PRODUKTY i METODY „WaterPUCK”

3D EcoPuckBay –

Model biochemiczny Zatoki Puckiej

Opis działania modułu biochemiczny modelu ekosystemu 3D EcoPuckBay w trybie operacyjnym

Celem opracowanego trójwymiarowego modelu ekosystemu Zatoki Puckiej/wewnętrznej Zatoki Gdańskiej 3D EcoPuckBay przez zespół modelarzy IOPAN jako nowoczesnego narzędzia jest śledzenie i prognozowanie zachodzących w środowisku zmian dla zwiększenia zasobów danych i zrozumienia wobec potrzeb zrównoważonego rozwoju i przeciwdziałania zagrożeniom poprzez przedstawienie dziennych i sezonowych zmian zachodzących w środowisku Zatoki Puckiej, w aspekcie presji antropogenicznych związanych z wprowadzaniem zanieczyszczeń z wód powierzchniowych i gruntowych gminy Puck.

W odróżnieniu od metod tradycyjnych, model numeryczny pozwala na, ciągłe w czasie i w przestrzeni, kontrolowanie głównych charakterystyk ekosystemu. Takie podejście pozwala również, na uzyskanie szczegółowego ilościowego opisu zmienności fizycznych, dynamicznych i biochemicznych parametrów środowiska morskiego. Elementy te są niezbędne w nowoczesnym prognozowaniu ekologicznym środowiska morskiego.

Model EcoPuckBay został opracowany w ramach projektu WaterPUCK. Celem projektu było stworzenie zintegrowanej usługi informacyjno-prognostycznej dla Urzędu Gminy Puckiego poprzez opracowanie systemu komputerowego zapewniającego usługę WaterPUCK, który w jasny i praktyczny sposób oceni wpływ gospodarstw i struktur użytkowania gruntów na wody powierzchniowe i podziemne w Gminie Puck, a co za tym idzie - jakość wód Zatoki Puckiej [Dzierzbicka-Głowacka i inni., 2018, 2019a]. Budowa usługi oparta jest na badaniach in situ, danych środowiskowych (chemicznych, fizykochemicznych i hydrologicznych) i modelowaniu numerycznym. Usługa WaterPUCK to zintegrowany system składający się z połączonych ze sobą modeli komputerów, działający w sposób ciągły, dostarczając mu dane meteorologiczne, i składa się z 8 głównych modułów:

- kompleksowy model spływu wód powierzchniowych oparty na kodzie SWAT;
- numeryczny model przepływu wód podziemnych w oparciu o kod Modflow;
- trójwymiarowy model numeryczny ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay, w skład którego wchodzi: model hydrodynamiczny, **model biochemiczny z modułem pestycydów** i model rozpływu biogenów;

trójwymiarowy model numeryczny ekosystemu Morza Bałtyckiego z modułem upwellingu jako dynamiczny moduł wyznaczający warunki brzegowe na granicy woda-woda;

- kalkulator gospodarstw rolnych w Gminie Puck CalcGosPuck jako interaktywna aplikacja;
- kalkulator wymywania azotu z pól CalcNPuck jako interaktywna aplikacja.

W ramach projektu WaterPUCK opracowano numeryczny moduł biochemiczny modelu 3D EcoPuckBay opisujący główne parametry biochemiczne środowiska morskiego Zatoki Puckiej. Model ten został wykorzystany do określenia wielkości stężeń chlorofilu-a, biomasy fitoplanktonu, biomasy zooplanktonu, stężenia substancji biogenicznych (fosforanów, azotanów i amoniaku, krzemianów), stężenia rozpuszczonego tlenu, złoża detrytusu pelagicznego oraz bentosowego (dla dwóch zmiennych – fosforanów i azotanów) a także pestycydów. Umożliwił on także ocenę wpływu gospodarstw rolnych i sposobu użytkowania powierzchni na wody morskie poprzez opracowany moduł rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, nazwany jako EcoPuckBay – Model Rozpływu Biogenów.

