

Zjawisko słonych wlewów z Morza Północnego do Bałtyku

Waldemar Walczowski, Agnieszka Beszczyńska-Möller, Daniel Rak, Piotr Wieczorek

Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk
e-mail: walczows@iopan.gda.pl

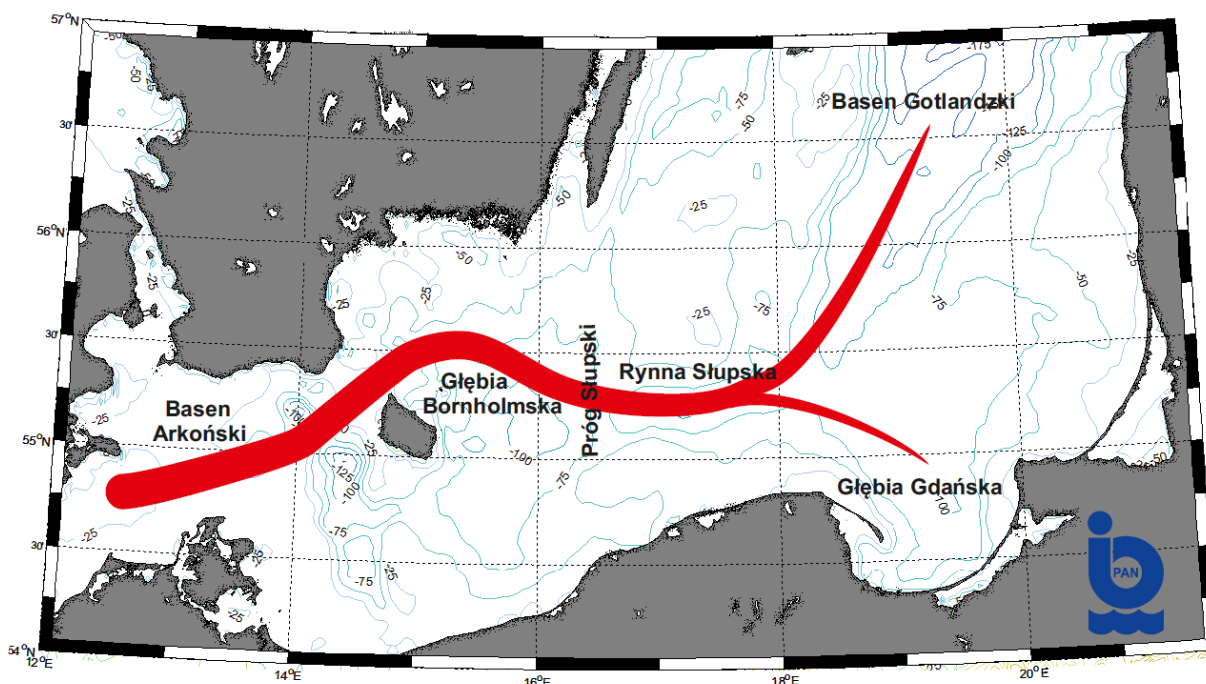
1. Bałtyk – morze nietypowe

Bałtyk jest naszym ‘oknem na świat’, lecz droga na ocean z Morza Bałtyckiego prowadzi przez Cieśniny Duńskie. Przez nie płyną wielkie statki na Morze Północne i Atlantyk. Cieśniny Duńskie pełnią też inną, nie mniej ważną rolę: życiodajna słona woda wpływa do nas z Morza Północnego przez Skagerrak, Kattegat, Sund i Wielki Bełt. Życiodajna, bowiem woda ta niesie ze sobą tlen, pierwiastek niezwykle potrzebny do regeneracji głębi bałtyckich, w których rozkład materii organicznej doprowadza do powstawania stref beztlenowych i wydzielania siarkowodoru. Również sól zawarta w wodzie oceanicznej jest niezbędna dla bałtyckich ekosystemów. Bez wlewów z Morza Północnego głębie Bałtyku staną się szybko biologiczną pustynią.

