Kmdr por. Andrzej Dolecki
mgr Magdalena Dudzik
Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej

SYSTEM WIZUALIZACJI DANYCH MODELOWYCH – MARWEB

Wprowadzenie

Współczesne działania okrętów na morzu wymagają szeregu zabezpieczeń. Jednym z nich jest zabezpieczenie oceanograficzne. Dane oceanograficzne, meteorologiczne oraz inne dane geoprzestrzenne przedstawiają obraz fizycznych czynników środowiskowych, które wykorzystywane są w bieżącej działalności dowództw sił morskich.

Dla zapewnienia niezbędnej wiedzy do planowania i wykonywania zadań na morzu informacje z zakresu oceanografii wojskowej (*Military Oceanography – MILOC*) muszą być dokładne, dostarczone na czas, użyteczne i wiarygodne. Kluczem do sprawnego, skutecznego i bezpiecznego prowadzenia działań przez siły morskie jest takie wykorzystanie informacji MILOC, które wesprze personel planistyczny i rozpoznawczy oraz pozwoli na zoptymalizowanie wykorzystania urządzeń pomiarowych, sprzętu, uzbrojenia, a przede wszystkim zasobów ludzkich.

Zabezpieczenie MILOC wspiera pełny zakres zadań stawianych siłom morskim, od rutynowych zadań wykonywanych przez pojedynczy okręt/śmigłowiec poprzez przygotowanie ekspertyz niezbędnych do planowania zakupów, testowania uzbrojenia i sprzętu wojskowego, zabezpieczenie ćwiczeń, wspomaganie ośrodków poszukiwania i ratownictwa do odpowiedzi na kryzys wojny. Realizowane jest zarówno przez narodowe jak i sojusznicze służby oceanograficzne. Całokształt tego zabezpieczenia obejmuje:

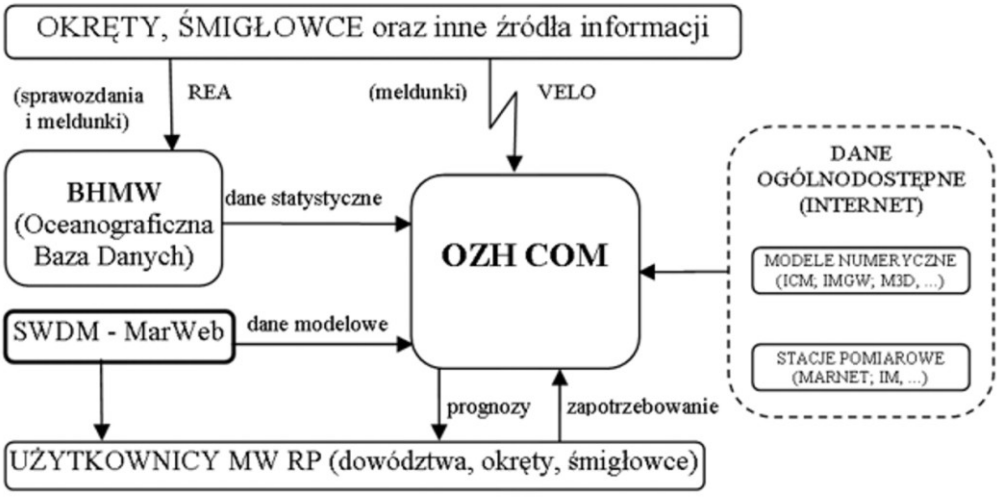
- wykonywanie pomiarów parametrów środowiska morskiego i przekazywanie ich w czasie rzeczywistym;
- gromadzenie, przetwarzanie i archiwizowanie informacji oceanograficznych w historycznych bazach danych;
- analizowanie danych;
- prognozowanie warunków oceanograficznych i akustycznych środowiska morskiego;
- rozpowszechnianie informacji i produktów MILOC dla operacyjnego wsparcia.

