

Opracowanie wyników z modelu przenoszenia zawiesiny w obszarze potencjalnego posadowienia konstrukcji wsporczych morskiej turbiny wiatrowej w Bałtyku Południowym.

(Mariusz Figiela, Lidia Dzierzbicka-Głowacka)

1. Wstęp

Bałtyk jest wewnątrz kontynentalnym, szelfowym morzem wchodzącym w skład oceanu Atlantyckiego. Jego położenie zlokalizowane jest w północnej Europie. Akwen ten jest morzem stosunkowo płytkim o średniej głębokości 52,3 m, przy czym w najgłębszym punkcie osiąga 459 m. Specyficzna cyrkulacja Morza Bałtyckiego jest ściśle związana ze stratyfikacją akwenu. Lokalnie występujące tam prądy morskie można podzielić na powierzchniowe prądy wody słodkiej, płynące z wschodu na zachód oraz głębinowe prądy transportujące wodę słoną z Morza Północnego (Ehlin 1981).

Cyrkulacja wody powierzchniowej w Morzu Bałtyckim w przypadku każdego basenu (Bałtyk centralny, Morze Botnickie i Zatoka Botnicka) przyjmuje postać wyodrębnionych komórek cyrkulacyjnych. Przemieszczanie się wody następuje w nich wraz z kierunkiem przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, co w efekcie końcowym wywiera również wpływ na procesy sedymentacji osadów, osadzania się materiałów zawieszonych w toni wodnej oraz zanieczyszczeń (Håkanson 1991). Ruch wody powierzchniowej powstaje w wyniku rotacji ziemi, której efektem jest siła Coriolisa. Zjawisko to odchyła kierunek płynięcia wody na półkuli północnej w prawo.

Ruch wody począwszy od cieśnin Duńskich odbywa się w kierunku północnym wzdłuż południowego i zachodniego wybrzeża. W Zatoce Botnickiej jej transport zwraca się w kierunku południowym wzdłuż Szwedzkiego wybrzeża (Masłowski i Walczowski 2002). W poszczególnych komórkach prądy powierzchniowe tworzą wiry zewnętrzne, które osłabiają się w kierunku środka każdego basenu.

Prądy morskie występujące w Morzu Bałtyckim są raczej stałe jednak w poszczególnych sezonach w roku mogą one lokalnie płynąć w wielu różnych kierunkach (Håkanson 1991).

Kierunki wektorów prędkości wody w Morzu Bałtyckim w ciągu całego roku są do siebie zbliżone, jednak ich wartości są bardzo zmienne. Największe różnice występują u wschodnich wybrzeży Bałtyku gdzie następuje ich wyhamowanie i zmiana kierunku (Osiński 2007). Najsilniejsze wartości prądów występują w okresie zimowym natomiast najslabsze w okresie letnim. Najsilniejsze prądy występują w warstwie powierzchniowej natomiast ich prędkość spada wraz ze wzrostem głębokości.

2. MATERIAŁY I METODY

W celu określenia transportu osadów opracowano model rozchodzenia się tracera pasywnego w toni wodnej. Obliczenia zostały wykonane dla siedemnastu stacji zlokalizowanych w południowej części Morza Bałtyckiego. Próbkę osadów pobierano podczas rejsu w maju r/y OCEANIA w 2013 roku.

Obliczenia numeryczne wykonywano na zmodyfikowanej wersji modelu 3DCEMBS (Dzierzbicka-Głowacka et al. 2013). Modyfikacja dotyczyła modułu hydrodynamicznego opartego na kodzie POP2.

Dla poniższych obliczeń numerycznych, jako wartość progową stężeń przyjęto poziom 1 µg/g. Analizy geochemiczne składu osadów dla poszczególnych stacji pozwoliły na ustalić, że ilość pierwiastków takich jak, kadm (Cd), ołów (Pb), arsen (As) i rtęć (Hg) przy koncentracji 1 µg/g nie będzie groźna dla środowiska, ponieważ ich dopuszczalne wartości w środowisku naturalnym są znacznie wyższe.