Ponieważ Bałtyk jest morzem półzamkniętym, nie jest typowym, słonym morzem. Średnie zasolenie wód powierzchniowych jest tu prawie 5 razy mniejsze niż w oceanie - waha się od 7 do 8¹. Warstwa przydenna jest dużo bardziej słona - w zależności od odległości od Cieśnin Duńskich zasolenie zmienia się od 30 do 10. Od wód powierzchniowych wody głębinowe oddzielone są cienką warstwą o dużym skoku zasolenia, czyli halokliną i skoku gęstości - piknokliną. Pomimo, że haloklina stanowi barierę między wodami powierzchniowymi a głębinowymi, to procesy dynamiczne powodują mieszanie w pionie i zasilanie górnych warstw Bałtyku w sól. Sól ta jest potrzebna, bowiem Morze Bałtyckie jest zlewnią wielu rzek europejskich i ma dodatni bilans masy. Średnio co sekundę zasila je ponad 15.000 ton słodkiej wody z rzek i opadów atmosferycznych. Woda ta miesza się poprzez haloklinę z wodą głębinową i uzyskuje typowe bałtyckie zasolenie. Powstała w wyniku tego procesu woda wypływa z Bałtyku na powierzchni i płynie na północ, wzdłuż Półwyspu Skandynawskiego. Słona woda z Morza Północnego jest cięższa i wpływa przy dnie, systematycznie zasilając nasze morze. Gdyby nie ona, Bałtyk szybko stałby się słodkim jeziorem. Przyjmuje się, że całkowita wymiana wody w Bałtyku następuje co około 30 lat (Franck i in., 1987).

Trasa przepływu słonej wody przydennej z zachodu na wschód przebiega przez strefę polską. Po minięciu Cieśnin Duńskich woda wpływa do Basenu Arkońskiego, następnie przez Bramę Bornholmską – cieśninę pomiędzy Bornholmem a południową Szwecją do Głębi Bornholmskiej (Rys. 1). Dalej woda przydenna może płynąć tylko przez Rynną Słupską, oddzieloną od Głębi Bornholmskiej progim o minimalnej głębokości około 60 m. Po drugiej stronie Rynny głębie Gdańska i Gotlandzka przyjmują słoną i natlenioną wodę.

¹ Dawniej zasolenie wyrażało się w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ lub ‰, wraz z nastaniem ery elektronicznego pomiaru zasolenia, jednostką zasolenia było PSU (Practical Salinity Unit), obecnie zasolenie jest wartością bezwymiarową.



