

Data:

Marzec 2019

RUROCIĄG PODMORSKI BALTIC PIPE – POZWOLENIA I PROJEKTOWANIE METODYKA MODELOWANIA DYSPERSJI OSADÓW DENNYCH

Wykonawca Raportu:

Ramboll Denmark A/S

Hannemanns Alle 53

2300 Copenhagen S

Denmark

Autorzy Raportu:

Henning Smith Nielsen

Jens Rosendal Valeur

SPIS TREŚCI

1.	WSTĘP	3
2.	METODYKA MODELOWANIA	3
2.1	Bieżące modelowanie	3
2.2	Modelowanie transportu osadów	5
3.	SCENARIUSZE MODELOWANIA HYDROGRAFICZNEGO	6
3.1	Wstęp	6
3.2	Metoda wyznaczania okresów reprezentatywnych modelu	7
4.	CHARAKTERYSTYKA WZBIJANEGO / ROZPRZESTRZENIANEGO MATERIAŁU	10
5.	INFORMACJE ZEBRANE Z INNYCH PROJEKTÓW	12
5.1	Charakterystyka wzburzania / rozprzestrzeniania osadów	12
5.2	Rozprzestrzanie się wzburzonych osadów – pogłębiarka podsiębierna	12
5.3	Wzbijanie i rozprzestrzanie osadów - pług oraz pogłębiarka mechaniczna wzdłużna z dyszami hydraulicznymi	13
5.4	Rozprzestrzanie osadów dennych – CSD i TSHD	15
5.5	Rozprzestrzanie osadów podczas układania materiału skalnego	16
6.	ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE WZBIJANIA OSADÓW W MODELU OPRACOWANYM DLA PROJEKTU BP	16
6.1	Założenia dla prac na dnie morza	16
6.2	Pogłębiarka podsiębierna z odkładaniem urobku	17
6.3	Zagłębianie pługiem / wkopywanie mechaniczne z jettingiem	17
6.4	Pogłębiarka typu CSD / TSHD i przesyp na barce	17
6.5	Układanie materiału skalnego	17
6.6	Przyjęte założenia do modelu rozprzestrzeniania się wzbijanych osadów dna morskiego	18
7.	UZYSKIWANE WYNIKI	18
8.	BIBLIOGRAFIA	19

1. WSTĘP

Niniejszy dokument przedstawia metodologię modelowania rozprzestrzeniania się osadów dna morskiego (czyli tzw. wzbijania osadów) na skutek realizacji zadań związanych z budową gazociągu Baltic Pipe.

2. METODYKA MODELOWANIA

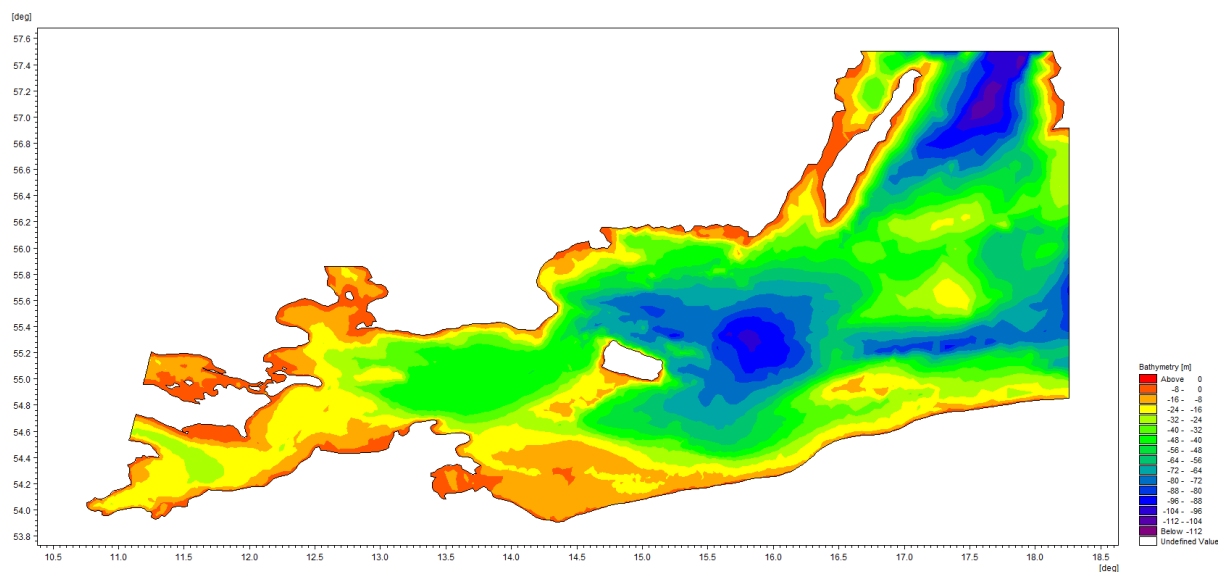
Na potrzeby przedmiotowego Projektu przeprowadzono numeryczne modelowanie rozprzestrzeniania się osadów w systemie modelowania przestrzennego MIKE 3 FM (działającym dzięki technice flexible mesh, czyli siatki elastycznej), opracowanym przez DHI Water & Environment. Sposób modelowania opiera się na metodyce przyjętej w studium metoceanicznym (tj. meteorologiczno-oceanograficznym) (Ramboll, 2019a) na potrzeby przedmiotowej inwestycji, z tym wyjątkiem, że siatka obliczeniowa modelu uwzględnia rozdrobnienie wzdłuż jej wyrównania.

Siatka FM (flexible mesh) wyróżnia się optymalnym stopniem elastyczności, jeśli chodzi o odwzorowanie złożonych układów geometrycznych, umożliwiając płynne odwzorowanie granic. W miejscach na siatce wymagających uszczegółowienia można umieścić elementy niewielkie. Elementy większe siatki przyjmuje się w tych jej częściach, które nie wymagają znacznego uszczegółowienia. Optymalizuje to ilość informacji zadanej do przetworzenia w określonym czasie wykonania obliczeń.

Dyskretyzacja przestrzenna równań regulujących model realizowana jest metodą objętości skończonej skupionej komórkowo. W płaszczyźnie poziomej przyjęto siatkę nieuporządkowaną. Siatkę uporządkowaną przyjęto w domenie pionowej (otrzymując model trójwymiarowy).

2.1 Bieżące modelowanie

Retrognostyczne studium metoceaniczne warunków hydrodynamicznych, uwzględniające prędkość prądów morskich, zasolenie i temperaturę, oparto na danych przetworzonych w MIKE 3 FM. Model uwzględnia Basen Arkoński i Bornholmski z przyległymi do basenów wodami — domenę modelu zilustrowano na Rysunku 2-1 (Ramboll, 2019a).



Rysunek 2-1 Domena modelu i dane batymetryczne przyjęte do obliczeń hydrodynamiki.

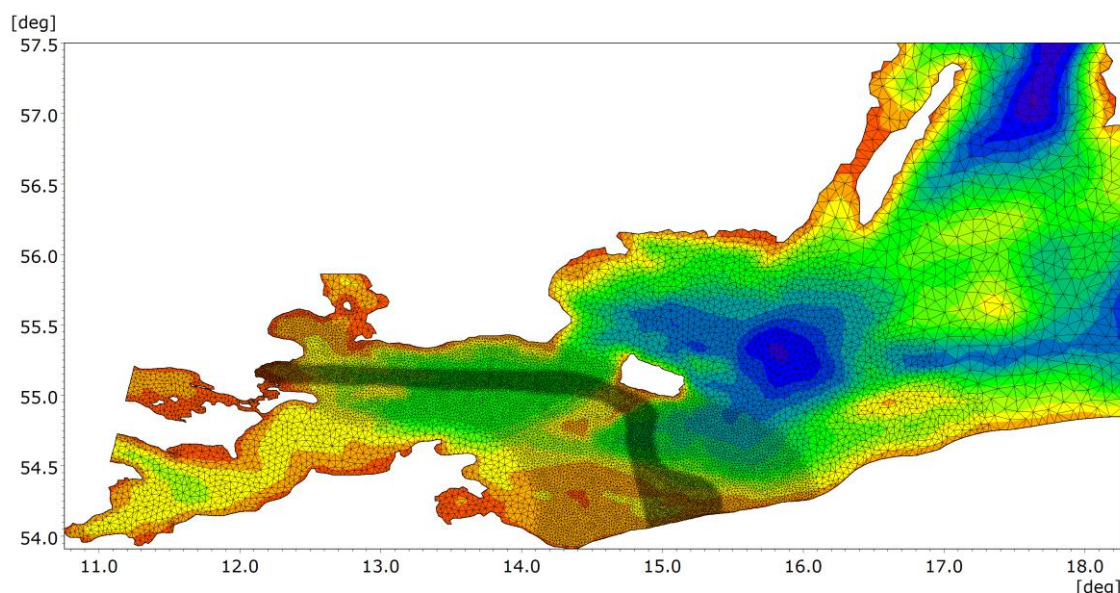
Dane batymetryczne opracowano na podstawie informacji z następujących źródeł:

Baltic Sea Hydrographic Commission, 2013, Baltic Sea Bathymetry Database (Baza Batymetryczna Morza Bałtyckiego), wersja 0.9.3, siatka danych 500 m x 500 m (pobrano z adresu: <http://data.bshc.pro/> w grudniu 2017 r.).

MIKE 3 FM opiera się na metodzie siatki elastycznej opracowanej z myślą o zastosowaniu w badaniach środowiska oceanograficznego, przybrzeżnego i osadów ujść rzek. Siatka elastyczna w płaszczyźnie poziomej jest dyskretyzowana elementami trójkątnymi o różnej wielkości, co optymalizuje dokładność wyników obliczeń oraz skraca dostatecznie czas wykonania obliczeń.

