erozji wewnętrznej, stateczności skarp, przebicia hydraulicznego oraz erozji powierzchniowej spowodowanej falowaniem oraz przelaniem przez koronę. Zestawienie najczęstszych mechanizmów zniszczenia wałów wg [72] przedstawiono na Rys. 2.15. Więcej informacji można znaleźć w [62].

2.4.5. Erozja wewnętrzna

Procesy erozji wewnętrznej są główną przyczyną awarii i uszkodzeń wałów przeciwpowodziowych. Stąd też wiele ośrodków naukowych na świecie prowadzi badania tego zjawiska. W niniejszych wytycznych poruszono również problem odporności kompozytów gruntowych, zbudowanych z DM i CCP na erozję wewnętrzną, co wymaga ogólnego opisu i klasyfikacji tych mechanizmów zniszczenia.

Zwięzły przegląd dotyczący zjawisk erozji wewnętrznej przedstawiono w [73]. Poniżej zdefiniowano najważniejsze rodzaje tych mechanizmów: skoncentrowana erozja w miejscu przebicia hydraulicznego, erozja wsteczna (z przebiciem), erozja kontaktowa i sufozja.

Skoncentrowana erozja może pojawiać się np. na spękaniach spowodowanych nierównomiernym osiadaniem lub wysychaniem. *Erozja wsteczna* może zachodzić na dwa sposoby: *przebicie hydrauliczne* rozpoczyna się w miejscu, gdzie filtrująca woda wydostaje się na powierzchnię lub opuszcza wewnętrzny korpus wału, prowadząc do erozji materiału niespoistego i rozwoju kanalików w wale lub pod wałem. W przypadku warstwy okrywowej z gruntu spoistego może temu towarzyszyć wyparcie hydrauliczne. *Globalna erozja wsteczna* prowadzi do powstania praktycznie pionowego kanalika w korpusie wału przeciwpowodziowego [73]. *Erozja kontaktowa* może wystąpić na styku gruntu gruboziarnistego z drobnoziarnistym. Drobne cząstki gruntu zostają przemieszczone w głąb materiału grubszego. *Sufozja* powstaje na skutek przepływu wody przez grunt niespoisty o stosunkowo płaskiej krzywej uziarnienia, bądź przez grunt o nieciągłej krzywej uziarnienia. Temat ten dyskutowany jest w [62], [65], [74], [75].



Rys. 2.16. Norddeich CT4 Bremerhaven [76]

2.5. Przykłady wałów zbudowanych z wykorzystaniem urobku czerpального

2.5.1. Norddeich CT 4 Bremerhaven, Niemcy

Wał ten zbudowano jako część projektu rozbudowy terminalu kontenerowego w mieście Bremerhaven (Rys. 2.16). Rdzeń wału 900 m długości został zbudowany z piasku wydobytego z portu Bremerhaven. Został on pokryty warstwą margli ilastych o grubości 1 m. Chemiczna analiza odcieków z DM oraz wyznaczone granice konsystencji pozwoliły na sklasyfikowanie DM wg LAGA-M20 [8] jako materiału klasy Z1.2, choć większość parametrów odcieku spełniała nawet wymogi materiału klasy Z1.1. Decydujące były tu wysokie wartości przewodności, zawartość chloru i siarki, typowa dla osadów słonowodnych. Zwięzłą prezentację w/w projektu można znaleźć w [4] i [76].

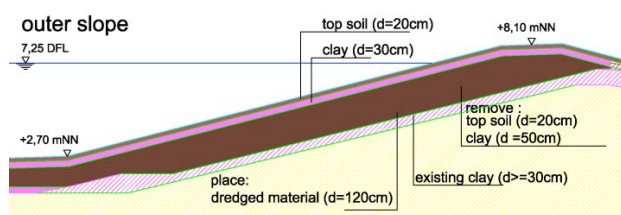
2.5.2. Wał rzeki Weser w Bremie, Niemcy

Lokalna spółka wałowa, odpowiedzialna za lewy brzeg rzeki Weser (Deichverband am linken Weserufer) użyła DM do nadbudowy wału (Rys. 2.17). DM został uzdatniony w portowym zakładzie uzdatniania w Bremie. Do nadbudowy w latach 2009–2014 wykorzystano 156,000 m³ wysuszonego DM, zawierającego TBT i sklasyfikowanego wg wytycznych LAGA [8] jako materiał klasy Z2 (niektóre zanieczyszczenia nieznacznie przekraczały normy materiału Z1 [79]). Materiał DM został szczelnie pokryty warstwą margla ilastego, pochodzącego w większości ze zdjęcia wierzchniej warstwy istniejącego wału (Rys. 2.18).

W Bremie istnieje specjalny program odzysku DM do budowy wałów. Senator ds. Środowiska, Budownictwa, Transportu i Spraw Europejskich w oficjalnym dokumencie



Rys. 2.17. Odbudowa wału w Bremie z lekko zanieczyszczonego urobku czerpalnego (Z2 + TBT), roboty ziemne latem 2014r.



Rys. 2.18. Odbudowa wału w Bremie z lekko zanieczyszczonego urobku czerpalnego (Z2 + TBT), typowy przekrój [78]

nakazuje, aby przy każdym projekcie budowy wałów sprawdzać dostępność DM o wymaganej jakości. Stosowanie DM ma priorytet w stosunku do innych materiałów [77].

2.5.3. Rzeka Scheldt, Holandia i Belgia

DM jest tradycyjnym materiałem używanym do budowy wałów przy kanałach i polderach w Holandii i Belgii [20]. W krajach tych dopuszcza się stosowanie czystych i lekko zanieczyszczonych osadów do budowy i remontu wałów wg ściśle określonych przepisów. Regulują one nie tylko kryteria zanieczyszczeń, ale również maksymalne odległości wbudowywania od brzegów dróg wodnych (20 m w Holandii, 5 m we Flandrii). Jako warunek wstępny należy stosować dojrzewanie DM przez wbudowaniem.



Rys. 2.19. Wał zbudowany z urobku czerpalnego, bezpośrednio przy brzegu drogi wodnej w Holandii [20]



Rys. 2.20. Budowa wału w Hoek van Holland [20]

Przykładem zastosowań DM jest wał przeciwpowodziowy przy rzece Scheldt, zbudowany z bagrowanych piasków pozyskanych przy budowie portu, przykryty warstwą gruntów ilastych pozyskanych przy budowie polderu. Grunty ilaste z tego regionu bardziej przypominają niemieckie gliny organiczne z Morza Północnego niż sezonowany drobnoziarnisty materiał czerpalny.

2.5.4. Hoek van Holland, Holandia

PIANC [20] przytacza też przykład, w którym "urobek czerpalny jest używany w USA i Holandii do budowy wałów wzdłuż kanałów żeglownych oraz wałów morskich w celu ochrony przed powodzią, bądź to przez wymuszenie przepływu wody (wały wzdłuż kanałów), bądź przez konstruowanie obwałowań wokół wrażliwych terenów zagrożonych (wały opaskowe)". Przykładem może być wał w Hoek van Holland, gdzie DM zastosowano w wierzchniej (okrywowej) warstwie wału.

Bibliografia

- [1] Köthe, H. 2010. Dredging and the Environment – international guidance for best practice, *PIANC 125th Anniversary Celebration in ASIA*, Nagoya JAPAN, www.pianc.org [cited 13 Jan 2015].
- [2] Maritime Office Gdynia 2014. Information from the office gathered by Dr. Duszyński, Gdańsk University of Technology.
- [3] CEDA 2015. Website of the Central Dredging Association, www.dredging.org [cited 13 Jan 2015].
- [4] HTG 2006. Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, Fachbericht der Hafentechnischen Gesellschaft Fachausschuss Baggergut, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de/Downloads/HTG%20Verwertungsbericht%200906.pdf [cited 16 Dec 2014].
- [5] HELCOM 2007. Guidelines for the Disposal of Dredged Material at Sea – adopted in June 2007, 37 pp. Available online: <http://helcom.fi/> [cited 16 Dec 2014].
- [6] Kibbel, E. & Henneberg, M. 2004. Dredged material management in Rostock, Handout, Hanseatic City of Rostock, 6 pp. Available online: www.dredgdikes.eu/wp-content/uploads/iaaE.pdf.

- [7] SMOCS 2011. Sustainable Management of Contaminated Sediments – Guideline. 32 pp. Available online: www.smocs.eu.
- [8] LAGA 2003. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln. Allgemeiner Teil, Teil II (TR Boden), Teil IV (Aschen aus Kohlekraftwerken); as per version of 6 Nov 2003 as note M20. Erich Schmidt, Berlin 2004, 128 pp. Available online: <http://laga-online.de/servlet/is/23874/> [cited 13 Jan 2015].
- [9] DepV 2009. Deponieverordnung - Verordnung über Deponien und Langzeitlager. 27 April 2009 (BGBl. I p. 900) last change in article 7 of the ordinance of 2 May 2013 (BGBl. I p. 973), 63 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de [cited 16 Dec 2014].
- [10] DGE 2002. Dutch-German Exchange on Dredged Material Part 2 - Treatment and Confined Disposal of Dredged Material, Sept. 2002, coord. by A. Netzband, A.L. Hakstege & K. Hamer, 39 pp.
- [11] Henneberg, M. 2004. Lysimeter- und Praxisversuche zur Verwertung von gereiftem Baggergut als Bodenverbesserungsmittel in Landwirtschaft und Landschaftsbau, unpublished lecture at the State Office for Environment, Nature Protection and Geology, Güstrow.
- [12] IMO 2015. Website of the International Maritime Organisation, www.imo.org [cited 13 Jan 2015].
- [13] HELCOM 2015. Website of the Helsinki Commission, www.helcom.fi, relevant publications www.helcom.fi/Lists/Publications/BSEP120A.pdf [cited 16 Dec 2014].
- [14] Salomons, W. & Brils, J. 2004. Contaminated Sediments in European River Basins; *Summarising Report of the European Sediment Research Network SedNet*. Available online: www.sednet.org/download/Sednet_booklet_final.pdf.
- [15] LUNG 2002. Bodenbericht des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Phase 1 des Bodenschutzprogrammes M-V. Available online: www.lung.mv-regierung.de/wasser_daten/Dateien/Start.htm [cited 13 Jan 2015].
- [16] LUNG 1999. Verwertungsstrategien für aquatische Sedimente in Mecklenburg-Vorpommern, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 175 pp.
- [17] Zadroga, B. & Olańczuk-Neyman, K. 2001. Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [18] Hjort, M. & Josefson, A. 2008. Marine områder 2008. Novana. Tilstand og udvikling i miljø- og aliteter. Faglig rapport fra U nr. 760. Aarhus Universitet.
- [19] EC 2008. EU Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive).
- [20] PIANC 2009. Dredged Material as a Resource: Options and Constraints. PIANC report no. 104. EnviCom Working Group 104. Available online: www.pianc.org.
- [21] Gebert, J., Gröngroft, A. & Eschenbach, A. 2010. Eignung von Baggergut im Deichbau, 6. *Rostocker Baggergutseminar – Kompetenztreffpunkt Baggergut*, Universität Rostock: 65-78.
- [22] Gebert, J., Gröngroft, A. & Eschenbach, A. 2014. Eignung von Baggergut im Deichbau, 8. *Rostocker Baggergutseminar – Kompetenztreffpunkt Baggergut*, Universität Rostock, *Schriftenreihe Umweltingenieurwesen* 47: 95-102.
- [23] Stephens, S.R., Alloway, B.J., Parker, A., Carter, J.E. & Hodson, M.E. 2001. Changes in the leachability of metals from dredged canal sediments during drying and oxidation, *Environmental Pollution* 114: 407-413.
- [24] Düngung 2004. Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis – Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz M-V, Schwerin, 182 pp.
- [25] Henneberg, M. & Neumann, R. 2011. 10 Jahre Lysimeterversuche zum Einsatz von gereiftem Baggergut zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft, report, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de.
- [26] Morscheck, G. & Henneberg, M. 2012. Einsatz von gereiftem Nassbaggergut als Rekultivierungssubstrat in Oberflächenabdichtungssystemen, report for the Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 78 pp.
- [27] SedNet 2015. Website of the European Sediment Research Network SedNet, www.sednet.org.
- [28] vom Berg, W. & Feuerborn, H.-J. 2006. Coal Combustion Products in Europe - valuable raw materials for the construction industry. *Concrete Plant International*, Special Print 04/06.
- [29] Prakash & Sidharan 2006. A geotechnical classification system for coal ashes, *Geotechnical Engineering* 159(GE2): 91-98.
- [30] Ostrowski M. 2011. Charakterystyka morfologii popiołów lotnych ze spalania węgla brunatnych. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*.
- [31] Galos K. & Uliasz-Bocheńczyk A. 2005. Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, no. 21.
- [32] Sybilski D. & Kraszewski, C. 2004. Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych, IBDiM Warsaw, 278 pp. Available online: www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435/documents/tn-233.pdf.
- [33] Dehoust, G., Küppers, P., Gebhardt, P., Rheinberger, U. & Hermann, A. 2008. Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle, final report of the research project contracted by the German Umweltbundesamt, UBA, 153 pp.
- [34] ASTM C618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM standard, DOI: 10.1520/C0618-12A.
- [35] PN-EN 450:2007. Popiół lotny do betonu (Fly ash for concrete applications), Polish standard.
- [36] ECOBA 2015. Website of the European Coal Combustion Products Association, www.ecoba.com [cited 13 Jan 2015].
- [37] EHSO 2008. The EPA TCLP: Toxicity Characteristic Leaching Procedure and Characteristic Wastes (D-codes). Available online: www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm
- [38] EPRI 2010. Comparison of Coal Combustion Products to Other Common Materials - Chemical Characteristics, Electric Power Research Institute (EPRI), 66 pp. Available online: www.epri.com.
- [39] USGS 1997. Radioactive Elements in Coal and Fly Ash: Abundance, Forms, and Environmental Significance. US Geological Survey Fact Sheet FS-163-97, Oct 1997.
- [40] EPRI 2009. Coal Ash: Characteristics, Management and Environmental Issues, Electric Power Research Institute, 12 pp. Available online: www.epri.com.
- [41] FGSV 1993a. Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen über die Verwendung von Schmelzkammergranulat im Straßenbau, M624, 8 pp.

- [42] FGSV 1993b. Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen über die Verwendung von Steinkohlenflugasche im Straßenbau, M625, 10 pp.
- [43] FGSV 1994. Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen über die Verwendung von Kesselasche im Straßenbau, M626, 10 pp.
- [44] FGSV 2001. Richtlinie der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau, M642, 38 pp.
- [45] LAB 1998. Anforderungen des Länderausschusses Bergbau an die stoffliche Verwertung von Abfällen im Bergbau über Tage.
- [46] FGSV 2003. Hinweise der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen zur Verwendung von Braunkohlenflugasche aus Kraftwerken mit Kohlenstaubfeuerung, M627, 15 pp.
- [47] PN-S-02205. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania, 1998.
- [48] PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.
- [49] PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- [50] ISO 10318-1:2013. Geosynthetics – Part 1: Terms and definitions.
- [51] Saathoff, F. 2003. Geosynthetics in geotechnical and hydraulic engineering, *Geotechnical Engineering Handbook*, Berlin: Ernst&Sohn, 507-597.
- [52] MLUV 2012. Uferlängswerke – Geotextilwälle. *Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern*, 3-9-4 / 2012.
- [53] FGSV 2005. Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues (M Geok E-StB).
- [54] BAW 1993. Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen MAG.
- [55] BAW 1994. Richtlinie für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau RPG.
- [56] DVWK 1992. Merkblatt 221 Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Hamburg/Berlin: Parey, 31 pp. Currently being updated in the frame of the DWA recommendations. Also available in English as DVWK Guideline 306.
- [57] Heerten, G., Achmus, M., Boley, C., Grabe, J., Katzenbach, R., Meyer, N., Oumeraci, H., Richter, T., Saathoff, F., Savidis, S. & Scheffer, H.J. 2009. Bauwerke und Bauwerkserhaltung im Küsten- und Verkehrswasserbau, *Unsere Gewässer – Forschungsbedarf aus Sicht der Praxis – Eine Dokumentation von HTG und DGGT*, Schifffahrts-Verlag Hansa C. Schroedter & Co Hamburg, 65-72.
- [58] DIN-EN ISO 10318-1:2013-07. Geokunststoffe – Teil 1: Begriffe. Beuth: Berlin, 24 pp.
- [59] PN-EN ISO 10318. Geosyntetyki – Terminy i definicje.
- [60] EAK 2002. Empfehlungen für Küstenschutzwerke, korrigierte Ausgabe 2007, *Die Küste* 65, KFKi (Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen), 589 pp.
- [61] MLUV 2009. Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtsheft, Ministerium für Landwirtschaft Umwelt und Verbraucherschutz.
- [62] CIRIA 2013. The International Levee Handbook, 1350 pp. Available online: www.ciria.org.
- [63] DIN 19712-2013. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (Flood protection works on rivers). Beuth: Berlin, 68 pp.
- [64] DWA-M 507. DWA Regelwerk, Merkblatt DWA-M 507-1, Deiche an Fließgewässern Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Dec 2011.
- [65] Polish Directive of the Ministry of Environment of 20 April 2007 on the technical requirements to be met by hydrotechnical structures and their location (*Journal of Laws* 07.86.579).
- [66] TAW 1998. Technical Report on Soil Structures, Delft, 248 pp.
- [67] Piontkowitz, T. 2014. Personal information by Mr. Thorsten Piontkowitz, Danish Coastal Authority, Lemvig.
- [68] ZTV-W-205 1992. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Erdarbeiten.
- [69] ZTV-W-210 2006. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Böschungs- und Sohlsicherung, 14 pp.
- [70] Polish Water Law 2005. (*Journal of laws* 05.239.2019).
- [71] Borys, M., Mosiej, K. & Topolnicki M. 2006. Projektowanie i wykonawstwo pionowych przegród przeciwfiltracyjnych z zawieszin twardej w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych, *Wydawnictwo IMUZ*, Falenty 64 pp.
- [72] TAW 2000. Fundamentals on Water Defences, *Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW)*, Road and Hydraulic Engineering Division, Delft.
- [73] Bonelli, S. (ed.) 2013. Erosion in Geomechanics Applied to Dams and Levees. ISTE Ltd. London, 388 pp.
- [74] BAW MSD 2011. Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). [Code of Practice - Stability of dams at federal waterways], Bundesanstalt für Wasserbau.
- [75] BAW 2011. Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen – Ergänzende Hinweise zur Berechnung der Dammdurchströmung im Bereich von Bauwerken (Ergänzung MSD).
- [76] Umtec 2008. Verwertung von Bremischem Baggergut im Deichbau, Machbarkeitsstudie im Auftrag der Bremenports GmbH & Co. KG. 136 pp.
- [77] SUBVE-B 2008. Verwendung von Baggergut im Deichbau. Mitteilung des Senators für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa (Bremen), 20. Mai 2008, cited in [76].
- [78] Planungsgruppe Grün 2014. Original CAD drawing provided by the planning company Planungsgruppe Grün, Bremen.
- [79] Tarner 2014. Personal note by Mrs. Tarner, Deichverband am linken Weserufer, Bremen.

3. KONTEKST PRAWNY

Europejska dyrektywa w sprawie oceny i zarządzania ryzykiem powodziowym [1] została sporządzona w roku 2007 w celu realizacji polityki oceny ryzyka powodziowego i zapobiegania powodziom. Wszystkie państwa członkowskie mają za zadanie ocenę i kartowanie zagrożenia powodziowego w celu przygotowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym, które nakreślają potrzebę poprawy i odbudowy wałów rzecznych i przybrzeżnych. W związku z tym, stale wzrasta popyt na materiały do budowy wałów, a grunt musi być często transportowany na plac budowy z dużych odległości, co powoduje znaczne oddziaływanie na środowisko. Ochrona przeciwpowodziowa, ochrona gruntu i wody oraz przepisy dotyczące zagospodarowania odpadów wywołują potrzebę, jak i konieczność wykorzystania urobku czerpalnego w obwałowaniach przeciwpowodziowych.

W tym rozdziale, zwrócono uwagę na zasady prawne, które należy uwzględnić przy planowaniu wałów wykonanych z urobku czerpalnego (DM) i produktów spalania węgla (CCPs); użycie geosyntetyków zazwyczaj nie stanowi w tym kontekście problemu prawnego.

3.1. Kontekst prawny użycia DM

3.1.1. Podstawy prawne

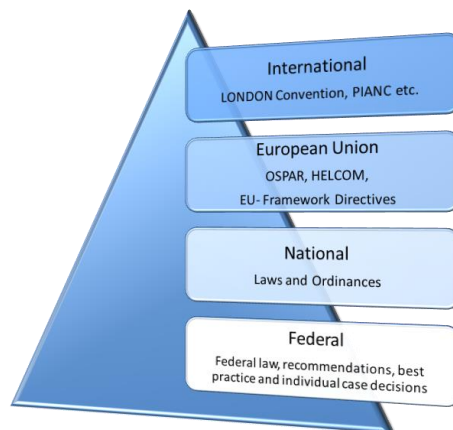
Na szczeblu międzynarodowym i krajowym, konwencje ochrony środowiska morskiego, np. Londyn (1972), HELCOM (1992) i OSPAR (1992) ([2], [3], [4]) regulują ogólne używanie DM w postaci zaleceń i wytycznych, głównie w odniesieniu do wody i dróg wodnych (Rys. 3.1). Wiele europejskich dyrektyw ramowych wpływa na zarządzanie i wykonywanie pogłębiania dna oraz czerpania urobku DM (Rys. 3.2).

W Niemczech stosowanie istniejących przepisów zależy od tego, czy DM pozostaje w wodzie lub na lądzie; wówczas jest uznawany za odzyskany materiał lub unieszkodliwiony odpad. Na podstawie decyzji o przeznaczeniu urobku czerpalnego stosowane są różne kierunki działań, w zależności od sposobu unieszkodliwiania / zagospodarowania odpadu [5].

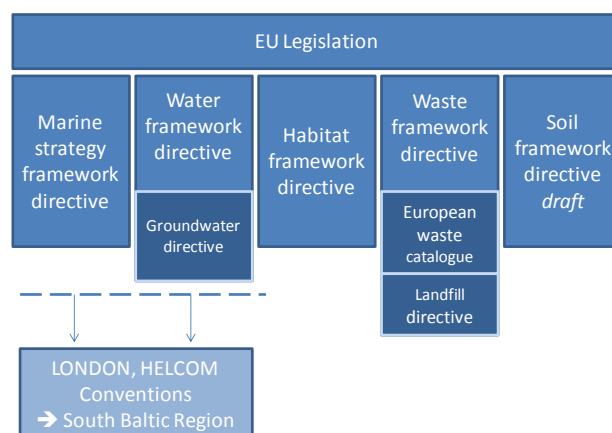
Złożoność sytuacji prawnej (Rys. 3.3) oraz specjalne wymagania mogą spowodować znaczne koszty projektu

i wykorzystywanie DM do budowy wałów tylko w określonych jednostkowych przypadkach [6].

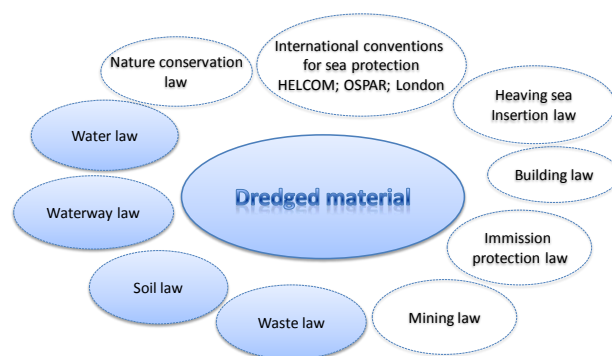
Ważne jest określenie sposobu rozwiązania zgodnie z prawem i podanie przejrzystych wskazówek, w jaki sposób uzyskać zezwolenia. Podjęcie obiektywnych decyzji wymaga uwzględnienia charakterystyki osadów i ich pochodzenia, ponieważ stosowanie DM przypadków, w przypadku gdy uwzględnia się szeroką ocenę oddziaływania na środowisko, jest jeszcze oparte o indywidualne decyzje administracyjne.



Rys. 3.1. Struktura hierarchiczna i zalecenia dotyczące DM



Rys. 3.2. Ramy legislacyjne UE dotyczące stosowania DM z podporządkowanymi rozporządzeniami



Rys. 3.3. Kontekst prawny dotyczący DM (na podstawie [5])

Należy wyjaśnić zagadnienia prawne dotyczące wykorzystania urobku czerpalnego DM, jako materiału zastępczego w konstrukcji wałów.

Według Europejskiego katalogu odpadów [7] DM jest klasyfikowany w grupie 17 (odpady z budowy i rozbiórki, w tym z gruntem wydobytym z miejsc skażonych). Podstawowy kod tych odpadów to 17 05 (grunt, kamienie i urobek z pogłębiania [7]), podzielony jest na dwie grupy:

- 17 05 05* urobek czerpalny zawierający substancje niebezpieczne,
- 17 05 06 urobek czerpalny inny niż wymieniony w 17 05 05.

Dalsze informacje na temat europejskich ram regulacji i wdrożeń do prawa krajowego dotyczącego wykorzystywania DM znajdują się w Aneksie I. Kompleksowe zestawienie międzynarodowych, a zwłaszcza europejskich przepisów o pogłębianiu dna i odzyskiwaniu DM z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju i ekologii znajduje się w [8].

3.1.2. Szczegółowe przepisy w zakresie odzyskiwania urobku czerpalnego stosowanego do wałów przeciwpowodziowych

Przepisy, które należy uwzględnić podczas stosowania DM w budowie wałów przeciwpowodziowych różnią się w regionie Południowego Bałtyku. Dlatego tabele zostały tak przygotowane, aby przedstawić przegląd ustawodawstwa i organów odpowiedzialnych w takich krajach jak Niemcy, Polska i Dania.

3.1.2.1. Wykorzystywanie DM do budowy wałów – Niemcy

W Niemczech, projekty wałów muszą być wykonane na podstawie prawa wodnego, ponieważ jest to projektowanie hydrauliczne zgodnie z § 67 WHG [9] i stosowanie DM do budowy wałów musi być zgodne z wymogami prawa wodnego. Przy projektowaniu i budowie wałów należy unikać trwałej zmiany stanu wód. Uzyskiwanie pozwolenia na budowę jest uregulowane w § 68 WHG [9]. Jednak ograniczenia stosowania materiałów budowlanych nie są wymienione w tych paragrafach. "Wyraźne regulacje przygotowane do stosowania DM w budowie wałów, w prawie ochrony gruntu i gospodarki odpadami jeszcze nie istnieją, ale raczej nie ma ograniczeń stosowania DM" [6].

Rodzaj pozwolenia wymaganego przy prowadzeniu odzysku materiałów zależy od sposobu ich zagospodarowania (np. certyfikat budowlany zgodnie z prawem budowlanym). Zgodnie z prawem, wykorzystywanie DM nie wymaga żadnej specjalnej procedury uzyskiwania.

Niektóre cechy DM różnią się jednak całkowicie od typowych materiałów gruntowych, co należy wziąć pod uwagę przy porównywaniu ograniczeń ich stosowania. Zagadnienie to omówiono w Rozdziale 4.

DM złożony głównie z piasku, zawierający niewiele części organicznych może być stosowany w budownictwie (poniżej warstwy korzeniowej), jeśli jest to zgodne z przepisami dotyczącymi odpadów (np. bezpieczny odzysk). Najwyższy organ administracji w zagadnieniach odpadów w Meklemburgii-Pomorzu Przednim zaleca stosowanie się do przepisów LAGA M20 [10]. Jeśli stwierdzono, że materiał nie jest niebezpieczny, przekroczenie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń jest w indywidualnych przypadkach dozwolone [10]. Drobnopiękisty DM nie jest powszechnie objęty zaleceniami LAGA, nie ma też innych przepisów bezpośrednio związanych z takimi materiałami. Ze względu na brak wytycznych, rekomendowane jest stosowanie zapisów LAGA M20 również dla materiałów drobnopiękistych z dużą zawartością materii organicznej, jako sposób na uzyskanie decyzji i zezwolenia (chyba że organ administracyjny udzielający zezwolenia zgadza się na osobną procedurę ustalenia szkodliwości dla środowiska konkretnego DM). Jeśli DM jest wykorzystywany jako materiał budowlany (do budowli ziemnych takich jak wały przeciwpowodziowe) wartości graniczne stężeń zanieczyszczeń klasyfikacji LAGA M20 dla Z1 są wykorzystywane jako wartości odniesienia, przy decyzji w sprawie wykorzystania materiału [11]. Przy zastosowaniu drobnopiękistych DM ze znaczną zawartością materii organicznej, indywidualna decyzja organów administracji odpowiedzialnych za decyzje środowiskowe powinna być oparta na takich procedurach, które biorą pod uwagę możliwość pojedynczych przekroczeń stężeń zanieczyszczeń w odpadach (takich jak TOC – całkowita zawartość węgla organicznego) oraz bezpieczeństwo konstrukcji.

Tab. 3.1. Polskie ramy prawne dotyczące stosowania DM do budowy wałów

Zadanie	Legislatura	Organ administracji
Pogłębianie dna	Ustawa prawo geologiczne i górnicze [30] Ustawa prawo wodne [31] Dyrektywa EU siedliskowa FFH (92/43/EEC) [19] Dyrektywa EU w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (79/409/EEC) [20]	Regionalne dyrekcje gospodarki wodnej
Rozpoznanie urobku	-	Właściwy minister ds. środowiska
Jakość i zastosowanie	Ustawa o odpadach [32]	Właściwy minister ds. środowiska
Planowanie, zatwierdzanie i pozwolenia	Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [33] Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [34]	
Budowa	Ustawa prawo budowlane [35] Ustawa prawo wodne [31] Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [33]	Zgodnie z art. 81 [31] ochrona przeciwpowodziowa znajduje się w zakresie działań organów administracji publicznej
Oddziaływanie na środowisko / specyfika środowiskowa wałów przeciwpowodziowych	Ustawa o ochronie środowiska [36] Ustawa o ochronie przyrody [37] Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie [38] Rozporządzenie w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych [39]	Właściwy minister ds. środowiska

Dla warstwy wegetacyjnej lub darni trawiastej (okrywa ochronna), użycie DM jest również możliwe według niemieckiego federalnego rozporządzenia o ochronie gruntu BBodSchV [12], jeżeli DM spełnia ograniczenia klasyfikacyjne zawarte w tym rozporządzeniu. Zalecenia dotyczące stosowania §12 BBodSchV [13] ograniczają grubość warstwy wierzchniej do 15÷30 cm w przypadku zwiększonej zawartości części organicznych w DM.

3.1.2.2. Stosowanie DM do budowy wałów – Polska

Ochrona wód jest zapisana w Ustawie prawo wodne [31]. Zgodnie z art. 81 Ustawy prawo wodne, ochrona wód leży w gestii organów władz publicznych. Ogólne zasady dla budowli przeciwpowodziowych zapisane są w art. 63.1 Ustawy prawo wodne [31]. W zakresie projektowania, budowy i utrzymania obiektów przeciwpowodziowych, należy przestrzegać zasad zrównoważonego rozwoju, a szczególnie utrzymania dobrych warunków wodnych, w tym charakterystycznej dla danego terenu biocenozy, zachowania istniejącej stateczności gruntu i warunków biologicznych w środowisku wodnym, terenów podmokłych i bagien.

Warunki techniczne, które muszą spełniać budowle przeciwpowodziowe są zdefiniowane w Rozporządzeniu [35]. Rozporządzenie określa warunki techniczne, jakie

musi spełniać konstrukcja i wymagane warunki analiz obliczeniowych.

Obecne Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami [40], zostanie zastąpione w najbliższej przyszłości nowym (projekt Rozporządzenia [41]). Zgodnie z tym projektem Rozporządzenia, odmienne procedury powinny być zastosowane w zależności od klasyfikacji urobku czerpalnego DM.

- 17 05 05* urobek z pogłębiania dna zawierający zanieczyszczenia węglowodorami powinien być unieszkodliwiony, a wyniki powinny być potwierdzone przez certyfikowane laboratorium.
- 17 05 06 urobek z pogłębiania dna inny niż 17 05 05* może być wykorzystywany do budowy urządzeń hydrotechnicznych, takich jak nabrzeża, wały, sztuczne wyspy, infrastruktura portowa i do ochrony brzegu, pod warunkiem, że działanie to jest zgodne z ustawą o planowaniu przestrzennym [34] oraz ustawą prawo budowlane [35] i nie powoduje żadnych bezpośrednich szkód w środowisku, jak określono w [38]. Zgodnie z wymaganiami technicznymi DM może być poddawany odwodnieniu i stabilizacji z zastosowaniem substancji i środków wiążących.

DM powinny spełniać wymogi dotyczące poziomu zanieczyszczeń metalami ciężkimi i związkami organicznymi według [42], [43]. Specjalna procedura pobierania próbek i oznaczania poziomów zanieczyszczeń opisana jest w [41]; dla materiałów nieorganicznych, stosuje się procedurę R5 dotyczącą odzyskiwania i recyklingu.

3.1.2.3. Wykorzystywanie DM do budowy wałów - Dania

W Danii niezanieczyszczony urobek czerpalny może być wykorzystany w budowie wałów na podstawie indywidualnego zezwolenia, które należy uzyskać od odpowiednich organów administracji.

Podstawy prawne wykorzystania DM jako elementu konstrukcji budowlanych są skomplikowane, ponieważ materiał zwykle trzeba najpierw przetransportować i przerabiać (odwadnianie, oczyszczanie), zanim będzie można go zastosować. Ponadto, może on również być zanieczyszczony.

Gminy, w których planuje się inwestycję, regulują stosowanie gruntu w projekcie budowlanym zgodnie z ustawą prawo ochrony środowiska (EP-Act), jeśli grunt jest przemieszczany między obszarami wydzielonymi w rejestrach katastralnych [44].

EP-Act [45] reguluje ogólne zasady wykorzystywania gruntu i osadów ze zbiorników wodnych jako materiału budowlanego. W EP-Act § 19 jest zapis ogólny stanowiący, że wszystkie materiały, które mogą zanieczyszczać grunty i wody podziemne nie powinny być składowane, przechowywane lub przekazywane bez wymaganego pozwolenia. W ten sposób, w każdym przypadku należy ustalić, czy planowany projekt dotyczy tego przepisu, czy też nie. Ponadto, trzeba ocenić, czy planowana inwestycja może podlegać przepisom duńskiego prawa o recyklingu [46], które częściowo reguluje planowanie inwestycji w § 19 EP-Act, czy też można wykorzystać grunt bez potrzeby uzyskiwania pozwolenia. Wreszcie, trzeba ocenić, czy inwestycja planowana jest na podstawie postanowień § 33 EP-Act, dotyczącego prawnego zatwierdzania wymienionych działań [47].

W niektórych przypadkach nieznacznie zanieczyszczone grunty można stosować dowolnie, ponieważ uznaje się je za mało szkodliwe dla środowiska. Odnosi się to do gruntu klasy 1, według wytycznych klasyfikacji gruntu Zelandii [48] i gruntów sklasyfikowanych w kategorii 1 według duńskiego prawa o recyklingu [46]. Grunty mogą być stosowane

w obiektach budowlanych takich jak wały, chyba że EP-Act oraz inne przepisy stanowią inaczej.

Wykorzystanie zanieczyszczonego gruntu, według przepisów prawa o recyklingu, wymaga zezwolenia, zgodnie z § 19 EP-Act lub legalizacji środowiskowej, zgodnie z § 33 EP-Act [45]. Wykorzystywanie gruntu jest objęte przepisami prawa o recyklingu, jeśli grunt zanieczyszczony jest jedynie metalami ciężkimi, wymienionymi w Załączniku nr 6 przepisów prawo o recyklingu.

Ostatnie decyzje duńskiego Ministerstwa Środowiska dotyczące dwóch przypadków, gdzie zanieczyszczony grunt został wykorzystany do budowy wałów ([49], [50]), wskazują, że zastosowanie tych gruntów do budowy wałów na ogół wymaga uzgodnień środowiskowych, zgodnie z § 33 EP-Act.

Informacja o kategorii 1 poziomów zanieczyszczeń oraz dodatkowe informacje dotyczące ustawodawstwa Danii zawarte są w [51].

3.2. Kontekst prawny użycia CCPs

3.2.1. Podstawy prawne

CCPs (Coal Combustion Products) są uważane w Europie jako materiał odpadowy lub jako uboczny produkt spalania węgla. Status prawny CCPs zależy bezpośrednio od zaklasyfikowania do jednej z wymienionych grup. Generalnie, produkty spalania węgla są klasyfikowane w ramach europejskich przepisów dotyczących odpadów, a zatem przede wszystkim stosuje się dyrektywę ramową w sprawie odpadów 2008/98 / WE [56] oraz inne wytyczne UE. Procedury wykorzystywania CCPs, zaklasyfikowanych jako odpady, różnią się istotnie w poszczególnych krajach europejskich. W niektórych krajach i tylko w szczególnych okolicznościach, CCPs mogą być zakwalifikowane jako materiał certyfikowany, z zastosowaniem przepisów REACH [57]. Uzyskany w ten sposób status ubocznego produktu spalania może znacząco ułatwić budowlane wykorzystanie tego materiału.

Zgodnie z Europejskim Katalogiem Odpadów, popioły klasyfikowane są w grupie 10 (odpady z procesów termicznych). Ogólnie kod materiału określony jest jako 10 01 (odpady z elektrowni i innych produktów spalania z wyłączeniem 10 19). W szczegółowej klasyfikacji znajdują się następujące grupy produktów związanych z elektrowniami:

- 10 01 01 – żużel, popiół i pyły ze spalania, bez spalania substancji ciekłych
- 10 01 02 – popiół lotny ze spalania węgla
- 10 01 14 - żużel, popiół i pyły ze spalania, w tym substancji niebezpiecznych
- 10 01 15 – żużel, popiół i pyły ze spalania, inne niż sklasyfikowane w 10 01 14
- 10 01 16 - popioły lotne ze spalania węgla, w tym substancji niebezpiecznych
- 10 01 17 - popiół lotny ze spalania węgla, inny niż sklasyfikowane w 10 01 15
- 10 01 80 – mieszaniny popiołu z płynnego transportu pozostałości spalania
- 10 01 81 – zeszkłone mikrosfery popiołu lotnego

Klasyfikacja produktów spalania pochodzących z drewna, torfu, substancji płynnych, odsiarczania gazu, kwasu siarkowego, wody chłodzącej, spalania osadów ściekowych i innych, nie jest istotna dla niniejszych wytycznych.

Uboczne produkty spalania analizowano również w dyrektywie UE, znaną pod nazwą REACH, w której opisuje się produkty o różnym składzie chemicznym. REACH [57] jest skrótem od Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals. Reguluje on kwestie bezpiecznego stosowania chemikaliów, poprzez rejestrację i ocenę oraz, w niektórych przypadkach, udzielania zezwoleń i ograniczenia handlu w stosowaniu niektórych chemikaliów.

Stan normalizacji w Europie, w zakresie korzystania z ubocznych produktów spalania, daje szerokie spektrum możliwości stosowania popiołu i żużli, jako podstawowego materiału drogowego albo używanego w połączeniu z innymi materiałami mineralnymi, także w technologii stabilizacji gruntu cementem. W zależności od zastosowania w budowie dróg, mogą to być mieszanki gruntowe i mieszanki antropogeniczne ze spoiwami hydraulicznymi stosowanymi do wzmocnienia gruntu i jego stabilizacji.

3.2.2. Szczegółowe przepisy dotyczące stosowania CCPs w konstrukcji wałów

Przepisy, które należy uwzględnić podczas stosowania CCPs w budowie wałów różnią się regionie Południowego Bałtyku. Dlatego przegląd legislacyjny i właściwe decyzyjne organy administracji zostaną przedstawione w formie tabelarycznej oddzielnie dla Niemiec i Polski.

3.2.2.1. CCPs w budowie wałów – Polska

Podstawowym aktem prawnym, który odnosi się do CCPs w Polsce jest ustawa o odpadach [32]. Określa ona "procedury obsługi odpadów w sposób zapewniający ochronę zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, w szczególności zasady zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczania produkcji odpadów i ich negatywnego wpływu na środowisko, a także odzysk lub unieszkodliwianie odpadów". Ustawę uzupełnia Katalog Odpadów [58].

Przepisy Ustawy o odpadach [32] przewidują przeprowadzenie neutralizacji lub unieszkodliwienia CCPs w instalacji spełniającej określone wymagania. Odstępstwem od tej zasady są odpady wymienione w [40]. Wkrótce zostaną wprowadzone nowe przepisy dotyczące neutralizacji lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami składowisk, z uwzględnieniem nowych rodzajów odpadów i innych zmian [41]. Rozporządzenie to dotyczy odpadów podgrupy 10 01. Ponadto niektóre odpady z powyższych podgrup (np. 10 01 01, 10 01 08) są wymienione w [59]. Według tego rozporządzenia mogą być one stosowane w procedurze odzysku R14 do utwardzania powierzchni gruntowych, placów składowych i dróg, pod warunkiem, że nie będą pylić, a także jako warstwy podbudowy przy zapewnieniu odpowiedniej wodoprzepuszczalności i spełnieniu przepisów budowlanych.

Zgodnie z ustawą o odpadach [32] istnieją trzy rodzaje odpadów: niebezpieczne, obojętne oraz inne niż obojętne i niebezpieczne. Odpady niebezpieczne to takie, które wykazują właściwości wymienione w Załączniku 3 (Ustawa o odpadach), takie jak na przykład: Szkodliwe (H5), toksyczne (H6), rakotwórcze (H7), szkodliwe dla rozrodczości (H10), mutagenne (H11) i ekotoksyczne (H14).

Odpady te mogą być klasyfikowane jak wyżej, jeżeli spełniają one kryteria zapisane w dodatku VI Dyrektywy UE 67/548 / EWG [60] dotyczące harmonizacji przepisów [...] w sprawie klasyfikacji, pakowania i etykietowania substancji niebezpiecznych. W niektórych przypadkach, dopuszczalne stężenia substancji są podane w załączniku II i III do dyrektywy UE 1999/45 / WE w sprawie harmonizacji przepisów [...] w sprawie klasyfikacji, pakowania i etykietowania substancji niebezpiecznych [61]. Metody badań opisano w [62] oraz w odpowiednich specyfikacjach

technicznych CEN. Substancje, które są uznane jako odpad niebezpieczny, wymienione są w Załączniku nr 4 do ustawy o odpadach [32].

Właściciel odpadów może wystąpić o zmianę klasyfikacji odpadów niebezpiecznych, gdy odpady nie posiadają niebezpiecznych właściwości. W tym celu należy spełnić pewne procedury, a odpowiednie badania muszą być wykonywane w certyfikowanym laboratorium (patrz [42], [43]). Właściciel odpadów musi zgłosić Marszałkowi Województwa zmianę klasyfikacji odpadów z niebezpiecznych na inne niż niebezpieczne. Fakt ten powinien być zatwierdzony przez Marszałka Województwa, który informuje Ministerstwo Środowiska. Ministerstwo, informuje z kolei Komisję Europejską o zmianach dotyczących statusu odpadu. Procedurę opisano również w Rozdziale 4.

