

## **Opracowanie operacyjnego systemu prognozowania warunków hydrologicznych w estuarium Odry**

Kierownik projektu:

Dr Halina Kowalewska-Kalkowska

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk o Morzu, Zakład Oceanografii Fizycznej,

71-415 Szczecin, ul. Wąska 13, tel. (0 91) 42 10 094

Główny wykonawca:

dr Marek Kowalewski

Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii, ul. Marszałka J. Piłsudskiego 46,

81-378 Gdynia, al. Piłsudskiego 46, (058) 660 16 55

e-mail: ocemk@univ.gda.pl

Czas realizacji projektu: 1-06-2002 do 31-05-2004

Słowa kluczowe: Estuarium Odry, Zatoka Pomorska, modelowanie, asymilacja danych, prądy, stany wód, zasolenie, temperatura wody

### **OPIS PROJEKTU BADAWCZEGO, METODYKA BADAŃ ORAZ CHARAKTERYSTYKA OCZEKIWANYCH WYNIKÓW**

Odrzański Obszar Estuariowy stanowi wysoce złożony układ hydrograficzny o dużej dynamice zmian wielkości hydrologicznych (głównie stanów wody) wynikających ze zmienności poziomu morza w Zatoce Pomorskiej i dużej podatności systemu na te zmiany oraz na wpływ warunków anemobarycznych. Akwen ten pełni szczególną rolę w sferze działalności gospodarczej. Wzdłuż Odry biegnie bowiem tor żeglugowy łączący południową część Polski z Morzem Bałtyckim. W jej ujściu położony jest Zespół Portowy Szczecin – Świnoujście. Wraz z całą swoją infrastrukturą należy on do tych wyjątkowych przedsiębiorstw gospodarki narodowej, w których większość prac wykonywana jest na wolnym powietrzu i zależy w dużej mierze od bieżących warunków pogodowych (m.in. od lokalnych wiatrów, temperatury powietrza oraz opadów). Szczególnie niekorzystne warunki mogą wręcz uniemożliwić prace w porcie (Wiśniewski, Wolski, 1998). Jednak wszelkie przerwy lub ograniczenia w działalności portów powodują określone finansowe straty przedsiębiorstw portowych. Prace portowe obejmujące przewóz, przeladunki i składowanie towarów, są uwarunkowane także żegluga statków i barek. W celu zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi niezbędne jest m.in. posiadanie informacji o stanach wody, falowaniu, prądach (kierunku i sile w całej masie wody), temperaturze powietrza i wody, wiatrach, zjawiskach lodowych. Dla estuarium Odry, którego głębokości są często niezadowalające dla swobodnego ruchu statków bardzo ważna jest znajomość czynników wpływających na zapas wody pod stępką dużych statków. m.in. wpływ warunków sztormowych na duże zmiany poziomu morza w stosunku do poziomu, który był podstawą oznaczenia głębokości na mapach nawigacyjnych (Wiśniewski, 1997). Tak więc szczegółowe monitorowanie i prognozowanie czynników meteorologicznych i hydrologicznych nabiera dużego praktycznego znaczenia zarówno jeśli chodzi o zapewnienie bezpieczeństwa żeglugi jak i zmniejszenia strat finansowych przedsiębiorstw portowych (Wiśniewski i inni, 2001).

Głównym celem projektu jest uruchomienie operacyjnego modelu hydrodynamicznego dla rejonu estuarium Odry poprzez udoskonalenie modelu opracowanego w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego. Ponadto ważnym celem projektu jest sprawdzenie wia-

rygodności obliczanych za pomocą modelu prognoz hydrodynamicznych i ocena ich przydatności w służbach hydrologicznych. W ostatnich latach obserwuje się duże zainteresowanie matematycznymi metodami modelowania procesów hydrodynamicznych w morzu. Badania hydrologii i hydrodynamiki ujścia Odry prowadzone są w Oddziale Instytutu Morskiego w Szczecinie. Wyniki tych badań wskazują, że wpływ wiatru na stany i przepływy oraz pionowe rozkłady prędkości przepływów w ujściu Odry jest bardzo duży. Wpływ wiatru na płynącą w ciekach wodę uwzględniono w rozwiniętym tam modelu tachoidy (Buchholz, 1989). Przy badaniach duże znaczenie nabiera prognozowanie ekstremalnych warunków przepływów w Odrze (Buchholz, Dybkowska-Stefek, 1998, Jakob i inni, 1998, Klein i inni, 2001). Badaniem wpływu fali barycznej na warunki przepływu w dolnym biegu Odry zajmował się Ewertowski (1998).