Całkowita początkowa ilość tracera pasywnego została wyliczona dzięki danym pochodzącym z analiz granulometrycznych przeprowadzonych dla każdego punktu (Tab.1). W przypadku każdego miesiąca w chwili startowej była ona taka sama, różnice występowały tylko pomiędzy stacjami.

Tabela 1. Suma tracera pasywnego w chwili startowej (suma koncentracji tracera pasywnego zawartej we wszystkich komórkach modelu podana w µg/g.).

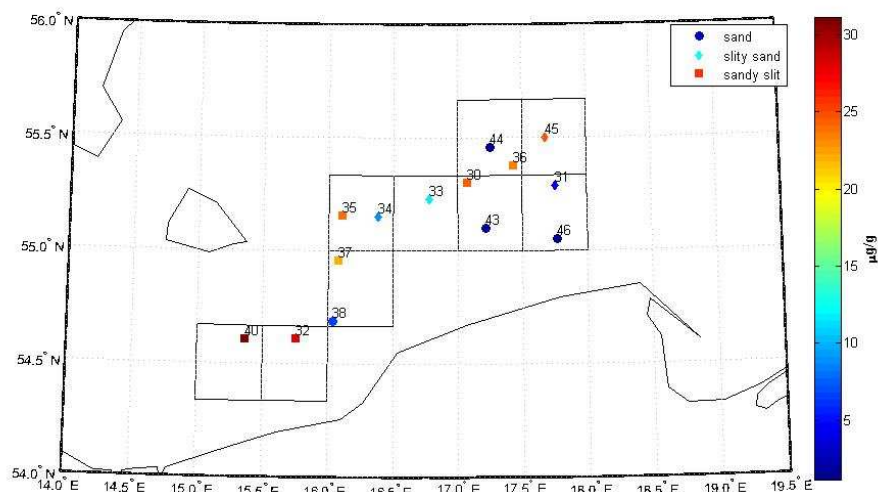
stacja	30	31	32	33	34	35	36
suma tracera	60,21	12,30	46,08	21,26	34,65	38,81	58,12
stacja	37	38	40	43	44	45	46
suma tracera	88,25	11,08	78,28	2,83	3,08	41,73	4,43

Różnice były jedynie zauważalne w przypadku maksymalnej koncentracji początkowej . W przypadku symulacji z listopada dla stacji 44 i października dla stacji 46 najwyższa koncentracja początkowa osiągnęła wartość niższą niż 1 µg/g. Ponieważ za wartość progową przyjęto granicę 1 µg/g całkowity czas opadania wynosi w tym wypadku zero godzin.