Siatka wyróżnia się wysoką rozdzielczością wzdłuż korytarza trasy gazociągu (czyli małymi elementami siatki) i w okolicy wyjścia gazociągu na ląd. Rozdzielczość maleje wraz ze wzrostem odległości od korytarza gazociągu. Słup wody ujęty w płaszczyźnie pionowej wyróżnia się dyskretyzacją kombinowaną σ -z. Wysokość słupa wody na ostatnich 10 m od powierzchni morza opisano czterema warstwami σ o różnej grubości, zależnej od zmian poziomu morza. Poniżej warstw σ słup wody zdyskretyzowano warstwami z o stałej grubości równej 2,5 m.

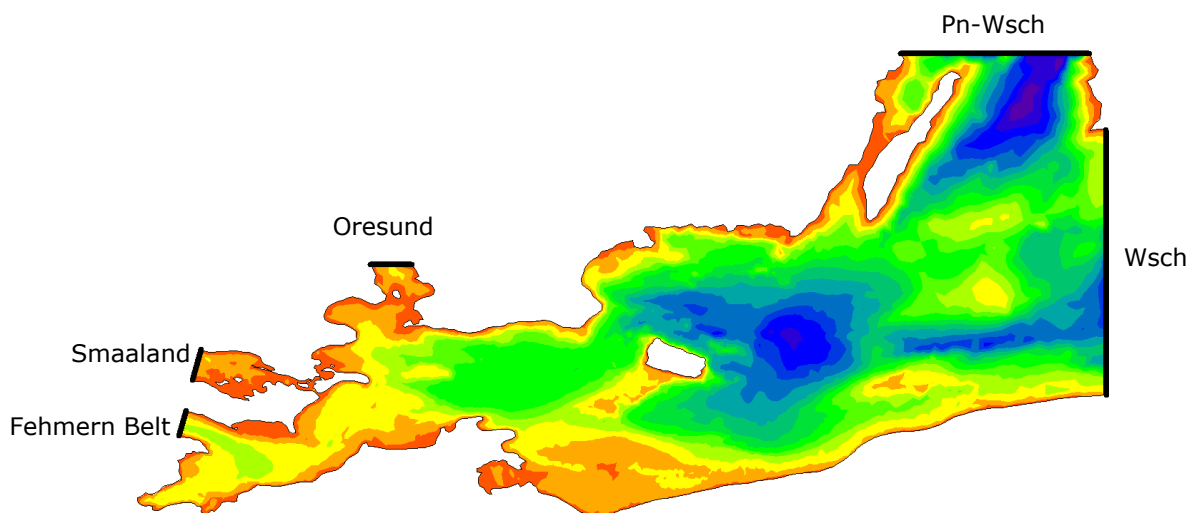
Na Rysunku 2-2 przedstawiono poziomą siatkę elastyczną trójkątną modelu domeny, przyjętą do zamodelowania rozprzestrzeniania się osadów (patrz Rozdział 2.2).



Rysunek 2-2 Siatka obliczeniowa w płaszczyźnie poziomej modelu hydrodynamicznego.

W modelu hydrodynamicznym wymuszono wahania poziomu wody, prędkość prądów morskich, temperaturę i zasolenie dla wszystkich pięciu granic otwartych — granice otwarte zilustrowano na Rysunku 2-3. Dane graniczne pochodzą z modelu hydrodynamicznego Morza Bałtyckiego, opracowanego przez DHI i przekazanego na potrzeby inwestycji polegającej na budowie gazociągu Baltic Pipe.

Okres danych retrognostycznych liczy 10 lat, od 01.01.2008 do 01.01.2018. Model obliczono dla całego tego okresu.



Rysunek 2-3 Otwarte granice modelu — wyróżnione czarną kreską.

Przyjęto wahania poziomu wody w postaci danych jednowymiarowych zmiennych wzdłuż granicy i w funkcji czasu. Prędkość prądów morskich, zasolenie wody i temperaturę przyjęto w postaci pól dwuwymiarowych pokrywających przekrój poprzeczny granicy ze zmiennością tych parametrów w funkcji czasu.

Warunki meteorologiczne przyjęto w postaci pól dwuwymiarowych, pokrywających całość płaszczyzny modelu z rozdzielczością przestrzenną równą 0,1 stopnia. Parametry warunków obejmują składowe prędkości wiatru oraz ciśnienie atmosferyczne. Źródłem przytoczonych danych jest firma DHI. Dane te są spójne z danymi przyjętymi dla granicy modelu.

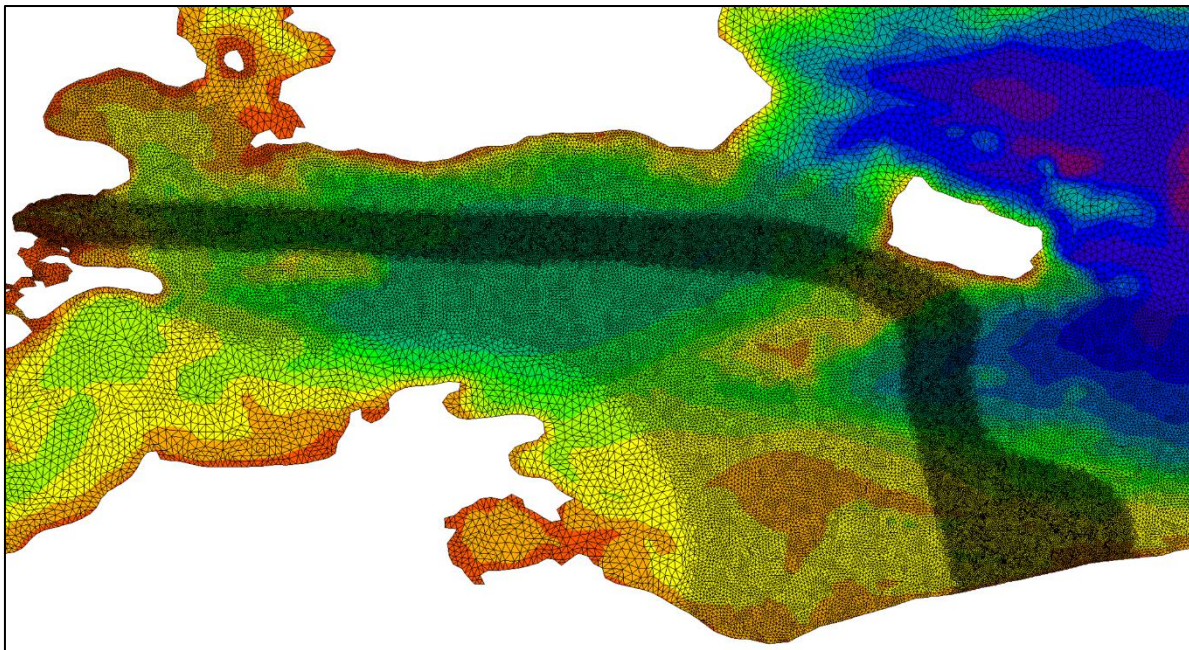
Ujścia rzek (czyli wody słodkie) uwzględniono w postaci źródeł wody i przyjęto dla nich dobowe wielkości zrzutu wody do morza. Źródłem tych danych jest „Vattenwebb” (<http://vattenwebb.smhi.se>) i obejmują one terytorium Szwecji. Dane o zrzutach wód rzecznych z terenów Danii, Niemiec i Polski pochodzą z „Baltic Area Hype” (<http://balt-hypeweb.smhi.se>). Hostem obu domen-źródeł wspomnianych danych jest SMHI. Model uwzględnia dziewięć dużych rzek, których zrzut wód do morza poddano skalowaniu takiemu, aby skompensować pominięte tu zrzuty wody słodkiej i rzeki o niewielkich wartościach (Ramboll, 2019a).

2.2 Modelowanie transportu osadów

Rozprzestrzenianie się osadów z dna morskiego, podrywanych w wyniku budowy gazociągu Baltic Pipe, opracowano modelem obliczonym w module Particle Tracking (PT) programu MIKE 3 FM.

Technika particle tracking (tj. śledzenia cząstek) opiera się na dyskretyzacji Lagrange’a. Dzieli ona całość masy wprowadzonej do systemu obliczeniowego na określoną liczbę cząstek, z których każda ma konkretne współrzędne w przestrzeni oraz masę. Jest to metoda odmienna od dyskretyzacji eulerowskiej, polegającej na odwzorowaniu masy w postaci średnich stężeń na siatce obliczeniowej. Podstawowym zamysłem leżącym u podstaw techniki particle tracking jest transport modelowanych cząstek wedle konkretnego układu dryfowania, uzupełniony o ich rozprzestrzenianie się celem dodania do modelu tzw. losowego „okresu chodu” (DHI, 2017).

Technika particle tracking przydaje się zwłaszcza w modelach wąskich słupów, inaczej pióropuszy lub smug, np. takich, jak słupy osadów wzbijanych z dna morskiego podczas budowy gazociągu BP. Technikę tę wybrano, ponieważ symulowana szerokość słupa jest niezależna od rozdzielczości siatki obliczeniowej. Z kolei w metodzie eulerowskiej nie można zawęzić słupa do wartości mniejszej niż równa rozdzielczości siatki. W przedmiotowym modelu przyjęto siatkę rozdrobnioną (patrz Rysunek 2-4).



Rysunek 2-4 Rozdrobniona siatka modelu przyjęta w modelowaniu transportu osadów

Poza podstawowymi procesami modelowanymi, tj. dryfu i rozprzestrzeniania się, funkcje modelu uwzględniają osiadanie, wypór i erozję — czynniki te są istotne w obliczeniach rozprzestrzeniania się zawieszin osadów.

Moduł particle tracking dzieli cząstki na różne klasy. W ramach przedmiotowego modelowania klasy te odpowiadają różnicom we frakcjach wielkości cząstek (ziaren) osadów.

Łączne oddziaływanie prądów, oporu wiatru i oporu dna morskiego skutkują dryfowaniem cząstek w modelu. Rozproszenie w modelu odwzorowuje rozprzestrzenianie się cząstek powodowane mechanizmem molekularnym i burzliwym. Cząstki osadów odwzorowano zachowawczo (tj. nie uwzględniając zaniku), zaś prędkość ich osiadania określono dla każdej z klas wielkości ziarna. Dla każdej z tych klas założono również konkretne kryteria mechanizmu erozji.