Do prognozy przepływów i opisu ruchu słonych wód w estuarium Odry wykorzystano trójwymiarowy baroklinowy model matematyczny opracowany dla estuarium Łaby (Duwe, Sundermann, 1986). Model ten został opracowany i zweryfikowany dla estuarium pływowego po przeprowadzonej adaptacji dla estuarium Odry przy uwzględnieniu odmiennych warunków hydrograficznych i hydrodynamicznych tego regionu w IBW PAN w Gdańsku (Jasińska, 1991, Jasińska i inni, 1992, Pheiffer i inni, 1994). W Monografii *Warunki hydrodynamiczne Zalewu Szczecińskiego i Cieśnin łączących Zalew z Zatoką Pomorską* pod red. W. Robakiewicza (1993) omówiono wyniki obliczeń warunków hydrodynamicznych w rejonie ujścia Odry wywołanych wiatrami sztormowymi lub wiatrów wiejących z ustalonego kierunku przy pomocy stosowanego w IBW modelu matematycznego. W monografii poświęcono też dużo miejsca omówieniu zmian poziomów wody i przepływów w rejonie badań.

W rejonie Zatoki Gdańskiej szczególne zainteresowanie modelowaniem hydrodynamicznym było głównie związane z problemem rozprzestrzeniania się substancji pochodzenia lądowego (Jędrasik i Kowalewski, 1993; Van der Vat i in., 1994; Ołdakowski i in., 1994; Robakiewicz i Karelse, 1994). W latach 1995—1997 w ramach projektu badawczego KBN pt. *Model wymiany materii i przepływu energii w ekosystemie Zatoki Gdańskiej* realizowanego w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego (IOUG), został opracowany trójwymiarowy model hydrodynamiczny (Kowalewski, 1997). Teoretyczne i numeryczne rozwiązanie oparto na modelu Blumberga i Mellora (1987) — POM (Princeton Ocean Model) wprowadzając do niego pewne modyfikacje konieczne do zastosowania go na Morzu Bałtyckim. Uwzględniono dopływy z 49 rzek, w tym 10 wpływających do Zatoki Gdańskiej. Wartości przepływu oraz temperatury na każdy dzień w roku są wyliczane z szeregów trygonometrycznych opisujących sezonową zmienność odpływów rzecznych, a ustalonych na podstawie wieloletnich danych (Cyberski, 1997). Model uwzględnia także dopływ energii słonecznej (Krężel, 1997) oraz wymianę ciepła przez powierzchnię morza (Jędrasik, 1997) na podstawie danych meteorologicznych. Model objął cały obszar Morza Bałtyckiego, a pomiędzy Kattegatem i Skagerrakiem usytuowano otwartą granicę, przez którą następuje wymiana wód z Morzem Północnym. W celu zmniejszenia ilości obliczeń zastosowano lokalne zagęszczenie siatki obliczeniowej. Obliczenia przeprowadzane są równoległe dla dwóch obszarów o różnych krokach przestrzennych: Bałtyk, z krokiem ok. 5 mil morskich oraz Zatoka Gdańska z krokiem ok. 1 mili morskiej. Model został wykorzystany jako baza do budowy modelu ekologicznego Zatoki Gdańskiej (Jędrasik, 1997), a także do badań zjawiska upwellingu w Morzu Bałtyckim (Kowalewski, 1998). W 1998 roku model hydrodynamiczny został przystosowany do korzystania z cyfrowej 48-godzinnej prognozy meteorologicznej ICM (Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego Uniwersytetu Warszawskiego) pochodzącej z mezoskalowego modelu pogody - UMPL. Umożliwiło to uruchomienie, w czerwcu 1999, próbnej wersji operacyjnej modelu pozwalającej na codzienne obliczanie 48-godzinnych prognoz hydrodynamicznych. Aktualne wyniki modelu, w formie map temperatury wody, prądów oraz

wychyleń powierzchni morza w Zatoce Gdańskiej oraz dla południowej części Bałtyku, prezentowane są na stronie internetowej (<http://tajfun.ocean.univ.gda.pl/>).