3. WYNIKI

3.1. Koncentracja początkowa

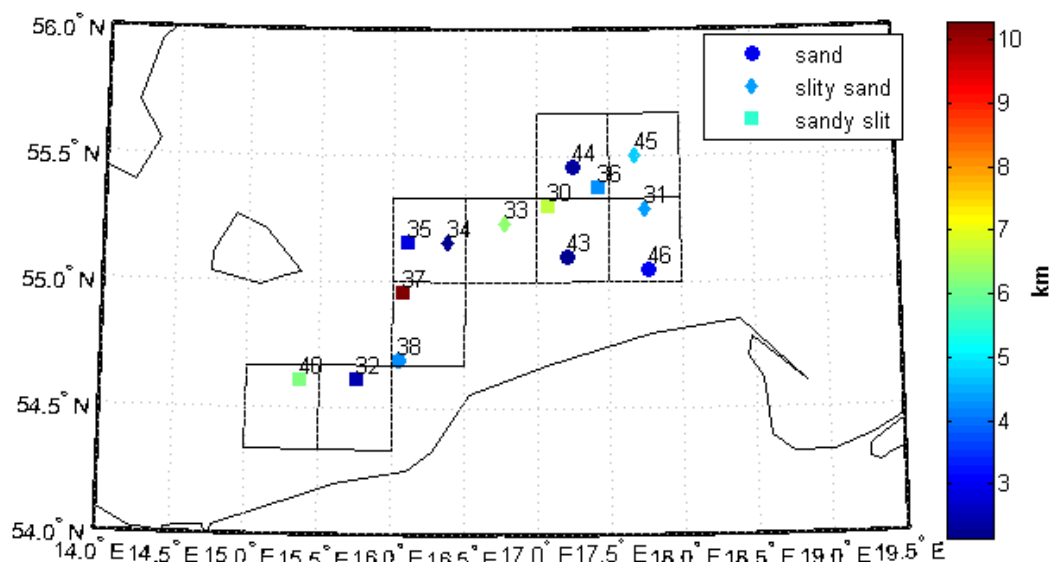
Na badanych stacjach całkowita ilość wyniesionego w wyższe partie wody osadu we wszystkich miesiącach była stała. Pewnego rodzaju zmienność można było zaobserwować w przypadku koncentracji. Poniższy rysunek przedstawiający różnice w koncentracji początkowej na badanych stacjach (Rys.1.). Pokazuje, że największe koncentracje tracera pasywnego występowały na stacjach gdzie dominującym rodzajem osadu był muł piaszczysty na stacjach 30, 32, 35, 36, 37 i 40. Koncentracja początkowa osadu na tych stacjach mieściła się w przedziale od 21,98 do 31,16 $\mu\text{g/g}$. Wysokim stężeniem charakteryzowała się również stacja 45 (24,90 $\mu\text{g/g}$) na której przeważającą frakcją granulometryczną był piasek mulisty. Stacje 31, 33, 34 na, których występował ten rodzaj osadu zajmowały pośrednie wartości koncentracji wśród wszystkich stacji. Stężenia początkowe osadu na tych stacjach mieściły się w przedziale od 4,92 do 11,60 $\mu\text{g/g}$. Najniższe koncentracje tracera pasywnego miały miejsce na stacjach gdzie dominującym rodzajem podłoża był piasek. Były to stacje 31, 38, 43, 44, 46 i jedynie na stacji 38 koncentracja początkowa osadu przekroczyła 6,67 $\mu\text{g/g}$. Na pozostałych stacjach wartości te były niższe niż 2 $\mu\text{g/g}$.



Rys.1. Średnia roczna koncentracja początkowa tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na badanych stacjach (Bałtyk Centralny)

3.2. Zasięg dystrybucji tracera pasywnego.

W przypadku zasięgu dystrybucji osadu transportowanego na skutek ustawienia konstrukcji wsporczej turbiny wiatrowej odległość jaką pokonywał tracer pasywny nie jest już tak wyraźnie zależna od rodzaju osadu jak w przypadku koncentracji początkowej (Rys.1.). Dla każdego rodzaju podłoża następował duży rozrzut pomiędzy maksymalną a minimalną odległością. Jeżeli weźmie się pod uwagę uśrednione wartości to osady dla stacji gdzie podłożem był muł piaszczysty transportowane były na średnią odległość 5,47 km, 4,37 km dla pasku mulistego oraz 2,93 km dla piasku. W przypadku mułu piaszczystego na największą odległość 10,29 km transportowany był osad na stacji 37. Wartości pośrednie przyjmowały odległości dla stacji 30, 36 i 40 (6,72, 4,31 i 6,15 km). Na najmniejszą odległość osad był transportowany na stacjach 32 i 35 i nie przekroczył zasięgu 3 km. W przypadku stacji gdzie podłożem był piasek mulisty największy zasięg 6,22 km osiągnął tracer pasywny na stacji 33. Wartości pośrednie przyjmował osad na stacjach 31 i 45 (4,35 i 4,76 km) natomiast najniższe na 34 (2,15 km). W przypadku stacji gdzie podłożem dominującym był piasek największą odległość osad pokonał na stacji 33 i osiągnął 6,22 km. Wartości pośrednie wystąpiły na stacjach 31 oraz 45 i wynosiły one kolejno 4,76 i 4,35 km. Na najmniejszą odległość przetransportowane został osad na stacji 34 (2,15 km).



Rys.2. Uśredniony w skali roku zasięg dystrybucji tracersa pasywnego (km) na badanych stacjach (Bałtyk Centralny)

3.3. Dystrybucja tracersa pasywnego

Transport tracersa pasywnego na analizowanych stacjach był zależny od kierunku i prędkości prądu. Ponieważ całkowity czas sedymentacji osadów raczej nie przekraczał okresu siedmiu godzin rozkłady dystrybucji wyglądały podobnie, swego rodzaju zmienność można było zaobserwować w przypadku ilości osadu. Prądy w tym czasie były relatywnie stałe i tylko w kilku przypadkach odnotowano wyraźne zmiany.