Materiał będący wynikiem procesów przemysłowych, nie będący ich podstawowym produktem, może być uważany za produkt uboczny, jeśli następujące cztery warunki są spełnione jednocześnie:

- Przewidywane jest dalsze użycie takiego materiału,

- Wyrób lub substancja mogą być użyte bezpośrednio i są poddawane typowej praktyce obchodzenia się z materiałem,
- Wyrób lub substancja stanowi integralną część procesu przemysłowego,
- Produkt lub substancja spełnia wszystkie wymagania ochrony środowiska i wymagania prawne.

Producent materiału lub substancji, jest zobowiązany zwrócić się do Marszałka Województwa o zmianę klasyfikacji z odpadów na produkt uboczny. Do wniosku należy dołączyć wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych przez certyfikowane laboratorium. W tym przypadku materiał przechodzi przez proces certyfikacji (prowadzone według standardów REACH [62]) i jest licencjonowany przez instytucje rządowe, takie jak np. Instytut Techniki Budowlanej. Marszałek Województwa przekazuje Ministerstwu Środowiska informację o zmianie statusu odpadów na produkt uboczny. Jest to najprostszy sposób, aby odzyskać i powtórnie wykorzystać CCPs w przemyśle budowlanym.

Tab. 3.2. Polskie ramy prawne dotyczące wykorzystania CCPs w budowie wałów

Zadanie	Legislatura	Organy administracji
Opad / produkt przemysłowy	Ustawa o odpadach [32] Ustawa o ochronie środowiska [36]	Marszałek województwa Minister właściwy ds. środowiska
Rozpoznanie	Projekt Rozporządzenia Ministerstwa Środowiska z 15 czerwca 2015 [41] Recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych według procedury R5.	Starostwo powiatowe
Jakość i zastosowanie	Ustawa o odpadach [32] Dyrektywa UE REACH [57] Ustawa o ochronie środowiska [36] Szczegółowe informacje na temat klasyfikacji odpadów i procedur zmiany statusu odpadów (z odpadów w produkt uboczny) znajdują się w Rozdziale 4.	Marszałek województwa Minister właściwy ds. środowiska Certyfikowane laboratorium np. Instytut Techniki Budowlanej – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
Planowanie, zatwierdzanie i pozwolenia	Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [34] Ustawa prawo budowlane [35] Ustawa o ochronie środowiska [36] Ustawa prawo wodne [31] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [33]	Starostwo powiatowe
Budowa	Ustawa prawo budowlane [35] Ustawa prawo wodne [31] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [33]	Starostwo powiatowe
Wpływ na środowisko / specyfika wałów, aspekt środowiskowy	Dyrektywa EU o ochronie siedlisk FFH (92/43/EEC) [19] Dyrektywa EU w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (79/409/EEC) [20] Ustawa o ochronie środowiska [36] Ustawa prawo wodne [31]	Starostwo powiatowe

Bibliografia

- [1] EC 2007. European directive on the assessment and management of flood risks (2007/60/EC).
- [2] LC 2000. London Convention (1972). Guidelines for the assessment of dredged material.
- [3] HELCOM 2007. HELCOM Guidelines for the Disposal of Dredged Material at Sea - Adopted in June 2007.
- [4] OSPAR, 2009. Guidelines for the Management of Dredged Material (Ref. no. 2009/4).
- [5] Köthe, H. 2002. Baggergut im Kontext nationaler und europäischer Regelungen, 2. *Rostocker Baggergutseminar*. Available online: www2.auf.uni-rostock.de/ll/baggergut/rbs2/pdf/Koethe.pdf.
- [6] EAK 2002. Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft, aktualisierte Fassung 2007, *Die Küste* 65. 589 pp.
- [7] EC 2000. The European Waste Catalogue (2000/532/EC).
- [8] SMOCS 2011. Legislation on dredged material. Report from the SMOCS project. Available online: <http://smocs.eu>.
- [9] WHG 2009. German Water Management Act (Deutsches Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts). Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [10] LAGA 2004. Technische Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil II (LAGA M20 TR Boden).
- [11] Weisz, R. 2014. Die LAGA M20 - was geht und was geht nicht in Bezug auf die Verwertung von Baggergut, *Proceedings of the 8th Dredged Material Seminar*, Rostock.
- [12] BBodSchV 1999. German Federal Soil Protection Ordinance (Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung), 32 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [13] LABO 2002. Implementation Aid regarding §12 BBodSchV 1999 (Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden, §12 BBodSchV), 42 pp. Available online: www.labo-deutschland.de/documents/12-Vollzugshilfe_110902_9be.pdf.
- [14] WaStrG 1968. German Federal Waterways Act (Bundeswasserstraßengesetz). Online: www.gesetze-im-internet.de.
- [15] UVPG 2010. German Environmental Impact Analysis Act (Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung). Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [16] BNatSchG 2013. German Nature Protection Act (Bundesnaturschutzgesetz). Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [17] NatSchAG M-V 2010. Nature Protection Implementation Act of the federal state of Mecklenburg-Vorpommern (Gesetz des Landes M-V zur Ausführung des Bundesnaturschutzgesetzes). Available online: www.landesrecht-mv.de.
- [18] LWaG M-V 1992. Water Act of the federal state of Mecklenburg-Vorpommern (Wassergesetz des Landes M-V). Available online: www.landesrecht-mv.de.
- [19] EC 1992. Flora Fauna Habitat Framework Directive (FFH) (92/43/EEC).
- [20] EC 2009. Directive on the conservation of wild birds (2009/147/EC) [codified version of Bird Protection Directive (79/409/EEC)].
- [21] EC 2000. The Water Framework Directive (2000/60/EC).
- [22] EC 2008. The Marine Strategy Framework Directive (2008/56/EC).
- [23] KrWG 2012. German Federal Recycling Management and Waste Law (Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen), Bundesministerium der Justiz, 45 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [24] BImSchG 2013. German Federal Immission Control Act. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [25] BImSchV 2013. German Federal Immission Control Ordinance. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [26] BBodSchG 2012. German Federal Soil Protection Act. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [27] BauGB 2004. German Construction Act (Baugesetzbuch), BGBl. I S. 2414. Available online: www.gesetze-im-internet.de.
- [28] LBauO M-V 2011. Construction Ordinance of the federal state of Mecklenburg-Vorpommern (Landesbauordnung M-V). Available online: www.landesrecht-mv.de.
- [29] LUVPG M-V 2011. Environmental Impact Analysis Act of the federal state of Mecklenburg-Vorpommern (Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in Mecklenburg-Vorpommern), GVBl. M-V S. 885. Available online: www.landesrecht-mv.de.
- [30] Ustawa prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 11.163.981).
- [31] Ustawa prawo wodne z 18 lipca 2001 (Dz.U. 05. 239.2019 ze zmianami).
- [32] Ustawa o odpadach z 14 grudnia 2012 (Dz.U. 2013 poz. 21 ze zmianami). Tekst jednolity opublikowany w Dz.U. 2013 poz. 1238 i poz. 888 oraz w Dz.U. 2014 poz. 695.
- [33] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. 07.86.579).
- [34] Ustawa z dnia 27 marca 2003 o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 03.80.717 z późn. zmianami).
- [35] Ustawa prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 (Dz.U. 2000.106.1126 z późn. zmianami).
- [36] Ustawa o ochronie środowiska z 2001 (Dz.U. 01.62.627, ze zmianami).
- [37] Ustawa o ochronie przyrody (Dz.U. 04.92.880 ze zmianami).
- [38] Ustawa z 13 kwietnia 2007 o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie. (Dz.U. 07.75.493).
- [39] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 listopada 2011 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (Dz.U. 11.258.1550 i Dz.U. 2013 poz. 1558).
- [40] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 06.49.356).
- [41] Projekt Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 15 czerwca 2014 w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami.

- [42] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. (Dz.U. 02.165.1359).
- [43] Projekt Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 15 lutego 2014 w sprawie oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi.
- [44] Danish Order of Soil Moving (no. 1479 of 12/12/2007).
- [45] Danish Environmental Protection Act. EP-Act (no. 879 of 26/06/2010).
- [46] Danish Order of Reuse. Danish Order on the use of residues and soil for construction works and the use of sorted, uncontaminated construction and demolition waste (no. 1662 of 21/12/2010).
- [47] Danish Order on the approval of a listed company (no. 669 of 18/06/2014).
- [48] Zealand guidelines 2001. Frederiksberg Kommune, Frederiksborg Amt, Københavns Kommune, Københavns Amt, Roskilde Amt, Storstrøms Amt og Vestsjællands Amt (Eds.). Vejledning i håndtering af forurennet jord på Sjælland [Instructions for handling contaminated soil on Zealand], 26 pp. Available online: www.regionsjaelland.dk.
- [49] Danish Environmental Board of Appeal, decision on cases NMK-10-00087 and NMK-10-00308.
- [50] Danish Environmental Board of Appeal, decision on case NMK-10-00346.
- [51] Orbicon 2014. Report on the reuse possibilities of dredged materials in dike construction at the Danish Baltic Sea coast (Zealand). Available online: www.dredgdikes.eu.
- [52] Danish Marine Environment Act (no. 963 of 03/07/2013).
- [53] Danish Coastal Protection Act (no. 267 of 11/03/2009).
- [54] Danish Act of Raw Materials (no. 657 of 27/05/2007).
- [55] Danish Order on the use of residues and soil for construction works and the use of sorted, uncontaminated construction and demolition waste (no. 1662 of 21/12/2010).
- [56] EC 2008. The Waste Framework Directive (2008/98/EC).
- [57] EC 2006. EU Regulation 1907/2006 of 18 December 2006 concerning the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals (REACH) and establishing a European Chemicals Agency.
- [58] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U.2001.112.1206).
- [59] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie listy rodzajów odpadów, które posiadacz odpadów może przekazać osobom fizycznym lub jednostkom organizacyjnym niebędącym przedsiębiorcami, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku (Dz.U. 2008.235.1614).
- [60] EC 1967. EU Directive 67/548/EEC on classification, packaging and labelling of dangerous substances (EC Diary L 196 of 16.08.1967).
- [61] EC 1999. EU Directive 1999/45/EC concerning the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the classification, packaging and labelling of dangerous preparations (EC Diary L 200 of 30.07.1999).
- [62] EC 2008. EU Directive 440/2008/EC of 30 May 2008, fixing test methods according to EU Directive 1907/2006 (REACH) (EC Diary L 142 of 31.05.2008).
- [63] LAGA 1997. Technische Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil IV (Aschen aus Kohlekraftwerken) [technical rules for ashes and slag from stone coal firing power plants, combined heating and power plants, heat plants] (LAGA M20).

4. PLANOWANIE I PROJEKTOWANIE

Rozdział ten zawiera zalecenia dotyczące planowania i projektowania wałów przeciwpowodziowych z urobku czerpalnego (DM), ubocznych produktów spalania węgla (CCPs) i geosyntetyków. Dotyczy również informowania/włączenia zainteresowanych stron w proces planowania, w proces projektowania, informacji na temat budowy podłoża i innych warunków technicznych na budowie, jak również dotyczące charakterystyki materiałów, które mają być stosowane na budowie.

Należy rozważyć ogólne kryteria projektowe dla wałów nadmorskich i rzecznych. W przypadku wykorzystywania DM i CCPs trzeba jednak stosować dodatkowe kryteria specjalne. Ogólne kryteria projektowe są szczegółowo opisane w różnych normach krajowych i europejskich oraz przepisach i zaleceniach. W rozdziale tym przedstawiono jedynie najważniejsze zagadnienia i ich ogólny przegląd. Szczególną uwagę zwraca się jednak w tym rozdziale na specyfikę projektowania budowli ziemnych z DM i CCPs.

Zastosowanie geosyntetyków w budowie wałów opisano w różnych normach i podręcznikach. Przedmiotem

niniejszych wytycznych jest przedstawienie najważniejszych zastosowań DM i CCPs wynikających z doświadczeń w ramach projektu DredgDikes.

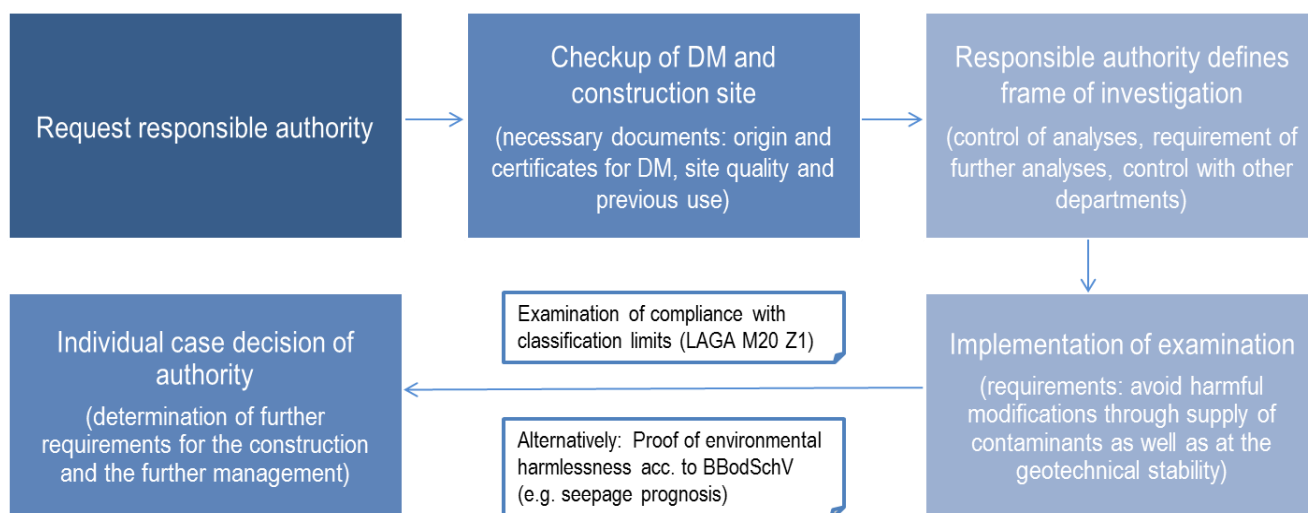
4.1. Proces planowania

Proces planowania budowy wałów przeciwpowodziowych z materiałów DM lub CCPs jest zasadniczo taki sam jak w procedurze standardowej. Główne etapy planowania obejmują podstawowe oszacowania, wstępne planowanie (wraz z oszacowaniem kosztów inwestycji), wstępny projekt (łącznie z kalkulacją kosztów), plan uzyskiwania zatwierdzeń i szczegółowy plan realizacji. Niektóre ważne zadania i równoległe działania, które muszą zostać uwzględnione przy pozyskiwaniu DM i CCPs zestawiono w Tab. 4.1.

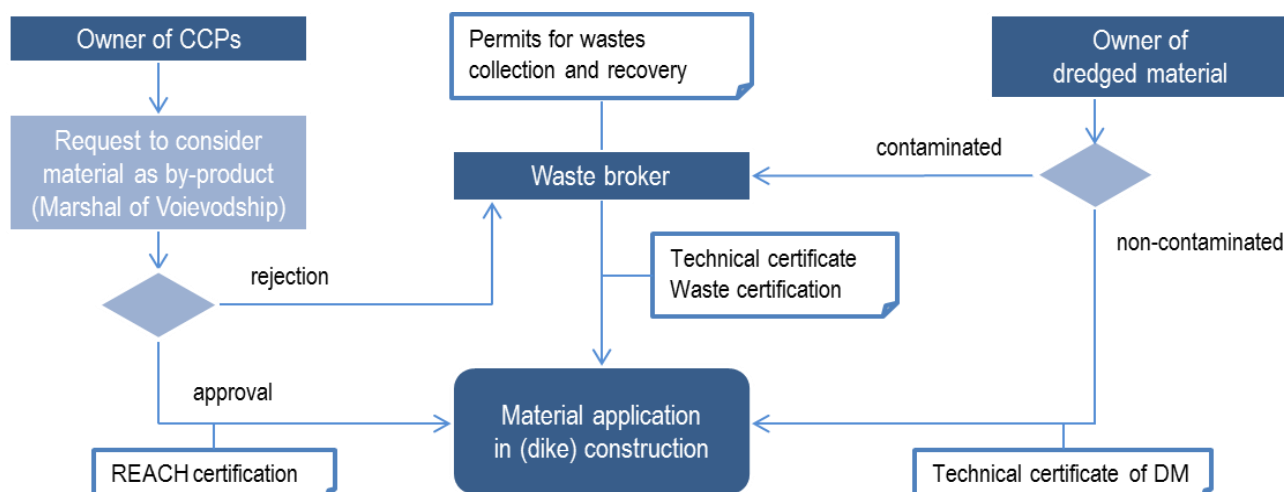
Dodatkowe informacje dotyczą szczególnie włączenia w proces decyzyjny właściwych organów administracyjnych i innych zainteresowanych stron na wczesnym etapie działań, jak również zawierają zalecenia dotyczące koniecznych badań, etapów obróbki i przygotowania materiałów, itd., z uwzględnieniem etapów planowania, projektowania i budowy.

Tab. 4.1. Proces planowania

Stadium planowania	Zadania do wykonania, gdy rozważane jest użycie DM i CCPs
Oszacowanie wstępne	- Włączyć właściwe organy administracji, właścicieli gruntów i innych zainteresowanych (patrz tablica z zainteresowanymi stronami) - Wybrać zakład uzdatniania (lub podobną instytucję) aby uzyskać właściwy materiał - Zebrać informacje na temat materiału - Zebrać informacje na temat obszarów chronionych (Natura 2000, itd.) na obszarze budowy wałów - Zebrać informacje na temat współwłasności gruntu (jeśli występuje)
Planowanie podstawowe / projekt	- Plan awaryjny z uwzględnieniem zastosowania alternatywnych materiałów - Zebrać dodatkowe informacje o materiałach - Wymagane pozwolenia właściwych organów administracji, zdefiniować konieczny zakres badań materiałów i potwierdzenia jakości - Jeśli wymagane (np. dla niecertyfikowanego DM dokument uzdatniania): badania materiału zgodne z wymaganiami państwowymi - Określić kwestie problematyczne, rozpocząć uzdatnianie (szczególnie odsączanie wody) materiału - Określić geometrię wału i właściciela gruntu (jeśli nie jest znany), poinformować właścicieli o planach odzysku materiału - Rozważyć kwestie logistyczne (np. transport CCPs i DM przez obszary chronione) - Wyjaśnić problem tymczasowego składowania materiałów - Wyjaśnić ważne kwestie dotyczące fazy wykonawczej, takie jak sprawy dotyczące bezpośrednio budowy (np. opóźnienia), transport materiału i technologia budowy (np. uwzględnić zakup DM / CCP) - Oszacować koszt z uwzględnieniem wszystkich kosztów materiałowych (uzdatnianie, transport, składowanie, wbudowywanie, itd.) - Zdefiniować konieczne planowanie budowy, z uwzględnieniem ochrony krajobrazu i wpływu na środowisko
Projektowanie podstawowe / projektowanie inżynierskie	Skupić uwagę na wybranej wersji projektu i wyjaśnić wszystkie sprawy materiałowe (DM, CCPs)
Zatwierdzenie planu	Złożyć wniosek do właściwego organu administracji z podstawową wersją projektu. Właściwe organy administracji są wymienione w tabeli zainteresowanych stron.
Wykonanie planu / szczegóły planu	W tym miejscu należy określić szczegółowe wymagania dotyczące technologii i budowy niezbędne do przygotowania zamówień i zawierania umów.



Rys. 4.1. Schemat przedstawiający proces uzyskania pozwolenia na użycie DM do budowy wałów w Meklemburgii-Pomorzu Przednim



Rys. 4.2. Schemat przedstawiający proces uzyskania pozwolenia na użycie i uzdatnienie CCPs i DM do budowy wałów w Polsce

Większość problemów związanych z użyciem DM i CCPs musi zostać wyjaśniona podczas studium oceny wykonalności i na wstępnym etapie projektowania. Obejmuje to wstępne wyznaczenie metody uzyskania decyzji właściwych organów administracji na poszczególnych etapach planowania budowy wałów. Na Rys. 4.1 i Rys. 4.2 opisano możliwości uzyskiwania zgody na odzysk i wbudowanie DM i CCPs w konstrukcję wałów.

4.2. Podmioty zainteresowane

Wszystkie zainteresowane strony powinny być poinformowane i włączone w proces podejmowania decyzji od rozpoczęcia realizacji projektu wałów przeciwpowodziowych, tym bardziej gdy wykorzystywane będą materiały alternatywne, takie jak DM i CCPs. W kolejnych Tabelach 4.2, 4.3 i 4.4 wymienione są

najważniejsze podmioty (organy administracji) udzielające odpowiednich pozwoleń. Pomocne tu będą lokalne doświadczenia w pozyskiwaniu, magazynowaniu i transporcie materiału, nadzorowane przez lokalną administrację.

Jedni uczestnicy projektu są odpowiedzialni za wydobycie materiału i składowanie, inni za projektowanie, budowę, utrzymanie i monitorowanie konstrukcji. Strona społeczna jest zawsze jednym z najważniejszych interesariuszy, zwłaszcza przy planowaniu obiektów ochrony przed powodzią i podczas odzyskiwania odpadów w budownictwie. Właściwe organy lokalnej administracji, przemysł budowlany i instytucje badawcze powinny być również zaangażowane w sprawy dotyczące zagospodarowania odpadów.

Tabl. 4.2. Główne zainteresowane strony

Zadanie	Instytucja / interesariusz	Właściwość/funkcja w planowaniu
Wszystkie zadania	Ogół społeczeństwa	Okoliczni mieszkańcy terenu budowy
	Firmy budowlane, pogłębiarskie i regionalny przemysł	Prace pogłębiarskie, budowa wałów, doświadczenie, partnerstwo publiczno-prywatne, know-how
	Instytucje badawcze	Eksperti naukowci

Tabl. 4.3. Zainteresowane strony w Polsce

Zadanie	Instytucja	Właściwość/funkcja w planowaniu
Budowa wałów	Lokalna administracja i gmina	Organ wydający pozwolenie zgodnie z obowiązującym prawem
	Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej	Organ uzgadniający w wielokryterialnym procesie legislacyjnym
	Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych	Strategia i planowanie ochrony przed powodzią
	Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska	Zatwierdzanie ze względu na środowisko
Urobek czerpalny	Lokalna administracja i gmina	Organ wydający pozwolenie zgodnie z obowiązującym prawem
	Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej	Właściciele DM
	Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska	Zatwierdzanie środowiskowe
Ubożne produkty spalania	Lokalna administracja i gmina	Organ wydający pozwolenie zgodnie z obowiązującym prawem
	Polska Unia UPS	Doradcza grupa ekspercka
	Elektrociepłownie i elektrownie	Producenci i właściciele CCPs

4.3. Podłoże gruntowe i teren budowy

4.3.1. Podłoże gruntowe

Podłoże gruntowe jest podstawowym czynnikiem przy posadawianiu wałów, a uwarstwienie gruntu należy uwzględnić w analizie filtracji wody pod wałem, osiadaniach i ogólnej stateczności podłoża. Wał musi być stateczny z uwzględnieniem obciążeń hydraulicznych, obciążeń użytkowych korony wału i powinien mieć odpowiednią wysokość; wymaga to odpowiedniej nośności podłoża. Współczynnik filtracji gruntu uwarstwowanego w podłożu jest kolejnym ważnym parametrem przy sprawdzaniu stateczności podłoża wałów. Grunt słabo przepuszczalny może zmniejszać przepływ wody pod wałem i chronić grunty niespoiste po stronie odpowietrznej. Korzystne jest występowanie w podłożu uszczelnienia w postaci warstwy gruntu spoistego o znacznej miąższości. Ponadto podłoże musi mieć odpowiednią wytrzymałość z uwzględnieniem obciążeń hydraulicznych i hydrodynamicznych. Dlatego ważne jest przeprowadzenie szczegółowych badań podłoża gruntowego i uzyskanie danych na temat:

- Uwarstwienia gruntu ze szczególnym uwzględnieniem gruntów słabonośnych/ organicznych oraz gruntów gruboziarnistych, wpływających odpowiednio na odkształcenia podłoża i zwiększoną wodoprzepuszczalność,
- Cech fizycznych gruntów w podłożu, takich jak gęstość objętościowa, wilgotność, uziarnienie, kształt ziaren i skład mineralogiczny,
- Parametrów mechanicznych gruntów na podstawie badań polowych i laboratoryjnych, takich jak wytrzymałość, odkształcalność i wodoprzepuszczalność,
- Dodatkowych wymagań związanych z ochroną środowiska.

Zakres badań gruntu zawarty jest w normach:

- **Polska:** Eurocode 7 [4] i Rozporządzenie w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych [5].
- **Niemcy:** DIN 4020 [1] lub DIN 1054 [2] DIN ISO/TS 22476 [3] oraz wymaganiach ustanowionych przez geotechników pracujących nad danym projektem.

Badanie gruntu powinny obejmować co najmniej obszar planowanej budowy wałów. Kompleksowe rozpoznanie

geotechniczne powinno być przygotowane na obszarze międzywał, pod wałem i na zawalu. Jeśli jest taka potrzeba należy więc poszerzyć obszar badań. Rozstaw siatki badawczej powinien być dostosowany do klasy wału oraz skali niejednorodności podłoża. Przykład ustalenia zakresu badań, w różnych fazach planowania inwestycji, znajduje się w Załączniku I.

Plan badań gruntu, jak i wymagania dotyczące podłoża gruntowego do budowy wałów przeciwpowodziowych, powinny poprzedzać decyzje związane z wyborem materiału gruntowego do wykonania wałów. Należy przy tym kierować się stosownymi normami, instrukcjami i zaleceniami literatury. Dodatkowe informacje na temat podłoża gruntowego są również opisane w Załączniku I.

4.3.2. Wymagana przestrzeń do budowy wałów

Plac budowy przy inwestycjach związanych z konstrukcją wałów przeciwpowodziowych, powinien mieć wymaganą przestrzeń do wykonywania robót budowlanych oraz na zaplecze budowy. Może ono obejmować znaczny teren przeznaczony do składowania lub przechowywania DM lub CCPs oraz do ich przeładunku, uzdatniania bądź ulepszania. Ilość miejsca na DM jest szczególnie zależna od technologii mieszania i suszenia materiału, oraz czy jest to wykonywane w zakładzie przeróbczym (np. w celu ulepszania / mieszania) czy na placu budowy.

4.3.3. Kwestie ochrony środowiska

Wymagania dotyczące placu budowy są zależne od jakości materiału budowlanego. Na ogół przy niskiej zawartości metali ciężkich i niewielkich zanieczyszczeniach organicznych, stosowanie DM jest stosunkowo bezpieczne (§ 2.1.3). W reakcjach redoks zmieniają się warunki chemiczne, np. podczas wbudowania materiału (metale ciężkie są związane w procesie produkcji, natomiast związki chemiczne utleniają się, gdy są składowane) lub w czasie powodzi na terenie budowy; może wówczas wystąpić wytrącanie metali ciężkich w składowanych materiałach, nawet jeśli zawartość metali ciężkich spełnia wymagania dla materiałów stosowanych w budownictwie. Dlatego też należy uwzględnić rzeczywiste warunki hydrauliczne i hydrologiczne na placu budowy.

Materiał czerpalny (DM) pochodzenia morskiego będzie zawierać jony soli morskiej (chlorki i siarczany). Takie DM powinny być raczej używane w środowisku morskim/

nadmorskim, gdzie wypłukiwanie soli nie będzie miało negatywnego wpływu na grunt i wody gruntowe.

W projekcie DredgDikes, nie wykryto wymywania metali ciężkich lub związków azotu i fosforu w trakcie analizy odcieków w pierwszych dwóch latach po zakończeniu budowy, chociaż podczas badań terenowych materiał był poddawany na przemian nawadnianiu i suszeniu. Zarówno glina, jak i materia organiczna, posiadają wysokie zdolności sorpcyjne wiązania i stabilizacji metali ciężkich. W zmiennych warunkach redoks niezbędne może być monitorowanie stanu środowiska chemicznego.

Antropogeniczny materiał kompozytowy na bazie CCPs powinien być zbadany na wymywanie metali ciężkich. Ważne jest zrozumienie, że problemem nie jest ilość metali ciężkich odniesiona do stałej masy, ale ich zawartość w odcieku (porównywalnie do drobnopiękistych DM). Wielu badaczy wykazało, że matryca chemiczna zbudowana z wykorzystaniem CCPs ma właściwości wiązania metali ciężkich w środowisku alkalicznym [7]. W szczególnych przypadkach w celu utrzymania alkaliczności wskazane jest dodanie małych ilości wapnia (1-3%). Odpowiednia procedura badawcza jest opisana w niemieckiej normie DIN 38414-4 [8]. W Polsce uboczne produkty spalania (CCPs) powinny być stosowane zgodnie z normą PN-EN 12457-4: 2006 [9].

W związku z koniecznością ochrony gruntu i wody gruntowej przed zanieczyszczonymi odciekami z materiału wbudowanego w wał lub przeznaczonego do wbudowania, należy sprawdzić czy plac budowy/ podłoże gruntowe spełnia wymagania w zakresie:

- Pionowej odległości placu składowego od poziomu wody gruntowej,
- Poziomej odległości od obszarów chronionych,
- Przewodności hydraulicznej podłoża (im niższa, tym lepsza),
- Prognozy migracji odcieków (np. wg [10]),
- Poziomej odległości od brzegu rzeki/ ujęcia wody.

Dodatkowo, należy wykonać prognozę przepływu wody z uwzględnieniem czasowego składowania materiału i jego wbudowania w wał.

W zależności od stopnia zanieczyszczenia materiałów budowlanych, powyższe wymogi mogą mieć zastosowanie do konstrukcji wałów i miejsc tymczasowego składowania materiałów budowlanych (np. nieznacznie zanieczyszczone DM lub CCPs, które będą wymieszane z innymi niezanieczyszczonymi materiałami ziemnymi podczas budowy wału).

4.4. Ogólne kryteria doboru materiałów do budowy wałów

W projekcie budowy wałów przeciwpowodziowych, wykorzystywane są zwykle znaczne masy ziemne. Dlatego też dobór, charakterystyka i dostępność materiałów stanowią najważniejsze czynniki przy projektowaniu. W niniejszych wytycznych, szczególną uwagę zwraca się na dostępność DM i CCPs oraz na procedury doboru odpowiedniego materiału budowlanego do wykonania wału. W tym rozdziale zestawiono ogólne kryteria doboru materiału, takie jak dostępność, koszty oraz kwestie związane z ochroną środowiska, a także szczegółowe kryteria klasyfikacji środowiskowej i geotechnicznej związanej z ostatecznym wyborem materiału na przykładzie zastosowania DM i CCPs.

4.4.1. Dobór urobku czerpalnego

4.4.1.1. Dostępność

Są trzy sposoby pozyskiwania DM:

(1) W wyniku prac pogłębiarskich osad uzyskany z dna rzeki lub dna morskiego jest bezpośrednio wykorzystywany. Taki urobek czerpalny (DM) jest jednak bardzo wilgotny. Z bezpośrednich prac pogłębiarskich tylko piasek może być wykorzystany jako materiał budowlany. Refulacja piasku jest klasyczną technologią w budowie wałów nadmorskich. [11]. Pojawiają się również koncepcje wykorzystania drobnoziarnistego DM, ze znaczną zawartością części organicznych, po uprzednim ulepszeniu takiego materiału dodatkami mineralnymi, już na etapie refulacji lub w specjalnych zakładach uzdatniania na terenie budowy.

(2) DM jest często składowany przez długi okres w zamkniętych składowiskach, bez dalszej obróbki (suszenia, homogenizacji, itd.). Takie materiały mogą być uznane za półprodukt wymagający przetworzenia i suszenia. W zależności od metody refulacji, różnej ilości wody używa się do transportu materiału czerpalnego, a zatem wilgotność takiego materiału na zamkniętych składowiskach może być różna. Jednakże, wskutek znacznej wilgotności, konieczne jest dalsze ulepszanie tego materiału.

(3) Są również zamknięte składowiska ulepszania materiałów, jak miejskie składowisko ulepszania urobku czerpalnego w Rostoku [12] i podobne składowiska w Bremie, Hamburgu, w których DM jest suszony, przetwarzany i przygotowywany do produkcji różnych

materiałów budowlanych. Wilgotność drobnoziarnistego DM, bogatego w materię organiczną, może być znaczna w porównaniu z typowym gruntem i przewyższać poziom wilgotności optymalnej. Wilgotność ta jest jednakże znacznie niższa niż wilgotność świeżo czerpanego urobku lub składowanego bez ulepszenia.

DM może pochodzić ze stałych prac pogłębiarskich, wykonywanych przez zarządy gospodarki wodnej i transportu (np. Zarząd Gospodarki Wodnej i Transportu w Meklemburgii-Pomorzu Przednim), oraz z innych robót pogłębiarskich (bezpośrednio udostępniany z poziomu klienta, kontrahenta lub ze składowiska ulepszenia DM).

4.4.1.2. Koszty

W pozyskiwaniu urobku czerpalnego (DM), ważną rolę odgrywa rachunek ekonomiczny. Doświadczenia w Rostocku wykazały, że ulepszanie DM w celu uzyskania materiału zastępczego, który może być wykorzystany w rolnictwie i geotechnice, może być przeprowadzone stosunkowo niskim kosztem. W Tab. 4.4 pokazano koszty zagospodarowania DM w Rostocku.

Oplata za refulację DM na składowisku przetwarzania zawiera koszty ulepszenia materiału i w części transport. Materiały są "sprzedawane" za kwotę 2,50 € / m³ brutto, z uwzględnieniem kosztu transportu na odległość do 40 km od składowiska. Umożliwia to korzystne wykorzystanie poddanego obróbce stosunkowo czystego materiału. Koszt transportu jest wówczas ważnym czynnikiem, gdyż do budowy wałów przeciwpowodziowych potrzebne są często bardzo duże ilości materiałów ziemnych.

Odległość budowy wałów przeciwpowodziowych od miejsca składowania materiałów DM jest czynnikiem ograniczającym, co wielu przypadkach prowadzi do wykluczenia DM przy projektowaniu wałów [14]. Odległość transportowania materiału wpływa nie tylko na koszty, ale także na ochronę środowiska. Jeśli budowa wału jest blisko składowiska przetwarzania DM, koszty materiałowe mogą być utrzymywane na bardzo niskim poziomie. Oznacza to również, że składowiska ulepszania materiału powinny przetwarzać więcej urobku czerpalnego, aby był on dostępny do wykorzystania na innych potencjalnych budowach.

Dla urobku czerpalnego ze zwiększoną zawartością zanieczyszczeń, odległości transportu materiału mogą odgrywać mniejszą rolę, ponieważ przewóz zanieczyszczonego materiału, np. na składowisko, jest zwykle bardzo kosztowny ze względu na znacznie większe odległości.

Tab. 4.4. Przykład kosztów uzdatniania 1m³ DM na składowisku [13]

Pozycja	Opis	€/m ³
Opłata za DM refulowany na składowisko	Uzdatnianie (oczyszczanie na polderach i składowiskach materiałowych)	2.40
	Transport/dostawa (do 40 km dla końcowego włącznie z wpływami ze sprzedaży)	4.30
	Zarządzanie procesem uzdatniania (koszty personelu, certyfikacji, napraw, konserwacji, badań i rozwoju, marketingu)	2.00
Suma netto (bez VAT itd.)		8.70

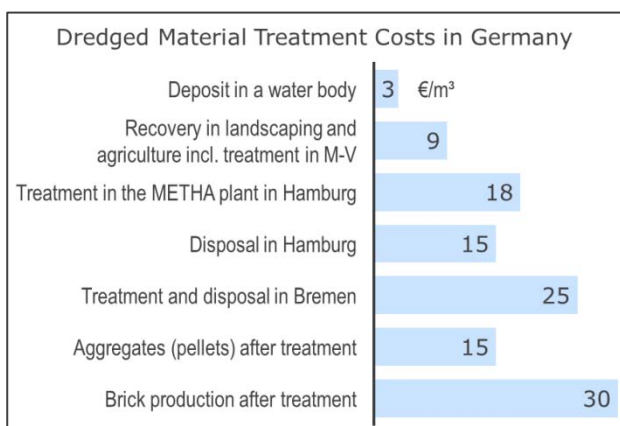
Dodatkowo ulepszanie i uzdatnianie generują przeważnie wyższe koszty, gdyż zanieczyszczonego urobku jest coraz więcej, stąd ulepszanie staje się koniecznością, jeśli poziom zanieczyszczeń jest wystarczająco niski.

Możliwości i koszty zagospodarowania DM należy uwzględnić w planie budowy wału przeciwpowodziowego. Wybrane koszty uzdatniania DM zestawiono na Rys. 4.3.

4.4.1.3. Ochrona środowiska

Urobek czerpalny (DM) z okolic Rostocku jest stosunkowo czysty i nie przekracza stężeń granicznych wg §12 BBodSchV [10] i odpowiednio LAGA Z0 i Z1 [15] za wyjątkiem całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC), przewodności hydraulicznej i zawartości jonów soli. Ponieważ materia organiczna jest wysoce stabilna (§ 4.5.1) i problem eutrofizacji można w zasadzie wykluczyć, zawartość soli jest tutaj jedynym parametrem krytycznym.

Ponieważ urobek czerpalny (DM) z okolic Rostocku jest zwykle pozyskiwany z wody słonej, zawartość soli jest parametrem podstawowym. Ponieważ sole są łatwo rozpuszczalne, zastosowanie tych materiałów w konstrukcjach geotechnicznych jest z reguły możliwe na gruntach niewrażliwych na działanie takich soli, przeważnie w pobliżu

Rys. 4.3. Przybliżone koszty uzdatniania DM w €/m³ (2006) [14]

brzegu morskiego, gdzie woda gruntowa kontaktuje się z wodą morską. Przykład ten ilustruje sposób doboru materiału ze względu na jego skład, dostępność i położenie miejsca budowy.

Urobek czerpalny, wykorzystywany w wielu projektach, jest materiałem drobnopiękistym z nieznacznie podwyższonym poziomem zanieczyszczeń, gdzie wartości graniczne, wg norm lokalnych lub ogólnokrajowych, przekroczone są tylko w przypadku niektórych elementów (patrz § 4.5).

4.4.2. Dobór ubocznego produktu spalania (CCPs)

Dobór ubocznych produktów spalania (CCPs) w planowanym projekcie powinien bazować na lokalnych materiałach wykorzystywanych w budownictwie i szczegółowych badaniach geotechnicznych. Materiały takie jak CCPs są zwykle z różnych powodów (§ 4.6.2) wykorzystywane w budowach hydrotechnicznych w mieszankach z innym materiałem mineralnym (np. czerpanym piaskiem). Uzyskanie optymalnego materiału kompozytowego wymaga zbadania nie tylko ubocznego produktu spalania, ale dodatkowo również mieszanki gruntu antropogenicznego.

4.4.2.1. Dostępność

Podstawowym źródłem CCPs są zakłady elektroenergetyczne spalające węgiel i zamknięte składowiska popiołów. W Polsce występuje gęsta "sieć" zamkniętych składowisk popiołów, jako pozostałość po dekadach energetyki opartej na węglu. Można założyć, że w Polsce zakłady elektroenergetyczne sprzedające CCPs jako półprodukt lub przekazujący popiół na składowisko znajdują się w średniej odległości 50-70 km od siebie. Trzecia możliwość, to zakup certyfikowanego popiołu ze spalania węgla od wyspecjalizowanego przedsiębiorstwa. Wybór jednego z trzech źródeł pozyskania materiału zależy od zapotrzebowania na materiał do konkretnego projektu.

4.4.2.2. Koszty

Zastosowanie CCP w konstrukcji wału przeciwpowodziowego łączy się z aspektem ekonomicznym przedsięwzięcia. Koszty ekonomiczne zależą od źródła pozyskiwania CCPs (§ 4.4.2.1), zgodnie z poniższymi uwagami:

- CCPs z zamkniętych składowisk popiołów jest często najmniej kosztownym rozwiązaniem, ale wiąże się z dłuższą ścieżką uzyskiwania pozwolenia na budowę spośród tych trzech opcji oraz wymaga dłuższego czasu

związanego z możliwą koniecznością przygotowania i uzdatnienia materiału przed zastosowaniem.

- Gdy CCPs jest pozyskiwany bezpośrednio z zakładu elektroenergetycznego, koszty są wyższe, jednak zwykle popiół posiada badania chemiczne i nie wymagana dodatkowej procedury uzdatniania. Ścieżka uzyskiwania pozwolenia na budowę jest zatem mniej czasochłonna.
- Gdy CCPs jest nabywany jako materiał budowlany gotowy do zastosowania od atestowanego przedsiębiorstwa lub pośrednika w obrocie odpadami, produkt może być bardziej kosztowny; jednakże jest to już produkt certyfikowany. Jest to szczególnie ważne, gdy CCPs jest używany jako dodatek do urobku czerpalnego (DM); stosowane są małe ilości produktu w porównaniu z sytuacją, gdy wał budowany jest tylko z ubocznych produktów spalania (CCPs).

4.4.2.3. Ochrona środowiska

Aspekt środowiskowy stosowania CCPs odnosi się głównie do składu chemicznego oraz zawartości metali ciężkich; szczegóły podano w § 2.2 i § 3.2.

4.5. Dobór i charakterystyka urobku czerpalnego

Urobek czerpalny jest zwykle oceniany podczas robót czerpalnych, gdy pobiera się próbki i bada je w laboratorium. Badania laboratoryjne są obowiązkowe, bez względu na to, do jakich celów urobek będzie przeznaczony [16], [17]. Analizy te obejmują badania geochemiczne i podstawowe badania gruntu, takie jak uziarnienie, zawartość części organicznych i węgla wapnia; jednakże nie są one wystarczające do określenia możliwości wykorzystania DM do budowy wałów przeciwpowodziowych. Celem niniejszych wytycznych nie jest podanie szczegółowych parametrów DM, chociaż część informacji na temat charakterystyki uzdatnianych materiałów, dotyczących uziarnienia i zawartość części organicznych, dotyczy zaleceń ogólnych.

Charakterystykę DM, stosowanych w budowie wałów, można podzielić na analizę środowiskową/geochemiczną w odniesieniu do przepisów dotyczących ochrony środowiska i analizę geotechniczną, niezbędną do oceny stateczności i sposobu wbudowania materiału w konstrukcję. Niektóre parametry powinny być jednak analizowane z obu punktów

widzenia, ponieważ są one albo ściśle ze sobą związane lub badane podobnymi metodami.

4.5.1. Charakterystyka środowiskowa

Do oceny środowiskowej DM ważne znaczenie mają potencjalne zanieczyszczenia w materiale. Skład materiałów powinien być zgodny ze specyfikacjami krajowymi i regionalnymi dotyczącymi zanieczyszczeń gruntu.

Korzystne jest, gdy proces uzdatniania DM prowadzony w zakładzie przerobczym, obejmuje analizę środowiskową jako część zakładowego systemu zarządzania jakością. Wówczas, analiza jest zawsze wykonywana w taki sam sposób i uzdatniany materiał może być certyfikowany zgodnie z przyjętym programem.