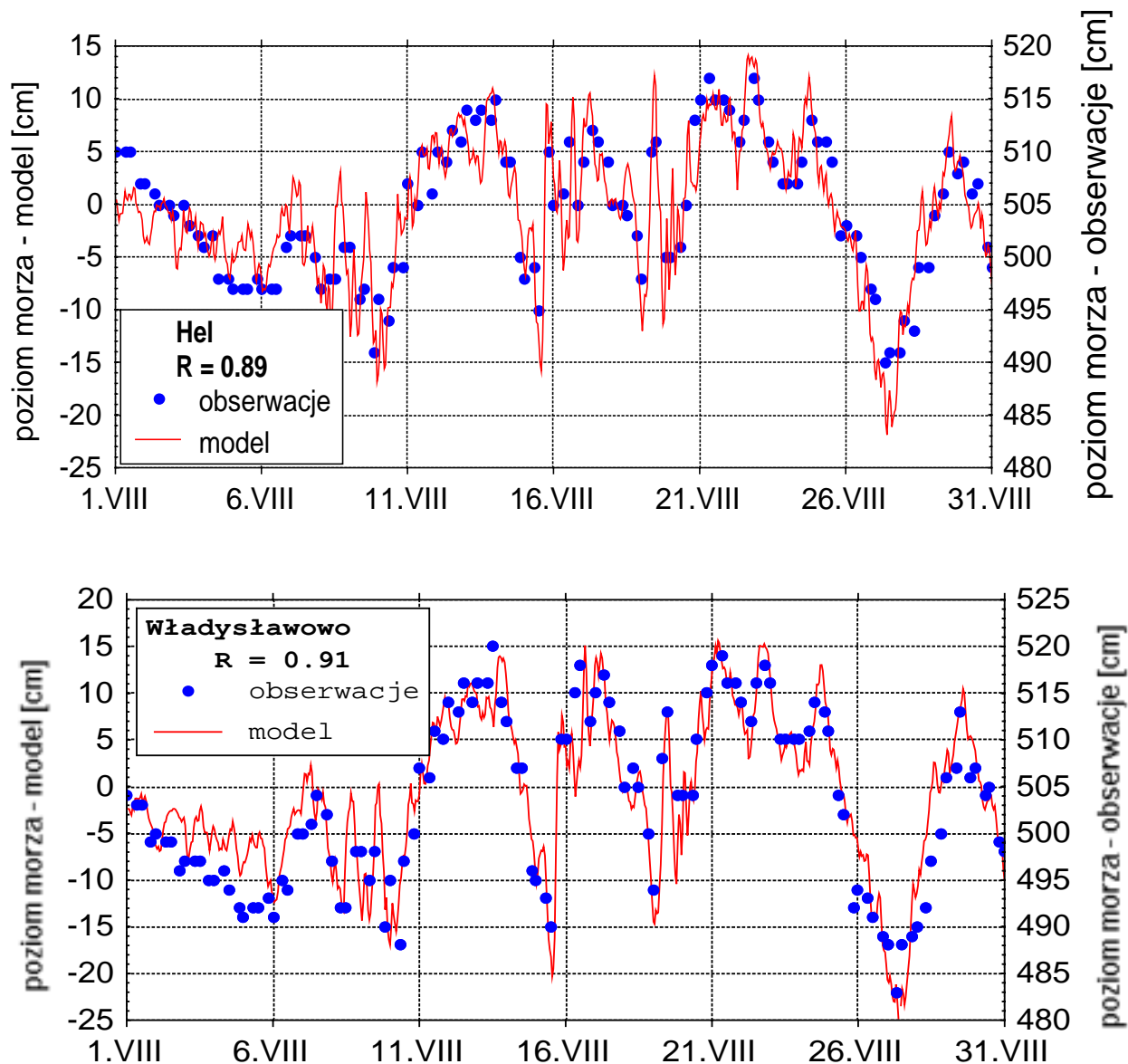
Dobra zgodność pomiędzy pomiarami i symulacjami zachęca do wykorzystania modelu na innych akwenach, a także w działalności praktycznej. Projekt zakłada uruchomienie operacyjnego modelu dla rejonu estuarium Odry, ze szczególnym uwzględnieniem toru żeglugowego Szczecin – Świnoujście. Wyniki modelu służyć będą poprawie bezpieczeństwa, wydajności nawigacji i ochrony środowiska na całym obszarze estuarium Odry. Mogą ostrzegać o zjawiskach ekstremalnych (m.in. ostrzegać przed sztormami, wezbraniami i obniżeniami sztormowymi). Przygotowanie strony w sieci INTERNET, na której prezentowana będzie w formie map 48-godzinna prognoza (codziennie aktualizowana) temperatury wody, zasolenia, stanów wody, prądów umożliwi szybki dostęp potencjalnym użytkownikom do prognozy.