Na stacjach 30, 33, 34, 37 i 43 wykresy dystrybucji tracersa pasywnego (Rys.3, Rys. 4.) pokazują, że podobne ilości i tracersa pasywnego zostały przetransportowane w kierunku wschodnim i zachodnim. Wszystkie wymienione powyżej stacje te w modelu zlokalizowane były tuż przy granicy poziomów głębokości (rozdzielczość pionowa pojedynczego poziomu w modelu wynosi 5m) od strony północnej dlatego rozprzestrzenianie się osadu na było w tym przypadku ograniczone.'

Dystrybucja tracersa pasywnego na stacji 31(Rys. 3.) pokazuje, że największe ilości osadu były transportowane w kierunku północno-wschodnim. Przy czym największa koncentracja osadu w przemieszczona została na północ i było to około 20% całkowitej masy osadu. Duża jego ilość (16%) została przemieszczona również centralnie w kierunku wschodnim.

Na stacji 32 duże ilości tracersa pasywnego były transportowane w kierunkach od północy, przez wschód, aż po południe(Rys. 3.). Największa ilość osadu przemieściła się jednak centralnie w kierunku zachodnim i było to około 12% całkowitej jego masy.

W przypadku stacji 35 (Rys. 3) około 80% całkowitej masy osadu zostało przetransportowane w kierunku wschodnim. Śladowe jego ilości przemieszczały się w kierunku północnym.

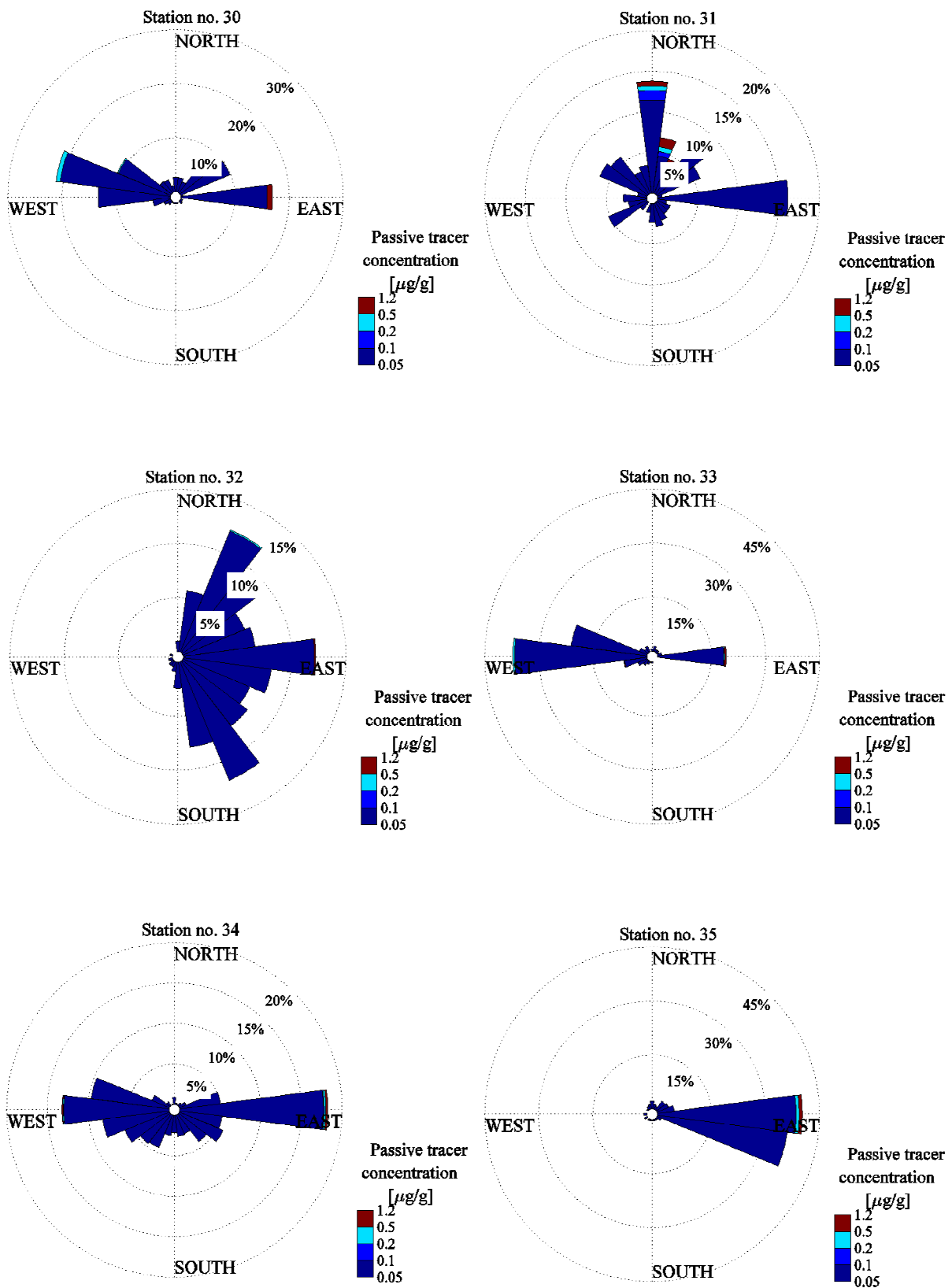
Analizy przeprowadzone dla stacji 36 (Rys.4.) pokazują, że tracers pasywny przemieszczał się tu głównie w kierunku zachodnim, przy czym około dwa razy mniejsze ilości transportowane były również w kierunkach północno-zachodnim i południowo-zachodnim. Osad transportowany w tych kierunkach występował w stężeniach poniżej 1 µg/g. Około 8% całkowitej masy osadu przemieściło się w centralnie w kierunku wschodnim.