W Marynarce Wojennej RP za organizację zabezpieczenia oceanograficznego odpowiada Oddział Oceanograficzno-Meteorologiczny BHMW. Koordynuje on działania z zakresu zbierania, analizowania i przekazywania informacji oraz prognoz oceanograficznych dla sił morskich i komórek dowództwa MW, jak również prowadzi wymianę danych z sojuszniczymi służbami. Natomiast

za utrzymanie ciągłego serwisu oceanograficzno-meteorologicznego *(METOC)* odpowiada Ośrodek Zabezpieczenia Hydrometeorologicznego Centrum Operacji Morskich.

W swojej działalności służba oceanograficzna MW opiera się na trzech źródłach informacji: bieżącej, statystycznej i modelowej. Dane bieżące otrzymywane są w czasie rzeczywistym z pomiarów prowadzonych przez okręty i śmigłowce Marynarki Wojennej. Informacje statystyczne pozyskiwane są z utworzonej w 2004 r. Oceanograficznej Bazy Danych, aktualizowanej przez Oddział Oceanograficzno-Meteorologiczny BHMW. Trzecim, coraz bardziej powszechnym i niemniej ważnym, od wyżej wymienionych, źródłem informacji są dane modelowe.

Od 2005 roku służba oceanograficzna MW korzysta z własnego Systemu Wizualizacji Danych Modelowych (SWDM) – MarWeb, który został zaprojektowany przez specjalistów BHMW w ramach realizacji Celu NATO 0430 – *Szybka ocena środowiska morskiego (REA,* od ang. *Rapid Environmental Assessment)*[1]. System ten stanowi integralną część Obiegu Informacji Oceanograficznej MW (Rys. 1).



Rys.1 Schemat obiegu informacji oceanograficznej w Marynarce Wojennej.

Charakterystyka systemu MarWeb

[1] System Wizualizacji Danych Modelowych MarWeb został sfinansowany przez Departament Spraw Obronnych Ministerstwa Infrastruktury natomiast jego wykonanie powierzono Instytutowi Morskiemu w Gdańsku.

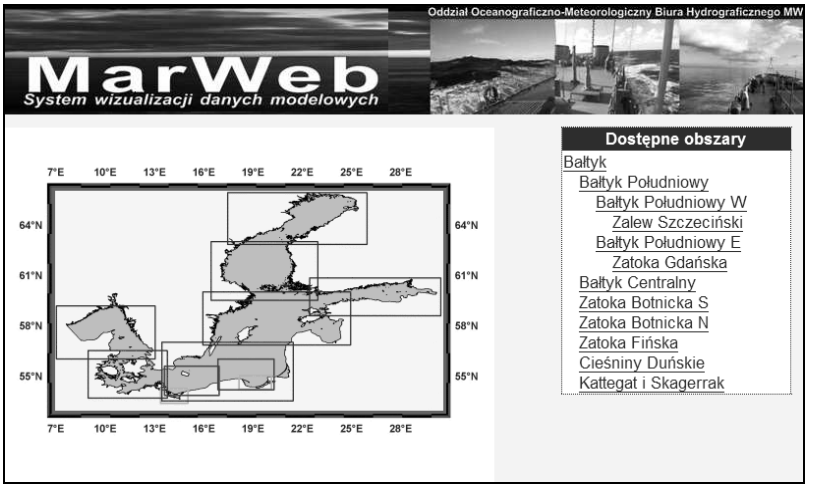
MarWeb[2] jest systemem, który pobiera i przetwarza dane pochodzące z modeli numerycznych w celu wizualizacji prognozowanych pionowych i horyzontalnych rozkładów parametrów hydrofizycznych i falowania. Charakteryzuje się dużą funkcjonalnością, pozwalając użytkownikowi w prosty sposób wybierać interesujące go parametry, czas, obszar prognozy, a także sposób prezentacji – profil, mapę, tabelę lub animację.

Prognozy otrzymywane są z wyprzedzeniem 48-godzinnym, 3-godzinnym krokiem czasowym oraz rozdzielczością poziomą wynoszącą 1 i 3 Mm. System podaje rozkłady parametrów hydrofizycznych uśrednione w 10-metrowych warstwach głębokości, przy czym dodatkowo wprowadzono warstwę przydenną, dzięki czemu pomimo zmiennej głębokości akwenu, można otrzymać wartość parametru w każdym punkcie dna.