Rysunek 1. Trasa wód wlewowych w Bałtyku Południowym

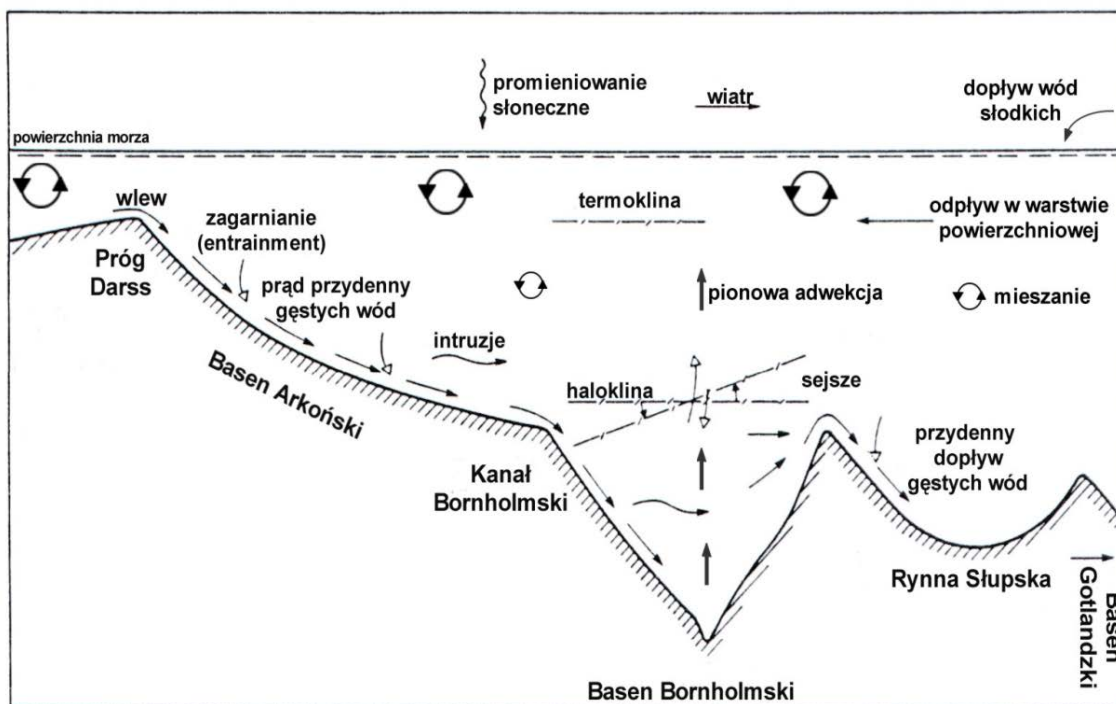
2. Obserwacje wlewów

Obszar Basenu Bornholmskiego, Progu i Rynny Słupskiej to rejon intensywnych procesów dynamicznych – przelewania się gęstej, słonej wody przez próg, mieszania wód powierzchniowych i głębinowych, generacji wirów, sejsz i fal wewnętrznych (Rys. 2). Dlatego jest to rejon intensywnych badań prowadzonych przez IOPAN. W czasie badań zaobserwowano, że słona woda z Morza Północnego dociera do Basenu Bornholmskiego i Rynny Słupskiej w sposób ciągły. Są to tzw. wlewy baroklinowe, wymuszane różnicą gęstości wód bałtyckich i Morza Północnego. Ilości przenoszonej w ten sposób wody są jednak nieznaczne. Powolne sączenie się słonych wód przez Cieśniny nie wystarcza dla odnowy ekosystemu Morza Bałtyckiego, potrzebne są duże wlewy, aby zrównoważyć bilans soli Bałtyku i natlenić jego głębie.

Duże wlewy barotropowe wymuszane są różnicą poziomów morza w Kattegacie i Basenie Arkońskim. Wlewy następują z reguły w czasie silnych wiatrów jesiennych i zimowych. Konieczny jest specyficzny układ baryczny i cyrkulacja atmosferyczna: najpierw długotrwałe wiatry wschodnie sprzyjające wypływowi wody powierzchniowej z Bałtyku i obniżeniu poziomu morza, następnie gwałtowne odwrócenie kierunku wiatru na zachodni, co powoduje kompensacyjny napływ wody przez Cieśniny Duńskie (Lass i Matthäus, 1996). Czas trwania i intensywność wiatrów zachodnich decyduje o wielkości wlewu. W klasyfikacji wlewów uwzględnia się objętość wody, jaka przepłynęła przez Bełty i Sund. Małe wlewy mają poniżej 100 km^3 , średnie $100\text{-}200 \text{ km}^3$, duże $200\text{-}300 \text{ km}^3$.

Dawniej obserwowano 5-7 wlewów na dekadę, w latach 1960-1980 wlewy zdarzały się co 3-4 lata, od roku 1984 zjawisko to ustało. Kolejne wlewy miały miejsce dopiero w latach 1993 i 2003. Zimą 2014 nastąpił kolejny, rekordowo silny wlew. Ocenia się, że 198

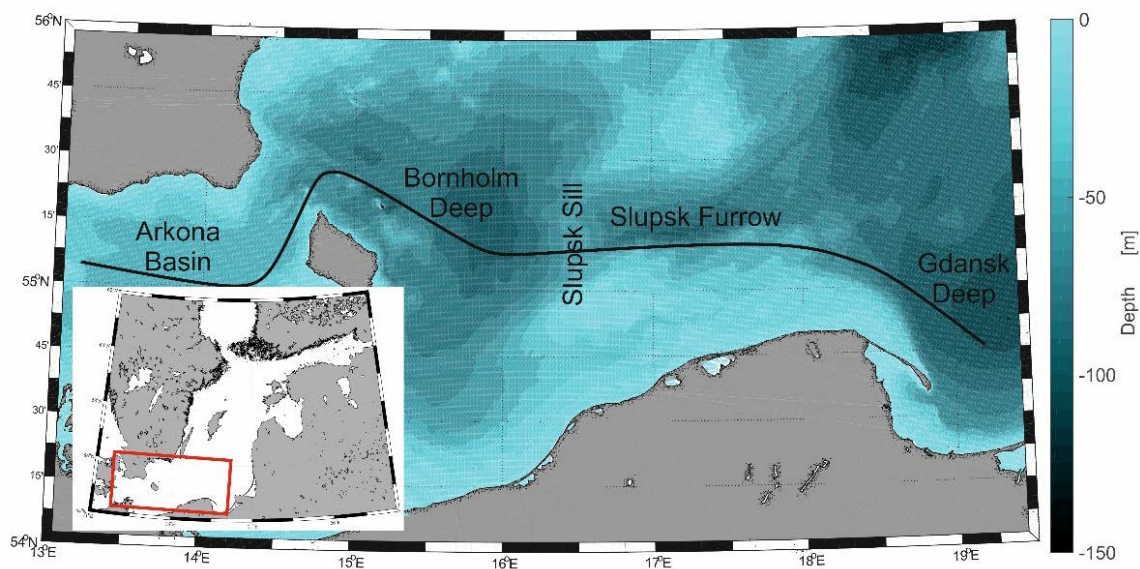
km³ wysoko zasolonej wody (w sumie 320 km³) z Morza Północnego wlało się do Bałtyku (Mohrholz i in., 1015), i jest to trzeci co do wielkości obserwowany wlew. Większe wystąpiły zimą 1922 (258 km³) i zimą 1951 (225 km³) (Fischer and Matthäus, 1996). Wlew, obserwowany w 2003 był o połowę mniejszy.