Na stacji 38 (Rys.4) osad był transportowany były głównie w kierunku południowym. W kierunku tym został przetransportowane około 70% całkowitej masy osadu.

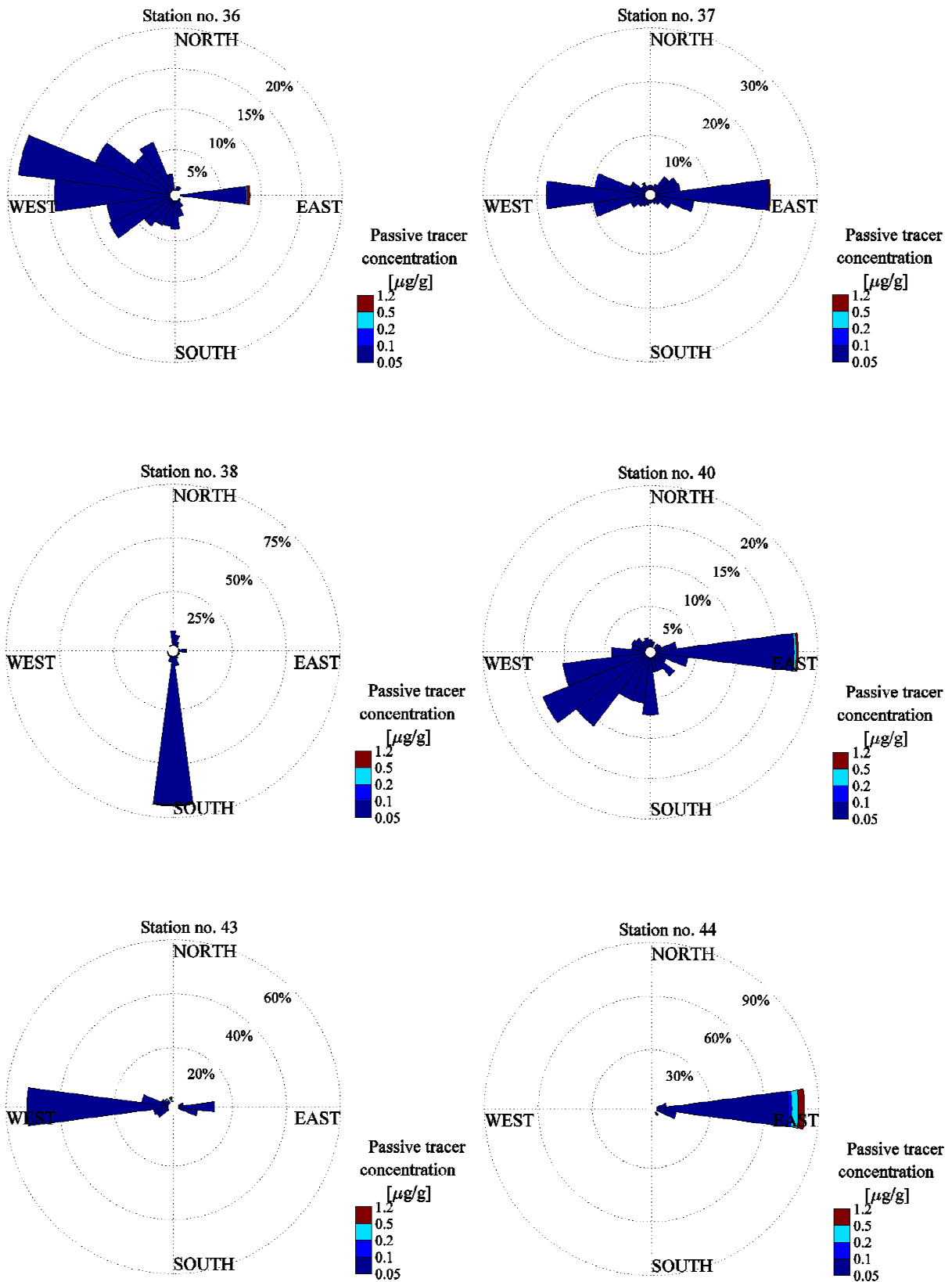
W przypadku stacji 44 (Rys.4) cały osad został przetransportowany w kierunku wschodnim.