4.5.1.1. Charakterystyka środowiskowa w Niemczech

W Niemczech, środowiskowa charakterystyka antropogenicznych materiałów gruntowych w zależności od przeznaczenia zawarta jest w poniższych dwóch rozporządzeniach. Jeśli grunt jest układany w strefie korzeniowej (do około 30 cm poniżej powierzchni) stosowane jest Rozporządzenie o ochronie gleby (§12 BBodSchV) [10]. Gdy grunt stosowany jest jako materiał konstrukcyjny poniżej strefy korzeniowej należy korzystać z rekomendacji LAGA M20 [15], aby udowodnić jego nieszkodliwość dla środowiska (rekomendacje odnoszą się do zapisów BBodSchV, dotyczących strefy korzeniowej). Nie ma jednakże oficjalnego dokumentu dotyczącego drobnoziarnistego urobku czerpalnego (DM), zawierającego znaczne ilości materii organicznej, który ma być zastosowany w konstrukcji technicznej, zwłaszcza że rekomendacje LAGA M20 pozwalają jedynie na stosowanie gruntu o całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC) poniżej 5% i zawierającego mniej niż 10% cząstek drobnych. Pomimo tego, DM wykorzystywany w konstrukcjach technicznych (takich jak wały) powinien podlegać ocenie zgodnej z LAGA M20, dopóki nie powstanie wiążący dokument w tej sprawie, zgodny z Rozporządzeniem BBodSchV. Alternatywnie, nieszkodliwość urobku czerpalnego (DM) dla środowiska można udowodnić na podstawie opinii ekspertów, np. na podstawie prognozy przepływu w ośrodku i wykorzystując rozporządzenia BBodSchV.

W Meklemburgii-Pomorzu Przednim zostało zawarte ogólne porozumienie między Ministerstwem Gospodarki, Budownictwa i Turystyki / Departamentem Gospodarki Odpadami oraz Państwową Agencją Rolnictwa i Środowiska (StALU M-M), Departamentem Gruntu,

Wody i Inżynierii Brzegowej dotyczące postępowania z urobkiem czerpalnym (DM) przy budowie wałów (Rozdział 3).

W strefie ukorzenia roślin należy stosować wymagania zgodnie z zapisami §12 BBodSchV [10], a DM powinny spełniać parametry określone w Załączniku 2, BBodSchV.

Do pełnego stosowania DM w konstrukcji technicznej, zaleca się stosowanie dopuszczalnych limitów według LAGA M20 wraz z kryteriami klasyfikacji Z0 Z1. Należy też pamiętać, że kryteria Z0 są w zasadzie takie same, jak w przypadku gruntów gliniastych w BBodSchV.

Pobieranie próbek urobku czerpalnego, jak również ich składowanie i przetwarzanie muszą być zgodne z zaleceniami dotyczącymi badań laboratoryjnych wg BBodSchV i LAGA M20.

W przypadku wątpliwości co jakości materiału (np. pochodzenia DM) konieczne mogą być dodatkowe analizy laboratoryjne. W takim przypadku może być potrzebna kontrola właściwych organów administracji i weryfikacja stężeń dopuszczalnych danego materiału.

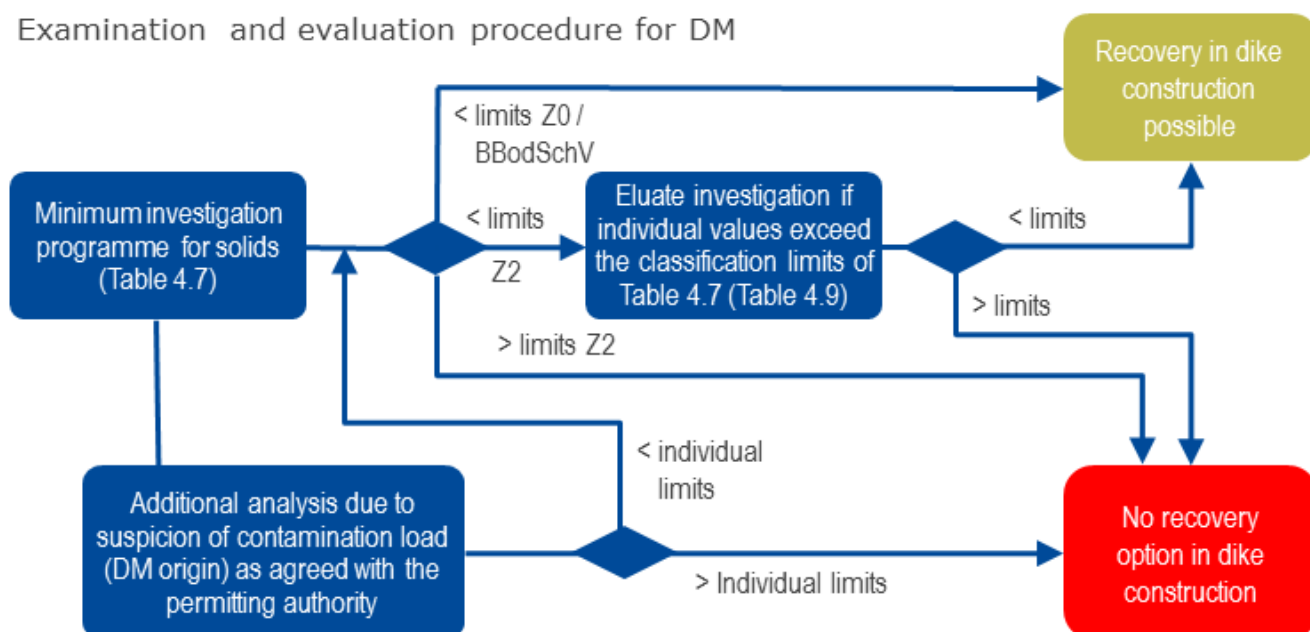
Zalecany proces ustalenia wpływu na środowisko urobku czerpalnego (DM), który ma być wykorzystany do budowy wałów, pokazano na Rys. 4.4. W Tab. 4.5 podane są minimalne wymagania klasyfikacji środowiskowej, zalecane do analizy w pierwszej kolejności. Analiza odcieku nie jest wymagana, gdy DM jest klasyfikowany jako materiał Z0 lub zgodnie z Rozporządzeniem BBodSchV.

Zawartość całkowita węgla organicznego (TOC) w drobnodziarnistym urobku czerpalnym, często przekracza wartości dopuszczalne klasyfikacji LAGA (podczas gdy nie ma takich ograniczeń w BBodSchV). Dopuszczalna zawartość frakcji drobnej też jest często przekraczana, a osady morskie charakteryzują się wysoką zawartością soli. Wymagana jest zatem indywidualna decyzja właściwego organu administracji w każdej ze spraw (Rozdział 3). Dlatego w Tab. 4.5 nie podano wartości dopuszczalnych odnośnie TOC i zawartości frakcji drobnych.

Tab. 4.5. Zakres badań i dopuszczalne granice dla DM zawierającego wapń w konstrukcjach hydrotechnicznych w Niemczech [10], [15]

Parametr	Jednostka	BBodSchV	LAGA (Z0)
Ołów	mg/kg suchej masy	70	70
Kadm		1	1
Chrom		60	60
Miedź		40	40
Nikiel		50	50
Rtęć		0.5	0.5
Cynk		150	150
Arsen			15
Węglowodory			100
PAH		3.0	3.0
PCB		0.05	0.05
EOX			1

Environmental characterisation - Application in dike construction Examination and evaluation procedure for DM



Rys. 4.4. Zalecana procedura badań laboratoryjnych do oszacowania charakterystyki środowiskowej uzdatniania DM, Niemcy (przykład)

Parametrem opisującym zawartość materii organicznej jest TOC, zgodnie z normą ISO 10694 [18], który powinien być zawsze określany w ramach analizy środowiskowej; może on być stosowany jako wskaźnik różnych procesów chemicznych zachodzących w gruncie. Zawartość materii organicznej / próchnicy I_{OM} może być oszacowana następującym wzorem: $I_{OM} = 1.724 \cdot TOC$.

Do analizy geochemicznej według BBodSchV, wymagana jest znajomość podstawowej klasyfikacji gruntu (co najmniej analiza granulometryczna), gdyż granice klasyfikacji zależą od rodzaju gruntu. Dlatego niezbędne są wiarygodne informacje na temat zawartości frakcji drobnej w DM. Dla urobku czerpalnego (DM) ze znaczną zawartością materii organicznej i wapnia, należy wybrać metodę, w której frakcję drobną, a zwłaszcza część ilastą (<0,002 mm) można określić bardziej wiarygodnie niż w standardowym teście przesiewania i sedimentacji na mokro (np. DIN 18123 [19]). Odpowiedni sposób opisany jest w normie ISO 11277 [20]. Więcej informacji znajduje się w § 4.5.2 przy opisie badań geotechnicznych.

W Tab. 4.6 podano zalecane granice klasyfikacji dla urobku układanego na otwartej przestrzeni (Z1) lub zabudowanego innymi materiałami w konstrukcji technicznej (Z2) według LAGA M20. W Tab. 4.5 i Tab. 4.6 podano wytyczne odnośnie oceny materiału czerpalnego z pogłębiania dna zbiorników wodnych oraz zalecenia ich stosowania, z wyjątkiem TOC i jonów soli, choć LAGA M20 nie ma odpowiedniej mocy prawnej.

Jeśli poszczególne parametry odniesione do suchej masy wzrastają, odcieki mogą wskazywać z większą precyzją rzeczywiste zawartości lub świadczyć o migracji zawartych w materiale substancji. W przypadku wątpliwości, właściwy organ administracji może ponownie żądać dodatkowych analiz (por. powyżej). Dodatkowe analizy mogą być również konieczne, jeśli badania in-situ wykazują wysokie wartości poszczególnych zanieczyszczeń (np. TBT).

Jakość odcieku wody z materiału, z którego zbudowany jest wał, jest ważna, ponieważ zwykle to przepływ wody w gruncie może powodować zanieczyszczanie. Materiały spełniające limity klasyfikacji Z0 i Z1.1 są gotowe do użycia na budowie. Jeśli te wartości są przekroczone, szczegółowe oszacowania nieszkodliwości materiału dla środowiska, np. za pomocą prognozy migracji zanieczyszczeń wg BBodSchV, mogą dopuszczać

drobnoziarnisty DM posiadający wysoką zdolność sorpcyjną do wykorzystania w budowie wałów bez separacji materiału.

Tab. 4.6. Stężenia dopuszczalne dla gruntów w konstrukcjach hydrotechnicznych w Niemczech, na podstawie LAGA M20 [15]

Parametr	Jednostka	LAGA (Z1)	LAGA (Z2)
Arsen	mg/kg suchej masy	45	150
Ołów		210	700
Kadm		3	10
Chrom		180	600
Miedź		120	400
Nikiel		150	500
Tal		2.1	7
Rtęć		1.5	5
Cynk		450	1,500
Cyjanek		3	10
EOX		3 ¹⁾	10
Węglowodory		300 (600) ²⁾	1,000 (2,000) ²⁾
BTX		1	1
VHH		1	1
PCB ₆		0.15	0.5
PAH ₁₆		3 (9) ³⁾	30
Benzo(a)piren		0.9	3

1) sprawdzić powód przekroczenia wartości dopuszczalnych

2) Granice klasyfikacji dla węglowodorów (C₁₀ do C₂₂). Granice w nawiasach: łączna wartość (C₁₀-C₄₀) wg E DIN EN 14039

3) materiał gruntowy o stężeniu dopuszczalnym > 3 mg/kg i ≤ 9 mg/kg powinien być zastosowany tylko na obszarach o korzystnych warunkach hydraulicznych

Tab. 4.7. Stężenia dopuszczalne dla odcieku z gruntu stosowanego w konstrukcjach hydrotechnicznych w Niemczech, na podstawie LAGA [15]

Parametr	Jednostka	Z1.1	Z1.2	Z2
pH	-	6.5-9.5	6-12	5.5-12
Cyjanek	µg/L	5	10	20
Arsen		14	20	60
Ołów		40	80	200
Kadm		1.5	3	6
Chrom		12.5	25	60
Miedź		20	60	100
Nikiel		15	20	70
Rtęć		< 0.5	1	2
Cynk		150	200	600
Indeks fenolowy		20	40	100

4.5.1.2. Charakterystyka środowiskowa w Polsce

W Polsce charakterystyka geochemiczna urobku czerpalnego (DM) powinna być wykonana zgodnie z Ustawą z 15 lipca 2014 [21]. Stężenia dopuszczalne zanieczyszczeń metalami ciężkimi i związkami organicznymi dla DM podano w Tab. 4.8. Liczba próbek do badań zależy od objętości pobieranego DM:

- do 25,000 m³ urobku: 3 punktowo pobierane próbki,
- do 100,000 m³ urobku: 4-6 punktowo pobieranych próbek,
- do 500,000 m³ urobku: 7-15 punktowo pobieranych próbek,
- do 2,000,000 m³ urobku: 16-30 punktowo pobieranych próbek,
- ponad 2,000,000 m³ urobku: 10 punktowo pobieranych próbek na 1,000,000 m³ urobku.

4.5.1.3. Zalecenia środowiskowe dotyczące stateczności pokrywy humusowej i jej przydatności do wegetacji roślin

Organy ochrony środowiska są czasami zaniepokojone wysoką zawartością próchnicy w podłożu, ponieważ obawiają się, czy materia organiczna może się stopniowo rozkładać. Aby udowodnić stabilność materii organicznej (głównie substancji humusowych), a tym samym ryzyko eutrofizacji, zaleca się tzw. test respiracji gleby (test AT₄). Ten test jest również wymagany w Niemczech przy składowaniu odpadów [25], gdy DM stosowany jest jako warstwa okrywowa przy rekultywacji składowisk. Zalecana wartość graniczna wynosi 5 mg/g suchej masy.

Badanie DM powinno również wykazać poziom zawartości substancji odżywczych dla roślin i soli. Znajomość zawartości chlorku sodu, siarczanów, a także potasu i magnezu daje informacje o możliwych ilościach odcieków oraz może mieć wpływ na decyzję o zastosowaniu w pobliżu stref ochronnych. Fosforany i azotany nie będą obciążeniem dla środowiska jeśli nie przekroczą ilości krytycznych udokumentowanych doświadczalnie [26].

Zalecenia dotyczące maksymalnych zawartości substancji użyźniających (np. Na, Cl, N, P) w odciekach podane są w niemieckim rozporządzeniu o ochronie gleb [10].

Oprócz standardowej analizy chemicznej, zaleca się wykonanie próby kielkowania w celu oceny zdolności kielkowania w wybranym materiale przed jego zastosowaniem. Ponieważ nie ma testu normowego, ocena

Tab. 4.8. Dopuszczalne stężenia metali ciężkich i zanieczyszczeń organicznych dla gruntów stosowanych w konstrukcjach hydrotechnicznych w Polsce, na podstawie [21]

Parametr	Jednostka	Max. poziom zanieczyszczenia
Arsen	mg/kg suchej masy	30
Ołów		200
Kadm		7,5
Chrom		200
Miedź		150
Nikiel		75
Rtęć		1
Cynk		1000
WWA		
Benzo(a)antracen		1,5
Benzo(b)fluoranten		1,5
Benzo(k)fluoranten		1,5
Benzo(ghi)perylen		1,0
Benzo(a)piren		1,0
Dibenzo(a,h)antracen		1,0
Indeno(1,2,3-c,d)Iren		1,0
PCB ¹		0,3

1) Suma PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 i 180

zdolności kielkowania powinna być wykonana, np. na składowanym urobku (DM). Należy pamiętać, że pryzmowany/ składowany urobek może nie być tak dobrze zagęszczony jak powierzchnia wałów. Dlatego obszar badań kielkowania należy zagęścić przed wykonaniem testu. Alternatywnie, można przeprowadzić laboratoryjny test szklarniowy na co najmniej 3 próbkach, biorąc pod uwagę zagęszczenie i planowaną powierzchnię. Zalecenia dotyczące siewu i przygotowania do wegetacji roślin zawarto w Rozdziale 5.

4.5.2. Charakterystyka geotechniczna DM

W fazie planowania, wymagane właściwości materiałów budowlanych mogą być zdefiniowane zgodnie z planowanym przekrojem geotechnicznym. Z drugiej strony, jeśli stosuje się materiały miejscowe (takie, jak namuły lub margle) lub DM, odcinek wału można zaprojektować z uwzględnieniem lokalnie dostępnych materiałów. Należy określić parametry geotechniczne DM przed lub na początku etapu planowania, z uwzględnieniem minimalnego zalecanego zakresu badań określonego w tych wytycznych.

Biorąc pod uwagę dostępność materiału i zamiar wykorzystania konkretnego DM do budowy wałów przeciwpowodziowych, dwie główne strategie mogą mieć wpływ na badania geotechniczne:

(1) W przypadku stosowania DM w mieszance z innymi materiałami, wymagane wartości parametrów muszą być określone w dokumentach planowania i zamówień publicznych. Wykonawca powinien wybrać materiał spełniający te wymagania. Jeśli wykonawca wybierze DM, będzie musiał dostarczyć jego pełną charakterystykę geotechniczną.

(2) W przypadku ostatecznej decyzji (wydanej np. przez gminę lub właściwy organ administracji) odnośnie wykorzystania DM w projekcie budowy wału, pełna charakterystyka geotechniczna powinna być znana na początku fazy planowania, tak aby poszczególne odcinki budowy miały określony materiał o odpowiedniej jakości. Inaczej, wykonawca będzie musiał zlecać każdorazowo analizę geotechniczną lub żądać od właściciela DM dobranie odpowiedniej partii materiału na budowę.

Wszystkie materiały gruntowe użyte do budowy wałów wymagają spełnienia pewnych minimalnych parametrów. Dla standardowych materiałów budowlanych do budowy wałów, w tym piaszczystego urobku czerpalnego, wymagania jakościowe określone są w odpowiednich wytycznych projektowych i normach dotyczących morskich i rzecznych wałów przeciwpowodziowych (Rozdział 2). W przypadku DM drobnoziarnistych o znacznej zawartości części organicznych i/lub wapnia, zalecenia dotyczące limitów klasyfikacyjnych oraz zakresu i specyfiki analiz zostały przedstawione poniżej. Najważniejsze parametry charakterystyczne są również stosowane do kontroli jakości (są one omówione w Rozdziale 5).

Gdy planuje się zastosowanie DM w konstrukcji wałów, może być on już uzdatniony lub może wymagać uzdatnienia przed użyciem. Poniższe zalecenia obowiązują dla uzdatnianych materiałów (w Rostocku, odnosi się to głównie do klasyfikacji i przygotowania materiału). Jednak dla świeżych materiałów, które nie były jeszcze poddane uzdatnieniu (np. zamknięte poldery), jakość DM po uzdatnieniu musi spełniać te same kryteria. Klienci i właściciel DM muszą określić kryteria odbioru jakości materiału po uzdatnieniu.

Poniżej przedstawiono zakres badań laboratoryjnych i zalecenia dotyczące sposobu wykonywania badań.

Ponadto, wyszczególniono informacje dotyczące testów, które mogą nie dostarczyć wiarygodnych wyników.

4.5.2.1. Standardowy program badań laboratoryjnych do charakterystyki geotechnicznej DM

Standardowy program laboratoryjny do wyznaczenia parametrów geotechnicznych DM powinien obejmować przynajmniej badania zestawione w Tab. 4.9. Lista zawiera standardowe badania właściwości geotechnicznych DM po wbudowaniu w wał przeciwpowodziowy.

4.5.2.2. Badania wstępne i certyfikacja materiału

Badania wstępne podczas podstawowego etapu oceny i podczas oceny jakości w procesie uzdatniania materiału, powinny zawierać wyniki analizy granulometrycznej, TOC (całkowita zawartość węgla organicznego), oznaczenia

Tab. 4.9. Parametry geotechniczne DM używanego do budowy wałów przeciwpowodziowych – minimalny zakres badań

Parametr	Norma	
	Niemcy	Polska
Granulometria ¹⁾	ISO 11277 & DIN 18123	ISO 11277 & ISO/TS 17892-4
TOC	DIN 18128	PN-B-04481:1988
Zawartość węglanów	DIN 18129	PN EN ISO 14688-1
Granica płynności w_L	DIN 18122-1 or ISO/TS 17892-12	ISO/TS 17892-12
Granica plastyczności w_P	DIN 18122-1 or ISO/TS 17892-12	ISO/TS 17892-12
Granica skurczalności w_S	DIN 18122-2	ISO/TS 17892-12
Wskaźnik plastyczności I_P	DIN 18122-1	ISO/TS 17892-12
Stopień plastyczności I_L	DIN 18122-1	ISO/TS 17892-12
Wskaźnik skurczu objętościowego V_s	§ 4.5.2.4	
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $c_{u,r}(w_R)$ ³⁾	DIN 4094-4 ²⁾ DIN 18137	PN EN 1997-2
Wodoprzepuszczalność k_s	DIN 18130-1	ISO/TS 17892-11
Dodatkowe parametry		
Kąt tarcia wewnętrznego ϕ	DIN 18137	ISO/TS 17892-10
Spójność c	DIN 18137	ISO/TS 17892-10
Moduł odkształcenia E	DIN 18135	ISO/TS 17892-5

¹⁾ Zarówno z jak i bez usunięcia materii organicznej. Alternatywnie można rozważyć metody usunięcia materii organicznej.

²⁾ We wstępnych badaniach laboratoryjnych badanie ścinania powinno być wykonane dla składowanego materiału na podstawie tej normy. Do wstępnego oszacowania jakości nieuzdatnionego materiału stosuje się połowe badanie ścinania.

³⁾ $c_{u,r}$ ustala się na próbkach z wilgotnością naturalną w_{nat} . Badania Proctora wykonać dla standardowej energii zagęszczania. Badanie może być zastosowane również do ustalenia wilgotności, przy której wymagana wartość c_u ma być osiągnięta.

zawartości węglanów, wilgotności oraz granic Atterberga. Po określeniu tych parametrów, wybrane partie materiału mogą być poddane dalszej analizie.

4.5.2.3. Materiały nie uzdatnione

Dla materiałów nieprzetworzonych, próbki powinny być wysuszone przed wykonaniem analizy geotechnicznej. Dlatego też należy określić ich wilgotność, aby ustalić o ile można zmniejszyć wilgotność gruntu podczas procesu dojrzewania w pryzmach (osiągnięcie stanu równowagi hydrologicznej gleby) oraz potrzebny czas z ewentualnym uwzględnieniem procesów glebotwórczych.

4.5.2.4. Zalecane wartości parametrów geotechnicznych DM jako warstwy okrywowej morskich wałów przeciwpowodziowych

Kryteria stosowalności DM, używanego jako warstwa wierzchnia w morskich wałach przeciwpowodziowych, są zestawione w Tab. 4.10. Wynikają one z badań wykonanych w ramach projektu DredgDikes. Grunty o średniej do wysokiej plastyczności, uznaje się za odpowiednie, jeśli spełnione są dodatkowe wymagania, takie jak niska do średniej wartość wskaźnika skurczalności i niska zawartość TOC. Uważa się, że plastyczność jest bardziej wiarygodnym parametrem do oszacowania niż granulometria, ponieważ opisuje w pełniejszy sposób właściwości gruntu, uwzględniając jego odporność na erozję (plastyczne grunty są zwykle bardziej odporne na erozję niż nieplastyczne; co wynika z większej zawartości frakcji drobnych lub części organicznych). Uziarnienie DM o zwiększonej zawartości części organicznych i wapnia, jest często trudne do określenia (patrz poniżej), a zatem klasyfikacja nie powinna opierać się na analizie granulometrycznej (co może prowadzić do niesłusznego wykluczenia materiału o odpowiednich parametrach). Jednakże analiza granulometryczna jest badaniem standardowym, które powinno być wykonane, a jej wynik posłuży ekspertom geotechnicznym do oceny jakości materiału.

Zależna od składu granulometrycznego ocena przydatności DM do warstw okrywowych wału przeciwpowodziowego zawarta w EAK 2002[11] nie jest zalecana z następujących powodów:

- Udział frakcji piaszczystej > 40 % (co jest górną granicą w [11]) poprawia stateczność i odporność na spękania. Jednakże, wiarygodna wartość maksymalna tego parametru nie została w projekcie DredgDikes określona.

- Analiza granulometryczna jest trudna do wykonania bez usunięcia części organicznych I_{OM} i węglanów; wymagane określenie zawartości frakcji ilastej często nie może być wykonane, nawet jeśli frakcja ta występuje w próbce. Usunięcie I_{OM} i węglanów znacząco zmienia charakterystykę gruntu, a w przypadku chemicznego przygotowywania próbki gruntu może wpływać na cząstki mineralne.
- Nie ustalono sposobu przeprowadzania badań, ponieważ wymagana zawartość frakcji ilastej dotyczy tylko szkieletu mineralnego. W przypadku występowania 20% I_{OM} i 10% węglanów, 30% objętości próbki nie stanowi szkieletu gruntowego, a 15% frakcji ilastej w odniesieniu do szkieletu gruntu stanowi jedynie ok. 10% całkowitej próbki gruntu. Zatem, istnieje silna zależność sposobu przygotowania próbki i oceny zgodnie z kryterium EAK.

Materia organiczna w DM jest zwykle bardzo stabilna (patrz powyżej), a tym samym zachowanie mechaniczne DM nie powinno znacząco zmieniać się w zależności od zawartości części organicznych. Dlatego wytrzymałość na ścinanie i plastyczność (włącznie z informacją o odporności na erozję) są uważane w tym kontekście za bardziej miarodajne.

Całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) powinna być mniejsza niż 9%, aby zmniejszyć zjawisko skurczu nieodwracalnego. Informacje o sposobach wyznaczania parametrów charakterystycznych podano w § 4.5.2.9.

Podczas wbudowywania materiału gruntowego, jego wytrzymałość na ścinanie bez odpływu powinna wynosić $c_{tu} \geq 50$ kPa (określona za pomocą ścinania sondą krzyżkową). Jest to również parametr kontroli jakości. W związku z tym, wartość ta powinna zostać osiągnięta w testach laboratoryjnych na próbkach gruntu, zagęszczanych jak w warunkach polowych.

Tab. 4.10. Wybrane kryteria geotechniczne dla DM używanego jako warstwa wierzchnia (bałtyckie wały przeciwpowodziowe)

Parametr	Jednostka	Granica
TOC	%	≤ 9 ¹⁾
Wskaźnik plastyczności I _p	%	≥ 15 ²⁾
Stopień plastyczności I _L	-	≤ 0.3 ³⁾
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $c_{u,r}$	kPa	≥ 50 ⁴⁾
Wskaźnik skurczu objętościowego Vs	%	class 1 - 2 Tab. 4.11

¹⁾ Wyższe wartości powinny być poddane indywidualnej ocenie.

Natomiast, badanie AT4 (por. wyżej) powinno być obligatoryjne a Vs powinno wynosić poniżej 40 %. Wilgotność materiału wbudowywanego powinna być bliska wilgotności optymalnej (w_{opt}) dla zapewnienia wyższego stanu zagęszczenia.

²⁾ Co najmniej średnia plastyczność. Ustalić na podstawie rodzaju gruntu na diagramie plastyczności: TM, TA, TL, OM, UM, UA, OT, UA.

³⁾ Wilgotność wbudowywanego materiału bliska w_p , najlepiej w stanie twardoplastycznym.

⁴⁾ Ustalić na podstawie badania ścinania sondą krzyżkową na próbce o $I_L \leq 0.3$ lub określić minimalną wilgotność układania materiału.

Tab. 4.11. Klasyfikacja skurczalności – wskaźnik skurczu objętościowego V_s dla DM wykorzystywanego jako warstwa wierzchnia (wały bałtyckie)

Klasa skurczalności	V_s [%]	Komentarz
1 (niska)	≤ 20	Niska tendencja do spękania
2 (średnia)	21 - 40	Średnia tendencja do spękania (nie stanowi problemu dla morskich wałów nad Morzem Bałtyckim)
3 (wysoka)	> 40	Wysoka tendencja do spękania (stan problematyczny, szczególnie przy wysokiej wilgotności naturalnej, wymaga monitoringu i / lub dodatkowego działania)

Tab. 4.12. Wybrane kryteria geotechniczne dla DM używanego jako warstwa okrywowa lub jako wał jednorodny (wały bałtyckie i rzeczne)

Parametry	Jednostka	Granica
Wstępna charakterystyka laboratoryjna		
TOC	%	≤ 6
Wskaźnik plastyczności I_p (materiał jednorodny)	%	≥ 10
Wskaźnik plastyczności I_p (materiał warstwy okrywowej)	%	≤ 30
Stopień plastyczności I_L	-	$\leq 0,1^*$
Wskaźnik skurczu objętościowego V_s	%	≤ 20 (40)
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $c_{u,f}$	kPa	≥ 50

* Wilgotność materiału układanego tylko nieco powyżej w_p , stan twardoplastyczny

Tab. 4.13. Wybrane kryteria geotechniczne dla DM używanego jako warstwa uszczelniająca w rzecznych wałach przeciwpowodziowych

Parametry	Jednostka	Granica
TOC	%	≤ 3
Wskaźnik plastyczności I_p	%	$\geq 15^*$
Stopień plastyczności I_L	-	$\leq 0,0^{**}$
Wskaźnik skurczu objętościowego V_s	%	≤ 10
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $c_{u,f}$	kPa	≥ 50
Wodoprzepuszczalność k_s	m/s	***

* Co najmniej średnia plastyczność. Ustalić na podstawie rodzaju gruntu na diagramie plastyczności: TM, TA, TL, OM, UM, UA, OT, UA.

** Wilgotność układania $w \leq w_p$, stan półwarty

*** Wielkość przewodności hydraulicznej uszczelnienia zależy od miejscowych uregulowań prawnych, jak również od lokalnych ustaleń i indywidualnych decyzji. Drobnziarnisty DM zazwyczaj spełnia te wymagania.

Wskaźnik skurczu objętościowego jest dobrą miarą tendencji gruntu do spękania po wyschnięciu. Pomimo ogólnie dużej wiedzy dotyczącej gruntów spękanych,

przydatna okazała się klasyfikacja skurczalności (Tab. 4.11). Wskaźnik skurczu objętościowego definiuje się następująco (równanie 1):

$$V_s = \frac{V_i - V_e}{V_i} \times 100 \quad (1)$$

Gdzie: V_s = wskaźnik skurczu objętościowego [%],

V_i = początkowa objętość próbki gruntu,

V_e = końcowa objętość próbki gruntu

W badaniach w ramach programu DredgDikes dotyczących przepływu przez wał przeciwpowodziowy (głównie przepływ stacjonarny) i testów przelewania przez koronę wału nie zaobserwowano problemów dotyczących stateczności, a badania były wykonane na materiałach, które wykazały znaczne spękanie po osuszeniu podczas pierwszego lata. Nie było erozji związanej ze spękaniami i brzegi szczelin okazały się być stabilne, ponieważ woda po przesiąknięciu nie zawierała osadu. Nawet w miejscach, gdzie warstwa okrywowa nasycza się bardzo szybko z powodu wielu szczelin, nie zaobserwowano utraty stateczności. Pokrywa trawiasta była dobrze rozwinięta i niezwykle stabilna, a darń silnie ukorzeniona wzmacniając górną powierzchnię do przynajmniej 20 cm głębokości. Połowe badania ścinania sondą krzyżkową bezpośrednio po przepływie wody wewnątrz wałów na polderach badawczych wykazały wysoką wytrzymałość na ścinanie o wartości $c_{tu} \geq 60$ kPa na głębokości 20 cm i rosnącą z głębokością. Ponadto materiały te nie wykazywały znacznej utraty wytrzymałości podczas nasączania w warunkach in-situ. Tak więc, ocenia się, że spękania materiału gruntowego odgrywają mniejszą rolę niż się pierwotnie obawiano dla wałów nadbałtyckich wykonanych z DM bogatego w części organiczne. Wniosek ten nie uwzględnienia wpływu przepływu niestacjonarnego i uderzeń hydraulicznych spowodowanych łamaniem fal. Jednakże, według Führböttera [27] stateczność okrywy morskich wałów przeciwpowodziowych pod uderzeniem hydraulicznym od fal można ocenić na podstawie wytrzymałości na ścinanie bez odpływu c_u . Dla typowych wysokości fali morskiej $H_s = 1.50$ m (wysokość projektowa dla Meklemburgii-Pomorza Przedniego) dla wałów o nachyleniu 1V: 3H wymagane jest $c_u \geq 60$ kPa. Granica ta była osiągnięta, a zwykle przekroczona w badanym DM, nawet wtedy, gdy był on w pełni nasycony. Dla mniej stromych skarp wałów (zwykle od strony odwodnej nachylenie wynosi 1: 3 - 1: 6) wymagana wartość c_u jest nawet jeszcze niższa.

W projektowaniu geotechnicznym wałów przeciwpowodziowych należy zawsze określić przewodność hydrauliczną. Jest to związane z przewidywaną wielkością wydatku, która musi być odprowadzona przez drenaż po stronie odpowietrznej. Dla morskich wałów przeciwpowodziowych nie ma ograniczenia odnośnie wartości przewodności hydraulicznej.

Inną ważną kwestią jest erozja wewnętrzna, w tym przebiecie hydrauliczne lub sufiozja (Rozdział 2). W różnych eksperymentach projektu DredgDikes przy przepływie stacjonarnym nie zaobserwowano wymywania ziaren

i cząstek w wodzie przesączającej się przez pęknięcia lub nory drobnych zwierząt. Wynoszony materiał byłby widoczny, jako małe kratery piasku na wyjściu. Standardowy test kanalikowy nie wykazał erozji wskutek aglomeracji frakcji mineralnych, węglanów i części organicznych (patrz § 4.5.2.10). W związku z tym zaleca się wykonanie dalszych badań dotyczących erozji wewnętrznej. Z uwagi na wysoką plastyczność gruntu będącej częściowo wynikiem występowania stabilnej materii organicznej, należy założyć, że drobnoziarnisty DM z dużą zawartością części organicznych, nie jest szczególnie podatny na erozję wewnętrzną.

4.5.2.5. *Zalecane geotechniczne wartości graniczne dla DM używanego jako warstwa wegetacyjna*

Jeśli urobek czerpalny (DM) służy tylko do uformowania żyznej warstwy wierzchniej, może być również uzdatniony. Grunty wymieszane zawierające niewielką ilość części organicznych i gruboziarnistą frakcją piasku są korzystne dla roślinności, bo zawierają substancje odżywcze i są dobrze natlenione. Wymagania środowiskowe dla warstwy gleby oraz dodatkowe zalecenia dotyczące badań kiełkowania przyjmować zgodnie z § 4.5.1.

4.5.2.6. *Zalecane wartości graniczne dla DM używanego jako jednorodny materiał konstrukcyjny*

Urobek czerpalny może być stosowany jako element morskich i rzecznych wałów przeciwpowodziowych, jeśli ma on niską skłonność do spękania oraz zapewnia wysoki poziom stateczności. W związku z tym, niższe TOC, niższe I_p , niższy wskaźnik skurczu objętościowego V_s i wyższa wytrzymałość na ścinanie są tutaj zalecane w porównaniu do wymaganych dla materiału wierzchniej warstwy morskich wałów przeciwpowodziowych. Jeśli wymagana przewodność hydrauliczna wałów przeciwpowodziowych wykonanych z jednorodnego materiału rzecznych nie zostanie osiągnięta, należy zastosować dodatkowe elementy uszczelniające (Rozdział 2).

4.5.2.7. *Zalecenia dla DM używanego jako uszczelnienie mineralne rzeczno-wału przeciwpowodziowego*

Problem spękania wskutek wysychania jest ważnym czynnikiem w budowie wałów rzecznych, znacznie ważniejszym niż w przypadku wałów morskich Bałtyku. Jakość materiałów użytych jako bariery (wodoszczelny fartuch lub nieprzepuszczalny rdzeń) zazwyczaj podlega

ostrym kryteriom, na przykład w Niemczech zapisanym w [44], [28], [29]. Materiał bariery wodoszczelnej powinien mieć wartość k_s co najmniej dwa rzędy wielkości niższą niż materiał korpusu wału [44], a maksymalny wydatek jednostkowy $q_s < 2.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ [29]. Przewodność hydrauliczna musi być zagwarantowana długoterminowo. DM może być stosowany jako uszczelnianie wałów rzecznych, jeśli ma szczególnie niską skłonność do skurczu oraz gdy jest wbudowywany przy wilgotności bliskiej wilgotności optymalnej (Proctora) w_{opt} (patrz § 4.7.4.1).

4.5.2.8. *Jak postępować, jeśli DM nie spełnia wymagań do budowy morskich wałów przeciwpowodziowych*

Spękanie wierzchniej warstwy nie musi stanowić zagrożenia dla wałów Morza Bałtyckiego, w przeciwieństwie do wałów Morza Północnego; jednak głębokie pęknięcia mogą utworzyć uprzywilejowane drogi filtracji, co znacznie zwiększy przewodność hydrauliczną. Gdy uprzywilejowane drogi filtracji dochodzą do korpusu z piasku może wystąpić problem wymywania ziaren gruntu. Jeśli DM wykazuje tendencję do znacznego skurczu / spękania (klasa 3, Tab. 4.11), a wilgotność wału jest zbyt wysoka, można podjąć następujące działania umożliwiające wykorzystanie tego materiału.

Można tak zwiększyć grubość warstwy wierzchniej, aby spękania nie sięgały do korpusu z piasku (jeśli został zastosowany). W niektórych przypadkach wysokie podciąganie kapilarne w drobnoziarnistym DM może prowadzić do osuszenia wału, a zatem głębszego zasięgu szczelin.

Można również, w celu zapewnienia stateczności konstrukcji, zastosować geowłókninę pomiędzy rdzeniem wału a jego warstwą wierzchnią. Wówczas, większe spękania nie będą wpływały na wynoszenie drobnych cząstek gruntu z rdzenia konstrukcji wału. Ponadto, duże pęknięcia mogą wypełnić się w czasie, a tym samym mogą zostać prawie zupełnie zasklepione (choć nie całkowicie zabezpieczone)

Można tak dobrać metodę przygotowania warstwy wierzchniej, aby była ona bardziej jednorodna i jednocześnie mniej wilgotna (np. przez zastosowaniem maszyny do formowania pryzm).

4.5.2.9. *Zalecenia do badań laboratoryjnych*

Badanie w aparacie Proctora należy wykonywać zgodnie z obowiązującą normą. Norma niemiecka dotycząca tych badań, to DIN 18127 [30]. Ogólna procedura polega na

suszeniu próbki gruntu do uzyskania wilgotności między granicą skurczalności w_s i granicą plastyczności w_p , a następnie dodaje się stopniowo wody i wyznacza gęstość objętościową szkieletu gruntowego.

Jeśli DM zawiera części organiczne, temperatura suszenia nie powinna przekraczać 60°C ; im niższa temperatura, tym lepiej. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się przez suszenie w stanie powietrznym; jednak zazwyczaj trwa to zbyt długo. Zaleca się suszenie w suszarce w zakresie temperatur od 40°C do 50°C .

Próbki DM nigdy nie powinny być całkowicie wysuszone, gdyż zmienia to zdolność sorpcyjną frakcji drobnej i materii organicznej. Dla drobnoziarnistego DM ze znaczną zawartością części organicznych, zaleca się suszenie próbek do docelowej wilgotności 25%.

Dokładny przebieg badania Proctora wraz z wynikami należy udokumentować w raporcie geotechnicznym. Sposób suszenia próbki gruntu oraz wilgotność, do poziomu której próbka się suszy mogą wpływać na wyniki pomiaru maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Badanie to należy zatem przeprowadzić w ten sam sposób na materiale przed wbudowaniem i podczas kontroli jakości po wbudowaniu w wał przeciwpowodziowy.

Czasami, standardowa procedura nie daje poprawnych wyników, ponieważ DM może mieć wilgotność optymalną w_{opt} z badania Proctora, która jest bardzo blisko lub nawet poniżej granicy skurczalności w_s , wg DIN 18122 [31]. Nie uzyskamy zatem wartości maksymalnej na krzywej Proctora, a tym samym oszacowanie wilgotności optymalnej nie będzie możliwe. Wówczas, DM powinno się suszyć na powietrzu do $w = 25\%$ unikając zmiany barwy gruntu (chyba że wyjaśnienie próbki jest już zauważalne powyżej $w = 25\%$ przy $w_{\text{opt}} \gg 25\%$), a następnie ponownie zwiększać wilgotność.

Zalecane wartości zagęszczenia w Rozdziale 5 oparte są na wynikach analiz z zastosowaniem metody suszenia na powietrzu. Po wysuszeniu gruntu w suszarce, po badaniu Proctora, gęstość objętościowa gruntu jest czasem wyższa, w wyniku czego uzyskujemy niższy obliczony wskaźnik zagęszczenia (przy danej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego). Dlatego parametry służące do kontroli jakości należy zweryfikować na poletku doświadczalnym poprzedzającym właściwą budowę (§ 5.4.1).

Przed analizą uziarnienia materiałów drobnoziarnistych z zawartością części organicznych i/lub wapnia, należy usunąć części organiczne. Wapń i części organiczne tworzą związki z frakcjami mineralnymi, a więc drobna frakcja (a szczególnie frakcja ilasta $d < 0.002\text{ mm}$) jest w ten sposób znacznie niedoszacowana w badaniu standardowym (na przykład DIN 18123 [19]).

Aby otrzymać bardziej wiarygodny obraz krzywej przesiewu frakcji mineralnych, analizę granulometryczną w tym projekcie przeprowadzono zgodnie z normą ISO 11277 [20]. W tym badaniu wykonuje się przesiewanie na mokro i analizę sedymentacji, po usunięciu substancji organicznych i węglanów z próbki za pomocą odpowiednio H_2O_2 i HCl . Przygotowanie próbek może trwać kilka tygodni (w zależności od ilości i rodzaju substancji organicznych i wapnia), a czas ten należy uwzględnić przy planowaniu analizy. Zaleca się stosowanie tej metody dla gruntów o zawartości części organicznych i/lub wapnia $> 3\%$.

W projekcie DredgDikes, dyskutowano również możliwe przeszacowanie frakcji ilastej w badaniach zgodnie z normą ISO 11277. Długotrwałe traktowanie próbki gruntu chemikaliami może również wpływać na ziarna mineralne. Jednak w badaniach tego nie potwierdzono. W słonym urobku czerpalnym (DM) z dna morskiego, zawartość wapnia jest często reprezentowana przez muszle i ich rozdrobnione fragmenty. Nie powoduje to znaczących zmian w składzie granulometrycznym, ale może wpływać na parametry geotechniczne. W związku z tym, można stosować inny sposób przygotowania próbki: Przed wykonaniem przesiewania na mokro i sedymentacji, zawartość substancji organicznych może być usunięta przez wyprażenie (np. w piecu muflowym). Wysuszone próbki muszą być następnie przed badaniem starannie rozdrobnione (bez rozkruszenia ziaren).

W projektach wałów morskich przewodność hydrauliczna oceniana jest przez eksperta geotechnika na podstawie rodzaju gruntu lub uziarnienia. Uzyskane w ten sposób wartości współczynnika filtracji są bardzo przybliżone, ale mogą być wystarczające do analizy stateczności, ponieważ w takich konstrukcjach uzyskane współczynniki bezpieczeństwa są z reguły wysokie i dodatkowo przeszacowane w przypadku zastosowania obliczeń przepływu w warunkach stacjonarnych zamiast uwzględnienia przepływu niestacjonarnego, który najczęściej występuje w praktyce. Ze względu na brak wystarczającej wiedzy o przewodności hydraulicznej DM, parametr ten powinien być zawsze określony w laboratorium geotechnicznym.