3. SCENARIUSZE MODELOWANIA HYDROGRAFICZNEGO

3.1 Wstęp

Modelowanie rozprzestrzeniania się osadów dna morskiego zawieszonych w wodzie w wyniku prowadzenia prac budowlanych dotyczących gazociągu BP przeprowadzono w warunkach hydrograficznych prognozowanych na chwilę faktycznego prowadzenia tychże robót. Wyniki dyspersji osadów definiują zakres wpływu na receptory środowiska, np. ryby.

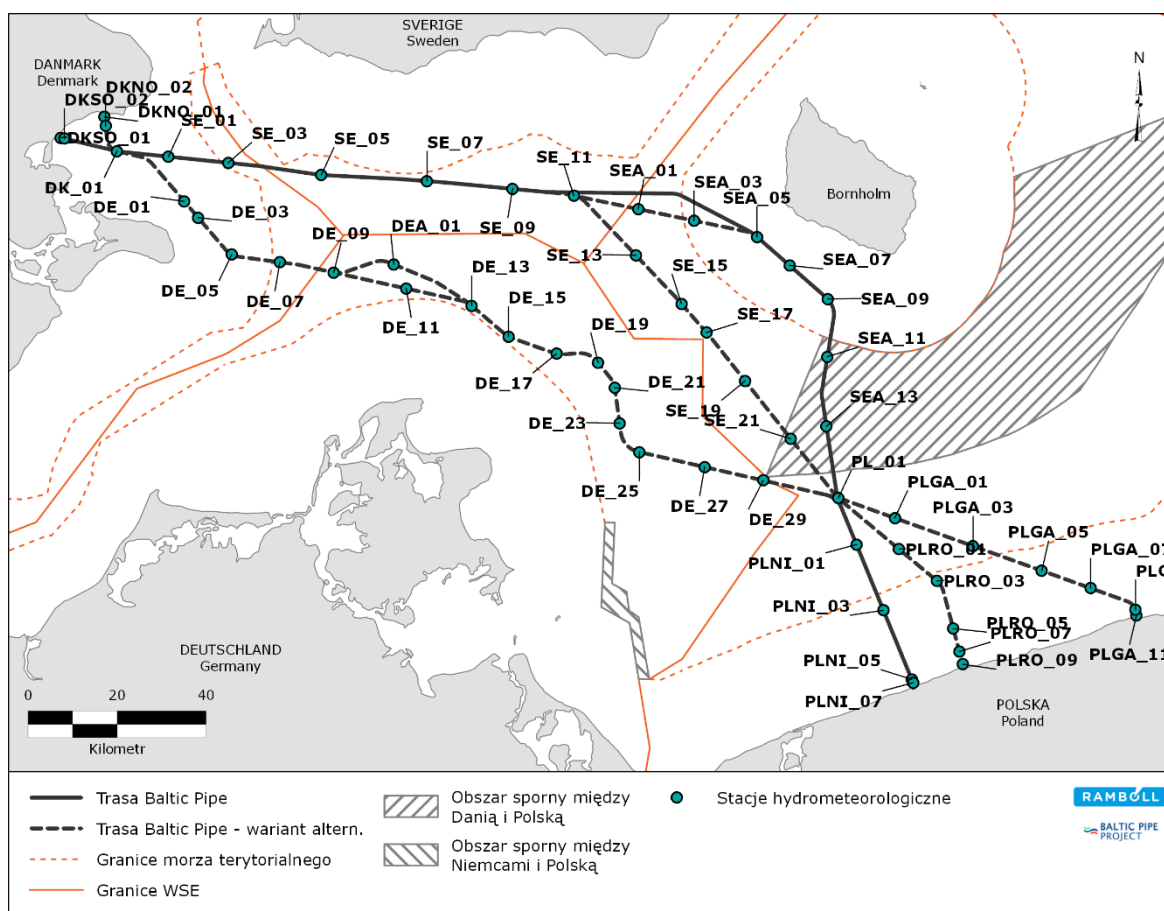
Na potrzeby przeprowadzanie oceny oddziaływania przyjęto typowe warunki sezonowe i takie założenia przyjęto również dla modelowania. Opracowano zatem model rozprzestrzeniania się osadów dla trzech typowych sytuacji hydrograficznych:

- warunki normalne, reprezentatywne dla całego roku;
- warunki letnie, wyróżniające się względnie spokojnymi prądami wodnymi;
- warunki zimowe, wyróżniające się względnie silnymi prądami wodnymi.

Niezbędne jest, aby modelowanie obejmowało typowe warunki hydrograficzne dotyczące dyspersji i transportu osadów. Wzburzony osad jest transportowany z dala od miejsca uwolnienia, tym samym następuje rozcieńczenie zawiesiny. Jest to związane z intensywnością i zmiennością prądu. Można to opisać trajektoriami ruchu cząstek. Charakterystyczne okresy zostały określone na

podstawie analizy rozkładu długości trajektorii (odległości transportowe uwolnionego osadu). Metodykę definiowania okresów opisano w Rozdziale 3.2.

Okresy reprezentatywne dobrano na podstawie analizy 10-letniego okresu modelowania pól prądowych, przeprowadzonej w studium metoceanicznym przygotowanym na potrzeby przedmiotowego Projektu (Ramboll, 2019). Okres modelowania to lata 2008-2017 (włącznie). Dane uzyskano z trzech stanowisk naniesionych wzdłuż proponowanej trasy gazociągu (wg jej stanu z 15 czerwca 2018 r.). Stanowiska te oznaczono SE_01, SE_11 i PL_01, jak na Rysunku 3-1. Założono okres modelowania równy 1 miesiącowi. Okres 1-miesięczny modelowania w warunkach letnich zawiera się w porze roku od kwietnia do września. Okres 1-miesięczny modelowania w warunkach zimowych zawiera się w porze roku od października do marca.



Rysunek 3-1 Stanowiska danych źródłowych ze sprawozdania metoceanicznego (Ramboll, 2019a).

3.2 Metoda wyznaczania okresów reprezentatywnych modelu

Wyznaczając okresy reprezentatywne w których modeluje się transport cząstek, należy rozważyć, jak daleko da się unieść cząstki danej substancji od miejsca ich wydzielania. Zakłada się, że dana substancja przenosi się pod wpływem ruchów otaczającego jej ośrodka wodnego (jest to zjawisko adwekcji). W przypadku zawiesin osadów, ich substancja (tj. cząstki) opadają (osiadają), a tym samym są przenoszone tak długo, aż wytrącą się z zawiesiny.

Cząsteczka pozostaje zatem w zawiesinie, dopóki nie opadnie na dno morza. Czas osiadania zależy od wysokości wydzielenia nad dnem morza oraz prędkości osiadania badanych cząstek. Przyjęte w przedmiotowym modelu prędkości osiadania cząsteczek mieszczą się w zakresie 0,05-20 mm/s, uwzględniając wielkości ziaren typowe dla glin, ilów i piasku droбноziarnistego (maksymalnie 250 μm). Założono, że osady o większych ziarnach nie będą przenoszone w zawiesinie wodnej, a tym samym nie wystąpią w zawiesinie wzbijanych osadów dna morskiego. Zgodnie z przyjętymi

powyżej prędkościami osiadania osadu z zawiesiny, osady wydzielające się 10 m nad dnem morskim pozostają teoretycznie w zawiesinie od kilku minut do ponad jednej doby.

W poniższej analizie założono, że osady pozostają w zawiesinie przez 24 godziny. W okresie tym cząstki zawiesiny przenoszone są trajektorią zbieżną z przepływem prądów morskich i wytrącają się ostatecznie po upływie 24 godzin, na końcu owej trajektorii. Długość owych trajektorii zależała będzie od warunków przepływu prądów wodnych a tym samym będzie zmienna w czasie. Cząstka wydzielona w danym czasie podąża trajektorią inną od tej, którą podąża inna cząstka, wydzielona godzinę później.

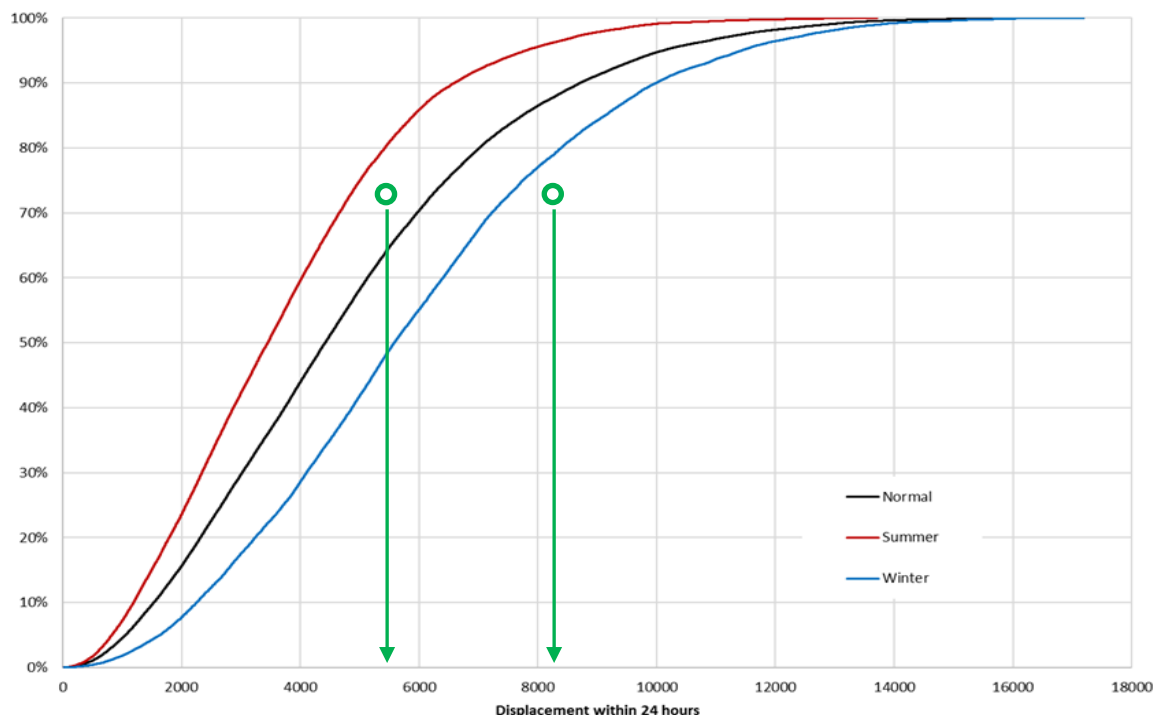
Trajektorie dobowe obliczano co godzinę w okresie 10-letnim modelowania pól prądowych na podstawie danych ze studium metoceanicznego (Ramboll, 2019a). Rozkład tak opracowanych 8472 trajektorii w okresie 10-letnim (2008-2017 włącznie) określa ramy okresu „normalnego”. przedstawia rozkład krzywych biegnących od stanowiska SE_01 (którego położenie podano na Rysunku 3-1). Wyniki przedstawiono dla całego roku oraz osobno dla pory letniej i zimowej. Rozkład trajektorii przeanalizowano osobno dla pory letniej i zimowej, aby rozpoznać charakterystyczne okresy odpowiadające porom roku (patrz Rysunek 3-3).