Dystrybucja tracza pasywnego w punkcie 45 (Rys. 5.) ograniczona była głównie do strony wschodniej. Śladowe ilości osadu przetransportowane zostały również w kierunku północnym

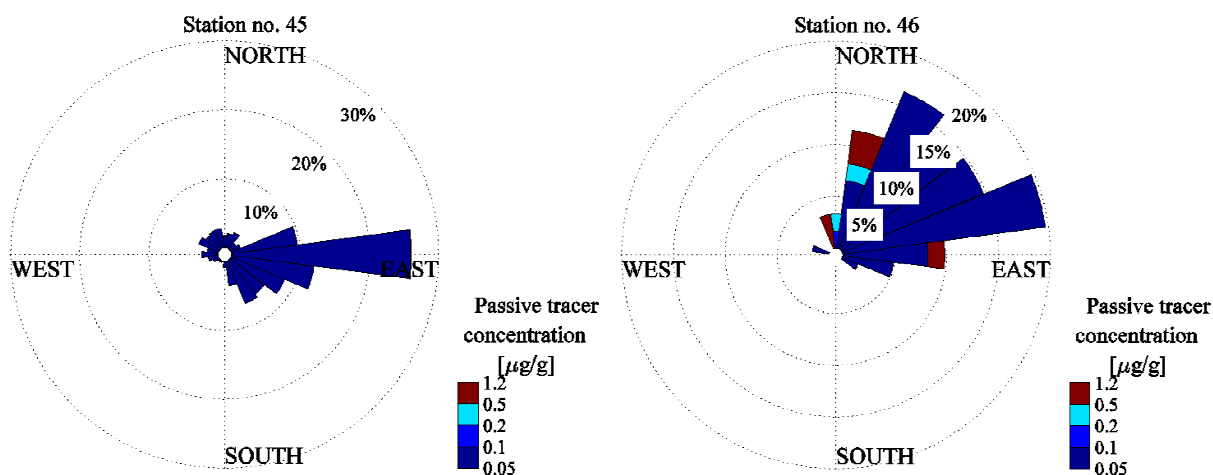
Analizy przeprowadzone dla punktu 46 (Rys.5) pokazują, że osad na tej stacji transportowany był w równomierny sposób od kierunku północnego, po wschód.