Dla DM, w którym $k_s < 10^{-7}\text{ m/s}$, do oszacowania wodoprzepuszczalności stosuje się badania w aparacie trójosiowym, ponieważ ciśnienie nasycania jest zazwyczaj bardzo wysokie. Stopnie przyrostu nasycania muszą być bardzo małe, a ciśnienie kontrolowane w sposób porównywalny do procedury w badaniu trójosiowego ściskania z zastosowaniem tzw. back-pressure.

Ponieważ wartość współczynnika filtracji dla urobku czerpalnego określona w badaniach laboratoryjnych jest znacząco niższa niż wartość

tego współczynnika po wbudowaniu urobku w konstrukcję wału (szczególnie po zagęszczaniu kolejnych warstw), eksperci geotechniczni powinni ocenić te wielkości i podać w opinii geotechnicznej wartość tego parametru, która ma być użyta w obliczeniach filtracji. W materiale DM o znacznej zawartości części organicznych obserwuje się zwiększoną rozbieżność między wartościami współczynnika filtracji określanego w badaniach laboratoryjnych i polowych. W takiej sytuacji zaleca się przemnożenie współczynnika filtracji wyznaczonego w badaniach laboratoryjnych przez 10.

Zawartość części organicznych i wapnia: Generalnie zaleca się stosowanie wartości TOC (całkowita zawartość węgla organicznego), określonej w analizatorze pierwiastkowym, jako parametru opisującego zawartość części organicznych. Przybliżoną zawartość części organicznych uzyskuje się stosując mnożnik 1.724.

Utrata suchej masy podczas prażenia (LOI) jest parametrem często stosowanym do określenia zawartości części organicznych. Jednak w DM o znacznej zawartości wapnia, wartość LOI może znacznie przekroczyć rzeczywistą zawartość próchnicy, ponieważ niektóre związki wapnia (ale niekoniecznie wszystkie) mogą spalać się w piecu muflowym. Ze względów porównawczych wszystkie DM powinno się charakteryzować za pomocą TOC, zamiast LOI. Więcej informacji można znaleźć w Załączniku II.

Stabilność materii organicznej (OM) ważna jest nie tylko ze względu do oddziaływania na środowisko (np. eutrofizacja), ale także wpływa na parametry geotechniczne materiałów. W DM o znacznej zawartości OM, plastyczność jest spowodowana głównie materią organiczną.

Wysoka plastyczność zwykle wskazuje na wysoką odporność na erozję, co ma duże znaczenie dla materiałów stosowanych do budowy wałów. Ta cecha, pod wpływem naturalnego rozkładu OM, nie powinna zanikać w czasie. Słowny DM w Meklemburgii-Pomorzu Przednim wykazuje bardzo wysoką stabilność OM zarówno w długotrwałych badaniach lizymetrycznych [26] jak i w teście respiracji AT₄ [25]. W przypadkach wątpliwych dotyczących stabilności materii organicznej należy przeprowadzić test AT₄ (§4.5.1).

4.5.2.10. Uwagi na temat badań erozyjności

W niektórych publikacjach, do oceny erozyjności wierzchnich warstw wałów zaleca się wykonanie tzw. testów rozpadu. Po przeprowadzeniu wnikliwych badań i ich dogłębnej analizy stwierdzono, że żaden z nich nie podawał wiarygodnych wyników dotyczących odporności materiału na erozję, szczególnie ze względu na to, że żadna z metod interpretacji danych nie działała poprawnie w przypadku DM. Zagadnienie to omówiono szczegółowo

w Załączniku II. Na podstawie uzyskanych wyników, zgodnie z propozycją [32] i [33], nie zaleca się stosowania testu rozpadu do analizy DM.

Erozyjność gruntu spoistego można również określić za pomocą badania kanalikowego, np. wg [34]. Dla DM ze znaczną zawartością materii organicznej, standardowe badanie kanalikowe nie daje jednak właściwych wyników, ponieważ kanaliki w próbce są zbyt małe i stosunkowo duże agregacje (skupiska materii organicznej, węglanów i frakcji mineralnych) szybko blokują prześwit. Dlatego też, nie zaleca się standardowego badania kanalikowego do analizy DM. Wyniki rozszerzonego badania kanalikowego na większej próbce są nadal analizowane i zagadnienie to może być rozwiązane w przyszłości.

4.6. Wybór i charakterystyka CCPs

Wybór odpowiedniego CCP zależy od tego, czy będzie on wykorzystywany samodzielnie, czy też w mieszaninie z gruntem. Ważne jest także to skąd pochodzi CCP - ze składowiska, bezpośrednio z elektrowni, czy też z zakładu przeróbki jako przetworzony produkt (patrz paragraf 4.4.2).

Obecnie CCP poddawane są zazwyczaj certyfikacji składu chemicznego bezpośrednio w miejscu ich wytwarzania. W przypadku stosowania takich produktów, odbiorca powinien uzyskać informacje o składzie chemicznym, co pozwoli określić warianty możliwych zastosowań. W przypadku CCP pobieranego ze składowiska procedura jest bardziej skomplikowana.

Aby CCP mógł być zakwalifikowany jako uboczny produkt spalania, musi spełniać wymagania zapisane w prawie o odpadach [35]. Produkty CCP niespełniające wymagań mogą być sprzedane wyspecjalizowanej firmie, która po ich obróbce (R5), może uzyskać stosowny certyfikat i sprzedawać CCP jako materiał budowlany. W takim przypadku wymagane jest przeprowadzenie określonych analiz chemicznych przez certyfikowane laboratorium. Certyfikacja dotyczy jedynie właściwości chemicznych materiału.

Wystawienie zaświadczenia z danymi środowiskowymi należy do obowiązków właściciela CCP, podczas gdy określenie parametrów geotechnicznych dla tego materiału uzależnione jest od wymagań konkretnego zastosowania, zwłaszcza gdy planowane jest wykorzystanie materiału pochodzącego ze składowiska.

4.6.1. Dane środowiskowe

Skład chemiczny CCP uzależniony jest przede wszystkim od rodzaju paliwa stosowanego w elektrowni. Istnieją znaczące różnice pomiędzy CCP pochodzącym ze spalania węgla kamiennego i brunatnego; ponadto skład chemiczny CCP zależy także od tego na jakim etapie technologicznym został pozyskany (Rozdział 2).

Wykorzystanie CCP jako składnika mieszanki grunтовой podlega w Polsce przepisom prawa o odpadach [35] oraz przygotowywanym wytycznym z Rozporządzenia Ministra Środowiska z lipca 2014 [21] dotyczącym wykorzystania odpadów poza składowiskami. Zawarto w nich dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń metalami ciężkimi, związkami organicznymi i nieorganicznymi oraz rakotwórczymi.

Produkt posiadający certyfikat materiału budowlanego (nie będący już odpadem) pochodzący od sprzedawcy CCP posiada swoją charakterystykę składu. Nie są dla niego wymagane dodatkowe analizy ani badania.

Zastosowanie CCP zgromadzonego na składowisku odpadów wymaga od właściciela materiału przeprowadzenia procedury przedstawionej na Rys. 4.2 oraz wykonania wszystkich wymaganych badań chemicznych w certyfikowanym laboratorium. W Polsce wymagane procedury badawcze oraz klasyfikacja opisane są w prawie o odpadach [35] oraz przygotowywanym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z lipca 2014 [21], w Niemczech zaleca się stosować LAGA M20 (cz. IV przepisy techniczne dla CCP) [15]. W obu krajach konieczne jest stosowanie procedury certyfikacji odpadów w celu ich odzysku i wykorzystania w konstrukcji.

4.6.2. Parametry geotechniczne CCP i zawierających go mieszanin

Określenie parametrów geotechnicznych dla CCP powinno przebiegać zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w EC 7 [4]. Minimalny zakres badań powinien obejmować wyznaczenie podstawowych właściwości fizycznych gruntów, takich jak: wilgotność, gęstość objętościowa gruntu, gęstość właściwa szkieletu gruntowego, gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, uziarnienie, wytrzymałość i ścisłość, zagęszczenie oraz wodoprzepuszczalność [37], [38], [39]. Wyznaczenie parametrów

powinno być przeprowadzone oddzielnie dla CCP, dla gruntu oraz dla mieszaniny tych materiałów.

CCP może być wykorzystane przy budowie wałów jako: (1) korpus wału, (2) element uszczelniający skarpy, (3) pionowa przesłona szczelna wewnątrz wału lub w podłożu po stronie odwodnej.

Korpus wału powinien być zbudowany z mieszanki CCP i gruntu. Niedopuszczalne jest stosowanie samego CCP, takiego jak popioło-żużel (BA), ze względu na jego niską gęstość objętościową, co zmniejsza wytrzymałość wału w trakcie wysokich stanów wody. Zastosowanie gruntu w mieszaninie z CCP powinno zwiększyć ciężar właściwy korpusu wału do wartości co najmniej 12 kN/m^3 . Właściwe proporcje mieszanki należy określić na podstawie wyników badań laboratoryjnych, zweryfikowanych w badaniach terenowych.

Warstwa uszczelniająca na skarpie może być wykonana z mieszanki gruntu oraz spoiw hydraulicznych wykonanych na bazie CCP. Właściwości spoiw hydraulicznych powinny spełniać wymagania techniczne określone dla danego wyrobu (w Polsce [36]). Proporcje mieszanki grunt-spoivo hydrauliczne powinny być określone w badaniach terenowych.

W przypadku pionowych przesłon szczelnych (Paragraf 4.7.4.3) mieszanina przygotowana w wytwórni mieszanin może zawierać spoiwo hydrauliczne przygotowane na bazie CCP lub popioły lotne (FA). Proporcje mieszanki należy ustalić metodą doświadczalną, tak by spełnione były wymagania odnośnie wytrzymałości oraz współczynnika filtracji dla przesłony szczelnej.

W przypadku projektowania wałów z użyciem CCP, podstawowym zagadnieniem jest zapewnienie trzech zasadniczych wymogów odnośnie stateczności konstrukcji: zagęszczalności, wytrzymałości oraz przepuszczalności. Konieczne jest także określenie parametrów geotechnicznych wybranego materiału.

- Na etapie projektowania (badania laboratoryjne),
- W trakcie budowy (badania polowe),
- Po zakończeniu budowy (badania polowe i laboratoryjne).

W fazie początkowej, w badaniach laboratoryjnych, konieczne jest wyznaczenie właściwości CCP oraz mieszanki CCP z gruntem (urobek czerpalny) dla różnych proporcji obu materiałów. Konieczne jest określenie stałej procedury przygotowywania i mieszania składników oraz

pobierania próbek. Zarówno z gruntu jak i popioło-żuźla należy usunąć frakcje grubsze (> 6 mm) i wymieszać je do uzyskania homogenicznej mieszanki. Dla mieszanki CCP - urobek czerpalny, należy wybrać proporcje objętościowe lub wagowe. Niezbędne jest także ustalenie wilgotności składników mieszanki.

Bardzo ważnym parametrem jest zagęszczalność mieszanki CCP-grunt, zwłaszcza przy stosowaniu popioło-żuźli. Zaleca się wykonanie standardowego testu Proctora do określenia maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

Jeżeli wskaźnik różnorodności, zarówno dla popiołów jak i gruntu jest mały ($U < 3$), zaleca się dodanie niewielkiej ilości popiołów lotnych w celu zwiększenia zagęszczalności mieszanki.

W celu określenia parametrów wytrzymałościowych mieszanki należy przeprowadzić badania trójosiowego ściskania oraz bezpośredniego ścinania. Badania należy wykonać na próbkach NNS pobranych z korpusu wału lub stanowiska do badań terenowych ewentualnie na próbkach przygotowanych w laboratorium. Do analizy stateczności konstrukcji należy stosować rezidualną wartość wytrzymałości na ścinanie wyznaczoną w badaniu z odpływem wody (efektywne parametry wytrzymałościowe). Wzrost cementacji składników wraz z czasem może zwiększyć wytrzymałość na ścinanie mieszanki oraz zmniejszyć przewodność hydrauliczną. Z tego względu, oprócz standardowych badań geotechnicznych, zaleca się przeprowadzenie badań procesów starzenia się mieszanki popiół-grunt oraz zmiany wytrzymałości i współczynnika filtracji mieszanki wraz z upływem czasu [40].

Korpus wału z wybranej optymalnej mieszanki popiół-grunt należy wykonać przy wilgotności zbliżonej do wilgotności optymalnej mieszanki. W przypadku wykorzystania CCP do wykonania przesłony szczelnej, proporcje mieszanki należy ustalić metodą doświadczalną, tak by spełnione były wymagania odnośnie wytrzymałości oraz współczynnika filtracji dla przesłony szczelnej. [41].

4.7. Projektowanie wału

W niniejszym paragrafie omówiono wytyczne projektowania wałów przeciwpowodziowych z wykorzystaniem DM (urobku czerpalnego), CCP (ubocznych produktów spalania) oraz geosyntetyków. Wytyczne dotyczą rejonu

Południowego Bałtyku ze szczególnym uwzględnieniem obszaru Niemiec, Polski oraz Danii. Wytyczne odnoszą się zarówno do wałów śródlądowych jak i nadmorskich. Podano źródła, odnośnie przepisów i wytycznych, które należy uwzględnić przy projektowaniu wałów. Obszerny zbiór informacji na temat projektowania wałów, ich budowy i eksploatacji został opublikowany w International Levee Handbook [42].

Przy projektowaniu wałów przeciwpowodziowych najistotniejszymi elementami są: określenie przepływów i stanów powodziowych, wybór konstrukcji wału obejmujący rodzaj materiału, urządzeń drenażowych oraz wyposażenia dodatkowego (dróg dojazdowych, nawierzchni w koronie wału), a także analiza stateczności z uwzględnieniem podłoża gruntowego. W rozdziale 2 zamieszczono ogólne informacje o wałach przeciwpowodziowych, ich rodzajach, budowie, podłożu gruntowym, możliwych przekrojach, oraz przyczynach uszkodzeń. Bardziej szczegółowe zagadnienia projektowe (np. zestawienie obciążeń, analiza stateczności) przedstawiono poprzez podanie odnośników do krajowych i międzynarodowych norm i zaleceń. Niniejsze wytyczne koncentrują się przede wszystkim na śródlądowych i nadmorskich wałach przeciwpowodziowych budowanych z DM, CCP oraz geosyntetyków.

4.7.1. Ogólne zagadnienia projektowe

4.7.1.1. Projektowy poziom wody w trakcie powodzi

W pierwszym etapie projektowania konieczne jest ustalenie scenariusza powodzi z uwzględnieniem projektowego poziomu wody.

Tab. 4.14. Określenie stanów powodziowych do projektowania wałów

Wały nadmorskie	Wały śródlądowe
Niemcy	
EAK 2002 (2007) [11]	DWA M507 [28] DIN 19712 [44]
Region Maklemburgia – Pomorze Przednie	
Regelwerk Küstenschutz M-V 2-5 / 20012 [43]	Jak wyżej
Polska	
Brak wytycznych.	Prawo wodne, artykuł 63
Brak wytycznych	Rozporządzenie Ministra Środowiska 2007 [46]
Dania	
Ekstremalne stany morza wg wytycznych Danish Coastal Authority	Przepływy i stany wód w rzekach

Pozwala to na prawidłowe przyjęcie wielkości powodzi do projektowania wałów. Decyzję należy podjąć po analizie aspektów ekonomicznych, technicznych, środowiskowych oraz urbanistycznych. Metody wyznaczenia projektowego poziomu wody różnią się zarówno w zależności od regionu morza Bałtyckiego jak i od rodzaju wałów (śródlądowe lub nadmorskie (Tab. 4.14). Na terenie Maklemburgii-Pomorza Przedniego istnieją nawet specjalne wytyczne regionalne dotyczące wyznaczania projektowego poziomu wody.

4.7.1.2. Typowe przekroje poprzeczne wałów

Projektowany przekrój poprzeczny wału musi być dostosowany do obciążeń działających na konstrukcję, w zależności od jej lokalizacji, pełnionych funkcji, wysokości, rodzaju użytego do budowy materiału oraz rodzaju i stanu podłoża gruntowego. Przekrój poprzeczny określany jest przez nachylenie skarp odwodnej i odpowietrznej, wysokość wału, szerokość korony oraz ewentualną lokalizację ławeczek i przywałowej infrastruktury. Ponadto należy uwzględnić rodzaj materiału używanego do budowy wału (wał jednorodny, wał strefowy, rdzeń z piasku z warstwą okrywową).

W celu redukcji filtracji przez wał oraz zwiększenia jego stateczności lokalnej oraz globalnej stosuje się różnego rodzaju elementy uszczelniające w konstrukcji wałów. Ich znaczenie jest szczególnie istotne w przypadku wałów rzecznych. Wymiarowanie przekroju poprzecznego wymaga również określenia maksymalnej dopuszczalnej wodoprzepuszczalności.

Zarówno materiały używane do uszczelnienia jak i do wykonania warstw okrywowych muszą być odporne na erozję, sufozję, starzenie i wietrzenie. Inne istotne wymagania mogą dotyczyć odporności na uszkodzenia mechaniczne, chemiczne lub biologiczne, a także mogą być związane z plastycznością materiału i jego wytrzymałością.

W celu bezpiecznego odprowadzenia wód filtrujących przez korpus wału, przede wszystkim w nowobudowanych wałach rzecznych oraz w wałach nadmorskich, stosowane są elementy drenażowe, które odprowadzają przesączającą się wodę w sposób niezagrażający budowli. Elementami typowymi są przyzmy drenujące po stronie odpowietrznej oraz rury drenarskie w korpusie z piasku.

Szczegółowe informacje dotyczące projektowania wałów przeciwpowodziowych w Niemczech zawarte są w [11], [28], [44], informacje dotyczące projektowania, budowy i eksploatacji urządzeń ochrony przeciwpowodziowej

w Polsce opisano w [45], a warunki techniczne jakie muszą spełniać konstrukcje oraz sposoby ich projektowania w [46].

4.7.2. Analizy stateczności

W stanach powodziowych wał oraz podłoże gruntowe rozpatrywane są jako jedna całość. Z tego powodu analizy stateczności muszą zawsze uwzględniać podłoże pod wałem. Na Rys. 4.5 przedstawiono przykładowy schemat analizy stateczności dla wałów w oparciu o [28]. Analizy należy wykonywać zgodnie z wytycznymi zawartymi w EC7 [4] oraz w zgodzie z wytycznymi krajowymi, np. [2], [47], [48].

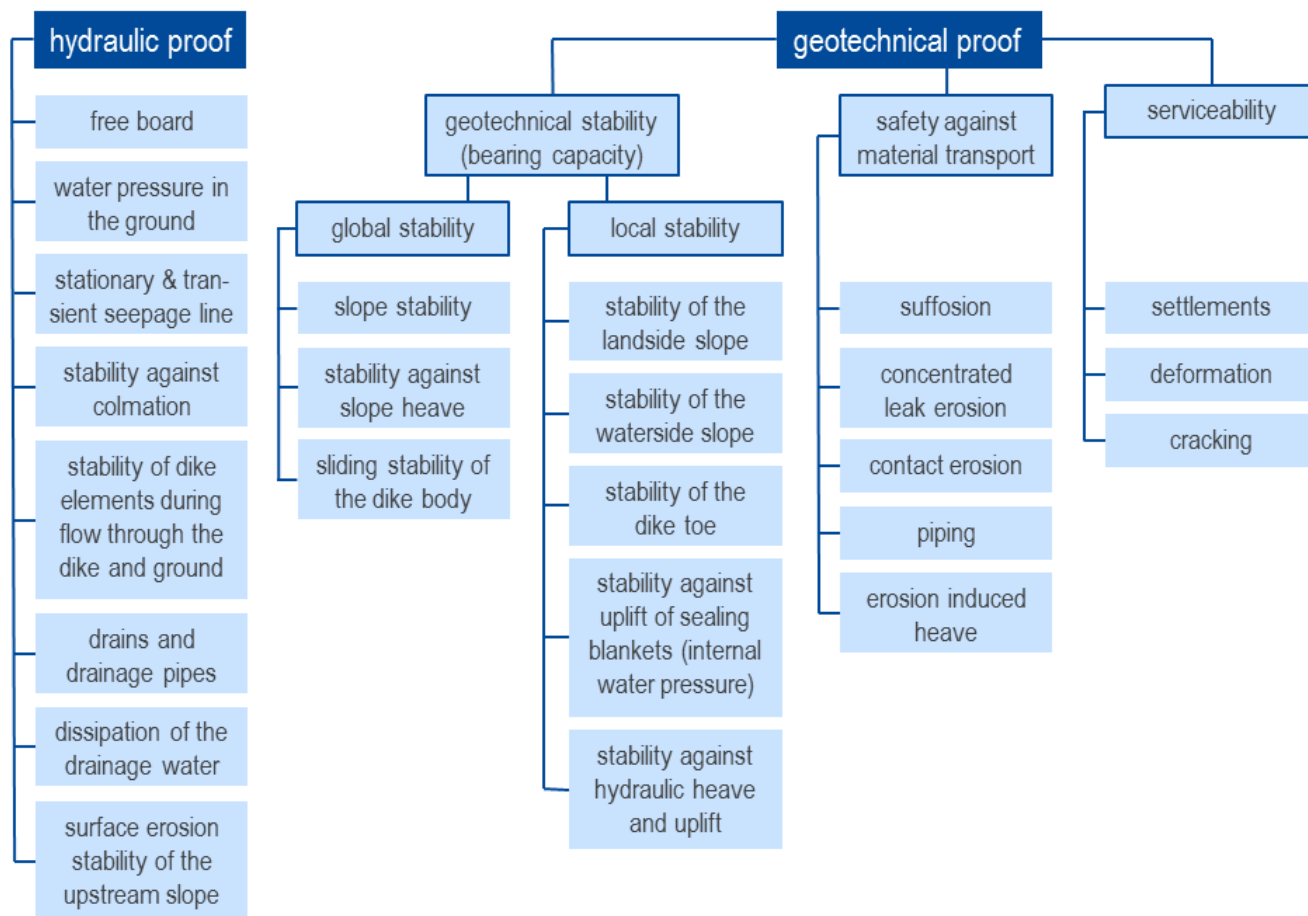
Ponieważ analiza stateczności wałów przeciwpowodziowych wykonanych z materiałów opisanych w niniejszych wytycznych nie różni się od analizy typowych konstrukcji wałów przeciwpowodziowych, w paragrafie tym podano jedynie informacje ogólne. Informacje szczegółowe zawarte są w osobnych podręcznikach, wytycznych i normach. Zagadnienia projektowe opisano np. w normach [44], [11], [42], [46], [49], informacje o przelewaniu wody przez koronę wału znajdują się w [50], a zagadnienie erozji wewnętrznej w zaporach i wałach przeciwpowodziowych obszernie opisano w [49], [51].

Na Rys. 4.5, który powstał w oparciu o wytyczne dla rzecznych wałów przeciwpowodziowych, pominięto zagadnienia typowe dla wałów morskich, jak np. uderzenie hydrauliczne od fal. Ze względu, że jest to problem szeroko dyskutowany, zwłaszcza w odniesieniu do powierzchni zewnętrznej wału, która wykazywać może spękania skurczowe, podobnie jak konstrukcje z urobku czerpalnego, zagadnieniu temu poświęcono kolejny paragraf wytycznych.

4.7.2.1. Uwagi dotyczące spękań i uderzenia hydraulicznego

Spękania powierzchni wału wykonanego z DM, będące następstwem wysychania, są uznawane za główną przyczynę uszkodzenia wałów w trakcie wezbrań sztormowych. Pomimo, że prezentowane rezultaty projektu DredgDikes pochodzą zaledwie z dwuletniego okresu badań, to w oparciu o wyniki przeprowadzonych doświadczeń gdzie zaobserwowano wysoką odporność materiału przy niezwykle burzliwym przepływie w badaniach przelania wody przez koronę wału, wysoką wytrzymałością na ścinanie oraz podsumowując wyniki obserwacje zebrane podczas wszystkich eksperymentów, można stwierdzić, że

Stability analysis in dike construction



Rys. 4.5. Analiza stateczności wałów rzecznych [28]

spękania warstwy okrywowej wału wykonanej z drobnoziarnistego DM z niewielką zawartością części organicznych mają niewielki wpływ na stateczność wału, pod warunkiem dobrego ukorzenienia traw porastających wał. Zagadnienie to należy szczególnie wnikliwie rozpatrywać w przypadku lokalizacji wałów w rejonie Morza Bałtyckiego, gdzie obwałowania nie są narażone na bezpośrednie uderzenie fal, ze względu na dodatkową ochronę wynikającą z istnienia plaży, wydm i lasów przybrzeżnych oraz wałów wzdłuż linii brzegowej zalewów. Utrzymanie silnej, nienaruszonej pokrywy roślinnej na żyznej warstwie DM jest zazwyczaj możliwe przez cały rok (Rozdział 5 i 6). Pokrycie to, stanowiące dodatkowe wzmocnienie w obliczeniach stateczności zgodnie z metodą Führböttera [27], daje wystarczającą wytrzymałość na ścinanie, zdolną do przeniesienia obciążeń wynikających z uderzenia hydraulicznego od fal.

Występowanie w warstwie okrywowej spękań łączy się z niebezpieczeństwem powstania dużych sił niszczących w trakcie uderzenia hydraulicznego od fal. Może to być przyczyną infiltracji wody

do wnętrza spękań, gwałtownego wzrostu ciśnienia wody w szczelinach powodujących znaczne siły poziome działające w warstwie okrywowej, które doprowadzić mogą do zerwania pokrywy roślinnej z powierzchni wału. [52]

Spękania występujące na niemieckim wale testowym spowodowały wzrost współczynnika filtracji w stosunku do wartości pomierzonych w laboratorium, jednakże nadal była to wartość dostatecznie niska jak na wymagania wałów przeciwpowodziowych w rejonie Morza Bałtyckiego. W trakcie badań przelewowych nie stwierdzono erozji. Istniejące spękania nie wpłynęły negatywnie na odporność wału na erozję. Ponadto spękania wypełniały się osadem (zewnętrznym lub pochodzącym z erozji krawędzi spękań), a system korzeniowy traw te spękania wzmocniał. Większość spękań, nawet tych o szerokości kilku centymetrów, zamykała się na skutek pęcznienia spowodowanego zawilgoceniem gruntu. Ponadto krawędzie spękań były stosunkowo odporne na erozję powodowaną płynącą wodą (Paragraf 4.5.2.4).

4.7.2.2. Uwagi do określania wytrzymałości gruntu

Nie zaleca się stosowania metody Pohla & Vavriny [53] do wyznaczenia wytrzymałości na ścinanie drobnoziarnistego urobku czerpalnego.

Pohl & Vavrina [53] proponują wyznaczanie wytrzymałości okrywy z margla dla wału w rejonie Morza Bałtyckiego zależnie od wskaźnika

konsystencji $I_c = 1 - LI$, w oparciu o założenia Kiekbuscha [54] dotyczące silnie logarytmicznej zależności wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu c_u od I_c . Założenie to nie obowiązuje w odniesieniu do DM, ponieważ wilgotność przy pełnym nasyceniu gruntu wodą w_{sat} , obliczona jako stosunek mas, może być mniejsza od granicy plastyczności PL, co prowadzi do wysokich wartości wytrzymałości na ścinanie w stanie pełnego nasycenia $c_{u,sat}$. Wartości $c_{u,sat}$ pomierzone dla DM in situ były wysokie, ale nieporównywalne z wartościami wyliczonymi wg proponowanej metody.

4.7.3. Zalecenia projektowe dla wałów morskich

W niniejszym paragrafie przedstawiono zalecenia projektowe dotyczące wałów morskich wykonanych z DM, w oparciu o doświadczenia zdobyte przy realizacji projektu DredgDikes. W sposób uproszczony i ogólny przedstawiono typowe przekroje poprzeczne wałów wykonanych z różnych materiałów, wskazując najistotniejsze elementy, na które należy zwrócić uwagę. Nie ma uniwersalnego przekroju, które można zastosować w dowolnym projekcie, ponieważ każde rozwiązanie wymaga indywidualnego projektu, uwzględniającego konkretną lokalizację oraz warunki brzegowe. Niniejsze zalecenia nie obejmują umocnienia skarp, ławeczek, dróg, konstrukcji wsporczych zagłębionych w gruncie, nachylenia skarp i korony oraz przedwala.

W Polsce nie ma typowych wałów morskich, a zatem brak szczegółowych zaleceń dotyczących projektowania i budowy takich wałów. Polski wał testowy został wybudowany w celu uzyskania wyników odnoszących się do wałów rzecznych. Informacje z niniejszego paragrafu mogą być stosowane wyłącznie przy wykorzystaniu drobnoziarnistego DM.

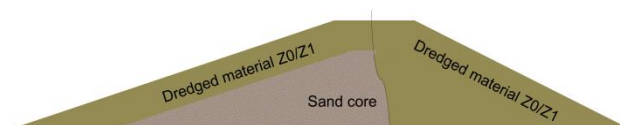
Na podstawie doświadczeń z realizacji projektu DredgDikes oraz projektów w Hamburgu [55] i Bremie [14] podano następujące zalecenia ogólne dotyczące konstrukcji wałów zbudowanych z DM:

Zarówno drobnoziarnisty urobek czerpalny jak i zmieszany może być stosowany do wykonania warstw okrywowych oraz wałów jednorodnych. Warstwa okrywowa z drobnoziarnistego DM powinna mieć grubość minimum 1,0 m, a dodatkowa warstwa ochronna stosowana ze względu na możliwość powstania spękań do 0,5 m, analogicznie jak w zaleceniach [56], [57] dotyczących glin marszowych z rejonu Morza Północnego. Należy w tym miejscu zauważyć, że niektóre rodzaje DM wykazują znaczną wytrzymałość na ścinanie nawet w stanie nasycenia, co może ograniczyć potrzebę stosowania dodatkowej warstwy ochronnej.

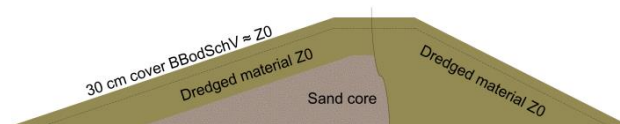
W Meklemburgii-Pomorzu Przednim kwestia stosowania drobnoziarnistego DM do budowy wałów była dyskutowana z ministerstwem oraz urzędami wydającymi pozwolenia, co doprowadziło do powstania poniższych zaleceń. Wykorzystanie DM do budowy wałów podlega każdorazowo indywidualnej analizie, a ocena powinna być wykonana w oparciu o LAGA M20, przy uwzględnieniu dodatkowych uzgodnień dotyczących zasolenia oraz wielkości TOC. Wał przeciwpowodziowy jest konstrukcją budowlaną, dlatego do wykonania warstwy okrywowej, również w strefie ukorzeniania się roślin, zaleca się wykorzystanie DM sklasyfikowanego jako Z0 i Z1 (Rys. 4.6). W zaleceniach LAGA zamieszczono odwołanie do BBodSchV w kwestii stosowania odpadów mineralnych w strefie korzeniowej. Dlatego kwestie przedstawiono w Tab. 4.15 muszą być wyjaśnione przez odpowiednie organy wydające zezwolenia.

W przypadku stosowania dodatkowej warstwy okrywowej na DM (zalecane jedynie przy przekroczeniu stężeń dopuszczalnych LAGA Z1.1), całkowita grubość warstwy okrywowej może zostać zwiększona w zależności od zastosowanego materiału oraz technologii jej wykonania.

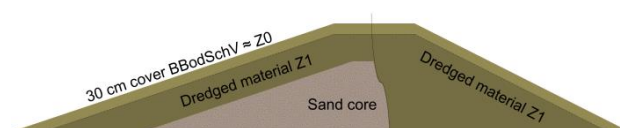
W Danii, czysty DM, spełniający wymogi kategorii 1 zgodnie z Danish Order of Reuse [24] oraz Zealand Guidelines [23], może być wykorzystywany w zastosowaniach geotechnicznych. Ponieważ brak jest informacji o różnicowaniu przepisów odnośnie ochrony gruntów i prawa budowlanego, zaleca się stosowanie DM zgodnie



Rys. 4.6. Zalecany przekrój wału morskiego w Niemczech z zastosowaniem DM i klasyfikacji LAGA Z0 i Z1



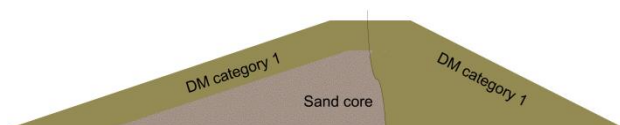
Rys. 4.7. Taka sama klasyfikacja danego DM wg LAGA i BBodSchV.



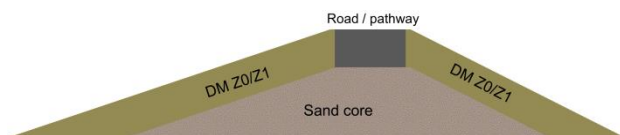
Rys. 4.8. Schemat przekroju wału w Niemczech wykorzystującego DMs o niskim poziomie zanieczyszczeń (LAGA klasa Z1), wg BBodSchV

Tab. 4.15. Planowanie przekroju zależnie od klasyfikacji materiału

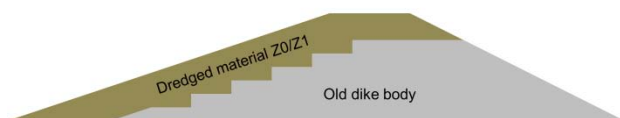
Klasyfikacja DM	Zalecenia
LAGA Z0	Materiał Z0 w postaci jednej warstwy (Rys. 4.6). Dopuszczalne granice zanieczyszczeń wg LAGA Z0 są porównywalne do granic wg BBodSchV dla gruntów drobnoziarnistych. W przypadku rygorystycznego stosowania: podwójna klasyfikacja danego DM (strefa korzeniowa wg BBodSchV, poniżej strefy korzeniowej wg LAGA) Porozumienie z urzędem udzielającym pozwolenia: NIE MA podwójnej klasyfikacji (Rys. 4.7)
LAGA Z1 (Z1.1)	Porozumienie z urzędem udzielającym pozwolenia: Materiał Z1 w postaci jednej warstwy (Rys. 4.6). Zazwyczaj niska zawartość zanieczyszczeń w odciekach (wysoka pojemność sorpcyjna DM – Z1.1). Alternatywnie: Pokryj materiał Z1 warstwą 15-30 cm niezanieczyszczonego DM wg BBodSchV (Rys. 4.8).
LAGA Z2	Porównaj przypadek Weser dike Bremen (Paragraf 2.5). Możliwość 1: obuduj szczelnie materiał wg LAGA Możliwość 2: potwierdź nieszkodliwość materiału (np. przez prognozę wymywania zgodnie z BBodSchV) oraz wbuduj materiał zgodnie z zaleceniami Z1 uwzględniając warstwę okrywową z niezanieczyszczonego materiału.
> LAGA Z2	Materiały te nie są odpowiednie do zagospodarowania (Rys. 4.4). Jednakże, w przypadku jednostkowego przekroczenia wartości dopuszczalnej, można negocjować z administracją zwolnienie z jego przestrzegania, jeśli potwierdzi się w osobnych badaniach nieszkodliwość odcieków.



Rys. 4.9. Zalecany przekrój wału w Danii z wykorzystaniem DM o niskim poziomie zanieczyszczeń (kategoria 1)



Rys. 4.10. Zalecany przekrój wału z wykorzystaniem DM z drogą lub ścieżką rowerową na koronie (przykład z Niemiec)



Rys. 4.11. Przykład nadbudowanej sekcji wału z wykorzystaniem DM (przykład z Niemiec)

z Rys. 4.9 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** W przypadku stosowania nieznacznie zanieczyszczonego DM, w każdym przypadku wymagane jest rozważenie konieczności zastosowania warstwy okrywowej z gruntu lub pokrycia warstwą szczelną.

Jeżeli w koronie wału planowane jest wykonanie ścieżki spacerowej, należy częściowo wymienić DM na materiał stosowany w podbudowach dróg. Droga powinna być posadowiona bezpośrednio na warstwie nośnej (korpus z piasku) (Rys. 4.10).

Zazwyczaj ścieżki spacerowe w koronie wałów nowobudowanych nie stanowią zabezpieczenia konstrukcji, dlatego powinno się je lokalizować na ławeczkach po stronie odpowietrznej wału. Drobnoziarnisty DM badany w ramach projektu DredgDikes posiada niski moduł odkształcenia. Z tego względu posadowienie w koronie wału nawet ścieżki spacerowej jest trudne i niezalecane, ponieważ wymagany moduł odkształcenia wtórnego powierzchni powinien wynosić $E_{v2} > 45 \text{ MN/m}^2$.

W przypadku układania drobnoziarnistego DM zawierającego części organiczne na powierzchni wału, nie ma potrzeby wykonywania dodatkowej warstwy ułatwiającej ukorzenie się roślinności. Więcej informacji przedstawiono w Rozdziale 5.

Powyższe zalecenia stosuje się także do wałów poddawanych modernizacji. Na Rys. 4.11 przedstawiono przykład wykorzystania DM do nadbudowy wału.

4.7.4. Wytyczne projektowe dla wałów rzecznych

Projektowanie wałów rzecznych wymaga odmiennego podejścia niż projektowanie wałów morskich (Rozdział 2). Wynika to z ograniczonej przestrzeni wzdłuż rzeki oraz dłuższych fal powodziowych. Z tego powodu większe znaczenie mają tu elementy uszczelniające oraz drenażowe. Zalecane przekroje wałów opisane w tym paragrafie nie obejmują drenażu, ławeczek oraz innej infrastruktury przeciwpowodziowej.

4.7.4.1. Wały rzeczne wykonane z urobku czerpalnego

Urobek czerpalny spełniający wymagania stawiane elementom uszczelnienia mineralnego (w postaci ekranu lub rdzenia) należy traktować identycznie jak typowe uszczelnienie mineralne z gliny lub iłu. Wartość współczynnika filtracji dla uszczelnienia k_f powinna być co najmniej dwa rzędy mniejsza niż dla korpusu wału [28]. W Niemczech, wg ZTV-W – 210 [29] wymagana jest przepuszczalność $q_s = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ (wydatek jednostkowy filtracji).

Drobnziarnisty DM bogaty w składniki organiczne, wykorzystywany w projekcie DredgDikes, nie nadaje się bez ulepszenia do wykonywania uszczelnień w wysokich wałach rzecznych, ze względu na znaczną skurczliwość oraz wodoprzepuszczalność wyższą od wymaganej dla wałów przeciwpowodziowych. Materiały uszczelniające w dużych wałach rzecznych muszą gwarantować długoterminowe zachowanie niskiego współczynnika filtracji. Ze względu na dużą różnorodność DM, każdy przypadek ich wykorzystania należy rozpatrywać indywidualnie.

Drobnziarnisty lub dobrze uziarniony DM, z lub bez dużej zawartości części organicznych, może być wykorzystany do budowy korpusu wału lub wału jednorodnego. Jednakże wysokie wały nie są zwykle budowane jako konstrukcje jednorodne, po to aby przyspieszyć odprowadzenie wody z wału po przejściu fali powodziowej. Wysoka stabilność materii organicznej w DM jest tu czynnikiem pozytywnym.

Zgodnie z normą niemiecką DIN 19712 [44] grunty organiczne o zawartości wagowej części organicznych powyżej 4 % są nieprzydatne do tych zastosowań. Nie ma podanych powodów takiej oceny, ponieważ sezonowany DM jest zazwyczaj stabilny (Paragraf 4.5.1); należy uzyskać indywidualną zgodę w przypadku gdy uzasadniona jest koncepcja wykorzystania dobrze uziarnionego DM do budowy korpusu wału. To samo dotyczy wałów jednorodnych.

Niskie wały przeciwpowodziowe w rejonach rolniczych mogą być wykonywane jako jednorodne z użyciem drobnziarnistego DM lub dobrze uziarnionego DM. Na nisko położonych terenach Maklemburgii-Pomorza Przedniego, Danii i zachodniej Polski, istnieje duża liczba wałów letnich chroniących rejony rolnicze zarówno przed powodzią spowodowaną wezbraniem rzeki jak i cofką wynikającą ze spiętrzenia poziomu morza. Korzystnym materiałem do budowy takich wałów może być sezonowany, drobnziarnisty lub dobrze uziarniony DM z lub bez zawartości domieszek organicznych. Niski koszt jego pozyskania znacząco obniża koszty budowy wału.

W wysokich wałach rzecznych, sezonowany DM, bogaty w substancje organiczne, może być zastosowany jako warstwa wegetacyjna ułożona na ekranie szczelnym, lub jako warstwa ochronna na skarpie odpowietrznej, ze względu na dużą wodochłonność. Zawartość objętościowa wody w glebie FC często przekracza 50%, z których zazwyczaj 35-50 % jest dostępne (aktywne) dla roślin; oznacza to, że aktywna zawartość objętościowa wody w glebie stanowi 20-30 % objętości gleby [26]. Szczególną uwagę należy zwrócić na skarpe odpowietrzną, by nie ograniczać możliwości odpływu wód drenażowych

z korpusu przez przykrycie stopy wału materiałem o niskiej wodoprzepuszczalności.

W Polsce nie ma norm ani wytycznych dotyczących zastosowania DM (urobku czerpalnego) do budowy wałów przeciwpowodziowych, dlatego zaleca się stosowanie wyżej opisanych wytycznych opracowanych dla Niemiec, przy uwzględnieniu ogólnych wymagań dotyczących stosowanych materiałów (Rozdział 2) oraz sprawdzeniu stateczności takiej konstrukcji zgodnie z [46].

4.7.4.2. Nowo budowane wały z użyciem CCP

Poniższe zalecenia dotyczą wałów nowo budowanych (lub całkowicie modernizowanych):

Korpus wału może być wykonany z popioło-żuźla (BA) wymieszanego w różnych proporcjach z piaskiem pozyskanym z robót czerpalnych. Mieszanina taka ma zwykle wyższą wytrzymałość na ścinanie, ale określenie jej zagęszczalności wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań, zwłaszcza gdy jeden z materiałów ma niski współczynnik różnziarnistości ($U < 5$).

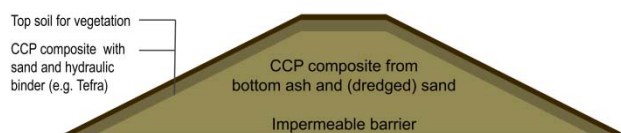
Zewnętrzna warstwa uszczelniająca wykonana z kompozytu składającego się z gruntu mineralnego i spoiwa hydraulicznego wykonanego na bazie popiołów fluidalnych i lotnych może być zastosowana zarówno po stronie odwodnej jak i odpowietrznej.

W celu zminimalizowania potencjalnego zagrożenia środowiskowego i zapobieżenia potencjalnej migracji zanieczyszczonych odcieków, zaleca się wykonanie nieprzepuszczalnej bariery poziomej, z wykorzystaniem CCP, w podłożu pod wałem przeciwpowodziowym. Minimalna grubość takiej bariery wykonanej z gruntu lub mieszaniny z CCP powinna wynosić 0,50 m. W oparciu o badania wykonane w ramach projektu DredgDikes, zalecany przekrój poprzeczny wału wykonanego z użyciem CCP (Rys. 4.12 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), składa się z korpusu wykonanego z mieszaniny DM i CCP oraz warstwy okrywowej o niskiej wodoprzepuszczalności, wykonanej z mieszaniny gruntu i spoiwa hydraulicznego na bazie CCP. Zazielenienie wału wymaga ułożenia dodatkowej warstwy gleby. Nachylenie skarp nie może być mniejsze niż 1V:2H.