Uzyskane wyniki wskazują, iż na przykład 80% cząstek osadów wydzielonych w porze letniej powinno w teorii wytrącić się w promieniu 5400 m od miejsca wydzielenia. W okresie zimowym ten sam odsetek wytrąciłby się w promieniu 8400 m.

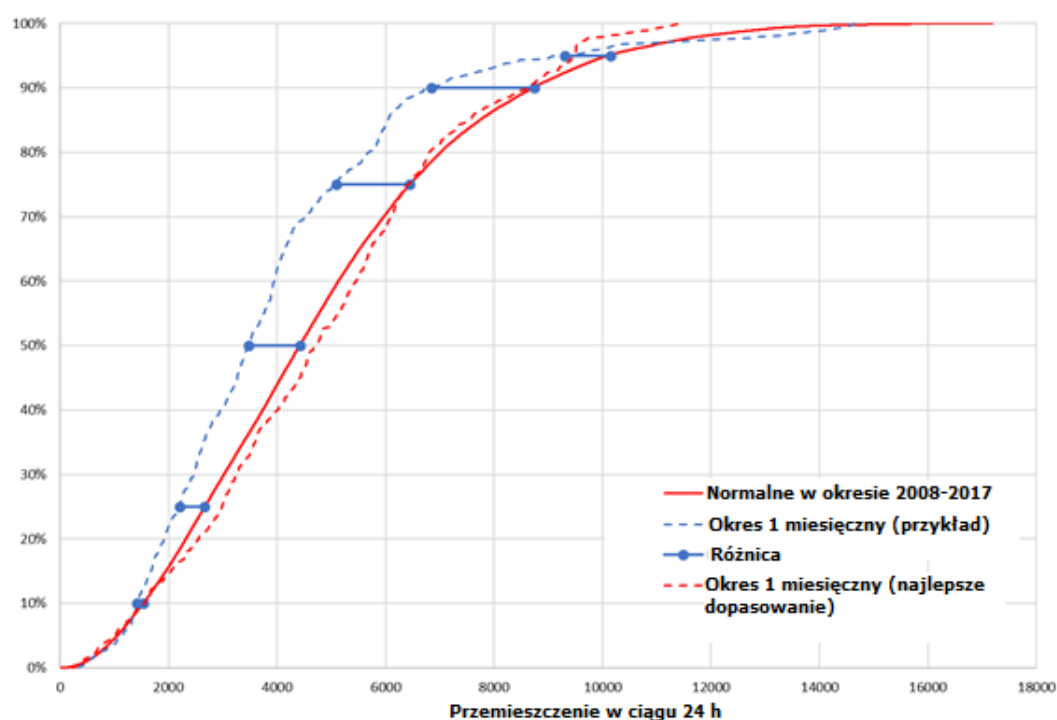
Oznacza to, że ilość materiału wzbijanego zimą pokryłaby większą powierzchnię niż taka sama ilość w porze letniej. Tym samym wnioskuje się, że gdy identyczna ilość materiału ogranicza się do mniejszego obszaru, występowałałaby tam w większym stężeniu latem niż zimą.

Chcąc wyznaczyć podokres reprezentatywny, należy ustalić okres o składowych podobnych do 10-letniego okresu bazowego, przedstawionego na Rysunku 3-3. Niewykonalne jest wyznaczenie idealnej zbieżności.

Rozkłady 1-miesięczne obliczane były się co godzinę w okresie od 2008 do 2017 r. (włącznie). Odchylenie wyznaczone zostało dla percentyli: 10%, 25%, 50%, 75%, 90% i 95%. Zasadę tę zastosowano dla stanowiska SE_01, co przedstawiono zostało na Rysunku 3-4. Jednakże, aby uwzględnić odwzorowanie geograficzne wzdłuż trasy gazociągu, rozpatrzono dane z trzech stanowisk, tj. SE_01, SE_11 i PL_01. Otrzymano optymalne dopasowanie dla okresu, w którym średnia kwadratowa różnica była najmniejsza. Wyróżniono również najlepsze dopasowanie danych.



Rysunek 3-2 Dystrybucja trajektorii dla całego roku, w sezonie letnim i zimowym oddzielnie. Jako przykład 80% percentyl dla lata i zimy są oznaczone zielonymi liniami. (Legenda: Displacement within 24 hours - Przemieszczenie w ciągu 24 godzin; Normal – Normalne; Summer – Letnie; Winter – Zimowe).



Rysunek 3-3 Przykładowy rozkład długości przemieszczenia w danym okresie w porównaniu z rozkładem wszystkich danych i okresu najlepiej dopasowanego.

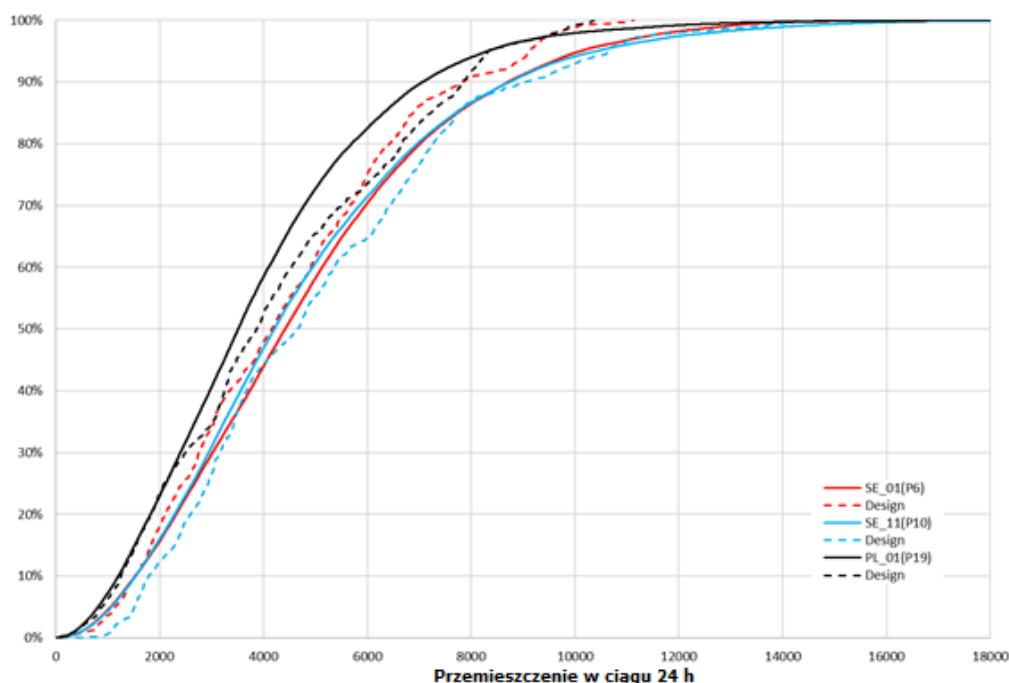
Zasadniczo prognozuje się, że prądy wodne silniejsze w zimie powinny skutkować odcinkami transportu cząstek dłuższymi niż prądy spokojne w porze letniej. Tym samym przeanalizowano dane prądów w obu porach roku odrębnie, aby wyznaczyć typową porę letnią i zimową. W analizie mającej wyznaczyć porę letnią uwzględniono jedynie dane z miesięcy od kwietnia do września. W przypadku pory zimowej uwzględniono dane z miesięcy od października do marca (kolejnego roku).

Rozpoznane w ten sposób 2-miesięczne okresy modelowania zestawiono w Tabeli 3-1.

Tabela 3-1 Rozpoznane 2-miesięczne okresy modelowania

Okres	Początek	Koniec
Normalny	12-08-2017	12-10-2017
Lato	14-06-2015	13-08-2015
Zima	23-01-2011	26-03-2011

Dane dla rozpoznanego okresu normalnego i z modelu 10-letniego przedstawiono na Rysunku 3-3. Podobne analizy przeprowadzono dla pory letniej i zimowej.



Rysunek 3-4 Dopasowanie danych z okresu normalnego i modelu 10-letniego dla każdego z trzech stanowisk — SE_01, SE_11 i PL_01 (Położenie stanowisk podano na Rysunku 3-1).