Rys. 3. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacjach 30, 31, 32, 33, 34 i 35 (Bałtyk Centralny).



Rys. 4. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacjach 36, 37, 38, 40, 43 i 44 (Bałtyk Centralny).



Rys. 5. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacjach 30, 31, 32, 33, 34 i 35 (Bałtyk Centralny).

4. Dyskusja

Przeprowadzone badania przedstawiają w jaki sposób następowało rozprzestrzenianie się osadu, które spowodowane było ustawieniem konstrukcji wsporczej turbiny wiatrowej, na kilkunastu badanych stacjach w obszarze polskiej strefy ekonomicznej dla warunków hydrodynamicznych w 2012 roku.

Wyniki obliczeń dla czasu zaniku tracersa pasywnego zauważa się, że czas osiągnięcia wartości progowej przyjętej jako $1 \mu\text{g/g}$ dla tracersa pasywnego skraca się wraz ze spadkiem maksymalnej koncentracji początkowej. Wraz ze spadkiem całkowitej ilości osadu uwolnionego w procesie ustawiania turbiny wiatrowej zmniejsza się również czas, w którym zostanie on rozproszony przez ruchy wody. Najniższe poziomy koncentracji początkowej osadu wystąpiły na stacjach 31, 38, 43, 44 i 46. Na stacjach tych również tracers pasywny był również transportowany na niewielkie odległości, a rozproszenie osadu do wartości $1 \mu\text{g/g}$. Wyżej wymienione stacje z wyjątkiem punktu 31 zlokalizowane były na dnie piaszczystym. Proces opadania cząsteczek osadu przebiegał szybciej na stacjach, na których dominującym rodzajem podłoża był piasek.

Odległość na jaką był transportowany osad zależna jest od koncentracji oraz prędkości i zmian kierunku prądu (Rijn 2007). Prądy występujące w ciągu całego roku na stacjach numer 31, 43, 44 i 46 przy określonej koncentracji początkowej osadu powodowały bardzo szybkie rozproszenie osadu, które następowało w okresie krótszym niż trzy godziny. Wraz ze spadkiem całkowitej ilości osadu uwolnionego w procesie ustawiania turbiny wiatrowej zmniejsza się również czas, w którym zostanie on rozproszony przez ruchy wody.

Dystrybucja osadów w toni wodnej jest determinowana przez prędkość i kierunek prądów (MITOC), jednak opracowane wyniki pokazują, że przy bardzo niskich wartościach prędkości prądów, rozprzestrzenianie tracera pasywnego zachodziło w sposób swobodny wbrew kierunkowi prądu.

Powyższe badania numeryczne pokazały w jaki sposób nastąpi transport osadu wyniesionego do wyższych warstw kolumny wody w procesie ustawiania turbin wiatrowych. Określenie zasięgu i dystrybucji tracera pasywnego w określonych warunkach środowiskowych jest bardzo istotne ze względu na faunę i florę znajdującą się w obszarach w, których potencjalnie ma powstać farma wiatrowa.

4. Literatura

Dzierzbicka-Głowacka L., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., (2013) Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) - the hydrodynamic part, *Oceanologia*, 55(3), 519-541.

Ehlin U. (1981). Hydrology of the Baltic Sea. In: Voipio, A. (Ed.), *The Baltic Sea*. Elsevier, Amsterdam, pp. 123-134.

Håkanson L. (1991). Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewiska Morza Bałtyckiego, Środowisko Morza Bałtyckiego. Zeszyt 1, str. 9.

Masłowski W., and Walczowski W. (2002). Circulation of the Baltic Sea and its connection to the Pan-Arctic region—A large scale and high-resolution modeling approach, *Boreal Environ. Res.* 7, 319–325.

Osiński R. (2008) Symulacja procesów dynamicznych w Morzu Bałtyckim zintegrowanym modelem ocean-lód., Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie , 53-57

van Rijn L. (2007). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *J. Hydraul. Eng.*, 133(6), 649–667.

MIT Open Courses. Lecture Notes: The Sediment Transport Rate (Chapter 13)
<http://ocw.mit.edu>