Zasięg geograficzny systemu MarWeb

System MarWeb swoim zasięgiem obejmuje obszar Morza Bałtyckiego. Dla zwiększenia efektywności wizualizacji oraz dokładności prognozowanych parametrów obszar ten został podzielony na 12 podobszarów o rozdzielczościach 3 Mm x 3 Mm lub 1 Mm x 1 Mm (Rys. 2):

Bałtyk	(3 Mm x 3 Mm);	Cieśniny Duńskie	(3 Mm x 3 Mm);
Bałtyk Południowy	(3 Mm x 3 Mm);	Kattegat i Skagerrak	(3 Mm x 3 Mm);
Bałtyk Centralny	(3 Mm x 3 Mm);	Bałtyk Południowy W	(1 Mm x 1 Mm);
Zatoka Botnicka S	(3 Mm x 3 Mm);	Bałtyk Południowy E	(1 Mm x 1 Mm);
Zatoka Botnicka N	(3 Mm x 3 Mm);	Zalew Szczeciński	(1 Mm x 1 Mm);
Zatoka Fińska	(3 Mm x 3 Mm);	Zatoka Gdańska	(1 Mm x 1 Mm);



Rys. 2 Podobszary dostępne w systemie MarWeb.

[2] System dostępny jest na stronie internetowej: http://gnejs.im.gda.pl/MarWeb2/. Na stronie systemu znajdują się również linki do innych systemów wizualizacji danych modelowych.

Przejście do prognozy dla wybranego podobszaru następuje poprzez kliknięcie na interaktywny prostokąt widoczny na mapie Bałtyku lub na nazwę obszaru umieszczoną po prawej stronie ekranu - wraz z mapą obszaru pojawiają się opcje wyboru parametru, godziny i warstwy głębokości.

Funkcje systemu MarWeb

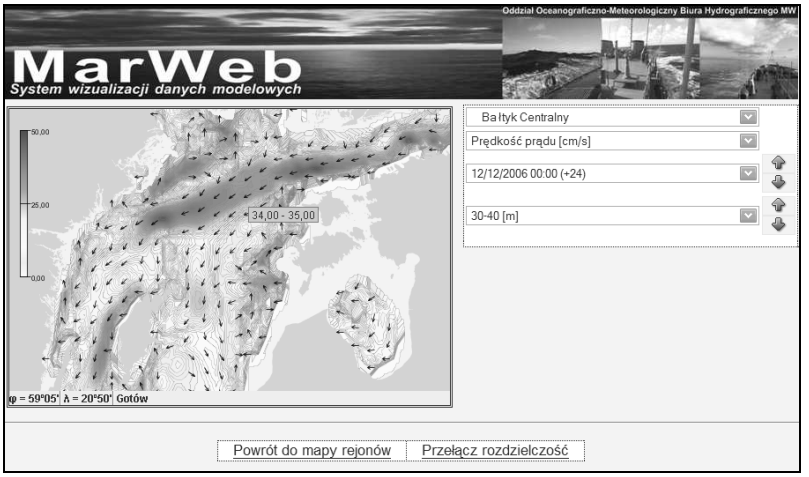
System MarWeb posiada dwa poziomy dostępu. Poziom dostępu wszystkich użytkowników jest istotnie ograniczony pod względem ilości dostępnych funkcji (Rys. 3). Pełną funkcjonalność posiada natomiast poziom przeznaczony dla służby METOC Marynarki Wojennej, który jest uruchamiany po zalogowaniu do systemu[3].

Podstawową funkcją sytemu MarWeb, dostępną z obu poziomów, jest generowanie dla wybranego obszaru, godziny i przedziału głębokości graficznego zobrazowania w płaszczyznach horyzontalnych rozkładu następujących parametrów:

- temperatury [°C];
- zasolenia [psu];
- prędkości dźwięku [m/s];
- gęstości [kg/m^3];
- prędkości i kierunku prądu [cm/s];
- poziomu morza [cm];
- grubości pokrywy lodowej [m];
- zwartości lodu [%];
- prędkości przemieszczania się lodu [m/s];
- wysokości fali znacznej [m];
- średniego okresu fali [s];
- okresu fali największej [s].