Potencjalnymi odbiorcami operacyjnych prognoz mogą być:

- Użytkownicy toru wodnego i akwenów portowych tj. porty (kapitanaty), firmy połowowe i transportowe,
- Służby i instytucje związane z ochroną środowiska, zabezpieczenia obszaru przed powodzią, a także powołane do zwalczania rozlewów olejowych,
- Firmy, których praca wymaga zabezpieczeń przed ewentualnym skażeniem ekologicznym (ujęcia wody pitnej),
- Instytuty naukowe zajmujące się badaniami środowiska morskiego (analiza rozprzestrzeniania wód słodkich i słonych)
- Prasa, radio i telewizja (prognoza temperatury wody itp.),
- Firmy turystyczne, plażowicze i amatorzy sportów wodnych (np. żeglarze).

W 1998 roku model hydrodynamiczny został przystosowany do korzystania z cyfrowej 48-godzinnej prognozy meteorologicznej ICM (Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego Uniwersytetu Warszawskiego) pochodzącej z mezoskalowego modelu pogody - UMPL. Umożliwiło to uruchomienie, w czerwcu 1999, próbnej wersji operacyjnej modelu pozwalającej na codzienne obliczanie 48-godzinnych prognoz hydrodynamicznych. Aktualne wyniki modelu, w formie map temperatury wody, prądów oraz wychyleń powierzchni morza w Zatoce Gdańskiej oraz dla południowej części Bałtyku, prezentowane są na stronie internetowej (<http://tajfun.ocean.univ.gda.pl/>). O potrzebie istnienia operacyjnego modelu hydrodynamicznego najlepiej świadczy wzrastająca liczba odwiedzin strony internetowej.

Modelowane i obserwowane wahania poziomu morza wykazywały dużą zgodność (Rys. 1.) osiągając współczynniki korelacji około 0.9. Wychylenia powierzchni morza obliczone przez model mają jednak charakter względny, tzn. trudno powiązać je ze średnim poziomem wody w Bałtyku. Przyczyna tkwi prawdopodobnie w niedoskonałości warunków brzegowych zadanych na otwartej granicy Bałtyku tzn. pomiędzy Skagerrakiem i Kattegatem. Obecnie w modelu zadawany jest stały poziom morza na otwartej granicy, a wprowadzenie rzeczywistych, obserwowanych na stacjach brzegowych poziomów wody poprawi niewątpliwie dokładność prognozowanych wychyleń powierzchni morza i pozwoli obliczać bezwzględne poziomy morza, np. w układzie odniesienia: "NN Amsterdam 1955".