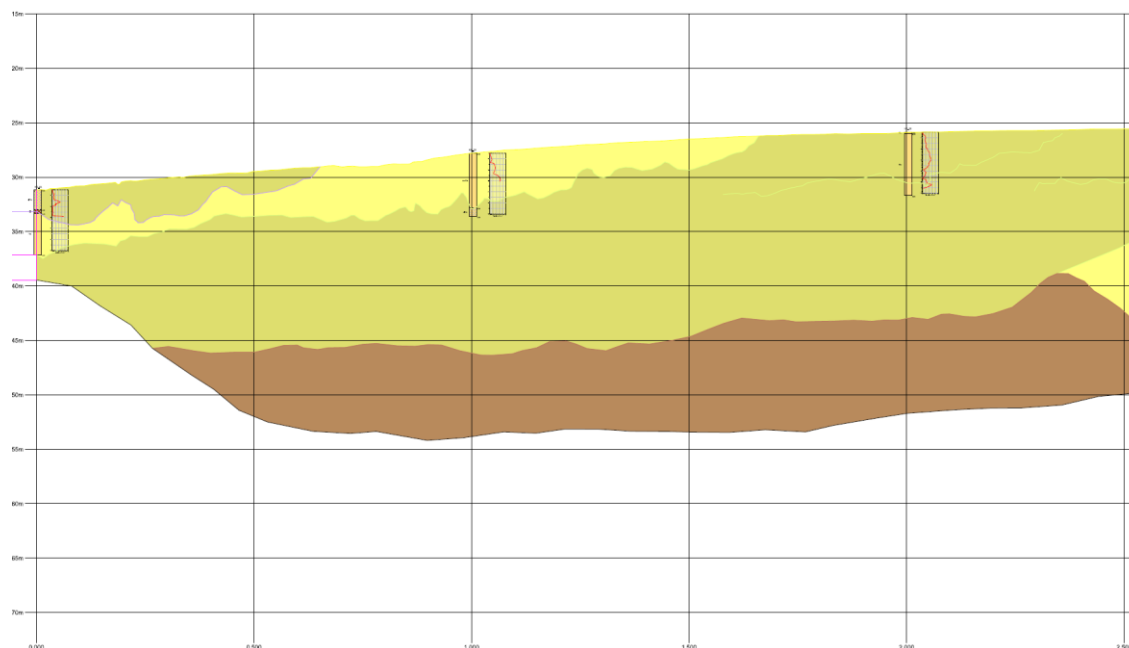
4. CHARAKTERYSTYKA WZBIJANEGO / ROZPRZESTRZANIEGO MATERIAŁU

Prace nad budową gazociągu podmorskiego mogą skutkować wzbijaniem materiałów z dna morza do postaci zawiesiny w słupie wodnym. W zależności od rodzaju prac budowlanych przewiduje się wzbicie osadów z górnych warstw o głębokości 0-5 m licząc od powierzchni dna morskiego. Operacje wkopywania gazociągu i pogłębiania dna morskiego obejmują zwykle głębokość 0-2,5 m licząc od powierzchni dna morskiego. Szerokość wykopu powstającego podczas wkopywania gazociągu maleje wraz z głębokością pod powierzchnią dna morskiego. Stąd przewiduje się, że do słupa wody wydzielą się głównie osady z najpłytszych warstw dna morskiego.

W modelu uwzględniono wyłącznie frakcję droбноziarnistą rozprzestrzeganego materiału. Model nie uwzględnia kamieni, żwirów ani grubszych ziaren osadów, ponieważ przewiduje się ich osiadanie wyłącznie w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc budowy. Model uwzględnia zatem osady gliniaste, ilaste i piasku droбноziarnistego.

Materiał wzbijany z dna morskiego scharakteryzowano na podstawie danych z dostępnych badań geofizycznych, programów geotechnicznego poboru próbek i analiz uzyskanych wyników. Na poniższej ilustracji przedstawiono przykład wzdłużnego przekroju geofizycznego. Przekrój

obejmuje odcinek o długości mniej więcej 2 km z układem piasków o średnim uziarnieniu, piasków ilastych i glin morenowych. Wzdłuż przedstawionej trasy pobrano próbki za pomocą wibrosondy. Wzdłuż niżej przedstawionego odcinka próbki pobierano ze stanowisk oddalonych od siebie o 1 km. Szczegółowe informacje przedstawione zostały w dokumentach źródłowych niniejszego opracowania, dotyczących podmorskich wierceń wibrosondą (Ramboll, 2018a), podmorskich wierceń CBT oraz sondowania T-bar (Ramboll, 2018b) z geotechniczną interpretacją wyników owych badań (Ramboll, 2019b).



Rysunek 4-1 Przykładowy podłużny przekrój geofizyczny. Przekrój obejmuje odcinek o długości mniej więcej 2 km, z układem piasków o średnim uziarnieniu, piasków ilastych i glin morenowych.

Osady na powierzchni dna morskiego scharakteryzowano wzdłuż trasy gazociągu na podstawie oceny przeprowadzonej przez biegłego geologa. Osady powierzchniowe (tj. partii obejmującej głębokość 2 m od powierzchni dna licząc) scharakteryzowano ujmując procentowy udział glin, iłów i piasków drobnoziarnistych. Dane podano poniżej w Tabeli 4-1.

Tabela 4-1 Skład dna morskiego wzdłuż trasy gazociągu obejmujący frakcje drobnoziarniste (gliny, iły i piaski drobne)

KP [km]		Typ gleby	Zawartość materiałów drobnoziarnistych			Gęstość masy suchej ρ_d [kg/m ³]	Podstawa
Początek	Koniec		Gliny [%]	Iły [%]	Piaski drobne [%]		
1,0	4,5	Piaski IA	0	0	70	1660	BP01-V01 – 08
4,5	5,8	Gliny morenowe IIIC	15	40	22	1900	RAM01
5,8	10,8	Piaski IA	0	0	60	1660	RAM01 – 02
10,8	11,8	Gliny morenowe IIIC	15	40	25	1960	BP01-V11, RAM03
11,8	20,5	Piaski IA	0	0	50	1660	RAM04 -06 i 09, BP06-V01 – 03
20,5	24,1	Gliny morenowe IIIC	20	30	30	1960	BP06-V03
24,1	25,6	Wapień	20	50	5	1600	RAM10
31,0	33,0	Piaski IA na podkładzie z gliny morenowej	0	0	50	1660	BP06-V07
33,0	35,0	Piaski IA na podkładzie kredowym	0	0	20	1660	RAM02-BP06
48,0	54,0	Gliny IIB na podkładzie z gliny morenowej	50	40	10	1390	BP06-V14 i V15
74,0	79,0	Gliny na piaskach i glinach morenowych	25	60	15	1830	BP06-V23

111,0	114,0	Gliny IIB	70	25	5	940	BP06-V35 – V34
121,0	131,0	Gliny IIB pod warstwą gytii o gr. 0-1 m	70	30	0	710	BP09-V01 – V05
134,0	138,0	Gliny IIB	60	35	3	970	BP09-V06 i V07
175,0	177,0	Piaski IA	0	0	20	1660	BP09-V20
177,0	178,0	Piaski IA	0	0	80	1660	BP09-V21
207,0	213,0	Gliny IIB z warstwami ilów	50	45	5	910	HO21 – HO14
236,4	253,8	Piaski IA	0	0	70	1660	AG38 – AG21
253,8	257,8	Piaski IA z glinami morenowymi	0	0	70	1660	AG20 – AG17
257,8	260,9	Gliny morenowe IIIB na piaskach	20	40	25	1960	AG16 – AG14
260,9	263,9	Piaski IA	0	0	60	1660	AG13 – AG11
Trasa w wariancie Niechorze							
263,9	267,3	Gliny morenowe IIIB na piaskach	20	40	20	1910	AG10 – AG07
267,3	268,9	Piaski IA	0	0	70	1660	AG06
268,9	269,2	Piaski IA	0	0	70	1660	AG06
269,2	270,7	Gliny morenowe IIIB na piaskach	25	35	20	1870	AG05 i AG04
270,7	272,3	Piaski IA	0	0	70	1660	AG03 – AG01
Trasa w wariancie Rogowo							
243,8	263,7	Piaski późnoglacialne	0	0	80	1660	BH20-BH39
228,4	243,8	Piaski i iły późnoglacialne	0	20	60	1660	BH40-BH55

5. INFORMACJE ZEBRANE Z INNYCH PROJEKTÓW

Poniższy rozdział przedstawia informacje zebrane na bazie innych podobnych projektów w zakresie wzburzania i rozprzestrzeniania osadów dennych podczas realizacji prac na dnie morskim.

5.1 Charakterystyka wzburzania / rozprzestrzeniania osadów

Procentowy wskaźnik wzburzania osadów opisuje się poniższą proporcją:

$$\frac{\text{Prędkość tworzenia się w słupie wody zawiesiny z materiału wybieranego [kg/s]}}{\text{Prędkość wybierania [kg/s]}} \quad [\%]$$

Wybieranie oznacza masę materiału przenoszonego w jednostce czasu podczas pogłębiania dna, wkopywania gazociągu, układania gazociągu na dnie morza lub układania materiału skalnego.

5.2 Rozprzestrzenianie się wzburzonych osadów – pogłębiarka podsiębierna

Rozprzestrzenianie się wzburzonych osadów podczas pogłębiania dna pogłębiarką podsiębierną zależy od rodzaju urządzeń służących do wykonywania takich robót, charakterystyki wybieranych osadów oraz warunków w miejscu prowadzenia robót (tj. głębokości wody, siły fal, prądów wodnych itp.). W szczególności istotne są właściwości osadu, tj. skład granulometryczny, stopień scalenia osadu itp.

Doświadczenia praktyczne z pomiarów rozprzestrzeniania wzburzanego osadu dennego podczas pogłębiania dna bagrownicą podsiębierną na terenie inwestycji dotyczącej budowy połączenia przesyłowego Øresund Link wykazały, że ilość rozprzestrzenianych osadów wynosi średnio 3,5% podczas bagrowania i 0,3% podczas rekultywacji. W omawianym przypadku pogłębianie dna składało się z gliny morenowej oraz osadów wapiennych. Wartość procentowa jest wielkością średnią. Stwierdzono skłonność do wzrostu ilości wzbijanych i rozpraszanych osadów podczas bagrowania w warstwach wapiennych, ze spadkiem owej ilości podczas bagrowania warstw glin

morenowych. Względnie niewielki procent wzbijanych osadów podczas rekultywacji wynika z faktu, że prowadzono ją w obrębie zamkniętych obwałowań. Głównym czynnikiem sprawczym rozprzestrzeniania osadów wzburzanych podczas pogłębiania dna bagrownicami podsiębiernymi jest najprawdopodobniej zjawisko wymywania drobnych ziaren na etapie podnoszenia czepaka bagrownicy pionowo w słupie wody (Lorenz, 1999).