Ogólnie dostępna jest również funkcja *nawigacji* po mapie. Dzięki tej funkcji, przy przesuwaniu kursora po mapie, użytkownik widzi, jak zmieniają się współrzędne (dolny lewy róg mapy) oraz wartość parametru (wskaźnik przy kursorze), co jest przydatne np. przy generowaniu profili.

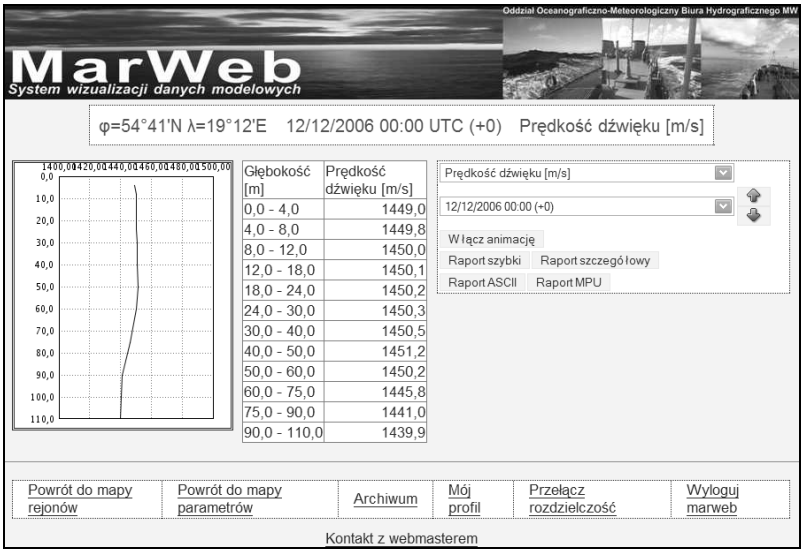
[3] Potrzebne do zalogowania hasło i nazwę użytkownika otrzymać można w Oddziale Oceanograficzno-Meteorologicznym BHMW pod numerem tel. 266476.



Rys. 3 Funkcje systemu dostępne dla wszystkich użytkowników.

Natomiast funkcjami dodatkowymi, dostępnymi jedynie w pełnej wersji systemu MarWeb są:

1. Zobrazowanie rozkładu parametrów hydrofizycznych w płaszczyźnie wertykalnej (Rys. 4).



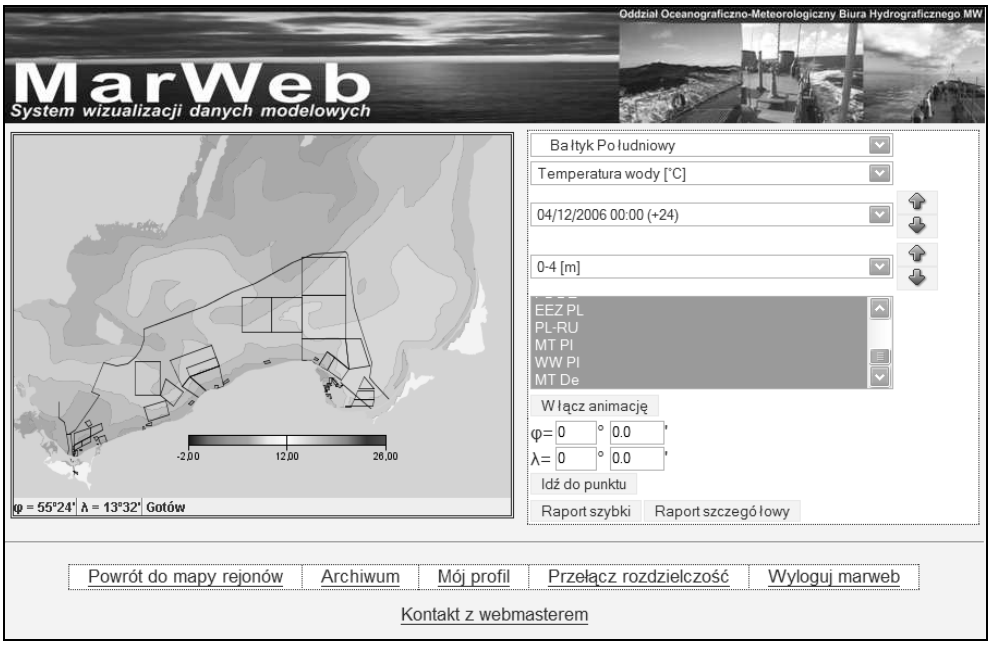
Rys. 4 Profil rozkładu prędkości dźwięku dla wybranego punktu.