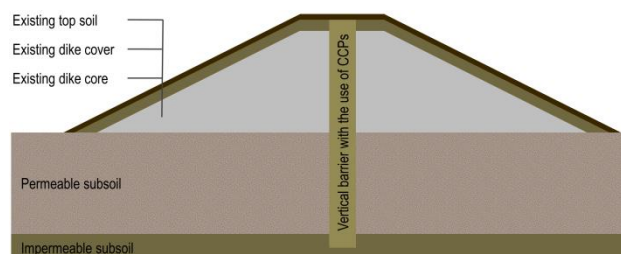
4.7.4.3. Wały modernizowane z użyciem CCPs

W przypadku modernizacji istniejących wałów, produkty CCP mogą być wykorzystane do wykonania przesłon

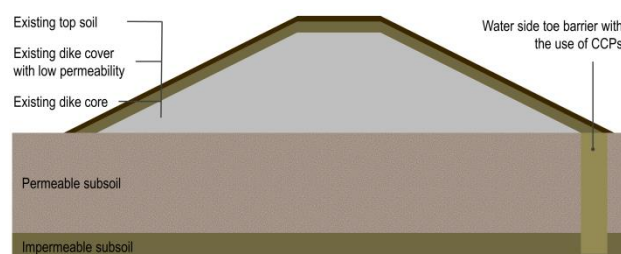
szczelnych w korpusie za pomocą wgłębnej lub



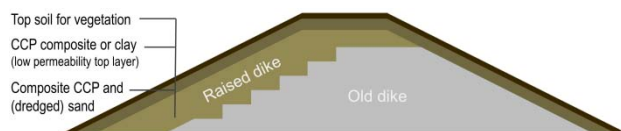
Rys. 4.12. Zalecany przekrój wału wykonanego z kompozytów CCP



Rys. 4.13. Zalecany przekrój wału rzeczno uszczelnionego przesłoną pionową z wykorzystaniem CCP



Rys. 4.14. Zalecany przekrój wału rzeczno uszczelnionego przesłoną pionową u podnóża skarpy odwodnej z wykorzystaniem CCP



Rys. 4.15. Zalecany przekrój wału po nadbudowie z wykorzystaniem CCP

wibracyjnego mieszania gruntu. Do przygotowania mieszanki uszczelniającej możliwe jest wykorzystanie popiołów lotnych.

Pionową przesłonę szczelną, która może być zagłębiona w warstwie nieprzepuszczalnej lub wykonana jako zawieszona, wykonuje się z korony wału (Rys. 4.13) lub u jego podstawy (Rys. 4.14), gdzie powinna łączyć się z ekranem szczelnym wykonanym na skarpie. Drogi tymczasowe lub platformy robocze można budować stosując spoiwa hydrauliczne wyprodukowane na bazie popiołów fluidalnych.

W przypadku podwyższania istniejących wałów, kompozyty CCP można stosować jak materiał ziemny do nadbudowy starego wału z dodatkową warstwą uszczelniającą, gdzie podobnie jak w nowo budowanych wałach można również wykorzystać CCP (Rys. 4.15).

4.7.5. Ogólne zagadnienia dotyczące projektowania wałów z użyciem geosyntetyków

Historyczne powodzie w Niemczech doprowadziły do znaczącego włączenia geosyntetyków w konstrukcje wałów przeciwpowodziowych [58]. Niemieckie doświadczenia wskazują na dużą skuteczność stosowania geosyntetyków w wałach. Zastosowanie geosyntetyków w ochronie przeciwpowodziowej zwiększa wytrzymałość konstrukcji w okresie powodzi i gwarantuje dodatkowy czas na ewakuację ludności z zagrożonych terenów. Po powodziach na Łabie w latach 2002 - 2007, zrealizowano w Niemczech około 160 projektów przeciwpowodziowych, w których użyto ok. 2,4 mln m² filtrów geotekstylnych, 330 000 m² geosiatek i 770 000 m² uszczelnień geosyntetyczno – ilowych (GCLs) [59].

Geosyntetyki są także szeroko stosowane w zaporach i obwałowaniach wzdłuż kanałów żeglugowych oraz w wałach morskich. Pozytywne doświadczenia w stosowaniu geosyntetyków skutkują licznymi pomysłami na poprawę bezpieczeństwa wałów budowanych z DM oraz zwiększenie stateczności lokalnej i globalnej wałów tradycyjnych [59], [60].

Istnieje wiele rozwiązań geosyntetycznych, które stały się standardowymi elementami w budowie wałów. Stosowanie elementów uszczelniających w postaci barier geosyntetyczno – ilowych zostało szczegółowo opisane w [61]. Geomembrany nie są zalecane do stosowania w konstrukcji wałów ponieważ na powierzchni kontaktu z gruntem może dojść do powstania uprzywilejowanej powierzchni filtracji.

Zastosowanie geosiatek w podstawie wału jest skuteczną metodą zmniejszenia i wyrównania osiadań oraz odkształceń konstrukcji wału. Niemieckie zalecenia EBGeo [62] stają się podstawowym zbiorem zaleceń odnośnie stosowania geosyntetyków do wzmocnienia konstrukcji.

Geowłókniny wykorzystywane w wałach pełnią funkcje filtracyjną i separacyjną. W Niemczech filtry geosyntetyczne projektuje się zgodnie z [63]; obecnie trwają intensywne dyskusje, zmierzające do stworzenia nowych wytycznych, które znajdą zastosowanie w całej Europie. Podobne wyroby o niższej klasie odporności mogą być używane w celu separacji materiałów.

Technologie budowy rdzenia wału z geokontenerów lub geotub są stosunkowo nowe i nadal wymagają prowadzenia prac rozwojowych.

4.7.6. Projektowanie wałów z użyciem geosyntetyków na podstawie doświadczeń z projektu DredgDikes

Na stanowisku badawczym w Rostoku, w ramach projektu DredgDikes, testowano systemy zbrojenia geosyntetycznego warstwy powierzchniowej ograniczające spękania oraz erozję powierzchni wałów oraz kompozyty drenażowe służące obniżeniu krzywej depresji. Ponadto na wale pilotażowym (Körkwitzer Bach) zastosowano bariery geosyntetyczne oddzielające wał od podłoża gruntowego, a także geotkaninę do zbrojenia drogi technologicznej posadowionej na warstwie słabonośnych torfów. Te dwa ostatnie rozwiązania, jako typowe element konstrukcyjne nie były poddawane dodatkowym badaniom.

DM użyty do budowy wałów testowych w projekcie DredgDikes zachowywał się tak dobrze, że zwiększenie wytrzymałości mechanicznej konstrukcji za pomocą geosyntetyków (zbrojenie i ochrona przeciwoerozyjna) nie było konieczne. Badane systemy mogą być bardziej odpowiednie w konstrukcjach wykonanych z materiału o niższej wytrzymałości.

Kompozyty drenażowe dobrze spełniały swoje zadanie, jednakże ich zastosowanie do drenażu wałów przeciwpowodziowych wymaga uwzględnienia kilku ważnych kwestii.

Oprócz systemów badanych w projekcie, do zastosowań filtracyjnych i separacyjnych można zastosować geowłókniny. W celu trwałej stabilizacji rdzenia wału możliwe jest zastosowanie wywijanych geotkanin lub geosiatek oraz geotub w przypadku stosowania do budowy DM o znacznej wilgotności.

W przypadku nieznacznie zanieczyszczonego DM (np. klasyfikacja LAGA Z2 [15]), możliwe jest „owinięcie” materiału geosyntetykiem lub zastosowanie bariery geosyntetycznej w celu odizolowania materiałów.

W dalszej części przedstawiono zalecenia, wynikające z doświadczeń, dotyczące zastosowania geosyntetyków do ochrony przeciwoerozyjnej powierzchni wału, oraz wykorzystania ich w funkcji drenażowej i separacyjnej.

4.7.6.1. Powierzchniowe zabezpieczenie przeciwoerozyjne

Istnieją różne produkty i systemy geosyntetyczne stosowane do ochrony wału lub skarpy przed uszkodzeniami erozyjnymi spowodowanymi przez wodę.

W projekcie DredgDikes poddano badaniom dwa rodzaje wyrobów do powierzchniowego zabezpieczenia przeciwoerozyjnego. Prezentowane doświadczenia oraz zalecenia są bezpośrednio związane z wykorzystaniem w projekcie DredgDikes drobnoziarnistego urobku czerpalnego.

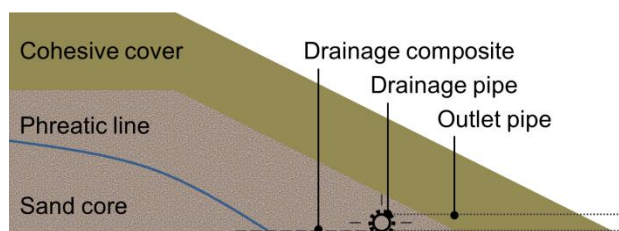
Przede wszystkim należy podjąć decyzję, czy zabezpieczenie przeciwoerozyjne jest w ogóle konieczne. W przypadku stosowanych w projekcie spoistych, plastycznych lub miękkoplastycznych DM, bogatych w części organiczne, ochrona przeciwoerozyjna na etapie początkowym może się okazać zbędna, ze względu na wysoką odporność materiału na opady atmosferyczne, zwłaszcza po zazielenieniu skarp.

Wstępna (czasowa) ochrona przeciwoerozyjna powinna być zastosowana w przypadku spodziewanego w krótkim czasie po zakończeniu budowy wystąpienia wysokich stanów powodziowych, jeżeli wierzchnia warstwa gruntu ma niską odporność erozyjną (np. pył piaszczysty lub piasek pylasty) oraz przy dużym nachyleniu skarp. W tych przypadkach, w zależności od wymaganego czasu ochrony oraz wymaganej wytrzymałości, preferowane jest zastosowanie wyrobów z włókien organicznych (włókna kokosowe, juta, słoma).

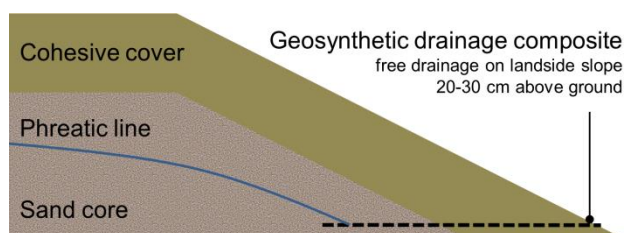
Jeżeli odporność warstwy wegetacyjnej na erozję jest trwale niska lub spodziewane są silne oddziaływania erozyjne, należy zastosować ochronę przeciwoerozyjną z materiałów syntetycznych zabezpieczonych przed działaniem UV. Może to dotyczyć zwłaszcza piaszczystej warstwy wierzchniej lub warstwy uszczelniającej nie mającej kontaktu z wodą oraz składnikami odżywczymi wspomagającymi wegetację roślin (np. gliny o niskim współczynniku filtracji, zwartego CCP lub margli). W przypadku takich gruntów, roślinność latem może usychać i nie dochodzi do właściwego ukorzenienia się roślin w wierzchniej warstwie gleby.

Ponadto, system korzeniowy poniżej warstwy gleby może być niedostatecznie rozwinięty (a czasami nawet niepożądany). W takim przypadku tarcie pomiędzy warstwą gleby a warstwą okrywową / uszczelnieniem / korpusem wału powinno być trwale zwiększone przez zastosowanie geomat.

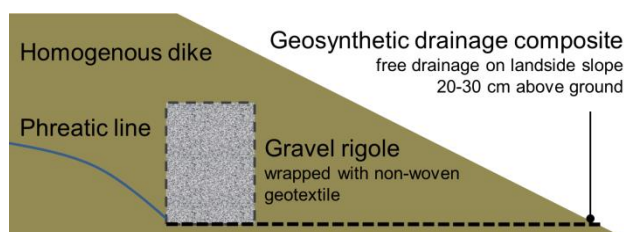
W Rozdziale 5 zamieszczono rysunki przedstawiające różne techniki montażu oraz funkcje ochronne geosyntetyków.



Rys. 4.16. Zalecany schemat stosowania geokompozytu drenażowego połączonego z rurą drenażową w celu obniżenia krzywej depresji w korpusie wału.



Rys. 4.17. Zalecany schemat stosowania geokompozytu drenażowego ze swobodnym odpływem w podstawie skarpy odpowietrznej.



Rys. 4.18. Zalecany schemat stosowania geokompozytu drenażowego ze swobodnym odpływem z rowem drenażowym wypełnionym żwirem, dodatkowo zwiększającym stateczność.

4.7.6.2. Drenaż

Istnieje wiele sposobów na wykonanie drenażu wałów. Ogólne informacje o lokalizacji drenażu przedstawione są w [11], [28], [42], [44], [46]. Informacje dotyczące wymiarowania drenów geosyntetycznych przedstawiono w [49].

Oprócz standardowych opcji odwodnienia, w oparciu o doświadczenia z projektu DredgDikes, przedstawiono poniżej zalecenia dotyczące wykorzystania geokompozytów drenażowych do kontroli ZWG w wałach przeciwpowodziowych. Ponieważ takie rozwiązania drenażowe są niezależne od rodzaju użytego gruntu, zalecenia nie ograniczają się do DM i CCP. Przy wymiarowaniu należy postępować zgodnie z wytycznymi dotyczącymi drenaży na składowiskach odpadów [64], ponieważ konstrukcja wału powinna być co najmniej tak trwała jak składowiska.

Geokompozyt drenażowy może być wbudowany w rdzeń wału i połączony w określonym rozstawie, wynikającym z obliczeń filtracji, z rurą drenażową (Rys. 4.16). Zastosowanie geokompozytu drenażowego w poziomie rur

drenażowych zwiększa bezpieczeństwo konstrukcji. Poziom ZWG może już być obniżony w korpusie wału, a umieszczenie rur drenażowych w podstawie wału zapewnia łatwy dostęp do nich w trakcie eksploatacji.

Geokompozyt drenażowy może być także wykorzystany jako samodzielny element ułożony w podstawie wału (Rys. 4.17). Istotne jest wtedy wykonanie rowu odwadniającego, zbierającego filtrującą wodę. Ujście drenażu należy zlokalizować 20-30 cm powyżej podstawy wału, aby zapewnić swobodny odpływ wody. Drenaż geosyntetyczny ułożony bezpośrednio na gruncie może łatwo ulegać kolmatacji już na etapie budowy lub w trakcie eksploatacji wału.

Trzecią możliwością jest wykonanie drenażu francuskiego wewnątrz wału jednorodnego w połączeniu z geokompozytem drenażowym (Rys. 4.18). Rozwiązanie takie umożliwia dyssypację ciśnienia filtrującej wody już wewnątrz wału. Aktualne pozostają zalecenia odnośnie drugiego sposobu wykonania drenażu.

Zaletą takiego rozwiązania jest duża skuteczność, nawet w sytuacjach częściowej kolmatacji niektórych odcinków geokompozytu drenażowego, ponieważ woda ujęta drenażem francuskim może wypływać w miejscach, gdzie geokompozyty drenażowe nie zostały zakolmatowane. Rozwiązanie to może być wykorzystane tylko w przypadku wałów o przekroju jednorodnym, zbudowanych z materiału o stosunkowo niskim współczynniku filtracji. W przypadku rdzenia piaszczystego, właściwy rozkład krzywej filtracji wewnątrz wału jest zawsze zapewniony.

Poniżej przedstawiono jedynie trzy z wielu możliwych wariantów wykonania drenażu geosyntetycznego. Wszystkie trzy zostały przebadane w projekcie DredgDikes, gdzie potwierdzono ich skuteczność. Dwa pierwsze sposoby mogą być także wykorzystywane w wałach o jednorodnym przekroju.

4.7.6.3. Separacja i filtracja

Geosyntetyki mogą być stosowane także w funkcji filtracyjnej oraz separacyjnej. Zwykle w tych zastosowaniach używa się geowłóknin. Rdzeń wału (np. korpus piaszczysty), warstwa okrywowa lub uszczelniająca muszą być odporne na erozję wewnętrzną, zwłaszcza w miejscach połączeń między poszczególnymi elementami. Odporność na erozję wewnętrzną należy określić w oparciu o [63]. W tym samym czasie, dwa różne (sprawiające potencjalne kłopoty) materiały pozostawać powinny

w trwałej separacji. Zwiększa to znacząco odporność na erozję wewnętrzną w przypadku powstawania spękań powierzchniowych wynikających z wysychania gruntu, ponieważ filtrująca woda nie będzie wypłukiwać cząstek gruntu z rdzenia (Paragraf 4.5.2.8). Dodatkowo zwiększa się ogólna stateczność konstrukcji.

Geosyntetyk w funkcji separacyjnej może być zastosowany także pomiędzy różnymi materiałami na placu budowy oraz przy wykonywaniu elementów drenażowych (patrz wyżej).

Bibliografia

- [1] DIN 4020. Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, 2010 - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2.
- [2] DIN 1054. Baugrund- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 2010.
- [3] DIN ISO/TS 22476. German national annex to ISO 22467. Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Parts 1 – 12.
- [4] EN 1997-1. Eurocode 7- Geotechnical design - Part 1: General rules, 1997.
- [5] Polish Ordinance of the Minister of Transport, Construction and Maritime Economy of 25 April 2012 - On the determination of the geotechnical conditions of the foundation of structures (Journal of Laws 2012 item 463).
- [6] DS/EN ISO 22476. Danish National Annex to ISO 22467.
- [7] Sybilski D. & Kraszewski (Ed.) 2004. Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych, IBDIM Warsaw, 278 pp. Available online: www.gddkia.gov.pl [Tests of industrial wastes for application in road construction].
- [8] DIN 38414-4. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4).
- [9] PN-EN 12457-4:2006 Characterisation of waste. Leaching.
- [10] BBodSchV 1999. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung of 12 July 1999 (BGBl. I S. 1554). Last change through Art. 5 § 31 of 24 February 2012 (BGBl. I S. 212). 34 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de/ [cited 16 Dec 2014].
- [11] EAK 2002. Empfehlung für Küstenschutzwerke, korrigierte Ausgabe 2007, *Die Küste* **65**, KFKi (Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen), 589 pp.
- [12] Kibbel, E. & Henneberg, M. 2004. Dredged material management in Rostock, Handout, Hanseatic City of Rostock, 6 pp. Available online: www.dredgdikes.eu/wp-content/uploads/iaae.pdf.
- [13] IAA 2014. Kostenaufstellung der Industriellen Absetz- und Aufbereitungsanlage für Nassbaggergut der Hansestadt Rostock. Unveröffentlichter interner Bericht.
- [14] HTG 2006. Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, Fachbericht der Hafentechnischen Gesellschaft Fachausschuss Baggergut, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de/ [cited 16 Dec 2014].
- [15] LAGA 2003. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln. As per version from 6th of November 2003 as note 20. Erich Schmidt, Berlin 2004, 128 pp. Available online: www.laga-online.de/ [cited 16 Dec 2014].
- [16] GÜBAK 2009. Joint Transitional Arrangements for the Handling of Dredged Material in German Federal Coastal Waterways (GÜBAK-WSV), 59 pp. English version. Available online: www.bafig.de/Baggergut/DE/04_Richtlinien/guebag_en.html.
- [17] Danish Marine Environment Act (no. 963 of 03/07/2013).
- [18] ISO 10694. Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis), 1995.
- [19] DIN 18123. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung, 2011.
- [20] ISO 11277. Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation, 2009.
- [21] Projected Polish Ordinance of the Minister of the Environment of 15 July 2014 on the treatment of waste outside landfill installations.
- [22] Danish Order on the definition of slightly contaminated soil (no. 554 19/05/2010).
- [23] Zealand guidelines 2001. Frederiksberg Kommune, Frederiksborg Amt, Københavns Kommune, Københavns Amt, Roskilde Amt, Storstrøms Amt og Vestsjællands Amt (Eds.). Vejledning i håndtering af forurenet jord på Sjælland [Instructions for handling contaminated soil on Zealand], 26 pp. Available online: www.regionsjaelland.dk.
- [24] Danish Executive Order of Reuse - Recycling ordinance (no. 1662 of 21/12/2010).
- [25] DepV 2009. Deponieverordnung - Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Deponieverordnung of 27 April 2009 (BGBl. I S. 900) with last change through Art. 7 2 May 2013 (BGBl. I S. 973) 63 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de/ [cited 16 Dec 2014].
- [26] Henneberg, M. & Neumann, R. 2011. 10 Jahre Lysimeterversuche zum Einsatz von gereiftem Baggergut zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft, report, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de.
- [27] Führböter, A. 1966: Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen, *Mitteilungen des Franzius-Instituts der Technischen Universität Hannover*, **27**.
- [28] DWA M507. DWA Regelwerk Merkblatt DWA-M 507-1, Deiche an Fließgewässern Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Dec 2011.
- [29] ZTV-W 210. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau, für Böschungs- und Sohlensicherungen (Lb 210), EU notification no. 2006/0628/D of 1 Dec 2006.
- [30] DIN 18127. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch, 2012.
- [31] DIN 18122. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze, 1997.
- [32] BAW RPW 2006. Richtlinien für die Prüfung von mineralischen Weichdichtungen im Verkehrswasserbau, 21 pp.
- [33] Weißmann, R. 2003. Die Widerstandsfähigkeit von Seedeichbinnenböschungen gegenüber ablaufendem Wasser. *Institute of soil mechanics and foundation engineering*, University Duisburg-Essen, issue **30**.

- [34] ASTM D4647-13. Standard Test Methods for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test, 11 pp.
- [35] Polish Waste Act of 14 December 2012 (Journal of Laws of 2013 item 21 with later amendments). Full text in Journal of Laws of 2013 items 1238 and 888 and in Journal of Laws of 2014 item 695.
- [36] Aprobata techniczna ITP.AT/18-2012-0052-01.
- [37] Batog, A. & Hawrysz, M. 2010. Przydatność mieszanek popiołowo-gruntowych do budowy nasypów komunikacyjnych, *Górnictwo i Geoinżynieria* **34**(2), pp.69-75.
- [38] Batog, A. & Hawrysz, M. 2011. Stateczność nasypów drogowych formowanych z mieszanek piaskowo-popiołowych w rejonie Wrocławia, *Biuletyn PIG* **446**: 445-452.
- [39] Zabielska-Adamska, K. 2008. Laboratory compaction of fly ash and fly ash with cement additions, *Journal of Hazardous Materials* **151**: 481-489.
- [40] Bałachowski L. & Sikora Z. 2013. Mechanical properties of bottom ash – dredged material mixtures in laboratory tests, *Studia Mechanica et Geotechnica*, **35**(3): 3-11.
- [41] PN-EN 1538: 2010: Performance of special geotechnical works, slurry walls.
- [42] CIRIA C731. The International Levee Handbook. London, 2013. 1350 p. Available online: www.ciria.org.
- [43] MLUV, 2012. Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Bemessungshochwasserstand und Referenzhochwasser (2-5 / 2012), 20 pp.
- [44] DIN 19712. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern. [Flood protection works at streams and rivers], 2013.
- [45] Polish Water Law (Journal of Laws 2005.239.2019).
- [46] Polish Directive of the Ministry of Environment - Technical conditions to be met by flood structures defined in the Regulation of the Minister of Environment of 20 April 2007: On the technical conditions to be met by hydraulic structures and their location (Journal of Laws 2007.86.579).
- [47] PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne, Polish national implementation of the Eurocode 7, 152 pp.
- [48] DS EN 1997-1. Danish National Annex to Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules, 33 pp.
- [49] BAW MSD 2011, BAW Merkblatt- Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Bundesanstalt für Wasserbau.
- [50] EurOtop 2007. Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, *Die Küste* **73**. 193 p.
- [51] Bonelli, S. (Ed.) 2013. Erosion in Geomechanics Applied to Dams and Levees. John Wiley, Hoboken. 388 p.
- [52] Pohl, C. 2009. Witterungsbedingte Gefügebildung bei See- und Ästuardeichen und ihr Einfluss auf die Deichsicherheit, Doctoral Dissertation Universität Duisburg/ Essen, 178 pp.
- [53] Pohl, C. & Vavrina, L. 2008. New Approaches for Geotechnical Design of Baltic Sea Dikes, *Proceedings of the 11th Baltic Sea Geotechnical Conference*, Gdansk, Poland, 1005-1012.
- [54] Kiekbusch, M. (1999). Beziehung zwischen Konsistenzzahl und undrännierter Scherfestigkeit, *Die Bautechnik* **76**(9): 775-784.
- [55] Gröngroft, A., Gebert, J. & Eschenback, A. 2014. Water Balance of Dikes Constructed with Dredged Material – Results From a Long-Term Field Test, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 61-66. Available online: www.dredgdikes.eu.
- [56] Weißmann, R. & Richwien, W. 2004. Funktionale und statische Bemessung der Abdeckung von Deichbinnenböschungen. *HANSA*, **141** (6): 69-75.
- [57] Temmler, H. 2009. Sickervorgänge in Deichen und ihre Auswirkungen auf die Sturmflutsicherheit. *Fachausschuss Küstenschutzwerke*, 20 pp.
- [58] Saathoff, F. & Cantré, S. 2014. Geosynthetics and Dredged Materials in Dike Construction, *10th International Geosynthetics Conference, Berlin*, paper 143, 7 pp.
- [59] Heerten G., Achmus, M., Boley, C., Grabe, J., Katzenbach, R., Meyer, N., Oumeraci, H., Richter, T., Saathoff, F., Savidis, S. & Scheffer, H.J. 2009. Bauwerke und Bauwerkserüchtigung im Küsten- und Verkehrswasserbau, *Unsere Gewässer – Forschungsbedarf aus Sicht der Praxis – Eine Dokumentation von HTG und DGGT*, *Schiffahrts-Verlag Hansa C. Schroedter & Co Hamburg*, 65-72.
- [60] Saathoff, F. 2006. Beispiele zur Sanierung und Ertüchtigung von Deichen mit Geokunststoffen, 2. *Symposium Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen*, Universität Siegen, 9./10.2.2006.
- [61] BAW EAO 2002. Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an der Sohle und Böschung von Wasserstraßen, *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau* **85**, 30 pp.
- [62] DGGT (Ed.) 2010. Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO), 2. vollst. überarb. u. erw. Auflage April 2010, Ernst & Sohn, 327 pp.
- [63] DVWK 1995. DVWK-Guideline 306–1995, Application of Geotextiles in Hydraulic Engineering, 36 pp. Based on the German guideline: DVWK 221/1992, Merkblatt Anwendung von Geotextilien im Wasserbau, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau.
- [64] BAM 2014. Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 31 pp. Available online: www.bam.de [cited 23 Jan 2015].

5. BUDOWA

W rozdziale przedstawiono wymagania dotyczące zastosowania na placu budowy urobku czerpalnego (DM), ubocznych produktów spalania (CCP) i geosyntetyków; ich transport i składowania, parametrów kontroli jakości oraz zalecenia dotyczące technologii budowy, uzyskania dobrej jakościowo pokrywy roślinnej, która stanowi podstawowy element ochrony przeciwerozyjnej na wałach. Zalecenia dotyczące wyboru właściwych materiałów zamieszczono w Rozdziale 4.

5.1. Jakość materiałów i wykonania

Przy wyborze materiałów do budowy wału przeciwpowodziowego, konieczne jest określenie wymagań jakościowych, uzależnionych od rodzaju zastosowania tych materiałów. Wymagania dotyczące przydatności geochemicznej / środowiskowej oraz geotechnicznej omówiono w Rozdziale 4. Dodatkowe znaczenie na placu budowy ma jakość wykonania konstrukcji.

5.1.1. Wymagania dotyczące stosowania DM

Urobek czerpalny wykorzystywany do budowy wałów przeciwpowodziowych powinien spełniać wymagania jakościowe określone parametrami środowiskowymi i geotechnicznymi. Jeśli w badaniach wstępnych wymagane parametry nie są zachowane możliwe jest ulepszenie DM. Poniższe zalecenia ważne są dla drobnoziarnistego i dobrze uziarnionego sezonowanego DM, który może zawierać substancje organiczne i związki węgla. W przypadku urobku w postaci piasku / żwiru obowiązują typowe zalecenia dotyczące budowy wałów przeciwpowodziowych i nie ma potrzeby podawania w tych wytycznych dodatkowych wskazówek.

5.1.1.1. Wymagania środowiskowe dla DM

Wymogi środowiskowe dotyczą placu budowy. Ogólne parametry jakościowe opisano w Rozdziale 4.

5.1.1.2. Wymagania geotechniczne dla DM w wałach morskich

Poniższe zalecenia, wynikające z doświadczeń zebranych w projekcie DredgDikes, dotyczą stosowania do warstwy okrywowej drobnoziarnistego i/lub organicznego DM. Warunki doboru materiału opisano w Rozdziale 4.

Tab. 5.1. Wymagania dotyczące DM w wałach morskich

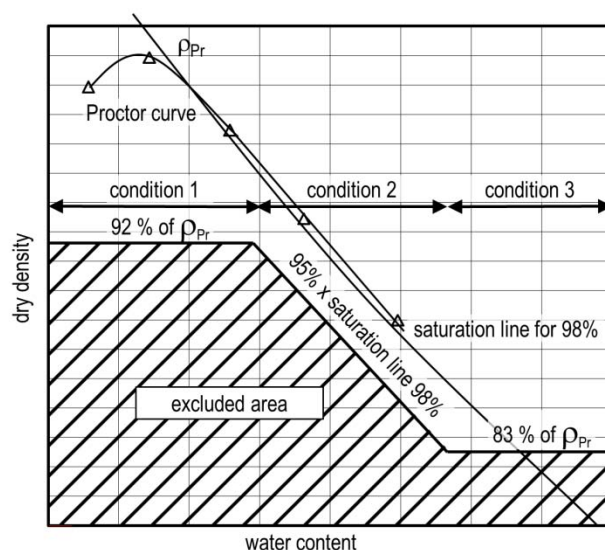
Parametr	Jednostka	Wartość
Wytrzymałość na ścinanie (badanie sondą skrzydełkową)	kPa	≥ 50
Wilgotność	%	1)

1) Wilgotność powinna być zbliżona do wilgotności optymalnej, lub nieznacznie mniejsza. Nie może być dużo większa, gdyż uniemożliwi to uzyskania wskaźnika zagęszczenia $> 83\%$. Dodatkowo wilgotność materiału w trakcie wbudowywania nie może przekraczać granicy plastyczności ($IL \leq 0,3$).

Zalecanym parametrem kontrolnym jest wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu, określana sondą krzyżkową $c_u > 50$ kPa (odpowiada to średniej wytrzymałości wg [2]). Wartość ta jest łatwiejsza do wyznaczenia w warunkach polowych niż kontrola zagęszczenia.

Wilgotność jest także ściśle związana z zagęszczalnością i wytrzymałością na ścinanie. Należy stosować ogólne wytyczne z Rozdziału 4. Dla wałów morskich wilgotność materiału w trakcie wbudowywania nie może przekraczać granicy plastyczności ($IL \leq 0,3$). Dla drobnoziarnistego DM z minimalną ilością części organicznych, nie zaleca się wilgotności po suchej stronie krzywej Proctora, mimo iż może znacząco ograniczyć spękania związane z wysychaniem. Tak niewielka wilgotność skutkuje dodatkowym wydatkiem energii koniecznym do osuszenia materiału, zwiększeniem kosztów, a przede wszystkim powoduje, że materiał wysychając zaczyna pylić, co zdecydowanie utrudnia jego wbudowywanie.

Parametrem określającym jakość wbudowania w wał DM oraz innych materiałów, jest zazwyczaj wskaźnik



Rys. 5.1. Zalecenia dotyczące zagęszczenia wg [3])

zagęszczenia (I_s) określony metodą Proctora. Najkorzystniejsza jest wilgotność jak najbliższa wilgotności optymalnej. Odnosi się to zarówno do optymalnej zagęszczalności jak i minimalizacji ryzyka spękań skurczowych. Zaleca się stosowanie I_s jedynie jako parametru pomocniczego, a przyjęcie do oceny wartości c_u , zwłaszcza na stanowisku próbnym (Rozdział 5.4.1.1). Zgodnie z [1] i [3] oraz doświadczeniami z projektu DredgDikes, zaleca się spełnienie trzech warunków zapewniających właściwe zagęszczenie (Rys. 5.1):

- Warunek 1 (wilgotność zbliżona do optymalnej): $I_s > 0,92$,
- Warunek 2 (większa wilgotność): Stosuje się gęstość objętościową szkieletu gruntowego przy stopniu wilgotności 98% zamiast wyznaczonej z badania Proctora $I_{s,98} > 0,95$,
- Warunek 3 (zawsze spełniony): $I_s > 0,83$.

W przypadku jednorodnych lub ujednoliconych DM, jeśli inwestor przyjmuje wskaźnik zagęszczenia jako główny parametr kontrolny (co nie jest tutaj zalecane), należy stosować opisane powyżej procedury. Należy w tym miejscu zauważyć, że określenie w warunkach laboratoryjnych reprezentatywnej gęstości objętościowej z aparatu Proctora jest niezwykle pracochłonne (wiele badań do określenia wartości średniej). Ponadto, niewielkie różnice pomierzonej gęstości objętościowej mogą znacząco zmniejszyć wskaźnik zagęszczenia I_s ze względu na niewielką wilgotność optymalną DM bogatych w materię organiczną. (Aneks II).

Wyniki badań Proctora dla DM o dużej niejednorodności mogą znacząco się różnić, dlatego trudne jest określenie gęstości optymalnej. Duże różnice dotyczą w tym przypadku także wskaźnika zagęszczenia I_s . Z tego względu zaleca się kontrolę wartości c_u , która jest łatwiejsza do przeprowadzenia.

5.1.1.3. Geotechniczne wymagania jakościowe dla DM używanego w korpusie wału i wałach jednorodnych

Dla piasku (czerpalnego) stosowanego do budowy rdzeni wałów morskich mają zastosowanie wymagania geotechniczne EAK 2002 [1] stosowane w Niemczech i Danii. W Rozdziale 4 zamieszczono dodatkowe zalecenia dotyczące samego korpusu wałów niejednorodnych oraz wałów jednorodnych wykonanych z piaszczystego lub dobrze uziarnionego DM. W tych zastosowaniach

wymagania dotyczące zagęszczenia oraz wytrzymałości są wyższe niż dla wałów nadmorskich.

W korpusie wałów morskich stosuje się zazwyczaj materiały piaszczyste. Niewielka zawartość cząstek drobnych i/lub organicznych może w takim przypadku ułatwić zagęszczanie, zwiększyć wytrzymałość i stateczność konstrukcji. Wartość wskaźnika zagęszczenia dla wałów morskich [1] powinna wynosić $I_s \geq 0,93$ a dla wałów rzecznych [4] $I_s \geq 0,97-1,00$. Oznacza to utrzymywanie wilgotności w granicach wilgotności optymalnej. W przypadku materiałów niejednorodnych, które nie są poddawane homogenizacji przed wbudowaniem (co nie jest zalecane) minimalna wytrzymałość na ścinanie bez odpływu powinna być określona w badaniu polowym przed rozpoczęciem budowy.

W jednorodnych wałach morskich – które nie są powszechne, ale budowane jedynie przy dużej nadwyżce DM do zagospodarowania – stosuje się metody wg Rys. 5.1 z następującymi zmianami:

- Zmiana warunku 1 : $I_s \geq 0,93$,
- Zmiana warunku 2: $I_{s,98} \geq 0,97$,
- Zmiana warunku 3: $I_s \geq 0,86$.

5.1.1.4. Geotechniczne wymagania jakościowe dla DM zastępującego standardowe materiały uszczelniające w wałach rzecznych

Wymagania jakościowe dla uszczelnień mineralnych w wałach rzecznych zawarte są w krajowych normach i wytycznych:

- Niemcy: DIN 19712 [5], DWA M 507 [6], EAO [7], ZTV-W 205 [4], ZTV-W 210 [8].
- Polska: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [9].

Zastosowanie DM jako uszczelnienia mineralnego (ekran lub rdzeń szczelny), wymaga spełnienia zarówno wymagań dla typowych uszczelnień mineralnych (ił, glina) jak i wymagań opisanych w §4.5.2.7. W przypadku zastosowania DM o niskim współczynniku skurczu objętościowego, układanego przy wilgotności zbliżonej do wilgotności optymalnej i przy wysokim zagęszczeniu, dopuszczalna jest większa zawartość części organicznych w stosunku do zalecanej w powyższych dokumentach, z uwagi na jej długookresową stabilność (§4.7.4.1).

5.1.2. Wymagania jakościowe dla CCP

Wykorzystanie popioło-żużli do budowy rdzenia wału wymaga zmieszania ich w ustalonych proporcjach z gruntem mineralnym lub urobkiem czerpalnym (DM). Użycie mieszanki popioło-żużli i DM w wałach klasy I zalecane jest jedynie w przypadku ich modernizacji.

Niezbędne jest ustalenie planu wstępnych badań laboratoryjnych mieszanki w celu określenia jej podstawowych parametrów fizycznych, zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie oraz współczynnika filtracji. Niewielka zawartość drobnych cząstek, np. popiołów lotnych wpływa korzystnie na zagęszczalność mieszanki, jej wytrzymałość oraz stateczność.

Wskaźnik zagęszczenia powinien wynosić minimum $I_s \geq 0,93$, podobnie jak dla standardowego rdzenia piaszczystego, gdy na wale nie przewiduje się wysokich obciążeń od pojazdów. Wilgotność mieszanki w trakcie wbudowywania powinna być zbliżona do wilgotności optymalnej. Badanie Proctora należy przeprowadzić z energią jednostkową zbliżoną do stosowanej przy zagęszczaniu mieszanki in-situ. Zaleca się by minimalny ciężar objętościowy mieszanki wynosił co najmniej $\gamma = 12 \text{ kN/m}^3$ w celu uniknięcia wyparcia hydraulicznego i upłynnienia.

Maksymalna zawartość popioło-żużli w mieszance nie powinna przekraczać 70 %. Odpowiednią zawartość popiołu należy ustalić w trakcie wstępnych badań laboratoryjnych uwzględniających warunki projektowe. Na podstawie doświadczeń z projektu DredgDikes, udział popioło-żużli w mieszance powinien wynosić 30-70%. Badanie wytrzymałości na ścinanie należy wykonać na przygotowanych próbkach o wilgotności zbliżonej do optymalnej.

W przypadku mieszanki popioło-żużli i piasku należy wyznaczyć jej współczynnik filtracji w aparacie o stałym naporze hydraulicznym.

Przesłony szczelne mogą być wykonane z wykorzystaniem spoiw hydraulicznych zawierających popioły lotne lub fluidalne. Wytworzona mieszanka musi posiadać odpowiednią jednorodność umożliwiającą jej przepompowywanie na znaczne odległości. W ciągu 24 godzin należy regularnie badać gęstość nasypową i lepkość mieszanki oraz objętość odsączanej wody. Kontrola jakości przesłon szczelnych musi spełniać wymagania normy PN-EN 1538 [10].

Gotowe mieszanki, np. spoiwa hydrauliczne na bazie CCP, muszą spełniać wymagania określone np. w [11].

Najważniejszymi parametrami są wytrzymałość na ściskanie oraz wodoprzepuszczalność mieszanki. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie badana na stwardniałych próbkach po 28 dniach powinna wynosić minimum 0,5 MPa dla próbek przygotowanych w laboratorium i powyżej 0,3 MPa dla próbek pobranych in-situ. Stwardniała mieszanka po 28 dniach powinna mieć wodoprzepuszczalność $k_s < 10^{-8} \text{ m/s}$ w warunkach laboratoryjnych i $k_s < 10^{-7} \text{ m/s}$ po wbudowaniu in-situ. Przed zastosowaniem spoiw hydraulicznych na bazie CCP do materiałów organicznych lub antropogenicznych (np. mieszanki z innymi rodzajami CCP lub DM) konieczne jest przeprowadzenie odpowiednich testów w specjalistycznym laboratorium geotechnicznym [11].

5.2. Uzdatanianie i ulepszanie

Jeżeli DM lub CCP (włącznie z kompozytami) nie spełniają bezpośrednio wymagań środowiskowych lub geotechnicznych stawianych materiałom do budowy wałów przeciwpowodziowych opisanych w Rozdziale 4, możliwe jest zastosowanie różnych technik uzdatniania w celu zmniejszenia wilgotności, homogenizacji materiałów, zmiany krzywej zagęszczenia, poprawy wytrzymałości lub związania zanieczyszczeń w osadach. Istnieje także możliwość zmieszania drobnoziarnistego DM, bogatego w części organiczne z innymi popiołami, aczkolwiek było to poza zakresem badań prowadzonych w ramach projektu DredgDikes.

5.2.1. Uzdatanianie i ulepszanie DM

Uzdatanianie DM obejmuje zarówno poprawę właściwości geotechnicznych oraz eliminację lub związanie zanieczyszczeń.

Najważniejszą kwestią w zakresie przydatności geotechnicznej jest wilgotność materiałów. Przy zbyt dużej wilgotności niemożliwe jest uzyskanie wymaganej wytrzymałości na ścinanie oraz zalecanego zagęszczenia. Z tego względu pierwszą czynnością powinno być suszenie DM. Często nawet sezonowany (zazwyczaj osuszony) DM posiada wysoką wilgotność, znacznie powyżej granicy plastyczności. Jedynie badania przeprowadzone w trakcie rzeczywistego wbudowywania materiału (5.4.1.1) z uwzględnieniem wpływu zagęszczania walcami,

pozwalają na ocenę przydatności materiału do wbudowania. W przypadku gdy wymogi pozostają niespełnione, konieczne jest dalsze suszenie. W celu przyspieszenia wstępnego suszenia, zwłaszcza w projektach wykorzystujących geotuby [12], zaleca się zastosowanie flokulantów. Należy jednak szczegółowo przeanalizować koszty takiego działania.

Jednorodność DM po zakończeniu procesu suszenia zależy zarówno od jakości samego DM, jak i od technologii obróbki zastosowanej na zamkniętych składowiskach. W typowych zastosowaniach DM jakimi są roboty niwelacyjne lub rekultywacja składowisk odpadów, niejednorodność materiału ma niewielkie znaczenie. W budowie wałów przeciwpowodziowych, gdzie istotna jest niezawodność konstrukcji zależna od jakości materiału użytego do wykonania warstwy okrywowej, jednorodność DM odgrywa istotną rolę.

Homogenizację można prowadzić w miejscu składowania materiału, używając do tego maszyn do formowania pryzm (Rys. 5.2). Przyspiesza to i wzmacnia proces suszenia. Innym rozwiązaniem są sita montowane na koparkach, stosowane bezpośrednio na miejscu budowy (Rys. 5.3).