Dno w ramach inwestycji Øresund Link pogłębiano w warunkach występowania przeważająco silnych prądów morskich (o prędkości do 2 m/s). Tym samym nie dało się zminimalizować rozprzestrzeniania wzbijanych osadów za pomocą sit iłowych (Lorenz, 1999). Ponadto zauważyć należy, że ilość rozprzestrzeganego osadu byłaby mniejsza w miejscach bardziej osłoniętych niż w omawianych warunkach — np. w miejscu wydobywania TBM z morza i miejsca odkładu osadów.

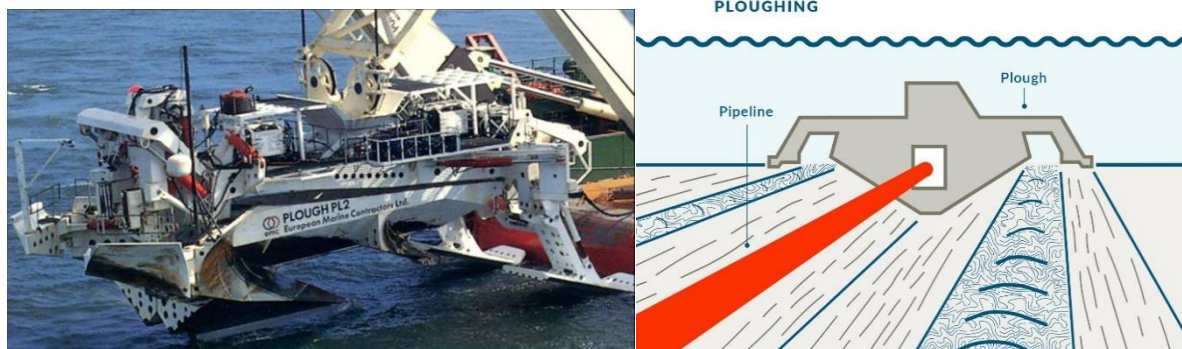
Rijn (2018) opracował dane z pomiarów mętności wód wywołanej bagrowaniem i odkładaniem osadów wybieranych z wykopu. Rozprzestrzenianie się osadów wzbijanych podczas mechanicznego pogłębiania dna (w tym bagrownicami podsiębiernymi) sięgało mediany 1,5% przy średnim odsetku rzędu 2%.

Doświadczenia z budowy gazociągu Nord Stream 1 oraz jego monitoringu przyjęto do oceny rozprzestrzeniania osadów wzbijanych podczas bagrowania terenu wyjścia gazociągu Nord Stream 2 na ląd w Niemczech. Na tej podstawie oszacowano wskaźnik wzbijania osadów przy użyciu pogłębiarki podsiębiernej w miejscu wyjścia gazociągu na ląd w Niemczech na poziomie 3% ilości osadów drobnoziarnistych (Ramboll / Nord Stream 2 AG, 2017).

W przypadku odkładania na dno osadów z pokładu szalandy z klapą denną, ilość rozprzestrzanych osadów zależy w znacznym stopniu od właściwości odkładanego materiału. Materiał gruboziarnisty (żwiry, grudy gliny morenowej, piaski grube itp.) opadają natychmiast na dno morza pod wpływem siły ciężenia. Większość materiałów o drobniejszym ziarnie również wytrąca się na dno morza (Rijn, 2018).

5.3 Wzbijanie i rozprzestrzenianie osadów - pług oraz pogłębiarka mechaniczna wzdłużna z dyszami hydraulicznymi

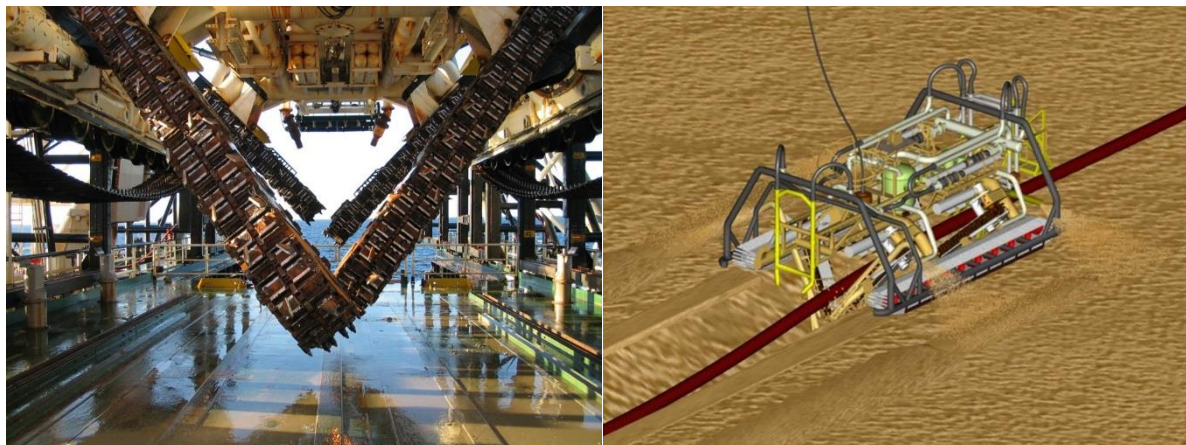
Na potrzeby projektu gazociągu Nord Stream 2, prognozowano wskaźnik wzbijania osadów równy 2% dla wkopywania gazociągu przy użyciu pługa (patrz Rysunek 5-1) (Valeur i in., 2012). Pomiary prowadzone podczas realizacji tych prac wykazały, że powyższe założenie jest zachowawcze — najwyższa wartość wskaźnika wzbijania osadów była o dwie trzecie mniejsza, kształtując się poniżej 1% (Rahbek & Valeur, 2012).



Rysunek 5-1 Pług do zagłębiania rurociągu (po lewej) oraz szkic zasady wkopywania gazociągu za pomocą pługa (po prawej).

Do zagłębiania ułożonego gazociągu mogą służyć inne urządzenia, np. pogłębiarka mechaniczna wzdłużna z dyszami hydraulicznymi, np. taka jak jednostka „Digging Donald” przedstawiona na Rysunku 5-2. „Digging Donald” zagłębia gazociąg wycinając pod nim wykop o przekroju klinowym. Służą jej do tego mechaniczne ramiona urabiające i wieloobiegowy układ dysz przetaczających wodę pod wysokim ciśnieniem. Podczas takiego zabiegu przewód gazociągu stopniowo zagłębia się w wykopie za maszyną. Maszyna tego typu jest w stanie zagłębiać rurociągi w osadach różnych

typów, od piasków niespoistych po spoiste oraz od glin bardzo miękkich po bardzo twarde, a nawet w podłożu zbudowanym z niektórych skał (<https://allseas.com/equipment/subsea-equipment/>). Maszyna może urabiać twarde materiały dna morskiego tak jak wspomniany już pług do zagłębiania rurociągów. Nie znaleziono doniesień o wskaźniku wzbijania osadów podczas robót przedmiotową maszyną.



Rysunek 5-2 Przykład maszyny do mechanicznego zagłębiania rurociągów ze wspomaganie jettingiem (dyszami wodnymi) – „Digging Donald” na pokładzie statku do robót zagłębiania (po lewej) oraz schemat jej pracy na dnie.

Alternatywą wobec mechanicznego zagłębiania rurociągów jest zastosowanie sani z dyszami wodnymi tzw. jetting. Jetting polega na zagłębianiu strugami wody, wyrzucanych pod dużym ciśnieniem przez układy specjalnych dysz z obu stron gazociągu. Następuje wymywanie materiału dennego spod gazociągu, tworząc wokół niego zawieszinę. Gazociąg opada na dno tak wymytego wykopu. Sanie z dyszami wodnymi powodują fluidyzację materiału na dnie morza pod wpływem strumieni o dużej prędkości przepływu pod małym ciśnieniem lub małej prędkości przepływu pod dużym ciśnieniem. Stosuje się tę metodę z powodzeniem w osadach typu piaski, żwiry oraz gliny mało i średniospoiste (BERR, 2008). Urobek powstający podczas jettingu tworzy zwykle zawieszinę z grubszą frakcją opadającą w sąsiedztwie trasy rurociągu. Pozostała część osadów wzbijanych tą metodą jest po części rozpraszana prądami wodnymi (Enterprise Energy Ireland Ltd., 2009).

Większość danych dotyczących rozprzestrzeniania osadów wzbijanych podczas jettingu pochodzi z prac zagłębiania kabli podmorskich w dno. Zakłada się jednak, że wskaźnik wzbijania osadów podczas zagłębiania gazociągów jest zbliżony do wskaźnika przy zagłębianiu kabli podwodnych.

Podczas zagłębiania kabli morskiej farmy wiatrowej Nysted w latach 2002-2003 dokonano pomiarów rozprzestrzeniania osadów wzbijanych podczas pogłębiania dna bagrownicą podsiębierną (na etapie wstępnego wykopu i jego zasypywania) oraz zagłębiania kabli metodą jettingu. Pogłębianie dna bagrownicami podsiębiernymi prowadzono głównie w miejscach, w których jetting był niemożliwy – tam, gdzie podłoże było za twarde lub występowały głazy. Jetting ograniczał się do prac na podłożu mniej spoistym. Pomiary stężenia zawiesziny osadów przeprowadzono w odległości ok. 200 m od miejsca robót podwodnych i wykazały, że jetting cechuje się mniejszą ilością wzbijanych osadów niż operacje wstępnego kopania i zasypywania bagrownicami, zarówno pod względem wskaźnika wzbijania osadu (czyli ilości osadu rozprzestrzenianego w funkcji czasu) i odsetka rozprzestrzenianego osadu (stosunku osadów wzbijanych do masy urabianych i przenoszonych materiałów z dna morza) (Seacon, 2005).