Wyświetlenie profilu następuje w wyniku wpisanie współrzędnych punktu (gdy są znane) i użycia polecenia *Idź do punktu* lub przez kliknięcie w dowolne miejsce na mapie.

2. Generowanie plików wyjściowych do innych systemów wykorzystywanych przez służbę METOC MW.

Przykładem jest program MRPD, który oblicza i obrazuje sposób rozchodzenia się fali akustycznej na podstawie plików MPU, zawierających profile prędkości dźwięku. Pliki w formacie MPU można w prosty sposób uzyskać z systemu, poprzez wybór polecenia *Raport MPU* (Rys. 4).

3. Wyświetlanie poligonów wojskowych oraz granic obszarów morskich (Rys. 5).



Rys. 5. Granice obszarów morskich i poligony wojskowe w PWSE.

4. Tworzenie raportów szybkich i szczegółowych w formacie PDF.

Funkcja *Raport szybki* korzysta ze standardowego szablonu, który pozwala przedstawić zmiany z głębokością tylko jednego parametru (np. prędkości prądu), zaś forma prezentacji ogranicza się do tabeli i profilu (Rys. 6).

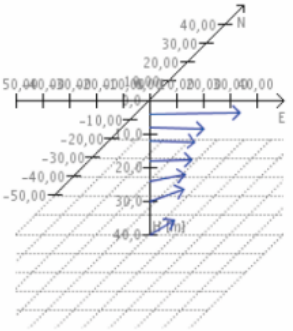
Oddział Oceanograficzno-Meteorologiczny
Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej
System wizualizacji danych modelowych MarWeb

Raport 12/06

Prognoza dla: **05/12/2006 00:00 UTC (+0)**

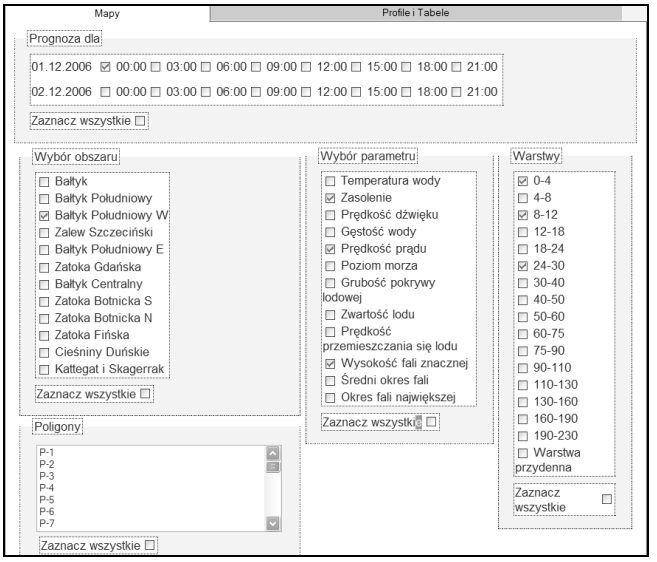
	φ=54°53,3'N, λ=14°46,6'E	
Głębokość [m]	*Prędkość prądu [cm/s]*	*Kierunek prądu [°]*
0 - 4	33,37	89
4 - 8	21,10	93
8 - 12	17,58	92
12 - 18	15,26	89
18 - 24	11,39	73
24 - 30	10,74	55
30 - 40	8,47	27