Rysunek 2. Procesy dynamiczne w Bałtyku Południowym. (Beszczyńska-Möller, 2002 za Stigebrandt, 2001)

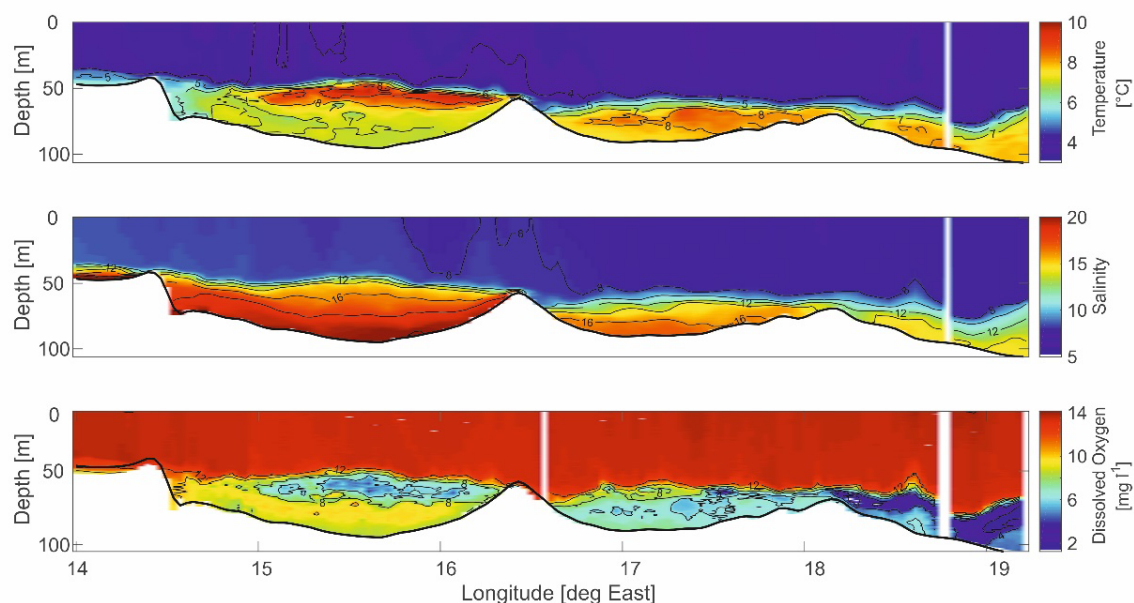
3. Badania Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

Oceanografowie z Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie od lat studiują dynamikę wód głębinowych Bałtyku Południowego. Z pokładu statku badawczego Instytutu, R/V 'Oceania' badamy procesy dynamiczne, jak prądy morskie, wiry czy fale wewnętrzne. Prowadzone są również prace modelowe. Program zapoczątkowany w latach 90. przez prof. Jana Piechurę jest nadal kontynuowany, a w jego wyniku powstała znacząca baza danych hydrograficznych. R/V 'Oceania' odbywa cztery razy w roku rejsy badawcze na trasie prowadzącej przez główne głębie Bałtyku: od Głębi Gdańskiej przez Rynną Słupską do Głębi Bornholmskiej i dalej, do Basenu Arkockiego (Rys. 3). Na tym przekroju mierzone są w sposób ciągły właściwości i dynamika wody morskiej. Elektroniczne sondy oscylacyjnie opuszczana w czasie ruchu statku od powierzchni do dna mierzą temperaturę, zasolenie i natlenienie wody morskiej, a umieszczony w dnie statku dopplerowski prądomierz akustyczny rejestruje prędkość i kierunek prądów morskich w całej kolumnie wody. W rejonie Progu Słupskiego stawiane są kotwiczone pionowe pomiarowe (mooringi).