Konfiguracja modułu biochemicznego modelu 3D EcoPuckBay

Podstawą modułu biochemicznego modelu 3D EcoPuckBay jest Community Earth System Model (CESM) (http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm4.0) opracowany przez NCAR. Podobnie jak model 3D CEMBS (www.cembs.pl) na potrzeby projektu model CESM został dostosowany do regionu Zatoki Puckiej, rozwijany i rozbudowany w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk.

Model EcoPuckBay został rozbudowany o moduł dla wytypowanych, w ramach projektu, pestycydów i moduł rozpływu biogenów.

Rozdzielczość pozioma EcoPuckBay wynosi 1/960° co odpowiada nominalnej rozdzielczości 115 m. Rozdzielczość pionowa wynosi 0,4–0,6 m w górnych warstwach do 3 m, a następnie stopniowo wzrasta do 5 m na głębokości, łącznie 24 warstwami (Tabela 1). Pionowa dyskretyzacja wykorzystuje formułę z, a dolna topografia oparta jest na Baltic Sea Bathymetric Database (BSBD) z Baltic Sea Hydrographic Commission [5]. Dane batymetryczne interpolowano do siatki modelu za pomocą metody Kriginga. Krok czasowy modelu oceanu wynosi 12 s.

Table 1. EcoPuckBay's vertical resolution.

Model Level	Thickness (m)	Lower Depth (m)	Mid-Depth (m)
1	0.60	0.60	0.30
2	0.40	1.00	0.80
3	0.40	1.40	1.20
4	0.40	1.80	1.60
5	0.40	2.20	2.00
6	0.50	2.70	2.45
7	0.60	3.30	3.00
8	0.80	4.10	3.70
9	1.00	5.10	4.60
10	1.40	6.50	5.80
11	1.80	8.30	7.40
12	2.50	10.80	9.55
13	4.00	14.80	12.80
14	5.00	19.80	17.30
15	5.00	24.80	22.30
16	5.00	29.80	27.30
17	5.00	34.80	32.30
18	5.00	39.80	37.30
19	5.00	44.80	42.30
20	5.00	49.80	47.30
21	5.00	54.80	52.30
22	5.00	59.80	57.30
23	5.00	64.80	62.30
24	5.00	69.80	67.30

Wymuszania atmosfery

Model EcoPuckBay jest wymuszany przez 48-godzinne prognozy meteorologiczne z modelu UM dostarczonego przez Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Obliczeniowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM UW). Używane są następujące pola zewnętrzne:

- temperatura powietrza i wilgotność właściwa na poziomie 2 m,
- ciśnienie na poziomie morza,
- opad atmosferyczny,
- promieniowanie krótkofalowe i długofalowe,
- prędkość wiatru na poziomie 10m,
- gęstość powietrza na poziomie 2m.

Aby użyć danych z UM dostępne na innej siatce numerycznej niż siatka modelu EcoPuckBay konieczne jest przeprowadzanie interpolacji danych za każdym razem przy ich wczytywaniu.