Wykres dla: **φ=54°53,3'N, λ=14°46,6'E**, parametru: **Prędkość prądu**



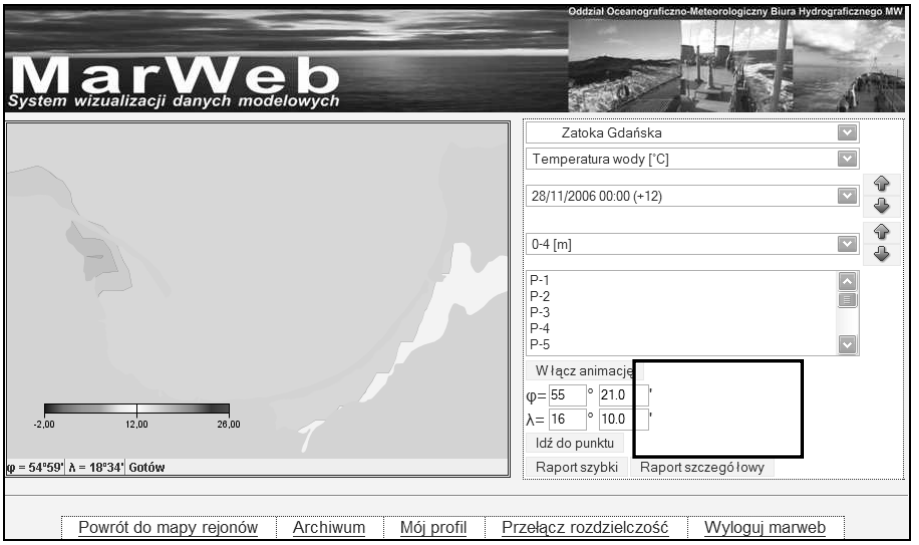
Rys. 6 Przykład raportu szybkiego.

Funkcja *Raport szczegółowy* daje użytkownikowi możliwość wyboru jednocześnie kilku: parametrów, godzin, obszarów, warstw głębokości oraz formy prezentacji (tabela, profil i mapa) (Rys. 7).



Rys. 7 Opcje raportu szczegółowego.

5. Wyświetlanie animacji.



Rys.8 Funkcja animacji.

Funkcja animacji pozwala na śledzenie rozwoju zmian w zakresie czasowym do + 48 godzin, z krokiem czasowym co 3 godziny w obu płaszczyznach: horyzontalnej (animacja mapy) i wertykalnej (animacja profilu). Animacja profilu uruchamiana zostaje poprzez wybranie plecenia *Włącz animację*, gdy w odpowiednie pola wpisane są współrzędne punktu (Rys. 8), w przeciwnym wypadku uruchamiana jest animacja mapy.

Modele numeryczne wykorzystywane w systemie MarWeb

Dane wejściowe systemu MarWeb pochodzą z dwóch modeli operacyjnych: hydrodynamicznego modelu HIROMB oraz modelu falowania WAM. Operacyjne modele numeryczne są przeznaczone do przeprowadzania codziennych prognoz w czasie rzeczywistym, co wymaga użycia komputerów o bardzo dużej mocy obliczeniowej. W celu zwiększenia szybkości obliczeń stosuje się programowanie równoległe, pozwalające uruchomić program na wielu procesorach jednocześnie dzięki zastosowaniu architektury pamięci współdzielonej[4] i rozproszonej (Wilhelmsson, 2002).