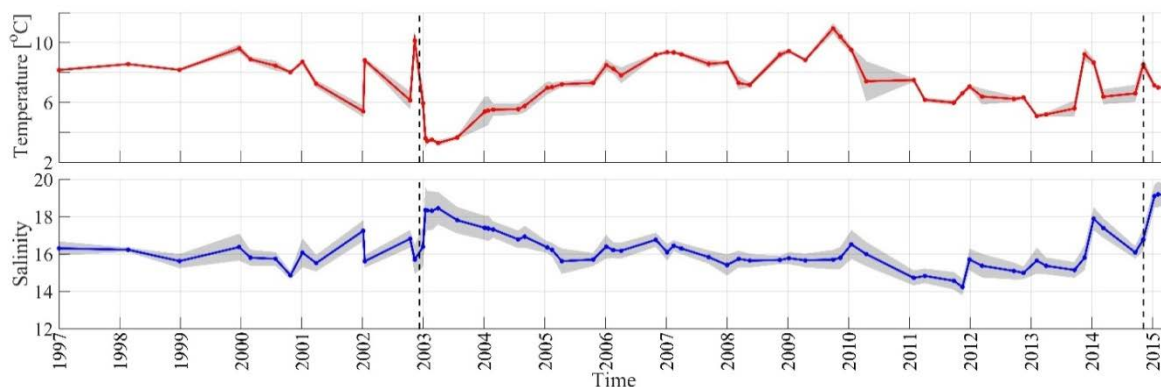
Rysunek 3. Trasa stałych pomiarów prowadzonych z pokładu R/V Oceania

Wlew z zimy 2014 jest trzecim z kolei przez nas zarejestrowanym. Poprzednie duże wlewy obserwowane były w 1993 i 2003. Ostatni proces wlewowy rozpoczął się w grudniu 2014, z ‘Oceanii’ zaobserwować go mogliśmy na dwóch kolejnych rejsach - w styczniu i lutym 2015. Po jedenastu latach stagnacji, wlew ten wniósł do Basenu Bornholmskiego mocno zasolone (około 20 jednostek zasolenia), bogate w tlen (10 mg/l) wody (Rys. 4). Są to najwyższe wartości zasolenia zaobserwowane w ciągu 16-letniej historii pomiarów prowadzonych przez IO PAN w tym akwenie.



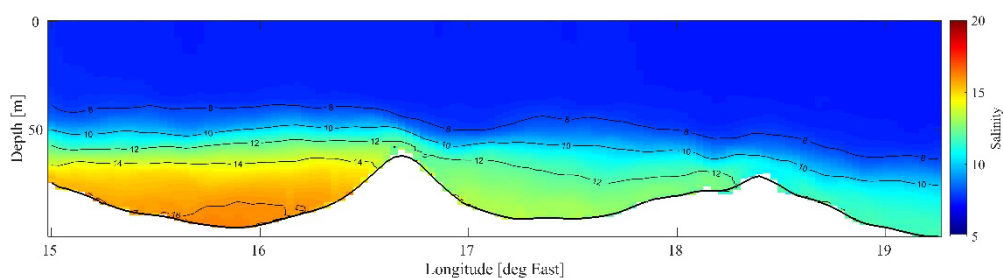
Rysunek 4. Temperatura, zasolenie i koncentracja tlenu rozpuszczonego w wodzie na głównej sekcji pomiarowej. 23-27 luty 2015

Duża gęstość chłodnych wód wlewowych spowodowała wypychanie głębokich ciepłych wód w Głębi Bornholmskiej i podniesienie halokliny. Wyniesione powyżej poziomu Progu Słupskiego, wody te z łatwością mogły penetrować Rynnę Słupską. W konsekwencji, już dwa miesiące po rozpoczęciu procesu obserwowane było zwiększenie zasolenia w Głębi Gdańskiej. W porównaniu do wlewu z 2003 roku, zasolenie było większe o 1 jednostkę (Rys. 5).