W opracowaniu *Hornsea Offshore Wind Farm. Project One – Environmental Statement. Volume 5, Annex 5.1.6 – Cable Burial Plume Assessment, Smart Wind Ltd*, z 2013 r. opisano przegląd danych dotyczących wzbijania osadów przez różne metody układania kabli podmorskich. We wnioskach ujętych w tej pracy o metodzie jetting napisano: „Przedmiotowa technika zagłębiania i zakopywania przewodów wzbija osady tworzące zawieszinę w ośrodku wodnym przyległym do miejsca prowadzenia robót. Wytrącenie się takich osadów, skutkujące przywróceniem normalnej

widoczności w słupie wody, zajmuje nawet kilka godzin” (Smart Wind Ltd., 2013). W tym opracowaniu założono, że wzburzeniu ulega łącznie 25% masy zajmującej powierzchnię przekroju wykopu.

5.4 Rozprzestrzenianie osadów dennych – CSD i TSHD

Pogłębiarka ssąco-refulująca

Rozprzestrzenianie wzburzanych osadów przy zastosowaniu pogłębiarki ssąco-refulującej (ang. *cutter suction dredging*, „**CSD**”) zależy w znacznym stopniu od charakterystyki dna morskiego, warunków hydraulicznych oraz zagospodarowania materiałów dna morskiego po ich wybraniu.

Podczas prac przy użyciu CSD w ramach projektu Øresund Fixed Link (Lorenz, 1999), wielkość rozprzestrzeniania osadów nie była duża i sięgała średnio 4,2% masy wybieranej podczas bagrowania i 0,1% podczas rekultywacji (w tym przypadku rozprzestrzenianie / wzbijanie osadów rozumie się jako osad zawieszony rozchodzący się poza teren robót, czyli strefę o promieniu 200 m od centrum miejsca pogłębianego). Do robót tych użyto dość dużej pogłębiarki CSD (o mocy 19 000 KM, w tym 5 000 KM na ramieniu głowicy urabiającej). Dzięki temu ilość wzburzanych osadów podczas bagrowania była niewielka. Materiał wybrany z pogłębianego dna przepompowywano do basenów zamkniętych obwałowaniem (w ten sposób usypano sztuczną wyspę oraz sztuczny półwysep).

Większość dostępnych publikacji z zakresu monitorowania prac na dnie morskim dotyczy pogłębiarskich prac utrzymaniowych (służącego zachowaniu żeglowności szlaków morskich) w obrębie różnorodnych osadów, od ilów piaszczystych po gliny o dużej wilgotności. Wyniki badań dotyczących wzburzania osadów przez głowice urabiające rzadko trafiają do publikacji — jest ich niewiele z okresu ostatnich 10-15 lat, pomimo faktu pracy nad doskonalszymi metodami i technikami monitoringu (Mills & Kemps, 2016).

Rozprzestrzenieniu ulega nie więcej niż ok. 30 procent materiału urobionego podczas użycia CSD (jest to część nieprzechwycona ssawami). Wartość ta może wzrosnąć do 50 procent podczas użycia CSD w skałach (Mills & Kemps, 2016).

W ramach oceny oddziaływania środowiskowego projektu Wheatstone (Chevron Australia Pty Ltd, 2010) wykonano modele rozprzestrzeniania się osadów podczas prac z użyciem pogłębiarki typu CSD i pogłębiarki nasiębierniej ssącej ze smokiem wleczonym (ang. *trailer suction hopper dredging*, „**TSHD**”) dla gazociągu o średnicy 44”. Urządzenia i prace budowlano-montażowe w ramach owej inwestycji są zbliżone do założonych dla budowy BP, a tym samym modele z tamtego projektu można przyjąć za wzorcowe w szacunkach oczekiwanej prędkości wybierania i wskaźnika wzbijania osadów dennych podczas prac na gazociągu BP.

W ramach inwestycji przewidziano roboty bagrownicą CSD w skali 155 000-250 000 m³/tyg. (0,256-0,413 m³/s) co, zakładając gęstość urabianego materiału na poziomie 1 600 kg/m³, daje 400-700 kg/s. Wskaźnik wzbijania osadu oszacowano w granicach 31-63 kg/s co znaczy, że stosunek osadu wzbijanego do materiału wybieranego wynosi 4-16%.

Ilość osadów rozpraszanych podczas pogłębiania dna bagrownicą typu TSHD oraz przez śruby jednostek nawodnych jest mniejsza niż ilość pochodząca od pogłębiania pogłębiarką ssąco-refulującą, a tym samym powyższe założenia są słuszne w granicach zachowawczych dla pogłębiania bagrownicami typu TSHD.

Pogłębiarka nasiębierna ssąca ze smokiem wleczonym

Problematyka przebiegu pogłębiania maszynami nadsiębiernymi jest dość dobrze znana, a zatem można przewidzieć straty od przesypywania się urobku podczas pogłębiania osadów niespoistych. Jednakże większa niepewność cechuje już szacunki względem strat od przesypywania urobku z pogłębiania gruntów spoistych lub urabiania skał twardych. Niepewność ta wynika z następujących czynników: ograniczonej zdolności do zmierzenia lub przewidywania rozpadu

materiału podczas bagrowania i podnoszenia go transportem hydraulicznym na pokład bagrownicy nadsiębiernej oraz zmian stopnia wzburzenia oraz oddziaływania gęstości materiału obejmującego mieszaninę ziaren od frakcji drobnych po większe frakcje (Mills & Kemps, 2016).

Tempo wzburzania osadów ze zrzutu materiału przesypującego się na pogłębiarce nadsiębiernej jest zasadniczo największym składnikiem tempa resuspensji zawiesiny osadów podczas bagrowania techniką TSHD. Zrzut na wylocie przewodu przesypowego bagrownicy nadsiębiernej TSHD uwzględnia znaczne ilości głównie drobnoziarnistych osadów (Mills & Kemps, 2016).

W warunkach urabiania piasków drobnoziarnistych, łączna wielkość przesypu sięga od 5 do 10%. W warunkach urabiania osadów ilastych, gliniastych, wielkość przesypu może sięgać 30% całości osadu przepompowywanego na bagrownicę nadsiębierną (Leo van Rijn, 2018).

Pogłębiarki typu TSHD mogą być źródłem znacznych ilości frakcji drobnoziarnistej przedostających się do słupa wody w wyniku przesypywania. Stężenie zawiesiny osadów za bagrownicą mogą sięgać nawet 500 mg/l przy powierzchni wody, zaś w pobliżu dna morskiego — aż 5 000 mg/l. Podczas pogłębiania bez przesypu urobku do zawiesiny trafia niewielka ilość osadów (zwykle poniżej 200 mg/l). Mieszanina przesypu zwykle dość szybko opada na dno morza w postaci gęstego słupa, co wynika z jej dość dużej gęstości i dużej prędkości wylotowej (Rijn, 2018).

Z modelowania przesypu przeprowadzonego w ramach oceny oddziaływania środowiskowego projektu Wheatstone (Chevron Australia Pty Ltd, 2010) wynika, że jego wielkość dla 5 000 barek TSHD wyniosła 33-73 kg/s w ciągu 86 minut (co daje 170-377 ton na barcę). Zakładając gęstość na poziomie 1 400 kg/m³ w stosunku do 5 000 m³ urobku na barce, daje to masie rzędu 7 000 ton, czyli rozprzestrzenianiu na poziomie 2-5% wielkości przesypu.

Również z modelowania przesypu przeprowadzonego w ramach oceny oddziaływania środowiskowego inwestycji Wheatstone (Chevron Australia Pty Ltd, 2010) wynika, że jego wielkość dla 10 000 barek TSHD wyniosła 87-194 kg/s w ciągu 50 minut (co daje 261-582 ton na barcę). Zakładając gęstość na poziomie 1 400 kg/m³ w stosunku do 10 000 m³ urobku na barce, daje to masie rzędu 14 000 ton, czyli rozprzestrzenianiu na poziomie 2-4% wielkości przesypu.

5.5 Rozprzestrzenianie osadów podczas układania materiału skalnego

Zachowawcza wartość wskaźnika wzburzania osadów dennych podczas układania materiału skalnego wyniosła 0,15% w ramach projektu Nord Stream 2. Wyznaczono ją na podstawie opracowań analitycznych i wyników monitoringu środowiskowego budowy gazociągu Nord Stream w latach 2010-2012 (Ramboll / Nord Stream 2 AG, 2017). Wartość wskaźnika wzburzania osadów dennych obliczono na podstawie przewidywanej ilości osadów dennych ponownie wzburzonych i zawieszonych w toni morskiej na skutek uderzeń materiału skalnego o dno na etapie budowania nasypu skalnego.

6. ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE WZBIJANIA OSADÓW W MODELU OPRACOWANYM DLA PROJEKTU BP

6.1 Założenia dla prac na dnie morza

Nie ustalono ostatecznie zakładanych metod realizacji prac na dnie morza, ponieważ będą zależały od dostępności urządzeń, rzeczywistych warunków geotechnicznych dna morskiego i innych czynników. Scenariusz rozprzestrzeniania osadów dna morskiego uwzględni możliwe oddziaływania od rozprzestrzeniania się zawiesiny osadów w wodzie morskiej na skutek prowadzenia robót budowlanych. W modelach zatem przyjęto następujące podejście konserwatywne. Ułożenie gazociągu może wymagać wykopów na wodach płytszych niż 20 m w celu ochrony przed zagrożeniami związanymi z żeglugą lub w celu stabilizacji rurociągu (obciążenie falami i prądami morskimi).

Poczyniono następujące założenia wobec modeli:

- wody o głębokości 0-12 m: pogłębianie bagrownicą podsiębierną z odkładaniem urobku;
- wody o głębokości 12-20 m: pogłębiarki typu CSD/TSHD;
- wody o głębokości > 20 m: zagłębianie pługiem / wkopywanie mechaniczne z jettingiem.