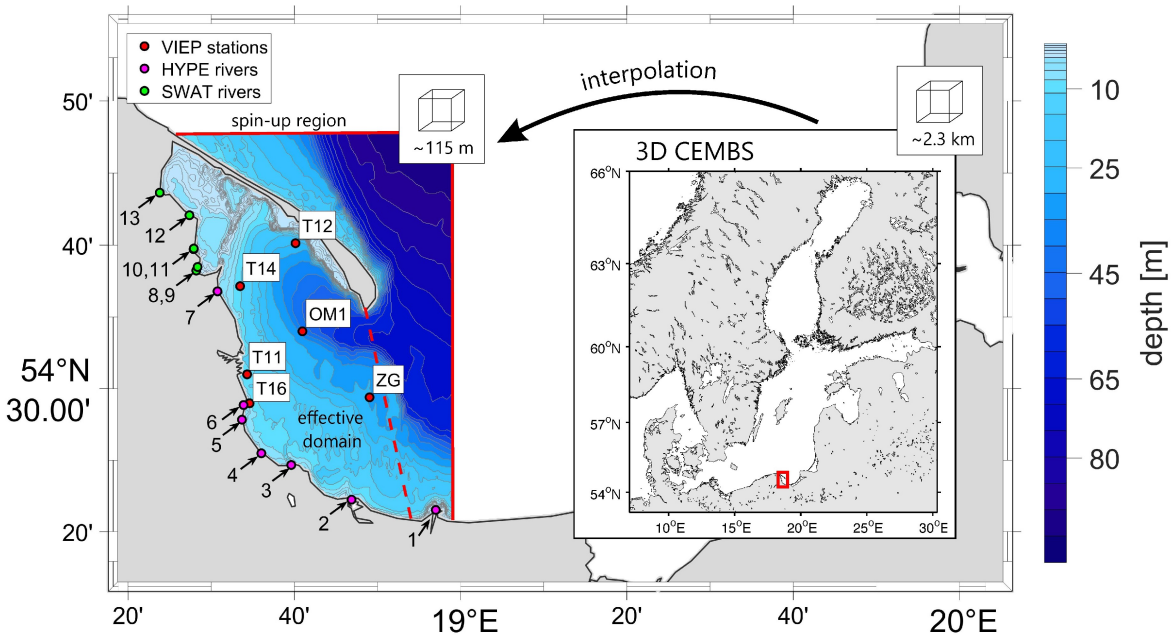
Warunki na granicy ląd-woda

Informacje o objętości wody odprowadzanej przez rzeki w ujściach w rejonie Pucka (Rys. 1, liczby od 8 do 13) pochodzą z modelu hydrologicznego SWAT, który został wdrożony jako jeden z etapów projektu WaterPUCK. Prace przy modelu SWAT obejmowały przygotowanie złożonego modelu hydrologicznego z modułem stężeń substancji biogenicznych wykorzystującego dostępne dane meteorologiczne (opady, wiatr, temperatura, ciśnienie atmosferyczne). Jego mechanizm działania oparty jest na wykorzystaniu obserwacji w czasie rzeczywistym (lokalna stacja pogodowa) i krótkoterminowych prognoz pogody (strona internetowa ICM UW). Oprogramowanie SWAT pozwala na prowadzenie obliczeń hydrologicznych poprzez przekształcenie danych opadowych w spływ powierzchniowy za pomocą procedury liczby krzywych SCS (Soil Conservation Service) w skumulowaną objętość spływu i czas koncentracji (czas od początku zdarzenia opadowego do całego obszaru zlewni przyczyniające się do przepływu na wylocie). Model SWAT działała w trybie operacyjnym produkując dane wymuszające do modelu EcoPuckBay dla granicy ląd-woda w obrębie wewnętrznej Zatoki Puckiej.
Obszar działania modelu SWAT nie obejmuje całości domeny efektywnej modelu EcoPuckBay. SWAT dostarcza informacje jedynie o rzekach leżących w obrębie Gminy Pucka, natomiast do modelu EcoPuckBay uchodzą również cieki leżące na południe od rzeki Reda, tj. Kanał Ściekowy, Kacza, Kamienny Potok, Potok Oliwski, Wisła Martwa, Wisła Śmiała oraz Przekop Wisły. Wobec tego do pełnej informacji o strumieniach wody słodkiej w modelu EcoPuckBay należało pozyskać te dane z innego istniejącego modelu hydrologicznego. Do tego celu wykorzystywane są wartości liczbowe z symulacji modelu HYPE na podstawie historycznych szeregów czasowych (dostępne lata: 1980–2010). Jego domena geograficzna obejmuje zasięgiem całą Europę, a dane publiczne dostępne są w analogicznej do modelu SWAT rozdzielczości czasowej, czyli w postaci średnich dziennych przepływów w m^3/s. Z modelu HYPE wyodrębniono cztery podzlewnie – po jednej dla każdego z ujść Wisły oraz jedną dla pozostałych rzek na podstawie równomiernego podziału.