Rys. 1. Porównanie modelowanych i obserwowanych poziomów morza na stacjach Władysławowo i Hel w sierpniu 1999 roku ( $R$  - współczynnik korelacji liniowej)

Statystyczny opis dopływów rzecznych zastosowany w obecnej wersji modelu umożliwia wprowadzenie uwzględnienie ich sezonowych zmian, jednak możliwość wprowadzenia do modelu aktualnych, operacyjnych danych o przepływach rzek wpłynęłaby niewątpliwie pozytywnie na dokładność prognoz hydrodynamicznych, szczególnie w rejonach ujściowych.

Przedstawiony projekt realizowany będzie w ramach współpracy naukowej pomiędzy Zakładami Oceanografii Fizycznej Uniwersytetów Gdańskiego i Szczecińskiego. W ramach projektu planowane jest wykonanie następujących prac:

- Analiza i optymalizacja wyboru siatek numerycznych dla obszaru estuarium Odry - podział estuarium Odry na obszary z różnymi krokami siatki. Wstępnie przewidywana jest siatka z krokiem 1 mili morskiej na Zatoce Pomorskiej oraz kilkusetmetrowa na Zalewie Szczecińskim.
- Optymalizacja miejsca dopływu Odry na siatce numerycznej. Ze względu na efekt tzw. cofki przeanalizowane zostaną różne miejsca (pomiędzy Szczecinem, a Gozdowicami) lokalizacji dopływu Odry w modelu.

- Aplikacja modelu dla obszaru estuarium Odry (przygotowanie cyfrowej mapy batymetrycznej, siatki numerycznej, danych początkowych, warunków brzegowych itd.)
- Modyfikacja modelu polegająca na asymilacji aktualnych danych: poziomów morza w rejonie Skagerraku, przepływów Wisły i Odry oraz pomiarów systemu monitoringu VTS (Vessel Traffic Service).
- Weryfikacja wyników modelu w oparciu o działający wzdłuż toru wodnego Szczecin Świnoujście system monitoringu VTS oraz aktualne dane z IMGW
- Ocena wiarygodności prognoz obliczanych za pomocą modelu i ich przydatności do celów nawigacyjnych (prognoza niskich stanów wody w celu obliczenia rezerwy wody pod stępką statków, warunków sztormowych), ograniczeń żeglugowych i przeładunkowych w portach, zabezpieczeń przed ewentualnym skażeniem ekologicznym itp.
- Porównanie sprawdzalności modelu dla estuarium Odry i Zatoki Gdańskiej
- Opracowanie strony internetowej prezentującej aktualne wyniki modelu.

Realizacja projektu powinna przynieść korzyści zarówno naukowe jak i praktyczne. Wynikiem realizacji przedstawianego projektu będzie:

1. Uruchomienie operacyjnego modelu hydrodynamicznego dla rejonu estuarium Odry na podstawie modelu opracowanego w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego
2. Opracowanie metody asymilacji danych do opracowanego modelu;
3. Przygotowanie strony w sieci INTERNET, na której prezentowana będzie w formie map 48-godzinna prognoza (codziennie aktualizowana) temperatury wody, zasolenia, stanów wody, prądów;
4. Przygotowanie publikacji w języku polskim i angielskim;
5. Wygłoszenie referatów na konferencjach naukowych.

### **Literatura**

- Blumberg A.F., Mellor G.L., 1987, *A description of the three-dimensional coastal ocean circulation model*, [w] *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, N. Heaps, American Geophysical Union, 1-16
- Buchholz W., 1989, Wpływ wiatru na przepływy w ujściach rzek, Prace Instytutu Morskiego, 703, Gdańsk, Słupsk, Szczecin.
- Buchholz W., Dybkowska-Stefek D., 1998, Assessment of flood risk in the Lower Odra River region, Conference Proceedings of Second Conference on BALTEX, Juliusruh, 25-29 May 1998, 27
- Cyberski J., 1997, *Riverine water outflow into the Gulf of Gdańsk*, Oceanol. Stud., 26 (4), 65-75
- Duwe K.C., Sundermann J., 1986, currents and salinity transport in the Lower Elbe Estuary: Some experiences from observations and numerical simulations, Lecture Notes on Coastal and Estuarine Sciences, Springer, Berlin – Heidelberg – New York
- Ewertowski R., 1998, Unsteady flow modelling in the Lower Odra River network including atmospheric pressure and wind forces, Conference Proceedings of Second Conference on BALTEX, Juliusruh, 25-29 May 1998, 45-46
- Gajewski J., Gajewski L., 1997, *Planned and realised POLRODEX '96 activities*, Bulletin of the Maritime Institute, 24 (1), 7-12
- Jacob D., Lorenz P., Windelband M., Podzun R., 1998, Odra Flooding, July 97, simulated with REMO, Conference Proceedings of Second Conference on BALTEX, Juliusruh, 25-29 May 1998, 89-90