Model hydrodynamiczny HIROMB

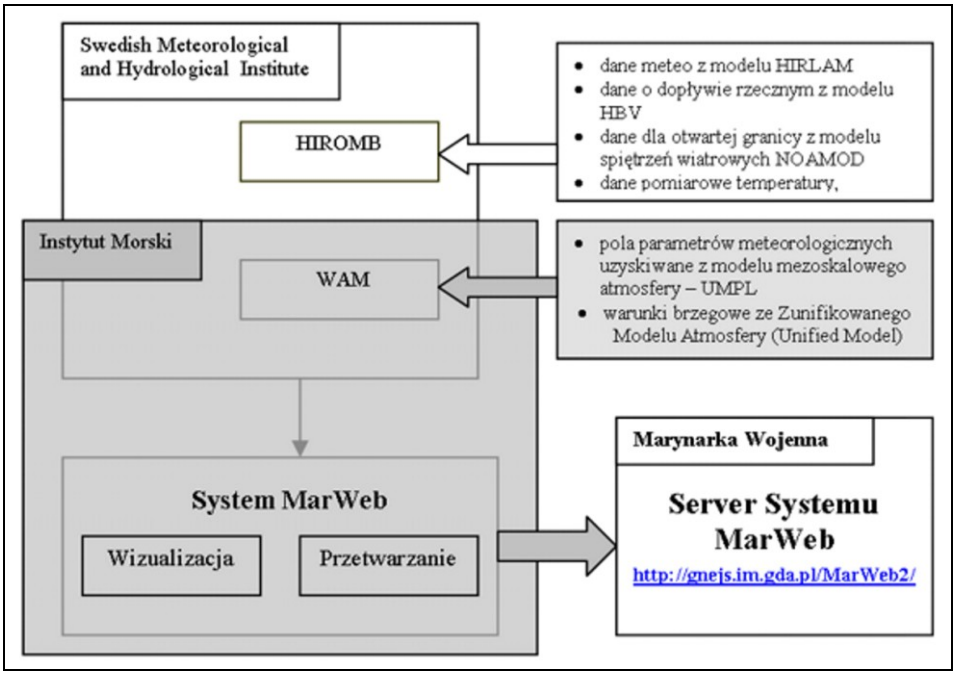
Hydrodynamiczny model HIROMB (High Resolution Operational Model for the Baltic Sea) obliczany jest w Szwedzkim Instytucie Meteorologiczno-Hydrologicznym (SMHI) w Norrköping i działa w trybie operacyjnym od 1995 r.,

[4] Dobrym przykładem jest tutaj nieco już starzejący się Cray SV1ex (tajfun), w którym 32 procesory mają do wspólnej dyspozycji 16 GB pamięci operacyjnej.

dostarczając codziennych prognoz temperatury, zasolenia, poziomu morza, zlodzenia i rozkładu prądów na Bałtyku i Morzu Północnym.

HIROMB jest trójwymiarowym modelem baroklinowym. Oznacza to, że modeluje on pionowe i horyzontalne rozkłady parametrów hydrofizycznych uwzględniając niejednorod-ność gęstości. Model pracuje w trzech rozdzielczościach przestrzennych: 12, 3 i 1 Mm. W kierunku pionowym model wykorzystuje 24 warstwy, których miąższość waha się od 4 m w pobliżu powierzchni do 60 m w najgłębszych partiach, występujących w Morzu Północnym. Jest on wykorzystywany zarówno w celach badawczych jak i operacyjnych.

HIROMB jest zasilany danymi meteorologicznymi z modelu HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) i danymi o dopływie rzecznym (model HBV). Natomiast na otwartej granicy HIROMB wykorzystuje model spiętrzeń wiatrowych NOAMOD wraz z danymi klimatologicznymi zasolenia i temperatury oraz poziomu morza i pływów (Rys. 9).



Rys. 9 Schemat przepływu danych pomiędzy modelami i systemem *MarWeb*.

Model falowania WAM

WAM (WAve Model) jest numerycznym modelem falowania wiatrowego trzeciej generacji i należy obecnie on do najbardziej zaawansowanych modeli falowania (Gunther et al., 1992). Model ten został zbudowany i przetestowany w latach 80 i 90 przez zespół skupiony w Max-Planck-Institut für Meteorologie w Hamburgu i we współpracy z innymi instytucjami europejskimi.

System MarWeb działa w oparciu o operacyjną wersje modelu WAM – WAM4, udostępnioną przez Instytut Morski w Gdańsku, która korzysta z siatki obliczeniowej dla obszaru Bałtyku o kroku 3 Mm. Jest ona zgodna z siatką modelu HIROMB, co pozwala w prosty sposób implementować jego wyniki do modelu WAM. W polskim obszarze morskim siatka jest zagęszczona do 1 Mm. W charakterze danych wejściowych korzysta się z pól wiatru otrzymywanych codziennie w formie cyfrowej z Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM UW). Są to analityczne i prognostyczne pola parametrów meteorologicznych uzyskiwane z modelu mezoskalowego atmosfery – UMPL (Unified Model for Poland), o rozdzielczości 9 Mm i wyprzedzeniem prognozy do 60 godz.