Obiecujące możliwości polepszenia parametrów geotechnicznych i związania zanieczyszczeń w materiałach



Rys. 5.2. Homogenizacja DM w pryzmie [15]



Rys. 5.3. Homogenizacja DM za pomocą sita na koparce

Tab. 5.2. Zalecenia dotyczące składowisk DM

Zalecenia dotyczące składowisk DM
DM lub grunty różnej jakości należy przechowywać oddzielnie np. zgodnie z DIN 19731 [17] i DIN 18915 [18].
Unikać zmieszania DM z podłożem na obszarze składowania.
Nie przechowywać i nie mieszać innych materiałów na składowisku DM.
Chronić składowisko przed wyciekami (olejów, smarów, paliw).
Zapobiegać zagęszczaniu i zawilgoceniu tymczasowo składowanych gruntów.
Składowisko należy zlokalizować na suchym terenie poza zagłębieniami i nie może ono zakłócać spływu wód powierzchniowych.
4 % nachylenie terenu dla zapewnienia odpływu wód opadowych.
Rozmiar i wysokość hałd zależy od dostępnego miejsca, rodzaju i składu gruntu, warunków pogodowych w okresie pobierania DM.
Zakaz ruchu sprzętu po składowisku (np. ładowarek kołowych).

daje ulepszenie z zastosowaniem różnorodnych dodatków zawierających spoiwa hydrauliczne [13], [14]. Stosowanie domieszek włókien może także polepszyć stabilność i nośność materiałów. Włókna naturalne, np. włókno kokosowe, mogą być stosowane dla uzyskania efektów tymczasowych, podczas gdy rozwiązania trwałe mogą wymagać zastosowania włókien syntetycznych; jednakże ich stosowanie jest niezalecane ze względu na ich oddziaływanie na środowisko gruntowe. Kolejnym sposobem ulepszenia DM jest jego doziarnienie.

DM składowany w pryzmach ulega zazwyczaj szybkiemu zazielenieniu ze względu na zawarte w nim nasiona. Przed zastosowaniem DM do budowy wałów konieczne jest usunięcie liści, łodyg i korzeni, ponieważ utrudniają one zagęszczanie. Liście ulegając szybkiemu rozkładowi, dodatkowo pogarszają uzyskane zagęszczenie. Korzenie mogą stanowić ponadto miejsca występowania uprzywilejowanej filtracji.

5.2.2. Uzdatanie i ulepszenie CCP

Generalnie, CCP powinny być stosowane w budowie wałów tylko jako materiały kompozytowe, np. zmieszane z piaskiem, innym gruntem lub DM lub używane jako spoiwo hydrauliczne do różnych celów. Zatem uzdatnianie CCP obejmuje mieszanie i homogenizację w węzłach mieszania lub na placu budowy.

Przesłony szczelne z materiałów zawierających popioły lotne lub popioły fluidalne mogą być wykonywane metodą mieszania wglębnego lub iniekcji z zastosowaniem wibracji (WIPS: Wibracyjnie Iniektowana Przesłona Szczelinowa



Rys. 5.4. Stacja mieszania (Moebius Polska)

[16]). Mieszanina przygotowywana jest w węźle (Rys. 5.4) i transportowana rurociągiem na miejsce wbudowania. Technologia ta została wykorzystana do uszczelnienia wałów przeciwpowodziowych wzdłuż Wisły w rejonie Gdańska (Rys. 5.9 w § 5.5.2).

Jeżeli CCP nie spełnia wymagań koniecznych do uzyskania certyfikatu dla materiałów budowlanych (patrz Rozdział 4), możliwe jest jego uzdatnienie w celu obniżenia zawartości zanieczyszczeń lub ich trwałego związania.

5.3. Transport i składowanie

5.3.1. Transport i składowanie urobku czerpalnego

Transport i składowanie drobnoziarnistego DM zawierającego składniki organiczne są takie same jak typowych gruntów budowlanych. Aby umożliwić wykorzystanie ich także na późniejszym etapie, DM muszą być składowane na tymczasowej hałdzie, tak aby ograniczyć zajmowaną powierzchnię, zapewnić ochronę przed działaniem czynników pogodowych powodujących erozję, oraz szkodami związanymi z pracami budowlanymi. Zalecenia dotyczące składowiska DM przedstawiono w Tab. 5.2.

5.3.2. Transport i składowanie CCP

Jeżeli materiał posiada certyfikat produktu ubocznego powinien być on składowany w sposób uniemożliwiający jego mieszanie się z podłożem oraz innymi materiałami. Różne produkty CCP muszą być składowane oddzielnie. Powinny być chronione przed wilgocią i opadami. Należy stosować metody ograniczające pylenie. Składowisko należy zlokalizować na suchym podłożu, poza zagłębieniami terenu i nie powinno ono zakłócać spływu lokalnych wód powierzchniowych. Po składowisku nie powinno się poruszać maszynami.

Spoiva hydrauliczne na bazie CCP są transportowane w specjalnych cysternach samochodowych, a na miejscu budowy przetwarzane pneumatycznie do szczelnych silosów. Muszą być chronione przed wilgocią i warunkami atmosferycznymi. Nie zaleca się stosowania spoiw hydraulicznych na bazie CCP przy temperaturze gruntu poniżej 5°C [19].

5.3.3. Transport i składowanie geosyntetyków

Transport i składowanie geosyntetyków muszą się odbywać bardzo ostrożnie. Uszkodzenie materiału może spowodować obniżenie jego funkcjonalności i wytrzymałości. Dotyczy to zarówno uszkodzeń mechanicznych spowodowanych przez maszyny w trakcie transportu oraz załadunku / rozładunku jak również uszkodzeń spowodowanych promieniowaniem UV. Geosyntetyki na placu składowym należy zabezpieczyć przed promieniami UV.

Transport i składowanie geosyntetyków na placu budowy powinny być w Niemczech realizowane zgodnie z M Geok E-StB oraz [20], [21], [22], a w Polsce zgodnie z ogólnymi wytycznymi [23]. Geosyntetyczne bariery ilowe należy traktować zgodnie z EAG-GTD [24], a geokompozyty drenażowe zgodnie z wytycznymi BAM [25].

5.4. Kontrola jakości

Na placu budowy wymagana jest kontrola jakości dla DM, kompozytu piasek-popioł oraz geosyntetyków w trakcie ich dostawy i wbudowywania. Zalecenia dotyczą wyłącznie drobnoziarnistych DM, stosowanych w warstwie okrywowej lub w wale jednorodnym. Dla DM stosowanego w rdzeniu wału, należy stosować zalecenia podane w [1], [9]. Kontrolę jakości kompozytów CCP należy prowadzić wg wytycznych [23], [26], z uwzględnieniem badań in-situ. Wytyczne dotyczące kontroli jakości geosyntetyków zawarto w odpowiednich dokumentach dotyczących poszczególnych wyrobów. Przegląd metod kontroli jakości zamieszczono w Tab. 5.6.

System kontroli jakości dla wszystkich materiałów stosowanych w konstrukcji odbywa się wieloetapowo: Badanie przydatności produktu w trakcie produkcji lub przed wbudowaniem, kontrola odbioru na budowie, wewnętrzna i zewnętrzna kontrola jakości (w wytwórni i / lub na placu budowy) oraz inspekcja na budowie prowadzona przez zamawiającego.

5.4.1. Kontrola jakości wbudowania DM w wał

Wykorzystano niemieckie zalecenia kontroli jakości "LAGA M20 TR soil" [27] i "Quality control for marsh clay installation" [3], dostosowane do DM. Dotyczą one całego regionu Południowego Bałtyku. Funkcjonowanie system kontroli jakości wymaga sprawdzania cech mechanicznych gruntów przez wewnętrzną kontrolę jakości prowadzoną przez producenta/ dostawcę DM, wewnętrzną kontrolę jakości wykonawcy robót oraz kontrolę zewnętrzną zleconą przez inwestora. Dodatkowym elementem kontroli są badania na poletkach próbnych.

5.4.1.1. Poletko próbne – testy przydatności

Przed rozpoczęciem wbudowywania DM, należy wykonać poletko próbne, na którym sprawdzony zostanie cały proces technologiczny obejmujący układanie i zagęszczanie materiału. Poletko testowe może stanowić część konstrukcji rzeczywistej. Warunki brzegowe muszą być zgodne z obowiązującymi dla rzeczywistej konstrukcji. Należy zatem przebadать co najmniej DM o najwyższej wilgotności dopuszczalnej w trakcie wbudowywania. Jeśli występuje znaczna zmiana wilgotności (np. różne czasy schnięcia) zaleca się przebadanie DM o trzech różnych wilgotnościach (najwyższej, najniższej, średniej), w celu porównania wyników z wymaganiami odnośnie wytrzymałości i/lub zagęszczalności. Zalecane badania i pobieranie próbek na poletku próbnym podsumowano w Tab. 5.3.

5.4.1.2. Kontrola dostaw, wewnętrzny i zewnętrzny monitoring jakości, audyt

Do kontroli jakości materiałów gruntowych zaklasyfikowanych jako odpady i stosowanych w konstrukcjach ziemnych, stosuje się w Niemczech wymagania ZTVE-StB 09 [28], a charakterystyki chemiczne przeprowadza się dodatkowo według LAGA M20 [27]. Warunkiem wstępnym kontroli jakości jest założenie, że DM został sklasyfikowany zgodnie z przepisami krajowymi (Rozdział 4). Cała droga, jaką przebywa materiał od pogłębiania do wbudowania, powinna być szczegółowo udokumentowana i zawarta w certyfikacie materiału.

Każda dostawa partii materiałów o podobnych właściwościach, musi mieć dowód dostawy. Partia materiału może mieć maksymalnie 2000 m³; oznacza to, że sprzedający musi dostarczyć dowód dostawy przynajmniej raz na 2000 m³ urobku.

Tab. 5.3. Zalecane badania i pobierania próbek na poletku badawczym oraz odpowiednie badania terenowe i laboratoryjne

Zalecane badania i pobierania próbek na poletku badawczym i powiązane badania terenowe i laboratoryjne
Próbki NNS do oznaczenia zagęszczenia i wilgotności (np. DIN 18125-2 i DIN 18121), obliczenie wskaźnika zagęszczenia
Badanie terenowe ścinania sondą skrzydełkową (ISO 22476-9)
Badanie laboratoryjne ścinania na próbce NNS
Analiza sitowa (na próbkach z i bez części organicznych, np. DIN 18123 i ISO 11277)
Zawartość TOC i węgla wapnia
Granice Atterberga (np. DIN 18122-1 i 18122-2, lub ISO-TS 17892-12)
Badanie Proctora (np. DIN 18127)
Zagęszczenie wbudowanego materiału (wskaźnik zagęszczenia)
Badanie ściśliwości (np. DIN 18136)

Aby zapewnić wymaganą stałą jakość materiału, dokument dostawy powinien zawsze zawierać następujące informacje:

- Rodzaj urobku i kod odpadów
- Dostarczona ilość materiału
- Klasyfikacja
- Charakterystyczne parametry geotechniczne
- Oficjalny certyfikat materiału (jeśli jest dostępny)
- Pochodzenie materiału
- Data dostawy

Pierwsza kontrola jakości materiału na placu budowy wymagana jest bezpośrednio po dostarczeniu materiałów (kontrola dostawy). Generalnie, DM muszą być składowane w pryzmach zanim będą mogły być wbudowane w wał. Tutaj, inspektor nadzoru budowlanego zleca badania (zarówno geotechniczne jak i geochemiczne), aby upewnić się przed wbudowaniem, że dostarczony materiał ma żądaną jakość. Zalecany minimalny program badań przedstawiono w Tab. 5.4.

Inspektor nadzoru może zrezygnować z przeprowadzenia dodatkowych badań jedynie w przypadku, gdy materiały dostarczane są przez certyfikowaną jednostkę, a każda partia dostarczonego materiału posiada certyfikat. Wewnętrzna i zewnętrzna kontrola jakości na placu budowy powinna być uzależniona od dwóch zasadniczo różnych warunków brzegowych. W przypadku certyfikowanego, sezonowanego DM pochodzącego ze składowiska, takiego jak prowadzone przez gminę Rostock (np. certyfikacja zgodna z kryteriami niemieckiego rozporządzenia dla

gruntów BBodSchV [29] Aneks 2), ciągła kontrola jakości na budowie może być ograniczona do analizy przewidzianej w programie zawartym w Tab. 5.4. Jeżeli DM nie posiada jeszcze certyfikatu (np. bezpośrednio czerpany z dna w celu wykorzystania do budowy wałów, pochodzący ze składowisk lub obszaru suszenia, uzdatniany lub nieuzdatniany), to wybór materiału jest zazwyczaj oparty na

Tab. 5.4. Zalecana kontrola jakości i program badań w trakcie wbudowywania certyfikowanych DM

Zalecana kontrola jakości i program badań w trakcie wbudowywania certyfikowanych DM
Ciągła wzrokowa ocena dostarczanych materiałów (ocena organoleptyczna) i kontrola świadectw dostawy dla każdego transportu
Polowe badanie ścinania sondą krzyżakową raz na każde 500 m ³ wbudowanego materiału
Pobieranie próbek do badania wilgotności i zagęszczenia oraz wyznaczenia I _s raz na każde 2000 m ³ wbudowanego DM (inwestor / przedstawiciel inwestora)
Badania laboratoryjne przeprowadzane raz na każde 5000 m ³ wbudowanego DM: - Analiza sitowa (po usunięciu węgla organicznego i węglanów, np. wg ISO 11277) - Badanie Proctora & granice Atterberga - LOI, TOC, zawartość węglanów wapnia - Laboratoryjne badanie sonda krzyżakową
1 próbka mieszanki na każde 4000 m ² powierzchni i 1 m grubości warstwy (co najmniej 1 próbka mieszanki na każde 200 m długości wału i 1 m grubości warstwy) do badań chemicznych (pobieranie próbek: inwestor / przedstawiciel inwestora; badania: laboratorium zewnętrzne wybrane przez inwestora)

Tab. 5.5. Zalecana kontrola jakości i program badań w trakcie wbudowywania pozostałych DM (bez certyfikatu)

Zalecana kontrola jakości i program badań w trakcie wbudowywania pozostałych rodzajów DM
Ciągła wzrokowa ocena dostarczanych materiałów (ocena organoleptyczna) i kontrola świadectw dostawy dla każdego transportu
Polowe badanie ścinania sondą krzyżakową raz na każde 500 m ³ wbudowanego materiału
Pobieranie próbek do badania wilgotności i zagęszczenia oraz wyznaczenia I _s raz na każde 2000 m ³ wbudowanego DM (inwestor / przedstawiciel inwestora)
Badania laboratoryjne przeprowadzane raz na każde 5000 m ³ wbudowanego DM: - Analiza sitowa (po usunięciu węgla organicznego i węglanów, np. wg ISO 11277) - Badanie Proctora & granice Atterberga - LOI, TOC, zawartość węglanów wapnia - Laboratoryjne badanie sonda krzyżakową
1 próbka mieszanki na każde 2000 m ² powierzchni i 1 m grubości warstwy (co najmniej 1 próbka mieszanki na każde 100 m długości wału i 1 m grubości warstwy) do badań chemicznych (pobieranie próbek: inwestor / przedstawiciel inwestora; badania: laboratorium certyfikowane)
1 próbka mieszanki dziennie (pobieranie i badanie próbek: laboratorium certyfikowane)

badaniach małej liczby próbek, czasami pobieranych już pod wodą. Materiały te muszą być kontrolowane bardziej intensywnie na placu budowy (Tab. 5.5).

Zakres pobierania próbek zależy od warunków brzegowych na terenie budowy i musi być ustalony w planie kontroli jakości. Jeżeli w miejscu pozyskiwania DM realizowany jest szczególnie wysoki poziom kontroli jakości, to można ograniczyć intensywność programu badań laboratoryjnych wbudowywanego materiału. Dodatkowo dopuszcza się stosowanie szybkich badań kontrolnych. Próbki wymieszanego materiału należy przygotować z 10 próbek pobranych równomiernie z całego obszaru badań. Obszar badawczy należy udokumentować. Z obszaru, na którym może występować zanieczyszczenie, należy pobierać próbki oddzielnie. Do ciągłego monitoringu zagęszczenia zaleca się wykorzystywanie walca wyposażonego w system automatycznego pomiaru zagęszczenia.

5.4.2. Kontrola jakości kompozytów z CCP

Kontrola jakości w elektrowni skupia się głównie na składzie chemicznym i uziarnieniu. Kontrola jakości parametrów geotechnicznych powinna być wykonana na placu budowy.

5.4.2.1. Kontrola jakości w trakcie wytwarzania CCP

Kontroli jakości powinny podlegać badania, wbudowywanie i sposoby zagospodarowywania odpadów z elektrowni.

W Niemczech, popioły lotne i popioło-żużel z węgla kamiennego są kontrolowane zgodnie z systemem monitorowania jakości [30], obejmującym kontrolę wewnętrzną i zewnętrzną. Przed rozpoczęciem monitoringu jakości, należy przedstawić świadectwo kwalifikacji zawierające wstępną kontrolę i ocenę firmy (inspekcja wstępna).

Wewnętrzna kontrola jakości obejmuje:

- W substancji wyjściowej: wygląd, kolor, zapach (realizowanych w sposób ciągły);
- W odciekach: kolor, mętność, zapach, pH, przewodność elektryczną (raz w tygodniu).

Klasyfikacja dla pH i przewodności zamieszczona jest w LAGA M20 (tablice II.4-1 i II.4-2 [27]).

Co trzy miesiące należy przeprowadzić zewnętrzną kontrolę jakości popioło-żużli i popiołów lotnych z węgla kamiennego. Zakres badań i klasyfikacja podane są w [27].

W Polsce, materiały budowlane zawierające CCP, np. spoiwa hydrauliczne, są regularnie kontrolowane w trakcie produkcji na terenie wytwórni. Dodatkowo przeprowadzane są stałe i okresowe kontrole zewnętrzne gotowych produktów (przynajmniej raz na trzy lata).

5.4.2.2. Kontrola jakości na placu budowy

CCP i grunty stosowane do uformowania materiału kompozytowego mogą być dostarczane na plac budowy oddzielnie lub jako mieszanka przygotowana w instalacjach. W każdym przypadku zalecana jest regularna wzrokowa kontrola jednorodności CCP, gruntu oraz kompozytu.

W trakcie wbudowywania kompozytu CCP w korpus wału lub w warstwę okrywową, należy regularnie kontrolować jakość zagęszczenia za pomocą podstawowych badań płytą VSS lub płytą dynamiczną wykonywanych po ułożeniu każdej warstwy. Zaleca się także kontrolę zagęszczenia gotowego wału za pomocą sondowania dynamicznego. Możliwe jest także wykorzystanie systemu ciągłej kontroli zagęszczenia zamontowanego na urządzeniach zagęszczających. Zagęszczanie powinno spełniać wymagania podane w [1], [4], [9] (Niemcy) i [23], [31] do [37] (Polska). Wybraną mieszankę popiołu-żużli i piasków należy wbudowywać przy wilgotności materiału zbliżonej do wilgotności optymalnej.

Gdy CCP wykorzystywane są w przesłonach szczelnych, należy kontrolować parametry wytrzymałościowe oraz filtracyjne wybrana mieszanki optymalnej. Próbkę należy pobierać bezpośrednio z wytwórni oraz z wykonywanej przesłony. Powinny być spełnione standardowe zalecenia dla ścian szczelinowych [10].

Kontrola jakości na placu budowy jest podobna do kontroli DM, obejmuje kontrolę dostaw, wewnętrzną i zewnętrzną kontrolę jakości oraz audyt. Można stosować odpowiednio Tab. 5.4 i Tab. 5.5 przy uwzględnieniu odpowiednich parametrów różnych CCP (Rozdział 4).

5.4.3. Kontrola jakości geosyntetyków

Istnieją różne wytyczne i normy, które należy stosować do kontroli jakości w przypadku instalowania w wałach różnych geosyntetyków. Ogólne zalecenia dotyczące kontroli jakości geosyntetyków w geotechnice i hydrotechnice przedstawiono w [38]. Na system kontroli jakości składa się akredytacja producenta dysponującego certyfikowanym systemem zarządzania jakością (np. zgodnym z ISO EN 9001 [39]), wstępne badanie wyrobu lub odpowiednie badania potwierdzające przydatność produktu do wybranego sposobu użytkowania, wewnętrzne i zewnętrzne kontrole jakości monitorowania i kontroli na miejscu budowy. Do kontroli jakości geosyntetyków w miejscu wbudowania stosuje się CEN/TR 15019 [40]. Istnieje wiele innych doku-

mentów dla różnych geosyntetyków i różnych poziomów kontroli jakości i certyfikacji produktów, z których niektóre są specyficzne dla poszczególnych krajów (np. [41]).

5.4.3.1. Geotekstyli

Kontrolę jakości geotekstyliów stosowanych w geotechnice i hydrotechnice przedstawiono w dokumentach: [20] do [22], [42], [43] (Niemcy), [44] do [46] (Polska).

5.4.3.2. Geokompozyty drenażowe

Do celów kontroli jakości geokompozytów drenażowych stosuje się te same dokumenty co dla geotekstyliów. Kompleksowe informacje zawarto w [25], [47], [48].

5.4.3.3. Geosyntetyczne wyroby przeciwoerozyjne

Na rynku dostępnych jest wiele geosyntetycznych wyrobów przeciwoerozyjnych; jednakże do tej pory w Europie nie opracowano normy ani wytycznych dotyczących wyrobów geosyntetycznych stosowanych w zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych. W związku z powyższym, zaleca się korzystać z wytycznych kontroli jakości i przepisów stosowanych dla geotekstyliów.

5.4.3.4. Uszczelnienia geosyntetyczno-iłowe

Instalacja i kontrola jakości uszczelnień geosyntetyczno-iłowych odbywa się zazwyczaj zgodnie z EAG-GDT [24], który jest stosowany również poza granicami Niemiec.

5.5. Technologia budowy

W niniejszym podrozdziale przedstawiono zalecenia dotyczące technologii budowy i zagęszczania wałów przeciwpowodziowych wykonywanych z drobnoziarnistego DM bogatego w materię organiczną oraz materiałów kompozytowych z udziałem CCP. Wbudowywanie DM o dużej wilgotności, przekraczającej wilgotność optymalną, jest odmienne niż typowych materiałów gruntowych. Zastosowanie kompozytu CCP-grunt także wymaga specjalnych technologii, szczególnie w zakresie przygotowywania mieszaniny. Za istotne uznano zamieszczenie w niniejszych wytycznych ważnych kwestii dotyczących instalacji stosowanych w projekcie geosyntetyków.

Tab. 5.6. Kontrola jakości na placu budowy i w trakcie wytwarzania wyrobu

Kontrola jakości	Urobek czerpalny	Kompozyty z CCP	Geosyntetyki
Badanie przydatności	Badanie polowe wybranego DM i technologii wbudowywania / zagęszczania, minimum na próbce DM o najwyższej dopuszczalnej wilgotności (zalecenia: 3 różne wilgotności)	Badania polowe kompozytów CCP i wybranej metody wbudowywania/ zagęszczania wykonywane co najmniej dla CCP o najwyższej możliwej wilgotności podczas wbudowywania (zaleca się: 3 różne wilgotności, dwa składy mieszanki)	Badania przydatności w trakcie doboru produktu lub w przypadku nowych aplikacji przed instalacją
Kontrola dostaw	Badania polowe i laboratoryjne wykonywane przez wykonawcę zgodnie z niniejszymi wytycznymi. Nie wymagane dla certyfikowanego DM	Badania polowe i laboratoryjne wykonywane przez wykonawcę zgodnie z niniejszymi wytycznymi. Nie wymagane dla certyfikowanego CCPs	Analizy wg np. CEN TR 15019 i ZTVE-StB 09 [28]
Wewnętrzna kontrola jakości	Badania polowe i laboratoryjne wykonywane przez wykonawcę zgodnie z niniejszymi wytycznymi	Badania polowe i laboratoryjne wykonywane przez wykonawcę zgodnie z niniejszymi wytycznymi	Zgodnie z normalizacją dot. geosyntetyków, ISO EN 9001, dokumenty wyszczególnione powyżej CEN TR 15019
Zewnętrzna kontrola jakości			
Badania kontrolne na placu budowy			

5.5.1. Technologia wbudowywania DM

Technologia wbudowywania piasku czerpalnego została szczegółowo omówiona w [1]. Na podstawie badań oraz doświadczeń z realizacji projektu DredgDikes oraz projektów z Bremy i Hamburga, można przedstawić zalecenia dotyczące wbudowywania DM z dużą zawartością drobnych frakcji oraz TOC do 9 % (Tab. 5.7). Zalecenia dotyczą przede wszystkim wałów morskich oraz jednorodnych wałów rzecznych, a w mniejszym stopniu elementów uszczelniających w wałach rzecznych. Szczegółowy opis testów instalacji i analizy danych zawarty jest w załączniku Aneks II.

Materiał jest zwykle dostarczany na wał wywrotkami lub ciągnikami z przyczepami samowładowymi, a następnie rozprowadzany i wyrównywany przez spychacze. Grubość warstwy zagęszczanego drobnoziarnistego DM nie powinna przekraczać 30 cm.

W zależności od jakości materiału, potwierdzonej w badaniach przydatności, wykonanie okrywy wału morskiego jedynie za pomocą spychacza może zapewnić wystarczające zagęszczenie tej warstwy. Większa liczba przejazdów oraz zmniejszenie grubości układanej warstwy do 10-20 cm zapewni uzyskanie odpowiedniej jednorodności warstwy na jej grubości i na powierzchni.

Zazwyczaj stosuje się dodatkowe zagęszczanie walcem okółkowym (Rys. 5.5), nawet jeśli uzyskany wskaźnik zagęszczenia nie różni się znacznie od uzyskiwanego przez zwykłe walce. Kołki walca ugniatając grunt powodują zwiększenie jego wytrzymałości oraz większą jednorodność. Dodatkowo poprawia się ząbienie pomiędzy kolejnymi

30 cm warstwami gruntu, ze względu na zagłębienia pozostawiane na powierzchni warstwy.

Nie zaleca się wbudowywania materiału jedynie za pomocą łyżki koparki, ponieważ uzyskiwane zagęszczenie jest znacząco mniejsze niż z wykorzystaniem walców, co potwierdzają badania prowadzone w ramach projektu DredgDikes, dla których nie uzyskano zalecanych

Tab. 5.7. Zalecana technologia budowy wałów z DM

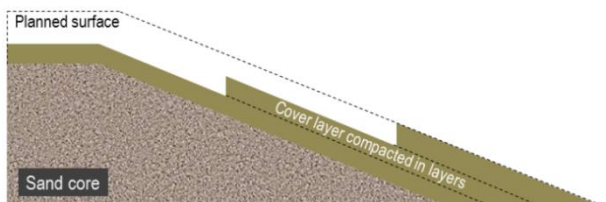
	Zalecenia
Jednorodność materiału (§ 5.2.1)	Jednorodność jest istotna dla materiału warstwy okrywowej wału. Technologia: stosuje się maszynę do formowania pryzm (zazwyczaj w zakładzie obróbki) lub przesiewanie na sitach łyżki koparki (wykonywane na placu budowy).
Technologia zagęszczania warstwy okrywowej wałów morskich	Wykorzystanie spychacza (maksymalna grubość układanej warstwy 30 cm) Zagęszczanie walcem okółkowym przy co najmniej 4 przejazdach Wbudowywanie i zagęszczanie warstwy okrywowej na całej wysokości skarpy (zalecane). Zalecenia dla stromych skarp opisano w tekście poniżej. Wszystkie technologie zagęszczania muszą być wstępnie sprawdzone na poletku próbnym jak dla DM (5.4.1.1). Kontrolne wartości zagęszczenia: 5.1.2
Technologia zagęszczania sekcji jednorodnych	Wykorzystanie spychacza (maksymalna grubość układanej warstwy 30 cm) Zagęszczanie walcem okółkowym przy co najmniej 4 przejazdach (redukuje poziome uprzywilejowane drogi filtracji) Wbudowywanie i zagęszczanie w warstwach poziomych (zalecane). Wszystkie technologie zagęszczania muszą być wstępnie sprawdzone na poletku próbnym jak dla DM (5.4.1.1) Kontrolne wartości zagęszczenia: 5.1.2



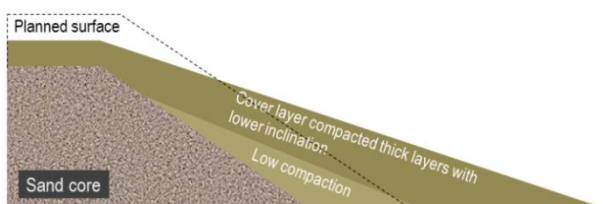
Rys. 5.5. Zagęszczanie DM walcem okołowanym

Tab. 5.8. Zalety stosowania walca okołowanego do zagęszczania DM

Zalety stosowania walca okołowanego do zagęszczania DM
Ugniatanie i formowanie tworzy mieszanek o większej wytrzymałości i bardziej jednorodnym zagęszczeniu
Kółki walca kruszą większe aglomeraty kruszywa zwiększając jednorodność i zagęszczenie
Powgniatana powierzchnia warstw zapewnia dobrą szczepność między warstwami
Zwiększenie stateczności dzięki zazębieniu się kolejnych warstw w miejscach zagłębień wytworzonych przez walec okołowany
Ograniczenie uprzywilejowanych poziomych dróg filtracji na styku kolejnych warstw gruntu dzięki zastosowaniu walca okołowanego



Rys. 5.6. Typowe wykonywanie warstwy okrywowej na rdzeniu piaszczystym



Rys. 5.7. Możliwy problem w trakcie układania warstw przeznaczonych do reprofiliacji

parametrów jakościowych materiałów. Zagęszczenie jest niejednorodne, nawet gdy teoretycznie uzyskuje się wymaganą wytrzymałość (określoną w badaniach polowych, Aneks II). Na stromych zboczach, gdzie czasami stosowana jest ta technologia, należy zastosować inne dopracowane metody lub przeprojektować nachylenie skarp.

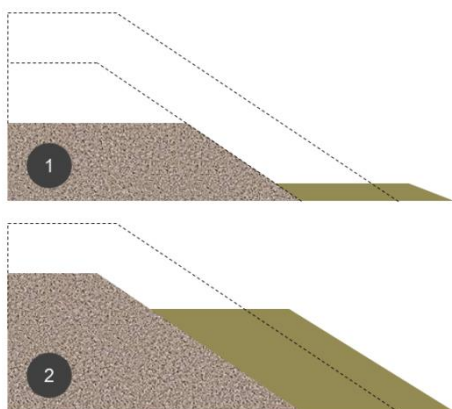
Zalecenia dotyczące kontroli jakości wbudowania drobnoziarnistego DM dotyczące wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu oraz wskaźnika zagęszczenia podano w Paragrafie 5.4.1. Pożądane jest wbudowywanie drobnoziarnistego DM o wilgotności zbliżonej do wilgotności optymalnej, jakkolwiek nieco większa wilgotność zmniejsza ryzyko powstania spękań związanych z wysychaniem materiału (§ 5.1.1.1). Drobnoziarniste materiały organiczne o wilgotności mniejszej niż wilgotność optymalna trudno się wbudowują (silne pylenie).

5.5.1.1. Wały z rdzeniem piaszczystym i warstwą okrywową

Standardowe spychacze i zagęszczarki (walce) mogą być wykorzystywane na skarpach o maksymalnym nachyleniu 1V:3H, które jest typowym pochyleniem skarp wałów morskich. Układanie i zagęszczanie warstwy okrywowej wykonywane jest poprzez jej wznoszenie równoległe do zbocza pod żądanym kątem, co jest metodą najczęściej stosowaną i najbardziej efektywną (Rys. 5.6). Dla skarp o nachyleniu 1V:2,5H układanie warstw równoległe do zbocza jest utrudnione, a przy nachyleniu 1V:2H niemożliwe z wykorzystaniem typowych urządzeń. Dlatego zalecane są alternatywne metody wbudowywania materiałów:

- Wykonanie warstwy okrywowej o nachyleniu 1V:3H, a następnie wyprofilowanie skarp w celu usunięcia zbędnej części materiału (w zależności od wysokości wału skutkuje to koniecznością przemieszczenia znacznych mas ziemnych). Szczególną uwagę należy zwrócić na maksymalną grubość układanych warstw (30 cm), ponieważ uformowanie zbyt grubej warstwy u podnóża wału, spowoduje zagęszczenie niezgodne z zaleceniami (Rys. 5.7).
- Wykonywanie okrywy poziomymi warstwami aż do pełnej wysokości wału (Rys. 5.8). Ponieważ ciężki sprzęt (spychacze, walce) może poruszać się bezpiecznie na platformie o szerokości > 3 m, skutkować to będzie powstaniem warstwy okrywającej o grubości około 1,5 m przy nachyleniu skarp 1V:2H, co zapewnia bezpieczną grubość ($d \geq 1$ m; Rozdział 4). Jeśli wymagana jest mniejsza grubość, konieczne jest usunięcie nadmiaru materiału w trakcie profilowania.

Efektywność metody będzie zależna od wysokości wału, wymaganej grubości warstwy okrywowej, minimalnej szerokości platformy roboczej w trakcie układania warstw



Rys. 5.8. Poziome układanie i zagęszczanie warstwy okrywowej przy stromych zboczach rdzenia piaszczystego.

poziomych (zazwyczaj > 3 m) oraz pochylenia skarp. Dla konstrukcji o nachyleniu 1V:3H masy gruntu podlegające przemieszczaniu mogą być wyznaczone z równania 5.1.

$$y (A1 \geq A2) \geq \frac{2hc}{\sin(\arctan \frac{1}{m})(3-m)} \quad (5.1)$$

gdzie y = wysokość korony
h = grubość warstwy okrywowej
c = minimalna szerokość przy poziomym układaniu / zagęszczaniu warstw (zwykle c = 3 m)
m = pochylenie skarpy (1V:mH)
A1 = obszar (odp. jednostka objętości / metr) materiału do usunięcia po wykonaniu skarpy 1V:3H
A2 = obszar (odp. jednostka objętości / metr) materiału do usunięcia po wykonaniu warstw poziomych

Do zagęszczenia 30 cm warstw poziomych, konieczne jest zastosowanie walca, gdyż gąsienice spychacza nie pokrywają całej szerokości warstwy. Dodatkowo, do wyeliminowania uprzywilejowanych powierzchni filtracji między kolejnymi warstwami poziomymi konieczne jest zastosowanie walca okółkowanego.

5.5.1.2. Wały jednorodne

Wał jednorodny z DM wykonuje się warstwami o miąższości 30 cm zagęszczanymi walcem okółkowanym. Jeżeli do zagęszczania wykorzystuje się jedynie spychacz konieczne jest zmniejszenie grubości układanych warstw oraz zwiększenie liczby przejazdów po każdej warstwie, w celu zapewnienia takich samych efektów jak przy stosowaniu walców okółkowanych.

Często wał buduje się etapowo w taki sposób, że materiał pozostający po wyrównaniu dolnych części skarpy wykorzystuje się do budowy wyższych partii wału w celu ograniczenia objętości przemieszczanych mas ziemnych. Zasadniczą kwestią jest w takim przypadku zapewnienie odpowiedniego zagęszczenia aż do korony wału.

Tab. 5.9. Zalecenia dot. technologii budowy wałów z kompozytów z CCP

	Zalecenia
Homogenizacja materiału	Jednorodność jest istotna dla materiału tworzącego rdzeń wału. Homogenizacja w mieszalnikach in-situ.
Technologia zagęszczania rdzenia wału	Spychaczem (maksymalna grubość układanej warstwy 30 cm) Walcem okółkowanym przy co najmniej 4 przejazdach (ugniatanie redukuje poziome uprzywilejowane drogi filtracji) Wbudowywanie i zagęszczanie w warstwach poziomych (zalecane). Wszystkie technologie zagęszczania muszą być wstępnie sprawdzone na poletku próbnym jak dla DM (5.4.1.1) Kontrolne wartości zagęszczenia: 5.1.2
Technologia zagęszczania warstw okrywowych wału	Spychaczem (maksymalna grubość układanej warstwy 30 cm), walcem okółkowanym przy co najmniej 4 przejazdach Układanie warstw na wierzchu rdzenia wału (preferowane). Dla stromych skarp zalecenia przedstawiono w tekście powyżej (porównaj DM). Wszystkie technologie zagęszczania muszą być wstępnie sprawdzone na poletku próbnym jak dla DM (5.4.1.1) Kontrolne wartości zagęszczenia: 5.1.2

5.5.2. Technologie wbudowywania kompozytów z CCP

W typowych konstrukcjach wałów oraz przy ich modernizacji (podwyższenie), kompozyty z CCP i piasku (czerpalnego) mogą być traktowane jak zwykłe materiały budowlane. Kompozyty wytwarzane są zazwyczaj w węzłach mieszania zlokalizowanych na placu budowy, w oparciu o recepturę określoną w badaniach laboratoryjnych. Zalecenia dla kompozytów z CCP jako rdzenia wału lub warstwy okrywowej są takie same jak dla DM przedstawione w 5.5.1. Odpowiednie zalecenia podsumowano w Tab. 5.9.

Dodatkowo kompozyty z CCP mogą być wykorzystywane do przygotowania materiałów do wykonania przesłon szczelnych w rdzeniu wału lub u jego podstawy. Do wykonania przesłon stosuje się technologie: wgłębnego mieszania, mieszania w wykopie, WIPS lub iniekcji strumieniowej. Mieszaniny zawierające cement, bentonit lub popiół lotny są przygotowywane w węzłach mieszania zlokalizowanych w sąsiedztwie placu budowy (§ 5.2.2).

5.5.3. Techniki wbudowywania geosyntetyków

Generalnie, instalacja geosyntetyków odbywa się zgodnie z obowiązującymi normami lub instrukcjami producenta.

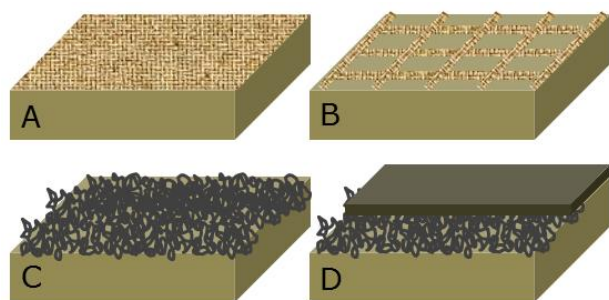
Dodatkowe zalecenia w oparciu o doświadczenia z realizacji projektu DredgDikes przedstawiono poniżej.

5.5.3.1. Wyroby przeciwoerozyjne do zabezpieczania powierzchni skarp i wzmocnienie korzeniami

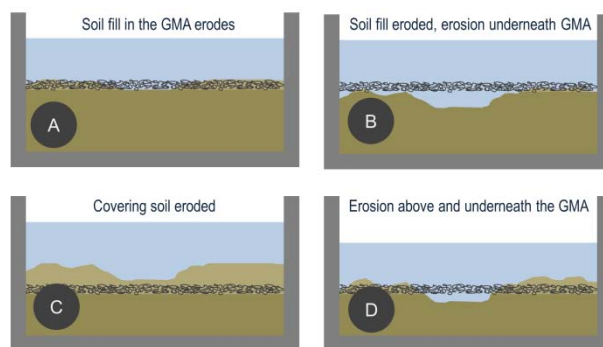
Istnieje wiele wyrób geosyntetycznych do zabezpieczeń przeciwoerozyjnych, wykorzystujących różne mechanizmy działania; wybrane przedstawiono na Rys. 5.10. Różnią się one: stopniem pokrycia, rodzajem materiału (naturalny lub syntetyczny) oraz możliwością wypełnienia materiałem sypkim. W projekcie DredgDikes zastosowano geomatę (GMA) i wyrób łączący działanie geomaty i geosiatki. Tak długo jak skarpa jest nieporośnięta (przed obsiewem lub w fazie kiełkowania), wystąpić może jej erozja wskutek działania wody i wiatru. Nie stanowi to problemu, gdy dotyczy gruntu powyżej i wewnątrz wyrobu (Rys. 5.11 A,C). Jeśli podłoże uległo erozji, system zawodzi (Rys. 5.11 B,D). Geosyntetyczne wyroby przeciwoerozyjne mogą na różne sposoby wzmocniać porośnięty grunt. Gdy wyrób jest ułożony bezpośrednio na górnej powierzchni gruntu (Rys. 5.12 B), roślinność sama się stabilizuje. Obsiew może być



Rys. 5.9. Wykonywanie przestony (Moebius Polska)



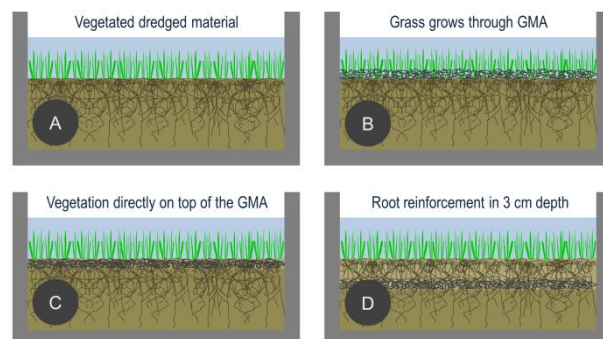
Rys. 5.10. Podstawowe rodzaje wyrobów do powierzchniowych zabezpieczeń przeciwoerozyjnych. A. mata przeciwoerozyjna GEC-M, do 100 % pokrycia; B. wyrób przeciwoerozyjny typu geosiatka / georuszt, duże odstępy; C. Geomata (GMA) stosowana jako powierzchniowe zabezpieczenie przeciwoerozyjne na zewnętrznej powierzchni; D. GMA wypełniona lub pokryta sypkim gruntem (wzmocnienie korzeniami) w celu zwiększenia tarcia między mocno zagęszczonym wałem a mniej zagęszczonym gruntem warstwy wierzchniej.



Rys. 5.11. Zjawiska erozji z geomatami. A. grunt wewnątrz GMA eroduje, ale podłoże jest chronione; B. grunt zasypkowy uległ erozji lub nie było wypełnienia gruntowego (Rys. 5.10 C), grunt pod GMA uległ erozji (zniszczenie); C. grunt przekrywający eroduje, ale GMA chroni podłoże; D. zarówno grunt przekrywający jak i podłoże uległy erozji (zniszczenie).

przeprowadzony przed lub po ułożeniu wyrobu. Na powierzchni wyrobu nie ma możliwości wykonywania bruzd. Dlatego należy nasiona rozrzucać ręcznie lub wykorzystać technologię hydrosiewu. Ograniczenia tej technologii w przypadku nasypów DM podano w paragrafie 5.6.1.3. Gdy nasiona są umieszczane poniżej wyrobu, bardzo ważny jest rozmiar przestrzeni wolnych. Typowe geomaty są często podnoszone przez rośliny dwuliścienne, na skutek czego tracone jest połączenie wyrobu z podłożem i może wystąpić erozja na spodzie lub jeżeli wyrób jest przytwierdzony do podłoża bardzo szczelnie - mogą wyrosnąć tylko niektóre gatunki traw.