- Jasińska E., 1991, Dynamika słonych wód w estuariach polskich rzek, Prace Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk, 24, s. 206
- Jasińska e., Duwe K.C., Nohren I., Pfeiffer K.D., Robakiewicz W., Walkowiak A., 1992, Wind Generated Dynamics in the Odra Estuary, IBW PAN, Gdańsk, Rozprawy Hydrotechniczne, 55, 97-127.
- Jędrasik J., 1997, *A model of matter exchange and flow of energy in the Gulf of Gdańsk ecosystem - overview*, Oceanol. Stud., 26 (4), 3–20
- Jędrasik J., Kowalewski M., 1993, *Transport model of pollutants in Gdansk Bay*, Stud. i Mater. Oceanol., 64 (3), 61–75
- Klein M., Backhaus R., Ewertowski R., Mengelkamp H., Messal H., Raschke E., Wozniak Z., 2001, ODRAFLOOD – a flood forecasting system for the Odra drainage basin, Conference Proceedings of Third Conference on BALTEX, Mariehamn, 2-6 July 2001, 109-110.
- Kowalewski M., 1997, *A three-dimensional, hydrodynamic model of the Gulf of Gdańsk*, Oceanol. Stud., 26 (4), 77–98
- Kowalewski M., 1998, *Upwellingi przybrzeżne w płytkim morzu stratyfikowanym na przykładzie Bałtyku*, rozprawa doktorska, maszynopis, Gdynia, Biblioteka Wydziału BGiO Uniwersytetu Gdańskiego, 85
- Krężel A., 1997, *A model of solar energy input to the sea surface*, Oceanol. Stud., 26 (4), 21-34
- Ołdakowski B., Kowalewski M., Jędrasik J., 1994, *Nutrient dynamics model for the Gulf of Gdansk*, Proc. of the 19th Conference of the Baltic oceanographers, Sopot - Poland, 29.08 - 1.09. 1994
- Pfeiffer K. D., Nohren I., Jasińska E., Duwe K., 1994, *Dynamic Features and Variability in the Szczecin Bay*, W: Proceedings of 5<sup>th</sup> German-Polish Seminar on Coastal and Estuary Dynamics, 26-30 October 1993, Geesthacht, 179-210.
- Robakiewicz W. (red), 1993, Warunki hydrodynamiczne Zalewu Szczecińskiego i Cieśnin łączących Zalew z Zatoką Pomorską, Wyd. IBW PAN, Gdańsk
- Robakiewicz M., Karelse M., 1994, *Hydrodynamics of Gdańsk Bay by 3D model*, Proc. of the 19th Conference of Baltic Oceanographers, 487-496
- Van der Vat M.P., 1994, *Modelling of eutrophication of the Bay of Gdańsk as a tool for decision markers*, Proc. of the 19th Conference of Baltic Oceanographers, 497-505
- Wiśniewski B., 1997, Zmienność zapasu wody pod stepką statku w czasie wezbrań sztormowych, Inżynieria Morska i Geotechnika, 5, 325-327.
- Wiśniewski B., Kowalewska-Kalkowska H., Wolski T., Some results of studies on dynamics of variations of hydrological conditions in the Oder Estuary, Conference Proceedings of Third Conference on BALTEX, Mariehamn, 206 July 2001,
- Wiśniewski B., Wolski T., 1998, Hydrometeorologiczne uwarunkowania pracy portu w Szczecinie, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 243, Marine Sciences, 5, 7-24.