Rysunek 5. Seria czasowa temperatury i zasolenie uśrednionych w Głębi Bornholmskiej dla warstwy poniżej 70 m. Przerywaną linią zaznaczono wzrost zasolenia podczas wlewów w 2003 i 2015

Średnie zasolenie w głębokich warstwach badanego przekroju (Rys. 6) jest niższe o 4 jednostki od zasolenia obserwowanego w lutym 2015.



Rysunek 6. Średnie zasolenie na głównej sekcji pomiarowej z miesięcy Październik – Listopad 2000-2013 (bez uwzględnienia sytuacji wlewowych)

4. Perspektywy na przyszłość

Wysokie zasolenia i duża zawartość tlenu (10 mg/l) w wodzie wlewowej jest kluczowa dla ekosystemów Morza Bałtyckiego. Głębokie baseny, w których z reguły panuje deficyt tlenowy, zostają odświeżone podczas wlewu. Adwekcja natlenionej wody wlewowej jest tam jedynym mechanizmem dostarczającym tlen; silna piknoklina uniemożliwia pionową

wymianę z powierzchnią. Epizodyczny charakter wlewu sprawia jednak, że tlen zostaje wykorzystany a mocno zasolona woda wysłodzona. Stopień, w jakim postępuje zjawisko powrotu do sytuacji średniej zależy od głębokości basenu i jego odległości od Cieśnin Duńskich. Zmiana zasolenia Głębi Bornholmskiej od sytuacji wlewowej do poziomu średniego (16 jednostek) zajmuje około 2-3 lata. Głębia Gdańska jest mniej podatna na zmiany zasolenia wywołane przez adwekcję wód słonych. Ze względu na topografię dna pełni ona rolę bufora, gdzie tylko niewielka część wód wlewowych wpływa i następnie recyrkuluje. Znaczna objętość wody z Cieśnin Duńskich wpływa z Rynny Słupskiej bezpośrednio do Głębi Gotlandzkiej. W konsekwencji w Głębi Gdańskiej zawartość tlenu wzrosła nieznacznie (o 2 mg/l), co może okazać się niewystarczające do pozbycia się deficytu tlenowego. Natomiast w rejonie południowej części Głębi Gotlandzkiej ustąpił siarkowodór (IOW, 2015), a wstępne wyniki wskazują na pojawienie się dużej ilości mocno natlenionych wód, wypełniających cały basen.

Zmiana częstotliwości występowania wlewów wiązana jest ze zmianami cyrkulacji atmosferycznej spowodowanymi zmianą klimatu. Trudno jest ocenić, czy nadal utrzyma się 10 letni cykl wlewów, czy sytuacja powróci do stanu wcześniejszego - wlewów znacznie częstszych.

Instytut Oceanologii nadal prowadzi badania w rejonie tranzytu wód głębinowych. Prace te są skoordynowane z innymi jednostkami naukowymi badającymi Bałtyk, zwłaszcza z Leibniz-Institute for Baltic Sea Research, (IOW) z Warnemünde. Dążymy też do zakotwiczenia stałej boi pomiarowej w Rynnie Słupskiej. Jest to niezbędne dla monitorowania w sposób ciągły sytuacji hydrograficznej w jedynej trasie przepływu wód, od których zależy życie Bałtyku.

Literatura

- Beszczynska-Möller, A., 2002, Dynamika wód wlewowych w Bałtyku Południowym. Praca doktorska IOPAN, Sopot, 110 str.
- Fischer, H., Matthäus, W., 1996, *The importance of the Drogden Sill in the Sound for major Baltic inflows*. J. Mar. Syst. 9, 137–157.
- Franck, H., Matthäus, W., Sammler, R., 1987, *Major inflows of saline water into the Baltic Sea during the present century*. Gerlands Beitr. Geophys. 96, 517–531.
- IOW 2015, (<http://www.io-warnemuende.de/suboxic-and-anoxic-regions-in-the-baltic-sea-deep-waters.html>).
- Mohrholz, V., Naumann, M., Nausch, G., Krüger, S., Gräwe, U., 2015, *Fresh oxygen for the Baltic Sea – An exceptional saline inflow after a decade of stagnation*. J. Mar. Sys. dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.03.005.
- Stibbrandt A., 2001 *Physical Oceanography of the Baltic Sea*, w: *A system analysis of the Baltic Sea*, Springer.