Gdy wyrób jest wypełniony gruntem, ale nie ma warstwy gruntowej na górze (Rys. 5.12 C), korzenie są utrzymywane w miejscu i system korzeniowy przylega do wyrobu od początku. Jest to preferowana metoda oparta na doświadczeniu z projektu DredgDikes. W tym przypadku obsiew może być wykonywany nawet przed ułożeniem



Rys. 5.12. Kombinacje roślinności i geomaty. A. porośnięta DM bez GMA; B. trawa wzrastająca przez GMA umieszczoną bezpośrednio na górnej powierzchni (Rys. 5.10 C); C. roślinność bezpośrednio na powierzchni GMA wypełnionej gruntem; D. wzmocnienie korzeniami na głębokości ok. 3 cm (Rys. 5.10 D)

Tab. 5.10. Zalecenia odnośnie wbudowywania wyrobów do zabezpieczeń przeciwerozrywnych

Zalecenia dotyczące instalacji wyrobów do powierzchniowych zabezpieczeń przeciwerozrywnych i odpowiednich technologii obsiewu
Umocować wyrób na jednej stronie, a następnie naciągnąć go dokładnie przed zamocowaniem na skarpie; chodzenie po wyrobie nie będzie powodować przesunięć i zagniecień. Gwarantuje to dobry kontakt z podłożem.
Umocować wyrób do podłoża zgodnie z instrukcją instalacji od producenta. Zamocowanie wyrobu do podłoża za pomocą stalowych prętów gwarantuje dobre dopasowanie wyrobu do podłoża. w przeciwnym przypadku poniżej wyrobu może wystąpić erozja. Dlatego, zaleca się przyjmowanie minimum 1-2 zamocowań na m ² w zależności od podatności materiału.
Przed obsiewem przykryć wyrób wierzchnią warstwą gruntu o minimalnej miąższości 1 cm. Oznacza to, że wyrób jest raczej wypełniony gruntem niż przykryty. Bardzo gładkie wyroby nie powinny być przekrywane gruntem, zabezpiecza to przed utratą gruntu na powierzchni wyrobu przeciwerozrywnej na skutek poślizgu po wyrobie w okresie przed ukorzeniem (załącznik II). Zaleca się wypełnienie gruntem sypkim tylko wolnych przestrzeni w GMA.

GMA i wypełnieniem pustych przestrzeni warstwą sypkiego gruntu o maksymalnej miąższości 1 cm. Dzięki tej metodzie przygotowanie podłoża do siewu, opisane w § 5.6.1.1 można pominąć, a mieszanina humusu i nasion może być rozsiana np. za pomocą siewnika hydraulicznego.

Jeżeli wyrób zostanie przykryty zbyt grubą warstwą gruntu, gęsta sieć korzeniowa nie zdoła przylgnąć do zbyt głęboko umieszczonej warstwy wzmacniającej, szczególnie w początkowej fazie wzrostu (Rys. 5.12 D). Dlatego materiał nie powinien być przykryty warstwą gruntu o grubości większej niż 3 cm (zalecana jest mniejsza grubość). W takim przypadku siew należy przeprowadzić po ułożeniu produktu i napełnieniu go gruntem, chyba, że stosuje się techniki opisane powyżej.

W Europie nie ma norm i wytycznych dotyczących geosyntetyków stosowanych do powierzchniowej ochrony przeciwerozrywnej. Z tego powodu stosuje się zalecenia producentów. Zalecenia dotyczące instalacji oparte na doświadczeniach z projektu DredgDikes przedstawiono w Tab. 5.10.

5.5.3.2. Geokompozyty drenażowe

Geokompozyty drenażowe mogą być stosowane zamiast innych elementów drenażowych. Są one łatwe w instalacji, gdyż wystarczy je rozwinąć wzdłuż osi wału. Instrukcje montażu są dostarczane przez producentów. Dodatkowe informacje zawarto w [25], [47].

Drenaż w wałach przeciwpowodziowych zlokalizowany jest zazwyczaj przy podstawie wału po stronie odpowietrznej w celu odprowadzenia filtrującej wody i ochrony skarpy przed zawilgoceniem i wyparciem. Podstawowa metoda polega na częściowej wymianie warstwy okrywowej, a nawet korpusu, poprzez wykonanie żwirowej lub kamiennej przyzmy drenującej. Alternatywnie można zastosować rury drenażowe, rozmieszczone w ustalonych odstępach po stronie odpowietrznej wału zależnie od wyliczonego wydatku filtracyjnego, [1].

Geokompozyty drenażowe mogą być stosowane w celu wsparcia lub zastąpienia tradycyjnych sposobów drenażu. Ważną zaletą tych wyrobów jest długoterminowe zachowanie zdolności filtracyjnych, jak pokazano w [25].

Geokompozyt drenażowy może zwiększyć wydajność filtracyjną rur drenarskich wprowadzonych w rdzeń wału poprzez umieszczenie go równolegle do rur i połączenie z nimi. Filtr geotekstylny kompozytu musi być owinięty wokół rury, aby umożliwić trwałe połączenie. W ten sposób krzywa depresji zostanie dodatkowo obniżona wewnątrz rdzenia, a rury drenarskie pozostaną u podnóża wału po stronie odpowietrznej.

W celu ułatwienia dostępności do systemu drenażowego dla potrzeb jego konserwacji, rury drenażowe mogą być również umieszczone wewnątrz warstwy okrywowej, gdy geokompozyt drenażowy zagłębiony jest w rdzeniu wału.

Geokompozyt drenażowy można także umieścić w taki sposób, aby zbierał wodę z korpusu wału i odprowadzał bezpośrednio przy podstawie wału. W takim przypadku konieczne jest rozmieszczenie drenów wzdłuż całego wału, by chronić jego podstawę przed nasiąknięciem wodą, a w konsekwencji utratą stateczności w warunkach powodziowych lub nawet w normalnych okresach eksploatacji. Geokompozyt drenażowy należy montować na wysokości co najmniej 20-30 cm powyżej terenu, w celu ochrony przed przypadkowym zasypaniem w trakcie budowy lub w późniejszym okresie, co mogłoby spowodować zablokowanie odpływu wody z korpusu wału. Prawidłowa lokalizacja powinna być ustalona w projekcie. W wałach jednorodnych system ten może współpracować z drenażem francuskim, który zwykle wykonywany jest po osiągnięciu odpowiedniej rzędnej wału. Po przygotowaniu koryta i umieszczeniu w nim geosyntetyku, wypełnia się je żwirem. Następnie wznosi się wyższe partie wału. Więcej informacji oraz rysunków przedstawiających możliwe warianty

zastosowania geokompozytu drenażowego przedstawiono w Rozdziale 4.

5.5.3.3. Zbrojenie geosyntetyczne

Istnieją dwa standardowe zastosowania zbrojenia geosyntetycznego w konstrukcji wału: zbrojenie korpusu wału, często wykonywane metodą owijania ("wrap-around") [49], oraz zbrojenie podłoża realizowane przez ułożenie płasko warstwy zbrojenia geosyntetycznego pod wałem w celu wyrównania osiadań i stworzenia platformy roboczej na okres budowy (np. zbrojenie konstrukcji drogi). W wielu krajach europejskich zamiast stosowania krajowych odpowiedników dokumentów CEN, wykorzystuje się niemieckie wytyczne EBGeo [45]. Zbrojenie wałów może być konstruowane zgodnie z tymi wytycznymi.

W projekcie DredgDikes, w oparciu o doświadczenia zdobyte w badaniach wzmocnień geosiatkami uszczelnień mineralnych [50], zastosowane również zbrojenie w warstwie okrywowej wykonanej z DM, w celu ograniczenia zasięgu pojedynczych spękań skurczowych do głębokości, na której umieszczono geosyntetyki.

Główne zalecenie odnośnie stosowania wyrobów geosyntetycznych jako zbrojenia podstawy wałów, dotyczy bardzo starannego przygotowania powierzchni gruntu, by umożliwić wstępny naciąg wyrobu (np. stosując trawers przymocowany do koparki lub ładowarki) i zagwarantować dobry kontakt między wyrobem a powierzchnią gruntu.

5.5.3.4. Uszczelnienie geosyntetyczno-iłowe

Instalacja uszczelnień geosyntetyczno-iłowych odbywa się zgodnie z ogólnymi wytycznymi EAG-GDT [24] jak również instrukcjami producenta.

5.6. Pokrywa roślinna

Roślinność (darń) jest najczęstszym sposobem ochrony wałów przed erozją. Dobrze ukorzeniona warstwa traw jest istotna dla stateczności większości wałów, nawet jeśli jakaś część wału umocniona jest kamieniem lub asfaltem. Darń zapewnia ochronę przed erozją i zmniejsza infiltrację wód opadowych. W celu utrzymania gęstej pokrywy darni, trawę należy wysiać bezpośrednio po zakończeniu budowy wału i pielęgnować w całym okresie eksploatacji. W ramach projektu DredgDikes przeprowadzono różnorodne badania dotyczące rozwoju roślinności na DM i mieszance CCP. (Aneks II). Przedstawione zalecenia oparto na wynikach uzyskanych w projekcie.

5.6.1. Pokrywa roślinna na urobku czerpalnym

W zaleceniach niemieckich EAK 2002 [1], które stosuje się także w Danii, zalecana jest następująca metoda obsiewu wałów:

- Zbronować glebę na głębokość 5 cm;
- Wysiać ziarna siewnikiem i docisnąć walcem;
- Zaleca się wykonać wstępne nawożenie,
- Wysiew prowadzić w odpowiednich warunkach pogodowych (niezbyt mokro / sucho, bezwietrznie, temperatura gruntu > 8°C).

Zalecenia dla DM, wynikające z projektu DredgDikes oraz długookresowych doświadczeń dotyczących porośniętych roślinnością warstw DM [51], różnią się częściowo od zaleceń podanych powyżej. Zestawienie najważniejszych zaleceń przedstawiono w Tab. 5.11

Jeżeli warstwa przekrywająca wału wykonana jest z drobnoziarnistego DM bogatego w części organiczne, nie ma potrzeby stosowania dodatkowej warstwy żyznej gleby. DM posiada zazwyczaj dobrą żyzność i wysoką wodochłonność, które ułatwiają szybkie i silne zazielenienie (informacje o polowej pojemności wodnej drobnoziarnistego DM zamieszczono w § 4.7.4.1). Dodatkowe przekrycie urodzajną glebą może być jednak konieczne w przypadku DM o bardzo wysokiej zawartości gliny.

5.6.1.1. Przygotowanie podłoża pod siew

Przed wysianiem roślinności konieczne jest przygotowanie podłoża, np. przez dwukrotne spulchnienie do głębokości 5 cm. Należy usunąć chwasty, kamienie oraz inne zanieczyszczenia. Powierzchnia gleby musi pozostawać wolna od chwastów do momentu zakończenia obsiewu [1]. Należy unikać wysiewania bezpośrednio na zagęszczoną warstwę okrywową lub powierzchnię wału. Wierzchnia, kilkumilimetrowa warstwa drobnoziarnistego DM szybko wysycha - zwłaszcza na wałach narażonych na działanie wiatru - uniemożliwiając kiełkowanie nasion. Ponadto wiatr łatwo przemieszcza nasiona, które nie zostały zagłębione w gruncie. Jednak poniżej tej cienkiej wierzchniej skorupy, DM posiada odpowiednią wilgotność umożliwiającą kiełkowanie nasion. Z tego powodu należy zruszyć powierzchnię na głębokość minimum 2 cm, aby zapewnić odpowiednią wilgotność dla rozwoju roślinności.

Wysiew na zagęszczoną powierzchnię bez przygotowania wierzchniej warstwy może być wykonany w połączeniu z hydrosiewem jedynie w optymalnych warunkach pogodowych (wilgotno i niezbyt zimno przez

Tab. 5.11. Zalecenia dotyczące zazieleniania DM

	Zalecenia
Przygotowanie podłoża	Usunąć chwasty, kamienie oraz inne zanieczyszczenia. Dwukrotnie spulchnić powierzchnię na gł. 5 cm. Alternatywnie: Zruszyć warstwę na gł. 2 cm. Hydrosiew bezpośrednio na zagęszczoną powierzchnię jedynie przy optymalnych warunkach pogodowych.
Mieszanina nasion	Stosować nasiona charakterystyczne dla danego regionu. Stosować nasiona szybko kiełkujące i dające grubą, gęstą darń. Dla wałów nadmorskich: stosować odmiany odporne na sól (zarówno zawartą w wodzie morskiej jak i w DM). Wymagana dawka ziarna 20 – 30 g/m ² .
Technika siewu	Zagrabieć ziarno rozsiane w podłożu (ręcznie lub mechanicznie). Hydrosiew zalecany jest tylko przy optymalnych warunkach pogodowych (patrz tekst). W przypadku drobnoziarnistego DM bogatego w składniki mineralne nie stosować nawozów. Zachować szorstkość powierzchni (nie stosować wałowania).
Okres wysiewu	Zalecane okresy wysiewu: typowo od września do października, wyjątkowo od marca do początku kwietnia.
Pielęgnacja	Wczesne koszenie w celu ograniczenia/wyeliminowania gatunków naturalnie występujących w DM (chwasty). Dodatkowe koszenie, gdy wysokość traw osiągnie 10-15 cm. Gęsta warstwa traw (ze względu na urodzajność DM) może wymagać intensywniejszej pielęgnacji, ale skutkować będzie zwiększoną statecznością powierzchni wału. Kwestie pielęgnacji roślinności powinny być zapisane w umowie z wykonawcą wału.

kilka tygodni), ponieważ technologia ta może być nieskuteczna w trakcie okresów suchych, powodujących wysychanie powierzchni wału (co zaobserwowano w projekcie DredgDikes). Ponadto można zastosować hydrohumusowanie zapewniające odpowiednią wilgotność powierzchni pod obsiew, jednak ze względu na dużą żyzność DM technologie te mogą się okazać nieefektywne kosztowo w stosunku do metod tradycyjnych.

Bronowanie warstwy gruntu pod wysiew zapewnia następujące korzyści: rozdrobniona powierzchnia nie ulega spękaniu, a niżej występujący zagęszczony DM jest chroniony przed bezpośrednim nasłonecznieniem, a przez to częściowo przed odparowywaniem wilgoci. Bronowanie chroni także przed powstawaniem początkowych spękań w warstwie okrywowej (nie zapobiega powstawaniu spękań na skutek długookresowego wysychania). Z drugiej strony obsiew wykonany bezpośrednio na zagęszczoną powierzchnię (lub zruszoną na głębokość 2 cm) może zwiększyć odporność erozyjną zarówno porośniętej jak i nieporośniętej powierzchni.

5.6.1.2. Nasiona

Do obsiewu wału zaleca się stosowanie typowej dla danego region mieszanki nasion traw. Informację o typowych

mieszkankach stosowanych w Niemczech z uwzględnieniem specjalnych mieszanek przeznaczonych do gruntów zasolonych zawarto w [52]. Zaleca się stosowanie mieszanki nasion w ilości od 20 do 30 g/m², o ile dostawca nasion nie określi inaczej.

Zazielenienie wału wskutek zastosowania standardowej mieszanki nasion zwiększa odporność warstwy okrywowej wału na erozję poprzez szybkie wytworzenie stałej pokrywy roślinnej. Przykładowy skład mieszanki nasion przedstawiono w Tab. 5.12. Red fescue (*Festuca rubra trichophylla* LIPROSA/ LIBANO i *Festuca rubra rubra* NFG/TAGERA) są odporne na zasolenie, tworząc gęstą darń.

5.6.1.3. Sposób wysiewu

Nasiona należy ręcznie zagrabieć (Rys. 5.13) lub zagłębić maszynowo w otworach w przygotowanym do siewu spulchnionym materiale DM. Umożliwi to dobry kontakt ziarna i gleby oraz zapewni właściwy zapas wilgoci w glebie [53].

W regionie Południowego Bałtyku zaleca się wysiew na początku jesieni (wrzesień - październik). Możliwy jest również wysiew na wiosnę (marzec - początek kwietnia); występowanie okresów suszy i chłódów jest jednak wówczas bardziej prawdopodobne. Nie zaleca się wysiewu od końca kwietnia do połowy sierpnia. W przypadku drobnoziarnistych DM o wysokiej zawartości części organicznych nie ma konieczności stosowania wstępnego nawożenia. Zaleca się przetestowanie zdolności kiełkowania nasion na poletku badawczym o powierzchni 1 m², wykonanym dla danego DM, przed etapem budowy wału.

Doświadczenia w projekcie wykazały, że nie ma korzyści z zagłębiania nasion, jeśli są one umieszczone w odpowiednio przygotowane podłożu. Wałowana powierzchnia gruntu szybciej wysycha i wykazuje większe spękania skurczowe. Powierzchnia szorstka z grudkami gruntu cechuje się wyższą zdolnością do infiltracji wody (w połączeniu z wyższym potencjałem zatrzymywania opadów i zraszania skarp). Jest również odporniejsza na spękania oraz na erozję wywołaną opadem o średnim natężeniu.

Kiełkowanie na wale wykonanym z bardzo drobnoziarnistego DM może się opóźnić (szczególnie, gdy jest on zagęszczony lub gleba jest poddana wałowaniu). Może też nadmiernie wysychać na powierzchniach nasłonecznionych. Dodatkowo, zasolenie może odgrywać dużą rolę w przypadku bardzo gorących i suchych warunków pogodowych. Sól może opóźniać i tłumić kiełkowanie nasion. Podczas kiełkowania, czas od 7 do 10 dnia od wysiewu jest decydujący o dalszym rozwoju roślin. W okresie tym konieczne jest utrzymywanie stałej wilgotności

w górnej warstwie gleby o miąższości 1 cm. Odpowiednia dostępność wody jest również wymagana w przypadku zasolenia gruntu. W basenie Morza Bałtyckiego takie warunki wilgotnościowe panują zazwyczaj od września do października oraz w marcu, ale jednak rzadko w okresie od kwietnia do sierpnia oraz w czasie chłódów.

W projekcie DredgDikes obsiew nie mógł być wykonywany zgodnie z powyższymi zaleceniami. Geometria wału testowego oraz czynnik czasu wpłynęły na wybór odmiennej technologii i harmonogramu. W czerwcu, tuż przed okresem suszy trwającym trzy miesiące rozpoczęto hydrosiew na zagęszczonych powierzchniach skarp wału nachylonych maksymalnie 1V:2H. Początkowo kiełkowanie nasion nie

Tab. 5.12. Przykład typowej mieszanki nasion stosowanej w morskich wałach w Niemczech

Gatunek	Zawartość nasion [%]	Dawka nasion [g/m ²]
<i>Festuca rubens</i>	60	18
<i>Lolium perenne</i>	30	9
<i>Poa pratensis</i>	10	3
Calkowita ilość	100	30



Rys. 5.13. Wysiew i ręczne grabienie na wał pilotażowy DredgDikes



Rys. 5.14. Pokrywa roślinna po 1 roku od wysiewu (wał w Rostocku)



Rys. 5.15. Rozbudowany system korzeniowy (wał testowy w Rostocku)

powiodło się (choć najlepiej wypadło na obszarze, gdzie w lecie nie podjęto żadnych dodatkowych czynności czekając na jesienny wzrost wilgoci). Jednakże w ciągu jednego roku na powierzchni wału wykształciło się silne pokrycie darnią (około 80 % powierzchni pokrywała darni dobrej jakości). Ze względu na konieczność szybkiego zazielenienia powierzchni wału możliwe jest stosowanie nieoptymalnych kombinacji metod działania i harmonogramu.

Zalecenia dotyczące obsiewu w przypadku stosowania materiałów geosyntetycznych zabezpieczających przed erozją przedstawiono w 5.5.3.1.

5.6.1.4. Rozwój darni

Rozwój okrywy roślinnej na DM następuje dość szybko po wykiełkowaniu, kiedy to rośliny są dość wrażliwe na uszkodzenia (Rys. 5.14). Wzrost traw na wałach zbudowanych z droбноziarnistych organicznych (lub dobrze uziarnionych) DM jest z reguły szybszy niż na wałach z okrywą piaszczystą (co stwierdzono na terenie Meklemburgii-Pomorza Przedniego), ponadto te pierwsze pozwalają przetrwać roślinom długotrwałe okresy suszy, dzięki szybszemu wzrostowi i rozwojowi systemu korzeniowego. W urobku czerpalnym stosowanym w projekcie DredgDikes stwierdzono bardzo dobry rozwój korzeni w czasie pierwszego roku po wysianiu.

Gęstość systemu korzeniowego jest związana z odpornością murawy na działanie fal oraz oddziaływaniem dynamicznym wody. Zalecana gęstość korzeni w warstwie okrywowej wału powinna być większa niż 10^{-5} g/cm³ [56], co odpowiada zwartej masie korzeniowej. Wał z DM w Rostocku charakteryzował się średnią gęstością korzeni w 15 cm warstwie okrywowej rzędu $7 \cdot 10^{-3}$ g/cm³ (Rys. 5.15).

Badania nad rozwojem okrywy roślinnej na wał testowym rozpoczęły się we wrześniu 2012. Wykazały one niewielkie różnice pomiędzy różnymi opcjami wysiewu (Aneks II). W latach następnych nie stwierdzono żadnych różnic między nimi. Dodatkowe informacje nt. testów roślinności można znaleźć w raportach Projektu [54], [55].



Rys. 5.16. Gęsta pokrywa roślinna przed koszeniem (wał w Rostocku)



Rys. 5.17. Pierwszy pokos na wale pilotażowym DredgDikes ścina roślinność niepożądaną, umożliwiając rozwój traw

5.6.1.5. Utrzymanie wału – dosiew i koszenie

Szczegółowe informacje na temat utrzymania roślinności na wałach morskich można znaleźć w literaturze [1]. Pierwsze koszenie zaleca się po osiągnięciu przez trawy od 10 do 15 cm wysokości. Drugie koszenie powinno być wykonane tuż przed oddaniem wału jednostce zamawiającej budowę/renowację. Należy oczywiście usunąć siano będące rezultatem koszenia, jak również chwasty oraz uzupełnić braki darni poprzez dosiew mieszanki traw. W przypadku wystąpienia ulew przed ukorzeniem murawy istnieje niebezpieczeństwo wystąpienia erozji powierzchniowej - ubytki należy wówczas uzupełnić gruntem i obsiać. W przypadku suszy może być konieczne podlewanie fragmentów wału, aby uniknąć zniszczenia świeżej trawy.

Kryterium odbioru jest jednolity i równomierny rozwój pokrywy roślinnej na 75 % powierzchni wału (po pierwszym pokosie). W przypadku DM powinno to nastąpić w ciągu 6 miesięcy.

Urobek czerpalny zawiera często bardzo wysoką ilość nasion oraz pozostałości roślinnych, zdolnych do kiełkowania, takich jak trzcina (*Phragmites australis*), saltbush (*Atriplex*), sea aster (*Aster tripolium*) i perz (*Agropyron repens*). Rośliny te mogą wykiełkować szybciej i nawet zagłuszyć wysiane gatunki. Pierwszy pokos pomaga się ich pozbyć (np. *Atriplex*) i ułatwia dostęp światła niezbędnego do wzrostu traw (Rys. 5.17). Pierwszy pokos jest również korzystny dla wysianych traw ponieważ pociąga za sobą przycięcie trawy skutkujące powstaniem zwartej zielonej murawy.

W pierwszym roku, może być konieczne częstsze koszenie niż zazwyczaj (wały w Meklenburgii-Pomorzu Przednim kosi się dwa razy do roku), ze względu na bardzo dobre charakterystyki DM (TOC, pożywki, pojemność wodna gleby).

Zagadnienia te należy uwzględnić w kontrakcie. Odpowiednie strategie pielęgnacji wałów oraz specyfikacje kontraktów można znaleźć w [1], [5].

5.6.2. Okrywa roślinna powierzchni wału wykonanego z kompozytu CCP

Aby uzyskać zdrową, gęstą pokrywę trawiastą na wale przeciwpowodziowym z wykonaną warstwą wierzchnią z CCP, należy ułożyć na niej dodatkową wierzchnią warstwę gleby. W tym podrozdziale omówione są podstawowe wymagania i zalecenia dotyczące tej dodatkowej warstwy wegetacyjnej.

Wymagania i rekomendacje dotyczące warstw wegetacyjnych na wałach przeciwpowodziowych w Polsce są takie, jak w przypadku skarp nasypów drogowych [57].

Rekomendowana grubość warstwy wegetacyjnej, w przypadku konstrukcji wału z kompozytu CCP, wynosi 20-40cm. W tym celu zaleca się stabilizować górną powierzchnię techniką układania warstwami, aby zapobiec poślizgowi warstwy wegetacyjnej po skarpie wału przeciwpowodziowego wykonanego z kompozytu CCP. Na skarpach o niewielkim nachyleniu można zastosować geosyntetyczną matę antyerozyjną, bez potrzeby układania warstwami okrywy wegetacyjnej.

Wierzchnia okrywa humusowa musi być wykonana jako warstwa wegetacyjna, którą należy właściwie zagęścić (wskaźnik zagęszczenia $Is \geq 90\%$ przy wilgotności optymalnej).

Zalecany skład granulometryczny oraz chemiczny okrywy wegetacyjnej (humus): 12-18 % ił, 20-30 % pył, 45-70 % piasek, $> 20 \text{ mg/m}^2$ związki fosforu (P_2O_5), $> 20 \text{ mg/m}^2$ związki potasu (K_2O), $pH > 5.5$.

Rekomendowane techniki obsiewu roślinnością są takie, jak w §5.6.1. Nie rekomenduje się zastosowania prefabrykowanych mat trawiastych. Zaleca się zastosowanie tradycyjnego obsiewu lub hydroobsiewu. W przypadku hydroobsiewu, preparat siewny powinien zawierać przefermentowane osady ściekowe, kompozycję nasienną, hydromulcz celulozowy, popioły lotne jako długoterminowy nawóz mineralny i neutralizator kwasów. Rekomenduje się użycie następującego zestawu nasiennego w Polsce: *Festuca ovina* 50%, *Festuca rubra* 30%, *Lolium perenne* (10%), *Bromus erectus* (5%), *Brachypodium pinnatum* (5%). Skład należy również dostosować do lokalnych warunków klimatycznych.

W przypadku zastosowania urobku czerpalnego (DM) należy zwrócić uwagę na niską zawartość roślinnych składników odżywczych w takim materiale, konieczne jest wówczas kontrolowane nawożenie podczas sezonu wegetacyjnego.

Bibliografia

- [1] EAK 2002. Empfehlungen für Küstenschutzwerke, korrigierte Ausgabe 2007, *Die Küste* **65**, KFKi (Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen), 589 pp.
- [2] DIN EN ISO 14688-2 Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 2: Principles for a classification 2004 (Table 5).
- [3] NLWKN 2011. Qualitätssicherung für den Kleieinbau. NLWKN Recommendation (regional coastal authority of Lower Saxony).
- [4] ZTV-W-205 1992. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Erdarbeiten.
- [5] DIN 19712. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, January 2013.
- [6] DWA-M 507. DWA Regelwerk, Merkblatt DWA-M 507-1, Deiche an Fließgewässern Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Dec 2011.
- [7] BAW EAO 2002. Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an [...] Wasserstraßen, *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau* **85**, 30 pp.
- [8] ZTV-W-210 2006. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Böschungs- und Sohlensicherung, 14 pp.
- [9] Directive of the Ministry of Environment - Technical conditions to be met by flood structures, defined in: Regulation of the Minister of Environment of 20 April 2007 on the technical conditions [...] hydraulic structures [...] (Journal of Laws 2007.86.579).
- [10] PN-EN 1538: 2010: Performance of special geotechnical works, diaphragm walls.
- [11] Aprobata techniczna ITP.AT/18-2012-0052-01.
- [12] Cantré, S. & Schulz, H. 2011. Innovative Baggergutentwässerung mit geotextilen Schläuchen – ein mobiles System im Feldversuch, *Wasser und Abfall* **13** (3): 24 - 29.
- [13] SMOCS 2011. Sustainable Management of Contaminated Sediments – Guideline. 32 pp. Available online: www.smocs.eu.
- [14] Lime treated soil as an erosion-resistant material for hydraulic earthen structures: state of the art and presentation of the French DIGUE.ELITE project, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 75-84. Available online: www.dredgdikes.eu.
- [15] Midwest 2014. Website of Midwest Bio-Systems Inc. www.midwestbiosystems.com/system.html [cited 15 Jan 2015].
- [16] Kuś, R. & Słowikowski, D. 2012. Zastosowanie Wybranych Technologii Uszczelniania Podłoża Gruntowego W Budownictwie Hydrotechnicznym – Wieloletnie Doświadczenia PRGW, *European Symposium Anti-Flood Defences*, Paris/ Orléans, 8 pp. Available online: www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/symposium/expose/ST2-2_pol.pdf [cited 10 Jan 2015].
- [17] DIN 19731. Bodenbeschaffenheit, Verwertung von Bodenmaterial,
- [18] DIN 18915. Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Bodenarbeiten
- [19] Ecotech 2008. Ogólna Specyfikacja Techniczna: Ulepszenie Gruntów Spoilem Tefra 15.
- [20] FGSV 2005b. Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaues (TL Geok E-StB 05) – 549.
- [21] FGSV 2005a. Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues (M Geok E-StB) – 535.
- [22] FGSV 2005c. Checklisten für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaues (C Geok E-StB) – 535/1.
- [23] Ogólna Specyfikacja Techniczna. Dział 03 Roboty ziemne (General Technical Specifications Chapter 3 Earthworks)
- [24] EAG-GTD: Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten). Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und für den Wasserbau“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT. Ernst & Sohn, 2002.
- [25] BAM 2014. Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, BAM FB 4.3, 5. Auflage, 31 pp. Available online: www.bam.de.
- [26] EN 1997-1. Eurocode 7- Geotechnical design - Part 1: General rules, 1997.
- [27] LAGA 2003. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln. As of 6 Nov 2003 as note 20. Erich Schmidt, Berlin 2004; 128 pp. Available online: www.laga-online.de [Cited 16 Dec 2014].
- [28] ZTVE-StB 09. Floss, R. (Ed.) 2009. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau, 4. Auflage, 660 pp.
- [29] BBodSchV 1999. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung as version from 12th of July 1999 (BGBl. I S. 1554). Last change through article 5 paragraph 31 of the act of 24 February 2012 (BGBl. I S. 212), 34 pp. Available online: www.gesetze-im-internet.de [Cited 16 Dec 2014].
- [30] RGMInStB93Bek 1996. Regulations for quality monitoring of materials in road construction, German administrative regulation.
- [31] Koda E., Osiński P. & Głazewski M. 2010. Agrotechnical improvement of earth structure slopes, *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences* **50**(4): 36–47. Available online: http://iks_pn.sggw.pl/z50/art4.pdf.
- [32] Koda E. & Osiński P. 2011. Slope erosion control with the use of fly-ash and sewage sludge, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation* **43**(2): 101–111. Available online: http://ann_landreclam.sggw.pl/z432/art1.pdf.
- [33] PN-B-06050. Geotechnika, roboty ziemne, wymagania ogólne.
- [34] PN-B-02479 Urządzenia wodno-melioracyjne. Nasypy. Wymagania i badania przy odbiorze, 1997.
- [35] Modernizacja wałów przeciwpowodziowych, Poradnik projektanta, CETCO, Zielona Góra. Available online: www.cetco.pl.
- [36] Borys M., Mosiej K. & Topolnicki M. 2006. Projektowanie i wykonawstwo pionowych przegród przeciwnieprzepuszczalnych z zawieszin twardniejących w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych, Wydawnictwo IMUZ, Falenty, 64 pp.
- [37] Polish project of Law: Ordinance of the Minister of Environment of 15 February 2015 on soil & ground quality standards.

- [38] Saathoff, F. 2003. Geosynthetics in geotechnical and hydraulic engineering, *Geotechnical Engineering Handbook*, Vol. 2: 507 - 597. Berlin : Ernst & Sohn.
- [39] ISO EN 9001. Quality management systems – Requirements.
- [40] CEN/TR 15019. Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control, 2006.
- [41] DIN 18200. Assessment of conformity for construction products - Certification of construction products by certification body, 2000.
- [42] Saathoff, F. 2005. E 5-5: Qualitätsüberwachung für Geotextilien (Entwurf), *Die Bautechnik*, **82**(9): 590-592.
- [43] Wilmers, W. 2009. Qualitätssicherung bei der Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau, *BauPortal* 9/2009: 530-537.
- [44] PN-EN 1997-1:2008. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [45] EBGeo – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 2010.
- [46] Specyfikacje Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych
- [47] DIN EN 13252. Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen; [EN 13252 Geotextiles and geotextile related products. Characteristics required for use in drainage systems].
- [48] BAM 2013. Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau, BAM FB 4.3, 7. Auflage, 16 pp. Zudem: Anlagen 3, 4.3, 5. Available online: www.bam.de.
- [49] Saathoff, F. 2006. Beispiele zur Sanierung und Ertüchtigung von Deichen mit Geokunststoffen, 2. Symposium Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen, Universität Siegen, 9./10.2.2006.
- [50] Thomas, H. & Cantré, S. 2009. Applications of low-budget photogrammetry in the geotechnical laboratory, *The Photogrammetric Record* **128**(24): 332 - 350.
- [51] Morscheck, G. & Henneberg, M. 2012. Einsatz von gereiftem Nassbaggergut als Rekultivierungssubstrat in Oberflächenabdichtungssystemen, report for the Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 78 pp.
- [52] FLL 2014. Website of the Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., www.fll.de, [cited: 16 Dec 2014].
- [53] DIN 19657. Sicherung von Gewässern, Deichen und Küstendünen; Richtlinie. Ausgabe 1973-09.
- [54] Henneberg, M. 2014a. Begrünungsversuche im Rahmen des EU Projektes DredgDikes. Prüfung des Auflauf- und Anwuchsverhaltens [...] in einem Gefäßversuch. Final report, 41 pp. Available online: www.dredgdikes.eu.
- [55] Henneberg, M. 2014b. Begrünungsversuche im Rahmen des EU Projektes DredgDikes. Parzellenversuch auf dem Pilotdeich Körkwitzer Bach [...]. Final report, 27 pp. Available online: www.dredgdikes.eu.
- [56] Vavrina, L. 2012. Bewertung der Schutzfunktion bewachsener Deichbinnenböschungen gegen Erosion. Ph.D thesis, Essen: VGE-Verlag.
- [57] Specyfikacja Techniczna GDDP nr D - 06.01.01 „Umocnienie powierzchniowe skarp, rowów i ścieków”.

6. UTRZYMANIE I MONITOROWANIE

Zasady utrzymania i kontroli wałów są dobrze udokumentowane w [1], [2], [3], [4], [5]. Kontrola dotyczy przebieg w wale, warstwy wegetatywnej, działalności zwierząt kopiących, erozji powierzchni wału, osiadań, filtracji, stateczności globalnej i lokalnej, szczelin skurczowych i zmian wielkości przepływu. Wiele z tych aspektów nie zależy od materiału użytego do budowy wału. Główne aspekty, takie jak zapewnienie długoterminowej stateczności, funkcjonalności i kontrola odkształceń dotyczą zatem także DM i CCP. Należy również wymienić typowe problemy w przypadku utrzymania i monitorowania wałów z DM i CCP, np. związane z warstwą wegetatywną lub ogólną przepuszczalnością (powstawanie szczelin i dróg uprzywilejowanej filtracji). Opis procedur kontroli wałów, obejmujący badania, aparaturę pomiarową i monitorowanie (np. filtracji przez wał) jest szczegółowo opisany w literaturze dotyczącej budownictwa wodnego.

W Polsce procedury dotyczące utrzymania i monitorowania konstrukcji wałów rzecznych podlegają przepisom prawnym zawartym w [5]. Okresowa kontrola powinno odbywać się przynajmniej raz w roku w celu oceny stanu konstrukcji i przynajmniej raz na pięć lat w celu oceny funkcjonalności wału. Coroczny przegląd nie wymaga dodatkowych badań. Zwykle przegląd ten jest wykonywany na wiosnę, ale zaleca się dodatkową inspekcję na jesień. Przegląd pięcioletni jest bardziej szczegółowy i obejmuje badania i pomiary geodezyjne. Głównym celem okresowych przeglądów jest ustalenie listy niezbędnych napraw, ich zakresu i harmonogramu. Dodatkowe kontrole muszą być przeprowadzane w sytuacjach gdy wystąpiły poziomy wody powyżej stanów ostrzegawczych i alarmowych lub w przypadku, gdy konstrukcja wału została uszkodzona.

Podczas okresowych lub dodatkowych kontroli, powinny być sprawdzone cztery podstawowe elementy: konstrukcja wału, podłoże pod wałem (szczególnie pod kątem filtracji), urządzenia i konstrukcje hydrotechniczne, oraz obszar przylegający do wału (50 m).

W Meklemburgii-Pomorzu Przednim oficjalny coroczny przegląd wałów jest przeprowadzany jedynie dla wałów rzecznych. Podstawy prawne znajdują się w Prawie Wodnym kraju związkowego Meklemburgia-Pomorze Przednie [8]. Kontrola powinna być przeprowadzona przez spółki wałowe (nie w M-V, gdzie kontrolę przeprowadzają

ośrodki władzy lokalnej) lub przez stowarzyszenia gospodarki wodnej i gruntów w przypadku wałów o mniejszym znaczeniu.

Coroczny przegląd wałów morskich obejmuje jedynie szczególne lub krytyczne sytuacje w ramach tzw. objazdu kontrolnego wybrzeża przeprowadzanego przez StALU. Wały zbudowane z użyciem DM i CCP powinny być jednak sprawdzane dorocznie podczas objazdu kontrolnego lub w trakcie oddzielnej zorganizowanej inspekcji. W pierwszym roku kontrole powinny być organizowane częściej w celu rozpoznania najważniejszych problemów. Kontrole takie można zakontraktować w ramach monitoringu powykonawczego zgodnie z wymaganiami środowiskowymi zdefiniowanymi w zatwierdzonym projekcie.

W dalszej części niniejszego rozdziału przedstawiono zalecenia utrzymania i monitorowania wałów wykonanych z użyciem DM lub CCP.

6.1. Utrzymanie i monitorowanie wałów wykonanych z drobnoziarnistego DM

W przypadku wałów zbudowanych z drobnoziarnistych DM, szczególnie o dużej zawartości części organicznych, należy zwrócić większą uwagę na kilka problemów. Dotyczą one podatności na powstawanie spękań i wyboru środków zaradczych, utrzymania warstwy wegetacyjnej, aktywności zwierząt oraz monitorowania filtracji przez wał.

6.1.1. Kontrola i naprawa spękań

Zjawisko powstawania spękań w wyniku skurczu opisano w rozdziałach 4 i 5. Jeżeli spękania pojawiają się w warstwie okrywowej, wykonanej z drobnoziarnistych DM, możliwe jest zastosowanie w trakcie budowy następujących środków zaradczych:

- Duże spękania mogą być wypełnione tym samym DM i zagęszczone, np. ręczną zagęszczarką wibracyjną.
- W przypadku dużej liczby spękań, powierzchnia wału może być rozluźniona (np. przy pomocy brony) i powtórnie zagęszczona. Początkowe spękania zostaną całkowicie usunięte, a podatność na ich dalszy rozwój zminimalizowana.

Usunięcie powierzchniowych spękań nie gwarantuje jednak, że nie będą się one pojawiać głębiej (w warstwie okrywowej lub wewnątrz wału jednorodnego). Zjawisko takie może wystąpić, gdy DM charakteryzuje się wysokim

wzniosem kapilarnym pozwalającym na migrację wody na powierzchnię z głębokości kilku decymetrów. Jeżeli górna część 40 cm pokrywy jest nienaruszona (np. zrekonstruowana) i nie ma szczególnie szerokich spękań przez całą grubość pokrywy, sięgających do rdzenia piaszczystego, spękania takie nie są uznawane w niniejszych zaleceniach jako krytyczne. Kontrola warstwy okrywowej wału będzie zatem efektywna, gdy obejmować będzie do 40-50 cm wgłąb konstrukcji.

W przypadku wytworzenia się warstwy roślinnej, bronowanie spowoduje jej naruszenie wymagające odbudowy. Jeżeli wypełniane są pojedyncze spękania a warstwa roślinna była dobrej jakości, wystarczy jej miejscowa odbudowa. Jednakże przy dużej liczbie spękań zabieg ten może być nieefektywny.

Częstotliwość kontroli, w których między innymi pojawia się inspekcja spękań, jest zdefiniowana w zaleceniach krajowych oraz normach dotyczących wałów rzecznych i morskich (por. tekst powyżej).

6.1.2. Utrzymanie prawidłowej pokrywy roślinnej

Rozwój roślinności następuje zwykle lepiej w przypadku drobnoziarnistych DM, bogatych w części organiczne. Dobra retencja wody tych materiałów jest bardziej korzystna niż w przypadku standardowej pokrywy wału, wykonanej z gruntów ilastych z domieszką piasku (głina, margiel).

Jednorodna warstwa darni powstaje zwykle w ciągu jednego roku. Początkowo wzrost trawy z nasion może być zakłócony poprzez inne szybciej rosnące rośliny (np. łoboda lub trzcina - tzw. rośliny pionierskie). Tę niekorzystną sytuację można opanować poprzez wczesne jednokrotne koszenie (w szczególnych przypadkach może być konieczne powtórne koszenie). Po wykiełkowaniu trawy rozpoczyna się proces formowania gęstej warstwy darni, która stopniowo zamienia roślinność pionierską na stałą.

Dzięki żyzności DM bogatych w części organiczne oraz ich zdolności do retencji wilgoci, rozwój trawy może zachodzić znacznie gwałtowniej niż w przypadku standardowych materiałów pokrywy wałów. Należy zatem rozważyć dodatkowe koszenie, szczególnie w ciągu pierwszych dwóch lat.

Podczas kontroli wału powinny zostać wyznaczone odpowiednie organy decydujące o potrzebie wykonania dodatkowego koszenia i jego techniki. Jeżeli powierzchnia zajęta przez niepożądane chwasty osiągnie 20 % całości

warstwy roślinnej należy podjąć decyzję o natychmiastowym koszeniu. W ramach utrzymania warstwy roślinnej najlepiej zaplanować koszenie na okres późnego lata, aby zapewnić jak najdłuższe siedlisko dla owadów oraz stworzyć sprzyjające warunki do rozwoju nasion, co sprzyjać będzie lepszemu rozwojowi darni.

Jakość warstwy roślinnej powinna być kontrolowana każdej wiosny, jeszcze przed rozpoczęciem wzrostu trawy lub alternatywnie bezpośrednio po koszeniu w okresie letnim. W trakcie tych czynności należy określić stopień pokrycia wału i zlokalizować miejsca słabej roślinności. Takie miejsca mogą powstawać np. w wyniku działalności zwierząt i powinny być natychmiastowo poddane powtórnemu obsiewowi - z tego względu inspekcja wiosenna wydaje się najbardziej odpowiednia. Określenie pokrycia powierzchni wału warstwą roślinną oraz lokalizacja uszkodzeń tej warstwy można wykonać przy pomocy systemów lotniczych (np. przy użyciu bezzałogowych systemów rozpoznania lotniczego [6]).

Jako alternatywę koszenia można rozważyć wypas owiec, praktykowany na wałach Morza Północnego. Przejścia stada owiec dają dodatkową korzyść polegającą na redukcji spękań oraz nor w warstwie okrywowej.

6.1.3. Utrzymanie wału a szkody spowodowane przez zwierzęta

DM bogaty w części organiczne, wykorzystywany do budowy wału jednorodnego lub warstwy okrywowej w wale morskim, jest narażony na działalność norników oraz innych zwierząt kopiących. Względnie miękki i lekki DM (nawet pomimo dobrego zagęszczenia) z dodatkowo występującymi spękaniami powierzchni (powiększanymi przez zwierzęta), z wysoką odpornością na erozję wewnętrzną (stabilne kanały i nory) oraz z bogatym zasobem pożywienia (korzenie, nasiona i inne części organiczne) sprzyja aktywności norników i innych zwierząt takich jak króliki, lisy, jenoty, norki i dziki. Problem ten można spróbować rozwiązać za pomocą standardowych metod takich jak wypełnianie powstałych kanałów i nor lub wypas owiec na wałach (zadeptywanie nor, por. tekst powyżej). Podczas realizacji projektu DredgDikes zaobserwowano dużą działalność norników na obszarze wału badawczego w Rostocku. Działalność ta nie spowodowała jednak problemów ze statecznością wału. Powstałe przecieki filtracyjne zlokalizowane w norach

zarejestrowano tylko w okresie pierwszego roku użytkowania. Bez dodatkowych zabiegów przecieki te ustały w drugim roku użytkowania. Wskazuje to na konieczność i duże znaczenie kontroli i określenia zasięgu oraz stopnia działalności norników.