W przypadku gdy, końcowe założenia projektowe dotyczące zabezpieczenia i stabilizacji gazociągu będą mniej wymagające co do prac na dnie morskim (tj. wykopy na wodach o głębokości mniejszej niż 20 m, przesunięcie granicy 20 m do np. 15 m), projekt zagłębiania gazociągu zostanie zoptymalizowany w celu zredukowania długości wykopów. Optymalizacja ta wpłynie na zmniejszenie potencjalnego oddziaływania Przedsięwzięcia na środowisko w tym zakresie. Ponadto w celu dodatkowej ochrony rurociągu może pojawić się konieczność zagłębiania na wodach o głębokościach większych niż 20 m, tj. w miejscach przecięcia ze szlakami żegludowymi. Biorąc pod uwagę, iż przyjęte założenia do modelowania stanowią najdalej idący scenariusz układania gazociągu i prowadzenia prac na dnie morskim, jakiegokolwiek zmiany wynikające z optymalizacji będą zawierać się w przyjętych założeniach.

Wartości osadów rozprzestrzenianych określono dla operacji bagrowania z odkładem urobku na dnie morza — za pomocą bagrownic podsiębiernych i pługa. Bagrowanie nie będzie odbywało się w tym samym czasie, co odkład urobku na dno morskie. Dlatego nie można, rozpatrując rozprzestrzenianie się osadów dna morskiego, uwzględnić kumulatywnego (łącznego) oddziaływania obu operacji technologicznych na osady denne.

6.2 Pogłębiarka podsiębierna z odkładaniem urobku

Na podstawie doświadczeń wspomnianych w Rozdziale 5.2 przyjęto, że rozprzestrzenianie się osadów wzbijanych podczas pogłębiania bagrownicą podsiębierną wyniesie, wedle szacunków zachowawczych, 5%. Identyczną wartość dla wariantu zachowawczego przyjęto dla odkładania urobku na dnie morza za pomocą bagrownic podsiębiernych. Większa część czynności przemieszczania materiału z dna morskiego podczas pogłębiania go bagrownicą podsiębierną i odkładania urobku ma miejsce w najniższej partii słupa wody. Miejsce wzbijania (uwalniania) osadów przyjęto z założeniem zachowawczym — leży ono 5 m nad dnem morza.

6.3 Zagłębianie pługiem / wkopywanie mechaniczne z jettingiem

Na podstawie doświadczeń wspomnianych w Rozdziale 5.3 przyjęto, że rozprzestrzenianie się osadów wzbijanych podczas zagłębiania gazociągu pługiem lub wkopywania go mechanicznie z jettingiem wyniesie, wedle szacunków zachowawczych, 5%. Prace te obejmują miejsca na dnie morskim i w jego głębi, więc źródło wzbijanych osadów leży blisko dna. Tym samym w modelu założono, że miejsce wzbijania (uwalniania) osadów znajduje się 2 m nad powierzchnią dna morza.

6.4 Pogłębiarka typu CSD / TSHD i przesyp na barce

Na podstawie doświadczeń wspomnianych w Rozdziale 5.4 przyjęto, że rozprzestrzenianie się osadów wzbijanych podczas pogłębiania pogłębiarką ssąco-refulującą / pogłębiarką nasiębierną ssącą ze smokiem wleczonym wyniesie 30%, wedle szacunków zachowawczych. Rozprzestrzenianie się osadów z użycia pogłębiarki typu CSD lub TSHD ma źródło w pobliżu dna morskiego, zaś osady z przesypu na barce rozprzestrzeniają się od powierzchni morza. Na potrzeby modelu zachowawczo przyjęto, że osad uwalniany jest do słupa wody 2 m pod powierzchnią morza.

6.5 Układanie materiału skalnego

Ilość osadów rozprzestrzeniających się podczas układania materiału skalnego jest pomijanie mała, zwłaszcza na tle innych robót na dnie morza. Na podstawie doświadczeń wspomnianych w Rozdziale 5.5 przyjęto, że ilość osadów wzbijanych podczas układania materiału skalnego wynosi 0,15% masy układanych skał, zaś źródło rozprzestrzeniania się osadów w wodzie leży 2 m nad powierzchnią dna morskiego.

6.6 Przyjęte założenia do modelu rozprzestrzeniania się wzbijanych osadów dna morskiego

Tabela 6-1 Założenia do wstępnego scenariusza modelu.

Zadanie	Prędkość wybierania	Odsetek osadów wzbijanych %	Źródło rozprzestrzeniania się w wodzie Poziom [m]
Pogłębianie bagrownicą podsiębierną	20 000 m3/doba	5	5 m pow. dna morza
Wkopywanie gazociągu pługiem, mechaniczne + dysze hydrauliczne	600 m/h	5	2 m pow. dna morza
Zасыpywanie wykopu	*	5	2 m pow. dna morza
Pogłębiarki typu CSD/TSHD + przesyp na barce	30 000 m3/doba	30	2 m <u>poniżej</u> powierzchni morza
Układanie materiału skalnego	10 000 m3/doba	0,15 (masy mat. skalnego)	2 m pow. dna morza
Uwaga: * Nie wyliczono modelu — jednakże wartości będą zbliżone do wartości dla wkopywania gazociągu w dno morskie.			

7. UZYSKIWANE WYNIKI

W wyniku pracy na modelu uzyskiwane są wyniki różnego rodzaju:

- Pola objętościowe (przestrzenne) zmienne w czasie, opisujące stężenia zawiesiny ze wzburzenia osadów.
- Pola płaskie (dwuwymiarowe) zmienne w czasie, redeponowanych osadów na dnie morza.

Model daje ponad 10 terabajtów danych dla okresu 1 miesiąca scenariusza budowy gazociągu. Są to dane wyjściowe nieprzetworzone, zapisywane co godzinę, a zatem ostateczna ilość danych zamodelowanych nie przekracza 200 GB objętości.

Uzyskane z modelu dane zostają w kolejnym kroku przetworzone i scalone w sposób systematyczny, aby lepiej ilustrowały przedmiot problemu, który opisują.

Dane objętościowe (przestrzenne) przekształca się na dane płaszczyznowe (dwuwymiarowe) metodą uśredniania wartości stężeń osadów w słupie wody.

Dzięki temu uzyskane zostały następujące wyniki skonsolidowane:

- Czas trwania stanu przekroczenia konkretnych wartości stężenia progowego. Wyznaczono wartości progowe równe 5 mg/l, 10 mg/l i 15 mg/l. Czas trwania wyrażono w godzinach.
- Rozkład osadu strąconego na dno morza po ok. 1 tygodniu od zakończenia robót budowlanych, tj. osady wzburzone które uległy redeponowaniu na dno morskie. Wynik wyrażono jednostką masy na pole powierzchni dna morza.

8. BIBLIOGRAFIA

BERR, 2008. A review of cabling techniques and environmental effects applicable to the offshore wind farm industry. Technical Report. UK Department for Business Enterprise & Regulatory Reform in association with DEFRA.

Chevron Australia Pty Ltd, 2010. Wheatstone Project, Appendix Q1 – Dredge Spoil Modelling. DHI Water & Environment.

DHI, 2017. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Particle Tracking Module. Scientific Documentation. MIKE 2017.

Enterprise Energy Ireland Ltd., 2009. Corrib Offshore EIS. Non-Technical Summary.

Lorenz, R., 1999. Spill from dredging activities. Øresund Link D&R Conference, Copenhagen, Denmark, 26-28 May 1999, 309-324.

Machin, J., 2011. The Arctic region from a trenching perspective. Journal of pipeline engineering, June 2011, p. 121-129.

Mills, D. & Kemps, H., 2016. Generation and release of sediments by hydraulic dredging: a review. WAMSI Dredging Science Node, Theme 2, Project 2.1, June 2016.

Rahbek, M.L. & Valeur, J.R., 2012. Combining Passive and Active Monitoring of Sediment Spill from Subsea Ploughing of a Major Subsea Pipeline SPE/APPEA International Conference on HSE, Perth, Australia, 11-13 September 2012. SPE-157377.

Ramboll, 2018a. Baltic Pipe Project. Baltic Pipe Offshore Pipeline – Permitting and design. Factual Report Part I – Offshore Vibrocoring. Rev. 0, 2018.12.20, Document ID: PL1-RAM-10-V02-RA-00004-EN.

Ramboll, 2018b. Baltic Pipe Project. Baltic Pipe Offshore Pipeline – Permitting and design. Factual Report Part II – Offshore CPT and T-Bar Soundings. Rev. 0, 2018.12.14, Document ID: PL1-RAM-10-V02-RA-00005-EN.

Ramboll, 2019a. Baltic Pipe Project. Baltic Pipe Offshore Pipeline – Permitting and design. Metocean Report. Rev. 1M, 09-01-2019, Document ID: BP-3001-0005-EN, PL1-RAM-10-Y00-RA-0001-EN.

Ramboll, 2019b. Baltic Pipe Project. Baltic Pipe Offshore Pipeline – Permitting and design. Geotechnical Interpretative Report Offshore Pipeline. Document ID: PL1-RAM-10-V02-RA-00006-EN.

Ramboll / Nord Stream 2 AG, 2017. Espoo Report. Doc. No. W-PE-EIA-POF-REP-805-040100EN-06, 1 April 2017.

Randall, R., Drake, A. & Cenac, W., 2011. Improvements for dredging and dredged materials handling. Proceedings, WEDA XXXI Technical Conference and TAMU 42 Dredging Seminar, p. 104-122.

Rijn, L.V. van, 2018. Turbidity due to dredging and dumping of sediments. Note on turbidity, January 2018.

Seacon, 2005. Sediment spillage during array cable installation at Nysted Offshore Wind Farm. Report 0402-1-1-L001 Rev. 1, January 2005.

Smart Wind Ltd., 2013. Hornsea Offshore Wind Farm. Project One – Environmental Statement. Volume 5, Annex 5.1.6 – Cable Burial Plume Assessment. July 2013.

Valeur, J.R., Strøbæk, N. & Andersson, N., 2012. Minimizing HSE Impacts during Design and Construction of a Major Gas Pipeline through the Baltic Sea. SPE Oil & Gas Facilities Magazine 1(3), 52-63.