Podsumowanie

Morze Bałtyckie jest skomplikowanym układem dynamicznym. Aby odpowiedzieć na pytanie, jakie procesy zachodzą w jego dowolnym miejscu i czasie, można albo przeprowadzić pomiar albo próbować rozwiązać układ skomplikowanych równań. Jednak równania opisujące stan morza są tak bardzo złożone (nieliniowe cząstkowe równania różniczkowe), że dokładne (analityczne) ich rozwiązanie nie jest możliwe (Stewart, 2003). Z drugiej strony wadą pomiarów rzeczywistych jest fakt, że są one nieliczne i drogie.

Ta sytuacja stała się bodźcem do rozwoju alternatywnych metod badania mórz i oceanów, takich jak modelowanie numeryczne. W oparciu o warunki początkowe (dane wejściowe z pomiarów) i brzegowe, modele pozwalają przewidzieć aktualny i przyszły stan morza lub oceanu. Niestety rozwiązanie to ma swoją cenę. Ceną jest to, że otrzymany obraz, chociaż uzupełniony o nowe elementy, czasem znacznie odbiega od obrazu rzeczywistego. Stopień tej niezgodności szacuje się poprzez porównanie danych modelowych z danymi pomiarowymi, tzn. poprzez weryfikację modelu. Żaden ze współczesnych modeli nie daje wyników całkowicie zgodnych z rzeczywistością, jednak zastosowanie modelu z poprawnie sformułowanymi założeniami i warunkami brzegowymi, tj. uwzględnienie lokalnego charakteru danego akwenu w znacznym stopniu może ograniczyć wielkość tego błędu.

Wartość informacji, która dociera do użytkownika końcowego można i należy ocenić jeszcze pod innym względem niż dokładność. Możliwości percepcyjne człowieka są w znacznej mierze ograniczone, co oznacza, że nie potrafi on wydobyć, a przynajmniej nie w sposób natychmiastowy, informacji na podstawie samych tylko danych. Jeśli ponadto uwzględnić fakt, że ilość danych pochodzących z modeli numerycznych jest ogromna, staje się oczywiste, że umysł ludzki nie jest w stanie uporządkować ich w stopniu wystarczającym do podjęcia decyzji. Stąd drugim równie istotnym aspektem informacji jest sposób jej prezentacji. Same dane, chociażby pozbawione błędu, w przypadku, gdy mają wspierać przeprowadzanie szybkiej oceny środowiska morskiego (REA), mogą okazać się bezużyteczne, zaś systemy wizualizacji takie jak MarWeb - nieodzowne.

Biorąc pod uwagę jakość graficznej prezentacji informacji oraz stopień funkcjonalności, system MarWeb stanowi ważny element obiegu informacji oceanograficznej oraz cenne narzędzie wspomagania organizacji zabezpieczenia oceanograficznego sił MW. Jednak narzędzie to wymaga ciągłego doskonalenia, determinowanego wzrostem technicznych możliwości, jakimi dysponuje BHMW i Urząd Morski. Zwiększa się również spektrum wymagań użytkowników systemu. Zatem następnym krokiem będzie wprowadzenie poprawek mających na celu zobrazowanie upwellingów przybrzeżnych w Bałtyku oraz poszerzenie obszaru prognoz o akwen Morza Północnego. W przyszłości planuje się ponadto dodanie funkcji wyliczania fali przybojowej dla określonych lokalizacji.

Literatura:

Gunther H., Hasselmann S., Janssen P.A.E.M., 1992, *Model Documentation: The WAM Model cycle 4.* Raport No.4. Dostępne z: http://www.mad.zmaw.de/fileadmin/extern/documents/reports/ReportNo.04.pdf

Stewart R. H., 2003, *Introduction to Physical Oceanography*, Texas A&M University. Dostępne z: http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/PDF_files/book.pdf

Wilhelmsson T., 2002, *Parallelization of HIROMB Ocean Model*, Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Universitetservice US AB, Stockholm. Dostępne z: http://www.nada.kth.se/utbildning/forsk.utb/avhandlingar/lic/020610.pdf