Na niektórych obszarach problemem może być obecność bobrów. Europejskie bobry kopią jednak nory tylko w konstrukcjach ziemnych bezpośrednio sąsiadujących z wodą, a wejścia do nor znajdują się pod powierzchnią wody. Z tego względu bobry wydają się małym zagrożeniem w przypadku wałów, które przez większość czasu są oddalone od przepływającej wody. Dokładniejszy opis metod zapobiegania zniszczeniom wałów przez bobry można znaleźć w [7]. W Polsce, na niektórych wałach poddawanych renowacji, RZGW zalecają ułożenie na powierzchni wału specjalnych siatek metalowych, uniemożliwiających kopanie nor.

Szkody wyrządzone przez większe zwierzęta wymagają częstszych napraw z użyciem DM o przynajmniej takiej samej jakości jak te stosowane podczas budowy wału. Możliwość powstawania szkód wywołanych przez większe zwierzęta powinna być brana pod uwagę już podczas projektowania i budowy np. poprzez stosowanie siatek z drutu odpornego na przegryzienia lub dodatkowych warstw zwirowych [2], w których zwierzęta nie mogą kopać nor.

6.1.4. Monitorowanie filtracji

Jak zaobserwowano podczas realizacji projektu DredgDikes oraz innych zastosowań zasolonych DM w Niemczech (M-V), sól i inne substancje mineralne mogą zostać wypłukane w wyniku opadów i filtracji. Ponadto przy zmianie warunków redukcji i utleniania może dojść do wytrącania się tlenków żelaza zawartych w DM.

Z tego względu monitorowanie filtracji powinno być ujęte w każdym projekcie wału z DM, nawet gdy materiał ten nie jest pierwotnie zanieczyszczony. Monitorowanie wydatku powinno być przeprowadzone przy użyciu piezometrów zainstalowanych w różnych punktach wzdłuż wału. Miejsca lokalizacji piezometrów, ich liczbę oraz częstość poboru próbek wody i zakres badań chemicznych należy uzgodnić z odpowiednimi instytucjami.

W niniejszych zaleceniach proponuje się instalację systemu piezometrów zarówno w celu poboru próbek do badań chemicznych jak również pomiaru poziomu zwierciadła wody gruntowej przy pomocy automatycznego

systemu pomiarowego. Zaleca się opomiarować więcej niż jeden przekrój poprzeczny wału z instalacją przynajmniej trzech piezometrów. Ich dokładna lokalizacja i liczba przekrojów pomiarowych powinny być ustalone na podstawie decyzji ekspertów z uwzględnieniem miejscowego planu zagospodarowania.

Jeżeli w realizacji dużych wałów stosowane są różne partie DM, decyzja dotycząca lokalizacji przekrojów pomiarowych powinna uwzględniać ich zmienną charakterystykę. Najlepszą lokalizacją będą otwarte tereny, gdzie woda powodziowa będzie oddziaływać na wał w swojej pierwszej fazie. Należy także brać pod uwagę specyficzne ukształtowanie terenu oraz najbardziej niekorzystne warunki gruntowe.

Bardzo ważnym aspektem, który należy przeanalizować w przypadku wymywania substancji rozpuszczalnych z DM, jest ich dalsza migracja do wód gruntowych. Piezometry należy zlokalizować w sposób, który będzie uwzględniał kierunek filtracji oraz charakterystykę filtracyjną podłoża.

Pobór próbek do badań powinien odbywać się corocznie, najlepiej w trakcie wystąpienia wysokich stanów wody. Wyniki analiz z pierwszych lat powinny być wykorzystane jako podstawa planowania przyszłych decyzji związanych z częstotliwością długoterminowego monitorowania filtracji.

6.2. Utrzymanie i monitorowanie wałów z mieszanek CCP

Jak dotąd nie opracowano szczegółowych zaleceń dotyczących utrzymania i monitorowania wałów zbudowanych z użyciem mieszanek CCP. Ogólne zalecenia zawarte w niniejszych wytycznych bazują na zaleceniach dotyczących tradycyjnych wałów rzecznych, które przedstawiono powyżej. Zalecenia dotyczące monitorowania filtracji są w dużym stopniu analogiczne do zaleceń odnoszących się do DM. Zaleca się stosowanie automatycznego systemu pomiaru zwierciadła wody gruntowej w piezometrach, który zapewni wybór dogodnego momentu do pobrania próbek wody.

Na podstawie wyników z realizacji projektu DredgDikes w Polsce, stwierdzono że spękania wału praktycznie nie występują, ze względu na niewielki skurcz mieszanki CCP. Nie ma także zagrożenia działalnością zwierząt w warstwach mieszanek CCP, ze względu na stosunkowo wysokie wartości pH oraz duże zagęszczenie, wzmocnione przez cementację powstającą w tych materiałach.

Warstwa wegetacyjna wymaga bieżącej pielęgnacji i kontroli jej stanu, przede wszystkim w sytuacji, gdy na zagęszczonej warstwie szczelnej, wykonanej z mieszanki CCP, spoczywa cienka warstwa humusu. Regularne kontrole warstwy wegetacyjnej zalecane są w ciągu pierwszych dwóch lat po wykonaniu wału, równoległe do zwykłych kontroli stanu wału przeprowadzanych przez odpowiednie organy (

Tab. 6.2 i § 6.3). Należy podkreślić że utrzymanie i kontrola warstwy wegetacyjnej w przypadku wałów wykonanych z mieszanek CCP powinny być przedmiotem dodatkowych badań.

6.3. Odpowiedzialność

Prawo Wodne Meklemburgii-Pomorza Przedniego [8] jest aktem prawnym regulującym ochronę przeciwpowodziową na tym terenie. Definiuje on również odpowiedzialność za stan i funkcjonalność obwałowań. Za nadzór techniczny, dotyczący ochrony środowiska i krajobrazu, wody, gruntów, wybrzeża morskiego oraz systemu obwałowań, odpowiedzialne są lokalne Urzędy Rolnictwa i Środowiska. Instytucje te odpowiadają również za zakres badań związanych z użyciem materiałów do budowy wałów,

planowanie i akceptację konstrukcji przeciwpowodziowych. Są one także odpowiedzialne za ogólny nadzór nad wałami pierwszej klasy. Odpowiedzialność za system wałów o niższej klasie spoczywa na lokalnych Stowarzyszeniach Gospodarki Wodnej i Gruntów (WBV). Odpowiedzialność prawna za system wałów przypada Federalnemu Urzędowi Środowiska, Ochrony Natury i Geologii (LUNG). W przypadku nowych wałów lub renowacji konstrukcji istniejących, aspekty ochrony środowiska naturalnego stają się często najważniejsze. Jednostkami odpowiedzialnymi są w takim przypadku różne instytucje ochrony środowiska naturalnego.

W Polsce odpowiedzialność za system wałów ich utrzymanie i monitorowanie przypada Regionalnym Zarządom Gospodarki Wodnej (RZGW) oraz lokalnym Zarządom Melioracji i Urządzeń Wodnych (ZMiUW). Inspekcje terenowe są organizowane przez komisję z lokalnego ośrodka ZMiUW. Utrzymanie i monitorowanie jest obowiązkiem lokalnego ośrodka RZGW.

Tab. 6.1. Podsumowanie zaleceń odnośnie utrzymania i monitorowania wałów wykonanych z urobku czerpalnego

Temat	Prace konserwacyjne	Dokumenty związane	Odpowiedzialność
Ogólne	Bieżące inspekcje dotyczące utrzymania i monitorowanie wałów w trakcie użytkowania konstrukcji przeciwpowodziowych.	DIN 19712 (rozdział 15) [2] DIN 18310 (prace zabezpieczające przy wałach rzecznych i morskich) [9] Din 19657 [10] Zalecenia IMUZ [3] The International Levee Handbook [4]	Niemcy: Federalne Stowarzyszenie Wałów, w M-V agencje gospodarki wodnej (StÄLU) dla wałów kategorii 1. Spółki wałowe / stowarzyszenia woda i grunt dla pozostałych wałów. Dania: Urzędy miast i właściciele terenu Polska: RZGW, ZMiUW
Spękania	Tylko w przypadku wałów morskich: Wypełnianie spękań w trakcie i po zakończeniu budowy Bronowanie i ponowne zagęszczanie spękanej powierzchni wału w trakcie / po zakończeniu budowy	EAK 2002 [1] The International Levee Handbook [4]	
Roślinność	Wczesne koszenie ograniczające wzrost chwastów (z nasion obecnych w DM) Regularne koszenie, ze względu na żyzność DM, 1 dodatkowe koszenie (decyzja organu odpowiedzialnego)	EAK 2002 [1] Zalecenia IMUZ [3] Wewnętrzne przepisy organów odpowiedzialnych	
Zwierzęta	Likwidacja nor (w przypadku znacznych rozmiarów lub dużej liczby), Naprawa większych uszkodzeń powodowanych przez zwierzęta (bobry, lisy), Montaż siatek stalowych chroniących przed kopaniem nor, Wypas owiec – dogęszczanie powierzchni wału.	EAK 2002 [1] International Levee Handbook [4]	
Filtracja / Odcieki	Monitorowanie zawartości soli i innych substancji mineralnych w odciekach. Piezometry do pomiaru ZWG / pobierania próbek wody	Raport z długoterminowych badań lizymetrycznych w Rostocku [11]	

Tab. 6.2. Podsumowanie zaleceń odnośnie utrzymania i monitorowania wałów wykonanych z CCP

Temat	Prace konserwacyjne	Dokumenty związane	Odpowiedzialność
Ogólne	Bieżące inspekcje dotyczące utrzymania i monitorowanie wałów w trakcie użytkowania konstrukcji przeciwpowodziowych.	DIN 19712 (rozdział 15) [2] DIN 18310 (prace zabezpieczające przy wałach rzecznych i morskich) [9] Din 19657 [10] Prawo Budowlane, wytyczne utrzymania i kontroli wałów [5] The International Levee Handbook [4]	Niemcy: Federalne Stowarzyszenie Wałów, w M-V agencje gospodarki wodnej (StÄLU) dla wałów kategorii 1. Spółki wałowe / stowarzyszenia woda i grunt dla pozostałych wałów.
Roślinność	Stosowanie grubej warstwy humusu Wstępna pielęgnacja może wymagać nawadniania	EAK 2002 Prawo Budowlane, wytyczne utrzymania i kontroli wałów [5] Wewnętrzne przepisy organów odpowiedzialnych	Polska: RZGW, ZMiUW
Filtracja / Odcieki	Monitorowanie zawartości soli i innych substancji mineralnych w odciekach. Piezometry do pomiaru ZWG / pobierania próbek wody	Prawo Budowlane, wytyczne utrzymania i kontroli wałów [5]	Niemcy: Lower nature agencies Stowarzyszenia woda i grunt Polska: RZGW, ZMiUW

Bibliografia

- [1] EAK 2002. Empfehlungen für Küstenschutzwerke, korrigierte Ausgabe 2007, *Die Küste* 65, KFKi (Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen), 589 pp.
- [2] DIN 19712-2013. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (Flood protection works on rivers). Beuth: Berlin, 68 pp.
- [3] Borys M. 2006. Metody modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych z zastosowaniem nowych technik i technologii, Wydawnictwo IMUZ, Falenty 2006.
- [4] CIRIA 2013. The International Levee Handbook, 1350 pp. Available online: www.ciria.org.
- [5] Polish Building Law Act of 7 July 1994 (Journal of Laws 2000.106.1126 with subsequent amendments).
- [6] Naumann, M., Bill, R., Niemeyer, F. & Nitschke, E. 2014. Deformation analysis of dikes using unmanned aerial systems, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock, 119-126.
- [7] Czech A. 2005. Analiza dotychczasowych rodzajów i rozmiaru szkód wyrządzanych przez bobry oraz stosowanie metod rozwiązywania sytuacji konfliktowych, *Environmental Protection Institute*, Kraków.
- [8] LWaG M-V 1992. Water Act of the federal state of Mecklenburg-Vorpommern (Wassergesetz des Landes M-V). Available online: www.landesrecht-mv.de.
- [9] DIN 18310. Security Works at waters, dikes and coastal dunes.
- [10] DIN 19657. Protection of beds, banks of waters, dikes and coast dunes.
- [11] Henneberg, M. & Neumann, R. 2011. 10 Jahre Lysimeterversuche zum Einsatz von gereiftem Baggergut zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft, report, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de.

GLOSSARY - SŁOWNIK

Istnieje kilka słowników pojęć związanych z materiałami czerpalnymi, wykorzystaniem odpadów, konstrukcjami hydraulicznymi oraz geosyntetykami (e.g. [1], Annex I [2], [7]). Poniżej przedstawiono jedynie najważniejsze stosowane pojęcia uprządkowane tematycznie w następujących dziedzinach: Wały przeciwpowodziowe, Materiały czerpalne, Produkty spalania węgla oraz Gospodarka odpadami.

Wały przeciwpowodziowe - Dikes

Air side slope - Skarpa odpowietrzna

Cf. downstream slope.

Containment dike - Wał odgradzający

A containment dike is a dike that is used to enclose a basin for temporary or permanent containment of water or sludges. Permanent containment dikes are often used on dredged material containment facilities, temporal containment dikes are used e.g. while dredging the sand for the construction of a dike sand core or for temporary deposits of dredged sludges.

Dike - Wał

A dike is a dam to protect the hinterland against flooding, which mainly consists of earth materials (soils) and which is only temporarily loaded by water (e.g. extreme flood events). Synonymous terms are dyke and levee. The main distinction between river and sea dikes results from their fundamentally different operation [3].

Downstream slope – Skarpa odpowietrzna

The downstream slope of a flood protection structure is the slope with direction to the hinterland. It is only attacked in case of overtopping/ overflowing water. This term is used for river dikes.

Inner slope – Skarpa odpowietrzna

Cf. downstream slope, also used for sea dikes.

Landside slope – Skarpa odpowietrzna

Cf. downstream slope, however also used for sea dikes.

Levee - Wał

Cf. dike. In American English usually a river dike.

Outer slope – Skarpa odwodna zazwyczaj w wałach morskich

Cf. upstream slope, also used for sea dikes.

Overflowing – przelanie wody przez koronę wału wskutek podniesienie statycznego poziomu wody

Overflowing in the frame of this guideline is the term for water flowing over the crest of a flood protection structure due to a static water level that exceeds the crest height.

Overtopping – przelanie wody przez koronę wału

Overtopping in the frame of this guideline is the generic term for water coming across the crest of a flood protection structure while exceeding the crest height. This can be wave overtopping or overflowing.

Polder

A polder is a low-lying area in the vicinity of water bodies which is enclosed and thus protected by dams or dikes. In the municipal containment facility of Rostock the areas where the dredged material is initially dredged to and which are enclosed by containment dikes are also called polders (dredging polders). Therefore, the basins of the Rostock research dike facility, which are enclosed by the test dikes, are named polders as well.

River dike - Wał rzeczny

A river dike is a dike protecting the land adjacent to a river from high water levels and flooding.

Sea dike - Wał morski

This is a dike protecting the coastal lowlands from storm surges and high sea water levels. Also: coastal dike.

Upstream slope – Skarpa odwodna

The upstream slope of a flood protection structure is the slope with direction to the water body. It is usually directly attacked during flood events. This term is used for river dikes.

Waterside slope – Skarpa odwodna

The water side slope of a flood protection structure is the slope with direction to the water body (cf. upstream slope). This term is also used for sea dikes.

Wave overtopping – Przelanie wody przez koronę wału wskutek falowania

Wave overtopping in the frame of this guideline is the term for water coming across the crest of a flood protection structure due to the wave run-up leaking over the crest.

Dredged materials – materiał czerpalny

Biodegradation - Biodegradacja

This means natural decomposition of plant fibres/ organic matter through microorganisms. These processes can be stepped up through technical appliance and support the decomposition of contaminants, e.g. load of mineral oil.

Brackish DM – Materiał czerpalny pochodzący z wód słonych

Brackish sediments/ DMs consist of sand and silt as well as natural soils like marl/till and mud. The organic matter content often exceeds 10 %. In containment facility polders in Mecklenburg-Vorpommern (particularly near the water outlet at the end of the polder) clay particle contents of more than 40 % and lime contents of up to 10 % have been found.

Chemical bonding – Związanie chemiczne

The chemical bonding should immobilize the inorganic contaminants through addition of substances which decreases the elution of contaminants from the treated sediments/DMs [4].

Classification - Klasyfikacja

Classification in the context of sediment management and treatment is the separation of different grain fractions, by sieves, hydrocyclones or sedimentation basins. This also refers to the separation of less contaminated coarser fractions and more contaminated fine fractions from the original DM (grain classification).

In the context of material characterisation, the dredged materials may be classified according to regulations and recommendations with regard to their contaminations.

Dewatering - Odwodnienie

Dewatering enables the separation of water from the solid content. Sand and gravel can be dewatered easily in dewatering fields or with dewatering screens. Silty materials can be dewatered either naturally (dewatering fields) or technically (e.g. belt filter or chamber filter presses). Dewatering is the most common treatment to affect the soil mechanical properties of DM. Dewatering may include several steps, from initial dewatering via the dewatering in fields to the final (long-term) dewatering on stockpiles / ripening fields.

Dredged material (DM) – Materiał czerpalny

Dredged materials are excavated materials with different parts of mineral and organic properties, which accumulate in or on the water bodies in the course of waterway maintenance and other hydraulic construction work. In this guideline the terms “dredged sand”, “fine-grained DM”, “mixed soil”, “DM rich in organic matter” and “ripened DM” describe the term in more detail.

Dredged material rich in organic matter and lime – Materiał czerpalny bogaty w części organiczne i wapń

Dredged material rich in organic matter and lime in the frame of this guideline is defined as material that has an organic matter content of more than 5 % (or TOC > 3 %) and a lime content of more than 5 %.

Dredged sand – Piasek czerpalny

Dredged sand is sand (> 0,063 mm) with a maximum amount of fines < 10 % and a TOC < 5 % that has been dredged from water bodies.

Fine-grained dredged material – Droбноziarnisty materiał czerpalny

Fine-grained DM in the frame of this guideline contains > 15 % of the finest fraction (< 0.002 mm, clay particles). These materials often contain 15 – 35 % clay; 25 – 55 % silt and 20 – 55 % sand particles.

Fines/ fine particles – Cząstki drobne

The term “fines” with respect to the mineral grain size distribution relates to the silt and clay particle fraction ($d < 0.063$ mm).

Finest/ finest particles – Najdrobniejsze cząstki

The term “finest” with respect to the mineral grain size distribution relates to the clay particle fraction only ($d < 0.002$ mm).

Heap - Pryzmy

Cf. windrow.

Limnic DM – Materiał czerpalny z wód słodkich

Limnic DM usually contains less silt than brackish DM, however, the organic matter and the lime content can exceed 30 %. A variety of investigations showed the great range of variations in its composition. In M-V clay contents differ from 2 to 30 %, the TOC from less than 5% up to 30% and the lime content from 0 to 70%. Despite of the biogenic sulphur compounds, limnic DM contains only small portions of sodium and chloride.

Mixed soil / mixed dredged material – Grunt / materiał czerpalny dobrze uziarniony

Mixed soil in the frame of this guideline is DM having a high degree of uniformity incl. a considerable amount of fines. These materials often contain 5-15 % clay, 5-25 % silt and 65-90 % (fine to mid) sand particles.

Recovery of dredged material – Wykorzystanie materiału czerpalnego

Recovery of DM means “any operation the principal result of which is waste serving, a useful purpose by replacing other materials which would otherwise have been used to fulfil a particular function, or waste being prepared to fulfil that function, in the plant or in the wider economy” [5].

Reuse of dredged material – Powtórne użycie materiału czerpalnego

In [5], “reuse” “means any operation by which products or components that are not waste are used again for the same purpose for which they were conceived”, however, such a type of reuse is not possible for DMs, which is why it is often used synonymously for recovery.

Ripening / ripened dredged material – Dojrzewanie poprzez suszenie DM powiązane z mineralizacją i procesami glebotwórczymi / materiał czerpalny, w którym uformowała się gleba

The ripening process is generally the drying of the DM, associated with mineralisation and soil genesis effects. Ripened DM is thus material with considerably reduced water content and with aerobic soil genesis effects at least started. This term mainly describes fine-grained dredged material or mixed soils such as sandy loams and loamy sands. Physical, chemical and biological effects affect the ripening process.

Separation – Rozdział frakcji

In the scope of this guideline this term is used for the separation of batches by grain size, for instance by sieves or hydro-cyclones. Separation is mainly used in the grain size range of $20 < d < 63 \mu\text{m}$ (cf. classification).

Thermic processes – Procesy termiczne

Desorption, oxidation and bonding are thermic processes that are used to destroy, removed or bind contaminants in the matrix of a product (made of DM), e.g. bricks or sinter products.

Thermal desorption – Desorpcja termiczna

Thermal desorption depends on the difference of the relative volatility of contaminants and mineral sediment particles. It is normally operated in the temperature range of about 450 °C.

Thermal oxidation – Utlenianie w wysokiej temperaturze

Thermal oxidation depends on combustion of organic material at high temperatures. All types of organic material can be burned.

Treatment of dredged material – Obróbka materiału czerpalnego

Treatment refers to the recovery or disposal operations, including preparation prior to recovery or disposal [5].

Use of dredged material – Wykorzystanie materiału czerpalnego

In the scope of this guideline this term is used for the direct utilisation of DMs without prior treatment [5] because they were dredged/ mined for a particular application. If DM is directly used, it may not fall under the waste law. The need for maintenance dredging and the need of construction material are often not concurrent, thus, in most cases an interim storage is necessary, which makes the DM legally a waste. The same applies if the materials cannot directly be used due to a high water content, but need to be processed and treated before application.

Windrow - Pryzma

In this context windrows are long piles of soil-type materials on dewatering and storage fields, usually having a triangular or trapezoidal cross-section.

Windrow turner – Maszyna do formowania pryzm

Windrow turners are machines developed for compost production in waste treatment plants. With these machines the compost can be piled up to windrows or heaps. During this process the materials are also mixed and homogenised. These machines can also be used to pile windrows or heaps from soil materials and DM.

Coal combustion products - Produkty spalania węgla

Boiler slag – Osad paleniskowy

Boiler slag (BS) is a type of bottom ash collected in wet-bottom boilers (slag-tap or cyclone furnaces) operating

at very high temperatures (1500-1700°C). The particles are cooled in a water basin. Due to the high temperatures in the furnace some of the minerals in the boiler melt and flow down into the water basin where they are cooled down rapidly and form a coarse granular material (max. particle diameter ca. 8 mm). Boiler slag is a black, angular, smooth, glassy and environmentally sound material of which about 55 wt.-% are used in road construction, e.g. in drainage layers.

Bottom ash – Popiół gruboziarnisty (popioło-żużel)

Bottom ash (BA) is a granular material made of heavier particles that fall to the bottom of the furnace, composed primarily of amorphous or glassy aluminosilicate materials, similar to fly ash. Most bottom ash is produced in dry-bottom boilers, where the ash cools in a dry state. BA is usually mixed with water and transported through a sluice pipe to a dewatering bin or an on-site impoundment. BA is coarser than fly ash, with a sandy texture (particle diameter ca. 0.1 mm to 50 mm) and a higher carbon content. BA from dry-bottom boilers is generally dull black and porous in appearance.

Coal combustion product (CCP) – Produkt spalania węgla

Coal combustion products (CCPs) are by-products of coal-fired power plants which burn either hard or brown coal. According to the European Waste Catalogue [6], they are coal combustion products are wastes (ECC/100101 and 100102), which can be recovered according to European and national regulations. They may also be classified as construction material (secondary material) according to EU Regulation 305/2011 (REACH). CCPs are subdivided in fly ash, bottom ash, boiler slag and others.

Flue gas desulphurisation gypsum – Gips z procesu odsiarczania spalin

Flue gas desulphurisation (FGD) gypsum is a natural gypsum-like product which is obtained by wet desulphurisation of flue gas and a refining process in the FGD plant including an oxidation process followed by gypsum separation, washing and dewatering.

Fluidised bed combustion ash (FBC) – Fluidalny osad paleniskowy

Fluidised bed combustion (FBC) ash is produced in fluidised bed combustion boilers. The technique

combines coal combustion and flue gas desulphurisation in the boiler at temperatures of 800- 900°C. FBC ash is rich in lime and sulphur.

Fly ash – Popiół lotny

Fly ash is a fine powder, which is mainly composed of amorphous or glassy aluminosilicates. The ash particles also contain some crystalline compounds that either pass through the combustion zone unchanged or are formed at high temperatures. Depending upon the type of boiler and the type of coal, siliceous and calcereous fly ashes with pozzolanic and/or latent hydraulic properties are produced. Typical fly ash particles are spherical in shape, either solid or with some vesicles. There are also thin-walled hollow particles called cenospheres. Fly ash particles are fine-grained (1 to 100 µm diameter, median diameter of 20 to 25 µm).

Semi dry absorption product (SDA) – Półsuchy produkt absorpcji

A semi dry absorption (SDA) product is a fine-grained material resulting from dry flue gas desulphurisation with lime acting as the sorbent.

Geosynthetics - Geosyntetyki

Geocomposite - Geokompozyt

A geocomposite is a manufactured, assembled material using at least one geosynthetic product among the components [7].

Geogrid - Georuszt

A geogrid is a planar, polymeric structure consisting of a regular open network of integrally connected tensile elements [...] linked by extrusion, bonding or interlacing, whose openings are larger than constituents [7].

Geosynthetic - Geosyntetyk

Geosynthetic is the generic term describing a product, at least one of whose components is made from a synthetic or natural polymer, in the form of a sheet, a strip or a three dimensional structure, used in contact with soil and/or other materials in geotechnical and civil engineering applications [7].

Geosynthetic barrier – Przesłona z geosyntetyku

A geosynthetic barrier is a low-permeability geosynthetic material, used in geotechnical and civil engineering

applications with the purpose of reducing or preventing the flow of fluid through the construction [7].

Geosynthetic clay liner GCL – Uszczelnienie z ilitu w obudowie z geosyntetyku

A geosynthetic clay liner is a factory-assembled structure of geosynthetic materials in the form of a sheet which acts as a barrier (the barrier function is essentially fulfilled by clay entrapped between or inside the geosynthetics) [7].

Geotextile - Geowłóknina

A geotextile is a planar, permeable, polymeric (synthetic or natural) textile material, which may be nonwoven, knitted or woven, used in contact with soil and/or other materials in geotechnical and civil engineering applications [7].

General terms of waste management - Pojęcia dotyczące gospodarki odpadami

Prevention – Zapobieganie powstawaniu odpadów

Prevention means measures taken before a substance, material or product has become waste, that reduce:

- (a) the quantity of waste, also by the re-use or the extension of the life span of products,
- (b) the adverse impacts of the generated waste on the environment and human health, or
- (c) the content of harmful substances in materials and products [5].

Use - Wykorzystanie

Direct use is the immediate utilisation of waste material without prior treatment [8].

Reuse – Powtórne wykorzystanie

Reuse means any operation by which products or components that are not waste are used again for the same purpose for which they were conceived [5].

Recovery – Odzysk, zagospodarowanie

Recovery is the application of waste after treatment, for instance as a substitute to natural resources [8].

Disposal - Składowisko

Disposal means any operation which is not recovery even where the operation has the reclamation of

substances or energy as a secondary consequence. A non-exhaustive list of disposal operations is provided in Annex I of the Waste Framework Directive [5].

European waste catalogue – Europejski katalog odpadów

The European Waste Catalogue (EWC) [6] is used for the classification of all wastes and is designed to form a consistent waste classification system across the EU. It forms the basis for all national and international waste reporting obligations, such as those associated with waste licences and permits, the National Waste Database and the transport of waste. The EWC is a hierarchical list of waste descriptions established by Commission Decision 2000/532/EC. It is divided into twenty main chapters each of which has a two-digit code between 01 and 20. Most of the chapters relate to industry but some are based on materials and processes. Individual wastes within each chapter are assigned a six figure code. The descriptions and codes within the EWC are a suitable part of the description of your waste so as to comply with your duty of care.

Bibliografia

- [1] CEDA 2015. Online dictionary on hydraulic construction, dredging and management of DM <http://www.waterdictionary.info/> [cited 15 January 2015].
- [2] Köthe, H. 2002. Baggergut im Kontext nationaler und europäischer Regelungen, *presentation on the 2. Rostocker Baggergutseminar*. Online: www.sednet.org/download/DGE-Part-I-Legislation.pdf.
- [3] DIN 19712-2013. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (Flood protection works on rivers). Beuth: Berlin, 68 pp.
- [4] HTG 2006. Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, Fachbericht der Hafentechnischen Gesellschaft Fachausschuss Baggergut, 37 pp. Available online: www.htg-baggergut.de/Downloads/HTG%20Verwertungsbericht%200906.pdf [cited 16 Dec 2014].
- [5] EC 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Waste Framework Directive).
- [6] EC 2000. The European Waste Catalogue (2000/532/EC).
- [7] EN ISO 10318: Geosynthetics – Terms and definitions
- [8] HTG 2002. Positionspapier Umgang mit Baggergut, Definitionen, Erläuterungen, Empfehlungen, 23 pp. Available online: www.htg-baggergut.de/ [cited 15 January 2015].

SKRÓTY

AT ₄	Breathability test to determine the decomposition rate of OM for wastes for disposal	GCO	Geocomposite
BA	Bottom ash	GER	Germany
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	GMA	Geomat
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau (German Federal Waterways Engineering and Research Institute)	GSY	Geosynthetic
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung (German Soil Conservation Ordinance)	GTO	Geotextile related product
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung (German federal immission protection ordinance)	GTX	Geotextile
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz (German federal soil conservation act)	HELCOM	Helsinki Commission
BS	Boiler slag	IAA	Industrielle Absetz- & Aufbereitungsanlage Rostock (municipal DM treatment plant)
CCP	Coal combustion product	IMO	International Maritime Organisation
cf.	compare, see also (Latin: confer)	ITB	Building Research Institute
DM	Dredged material	KrWG	Waste management and recycling act
DredgDikes	Dredged Materials in Dike Construction – Implementation in the South Baltic Region using Geosynthetics and Soil Improvement	LAGA M20	Recommendations for the recovery of mineral wastes by the LAGA working group
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall	LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (German Interstate Working Group on Waste)
EAK	Empfehlungen für Küstenschutzwerke (German recommendations for coastal protection structures)	LBauO	Landesbauordnung
EBGEO	Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen	LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
EC7	Eurocode 7 for geotechnical design	LWaG	Landeswassergesetz
EEC	European Economic Community	METHA	Mechanische Trennung von Hafensediment (mechanical separation of harbour sediments), treatment plant in Hamburg
EPA	US Environmental Protection Agency	M-V	Mecklenburg-Vorpommern
EP-Act	Environmental Protection Act (Danish)	NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
EPRI	Electric Power Research Institute	OSPAR	Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic
ERDF	European Regional Development Fund	PIANC	The World Association for Waterborne Transport Infrastructure
EWC	European Waste Catalogue	PL	Poland
FA	Fly ash	REACH	Regulation on Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
FBC	Fluidised bed combustion	RZGW	Polish reg. water management authorities
FFH	Flora fauna habitat directive 92/43/EEC	SDA	Semi dry absorption
FGD	Flue gas desulphurisation	StALU	Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt (State Agency for Agriculture and the Environment M-V), pl. StÄLU
GBR	Geosynthetic barrier	TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
GCL	Geosynthetic clay liner	UV	Ultraviolet radiation
		UVPG	Gesetz zur die Umweltverträglichkeitsprüfung (German act on environmental impact assessment)
		WBV	Wasser- und Bodenverband (water and soil association)

WHG	Wasserhaushaltsgesetz (German water management law)	Z0, Z1, Z2	Classification limits for soils for recovery according to LAGA M20
WL	Water law (Poland)	ZMiUW	Polish regional water equipment authorities
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt (German Water and Navigation Board)	ZTV-W	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen, Wasserbau (additional technical contracting conditions)

OZNACZENIA

C	Spójność	OD	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego z aparatu Proctora
c_u	Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu	OM	Zawartość części organicznych
$c_{u,r}$	Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu na próbkach przerobionych	PI	Wskaźnik plastyczności
d	Średnica ziaren	PL	Granica plastyczności
DoC	Odpowiada wskaźnikowi zagęszczenia I_s	Q_m, Q_k	Przepływy miarodajny i kontrolny w polskiej klasyfikacji wałów
F	Powierzchnia	q_s	Wydatek jednostkowy lub przepuszczalność
FC	Zawartość objętościowa wody w glebie przy określonym ciśnieniu ssania	TOC	Całkowity węgiel organiczny
H	W kierunku poziomym (np. 1V:3H)	U	Wskaźnik różnoziarnistości gruntu
Hs	Znacząca wysokość fali	V	W kierunku pionowym (np. 1V:3H)
Ic	Indeks konsystencji	V_e	Końcowa objętość próbki
k_s	Współczynnik filtracji przy pełnym nasyceniu gruntu wodą	V_i	Początkowa objętość próbki
LI	Stopień plastyczności	Vs	Wskaźnik skurczu objętościowego
LL	Granica płynności	w, w_{nat} , w_{opt}	Wilgotności (naturalna, optymalna)
LOI	Strata przy prażeniu	γ	Ciężar objętościowy
		φ	Kąt tarcia wewnętrznego
		ρ_{Pr}	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego z aparatu Proctora, cf. OD

PUBLIKACJE ZWIĄZANE Z PROJEKTEM DREDGDIKES

W ramach projektu DredgDikes przygotowano szereg publikacji. Mogą one dostarczyć dodatkowej informacji wybiegającej poza zakres niniejszych wytycznych. Publikacje te są dostępne na stronie internetowej projektu www.dredgdikes.eu.

DredgDikes 2011-2015. DredgDikes Newsletters no. 1 (2011) – no. 9 (2015).

Henneberg, M. 2014a. Begrünungsversuche im Rahmen des EU Projektes DredgDikes. Prüfung des Auflauf- und Anwuchsverhaltens der Deichsaatmischung für Küstenschutzdeiche in einem Gefäßversuch. Final report, 41 pp.

Henneberg, M. 2014b. Begrünungsversuche im Rahmen des EU Projektes DredgDikes. Parzellenversuch auf dem Pilotdeich Körkwitzer Bach zur Prüfung des Auflauf- und Anwuchsverhaltens der Deichbegrünung unter verschiedenen Düngergaben und Saatbettbedingungen. Final report, 27 pp.

Nejrup, L.B. 2014. Legislation and the potential for utilisation of dredged material in Denmark. Report, Orbicon A/S, Roskilde, Denmark, 57 pp.

Saathoff, F. & Cantré, S. (ed.) 2014. Proceedings of the Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction (ISBN 978-3-86009-409-9), 202 pp. Also available as print version in limited quantity.

Sikora, Z. & Duszyński, R. (ed.) 2014. Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Developments in Flood Protection.

LISTA ARTYKUŁÓW OPUBLIKOWANYCH W RAMACH PROJEKTU DREDGDIKES

W ramach projektu DredgDikes przygotowano szereg artykułów naukowych. Mogą one dostarczyć dodatkowej informacji wybiegającej poza zakres niniejszych wytycznych. Artykuły te są dostępne na stronie internetowej projektu www.dredgdikes.eu.

- Balachowski, L. & Sikora, Z. 2013. Mechanical Properties of Bottom Ash – Dredged Material Mixtures in Laboratory Tests, *Studia Geotechnica et Mechanica*, XXXV(3): 3-11.
- Balachowski, L. 2012: Mechanic Parameters of fly ash-sand mixtures from laboratory test, *7. Rostocker Baggergutseminar*, Rostock: 59.
- Balachowski, L. 2014. Stability of the Inner Slope of the Polish DredgDikes Research Dike at Stationary Flow, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 105 - 110.
- Cantré, S. & Saathoff, F. 2013. Installation of fine-grained organic dredged materials in combination with geosynthetics in the German DredgDikes research dike facility, *Engineering Structures and Technologies* 5(3): 93 - 102.
- Cantré, S. & Saathoff, F. 2013. Investigation of dredged materials in combination with geosynthetics used in dike construction, *Procedia Engineering, Proceedings of the 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques* 57: 213 - 221.
- Cantré, S. & Saathoff, F. 2014. Untersuchungen zum Einsatz von Baggergut im Deichbau am Rostocker DredgDikes-Versuchsdeich, *Wasser und Abfall* 16(3): 14 - 20.
- Cantré, S., Große, A.-K., Neumann, R., Nitschke, E., Henneberg, M. & Saathoff, F. 2013. Fine-grained organic dredged materials for dike cover layers – material characterisation and experimental results, *WODCON XX: The Art of Dredging*, Brussels, Belgium – conference proceedings, 14 pp.
- Cantré, S., Nitschke, E. & Saathoff, F. 2012. Dredged Materials in Dike Construction - DredgDikes Project Overview, *WASCON 2012 Conference Proceedings*, Gothenburg: 4 pp.
- Cantré, S., Nitschke, E. & Saathoff, F. 2012. Verwendung von Baggergut aus dem Ostseeraum im Deichbau – erste Erkenntnisse aus dem Projekt DredgDikes, *7. Rostocker Baggergutseminar*, Rostock: 45 - 57.
- Cantré, S., Nitschke, E. & Saathoff, F. 2013. Investigation of Fine-Grained Organic Dredged Materials from the Baltic Sea for Application in Dike Construction, *Proceedings of the GeSed International Conference*, Caen: 25 - 36.
- Cantré, S., Saathoff, F. & Duszynski, R. 2012. DredgDikes – Ein Kooperationsprojekt zum Einsatz von Baggergut im Deichbau, *Wasser & Abfall* 14(10): 10 - 14.
- Cantré, S., Saathoff, F., Große, A.-K. & Just, H. 2014. Two Research Dikes Made of Fine-Grained Organic Dredged Materials, *Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Technologies in Flood Protection*: 8 pp.
- Cantré, S., Saathoff, F., Große, A.-K. & Nitschke, E. 2012. Dredged Materials in Dike Construction : First Results of the DredgDikes Large-Scale Field Tests in Rostock, *Proceedings of the 12th Baltic Sea Geotechnical Conference*: 281 - 285.
- Cantré, S., Saathoff, F., Nitschke, E., Große, A.-K. & Olschewski, J. 2014. Verwendung von Baggergut im Deichbau – Erkenntnisse aus dem Projekt DredgDikes, *Tagungsband zum 8. Rostocker Baggergutseminar*, Rostock: 51 - 66.
- Große, A.-K. & Saathoff, F. 2014. Geotechnical Characterization of Different Fine-Grained, Organic Dredged Material Batches from the Baltic Sea Area - Peculiarities and Adaptions, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 19 - 30.
- Große, A.-K., Cantré, S. & Saathoff, F. 2014. The Geotechnical Characterisation of Fine-Grained Organic Dredged Material From the Baltic Sea Area for Application in Dike Construction, *Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Geotechnics*, Melbourne: 8 pp.
- Henneberg, M., Morscheck, G. & Neumann, R. 2014. Projekt DredgDikes: Umweltmonitoring beim Einsatz von aufbereitetem Baggergut im Deichbau, *Tagungsband zum 8. Rostocker Baggergutseminar*, Rostock.
- Naumann, M., Bill, R., Niemeyer, F. & Nitschke, E. 2014: Deformation Analysis of Dikes Using Unmanned Aerial Systems (UAS), *Proceedings of the South Baltic Conference on dredged materials in dike construction*, Rostock: 119 - 126.

- Neumann, R. & Henneberg, M. 2014. Legal Aspects for the Reuse of Dredged Material and the Application in Dike Constructions, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 189 - 194.
- Neumann, R. & Henneberg, M. 2014. The Project DredgDikes: Characterization of Chemical Properties of the Dredged Material and First Results on Vegetation Monitoring, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 31 - 44.
- Neumann, R. 2014. Environmental issues of dredged materials used in the DredgDikes Project in context with national legal aspects, *Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Developments in Flood Protection*, Gdansk: 12 pp.
- Nitschke, E. 2014. Comparison of two Methods to Evaluate the Data from Seepage Tests at the German DredgDikes Research Dike, *Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Developments in Flood Protection*, Gdansk: 8 pp.
- Nitschke, E., Cantré, S. & Saathoff, F. 2014. Full-Scale Seepage Experiments at the German DredgDikes Research Dike, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 53 - 59.
- Olschewski, J., Cantré, S. & Saathoff, F. 2014. Flume Experiments to Determine the Erosion Stability of the German DredgDikes Research Dike, *Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Developments in Flood Protection*, Gdansk: 11 pp.
- Olschewski, J., Cantré, S. & Saathoff, F. 2014. Overflowing Tests on the Rostock DredgDikes Research Dike, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 67 - 74.
- Ossowski, R. & Sikora, Z. 2012. Perspektywy Zastosowania Materiałów Antropogenicznych W Kontekście Zielonej Geotechniki, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* **59**: 65-71.
- Ossowski, R. & Wyróślak, M. 2012. Hybrydowa Technologia Wzmacniania Gruntu W Renowacji Wałów Przeciwpowodziowych, [Hybrid Technology of Ground Improvement in Dike Renovation], *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 2012(4): 483-486.
- Ossowski, R. 2014. Selected Results and Conclusions from Large-Scale Dike Experiment at Polish Test Site, *Proceedings of the South Baltic Conference on New Technologies and Recent Developments in Flood Protection*, Gdansk: 6 pp.
- Ossowski, R., Sikora, Z., Duszyński, R. & Sawicki, J. 2014. Investigation on Water Infiltration and Water Content Changes in a Large-scale Experimental Test Dike, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 47 - 42.
- Saathoff, F. & Cantré, S. 2014. Geosynthetics and Dredged Materials in Dike Construction, *Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics*, Berlin: 10 pp.
- Saathoff, F. & Cantré, S. 2014. The Project DredgDikes, *Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction*, Rostock: 7 - 10.
- Saathoff, F., Cantré, S., Große, A.-K. & Nitschke, E. 2014. Deichdeckschichten aus feinkörnigem Baggergut aus dem Ostseeraum, *Proceedings HTG-Kongress 2014 zum 100jährigen Jubiläum der HTG*.
- Sikora, Z., Duszyński, R., & Cantré, S. 2013. Projekt DredgDikes – wykorzystanie urobku z robót czerpalnych do budowy wałów przeciwpowodziowych, *Inżynieria Morska i Geotechnika* **34**(1): 64 - 68.
- Sikora, Z., Szczygielski, T. & Ossowski, R. 2012. Green geotechnics in practice and theory, *Proceedings of the 40th Annual Conference on Foundations*, Brno: 184-191
- Sikora, Z. & Ossowski, R. 2013. Geotechnical Aspects of Dike Construction Using Soil-Ash Composites, *Procedia Engineering, Proceedings of the 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques* **57**: 1029 - 1035.