Wisła stanowi najbardziej istotne źródło objętości wody słodkiej uchodzącej do Zatoki Gdańskiej, co ma również wpływ na warunki środowiskowe wewnątrz efektywnej domeny modelu. Rząd wielkości przepływu jej wód jest średnio o około trzy rzędy wielkości większy niż pozostałych źródeł wody słodkiej w modelu EcoPuckBay. Cykl roczny Wisły wykazuje zbliżony charakter od dziesiątek lat z maksimami w miesiącach wiosennych – co związane jest z roztopami oraz minimami latem. Dzięki temu użycie

historycznych szeregów czasowych dla Wisły stanowi dobre przybliżenie rzeczywistego przepływu dla ostatnich kilku lat.

Informacja o depozycji substancji biogenicznych z modelu HYPE udostępniania jest w postaci średnich miesięcznych. Na skutek obowiązywania dyrektyw HELCOM w ostatnich 30 latach rzeczywiste wartości uchodzące do Bałtyku z obszarów Polski uległy silnej redukcji. W związku z tym użycie średnich 30 letnich doprowadziły by do przeszacowania i zakłamania rzeczywistych spływów. Wobec tego bieżące depozycje ustalono na podstawie pracy [2] M. Pastuszak et al, 2018, *„Reduction of nutrient emission from Polish territory into the Baltic Sea (1988-2014) confronted with real environmental needs and international requirements"*. Na podstawie wyżej wymienionej pracy ustalono rzeczywiste koncentracje dla zawartych w uchodzących do Bałtyku wodach pochodzenia rzecznego azotanów (0.9 mg dm^{-3}), amoniaku (0.07 mg dm^{-3}), fosforanów (0.07 mg dm^{-3}), oraz krzemianów. (1.1 mg dm^{-3}). Tak ustalone stężenia zostały odniesione do średnich dziennych objętości wody słodkiej uchodzącej dla rzek od 1 do 7 (Rys. 1) uzyskując depozycje zbliżone do rzeczywistych.



Rysunek 1. Efektywna domena modelu z topografią, lokalizacjami stacji pomiarowych wykorzystywanych do oceny oraz lokalizacje ujść cieków wodnych objętych domeną. Zielone kropki (8-13) oznaczają rzeki, które dostarczone są przy użyciu modelu hydrologicznego SWAT. Fioletowe (1-7) z wykorzystaniem przepływów z modelu hydrologicznego HYPE.

Warunki na granicy woda-woda

Wyniki modelu 3D EcoPuckBay są ograniczone do efektywnego obszaru Zatoki Puckiej. Cała siatka modelu obejmuje jednak szerszy obszar zaznaczony na rysunku poniżej (Rysunek 2). Ma to na celu zapewnienie prawidłowej symulacji warunków brzegowych. Wzdłuż linii północnej granicy modelu 3D EcoPuckBay odbywa się wymiana informacji z prognostycznym modelem 3D CEMBS o rozdzielczości horyzontalnej 2.3km (patrz Rysunek 2 i www.cembs.pl). Wyniki z 3D CEMBS (www.cembs.pl) służą do wymuszania pól parametrów hydrodynamicznych w modelu 3D EcoPuckBay poprzez sekwencyjną wymianę informacji.

Podstawowe równania modułu biochemicznego

Moduł biochemiczny modelu 3D EcoPuckBay jest zbiorem równań mających postać równania turbulentnej dyfuzji z członem adwekcyjnym:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\left(u\frac{\partial S}{\partial x} + v\frac{\partial S}{\partial y}\right) - (w + w_z)\frac{\partial S}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial S}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial S}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z\frac{\partial S}{\partial z}\right) + F_S$$

gdzie: S – stężenie badanej substancji; u, v, w – składowe wektora prędkości przepływu; w_z – szybkość opadania badanej substancji; K_x, K_y, K_z – współczynniki turbulentnej dyfuzji, F_Φ – funkcje źródła i strat badanych substancji w rozważanym obszarze.

Model składa się z powiązanych ze sobą jedenastu cząstkowych równań różniczkowych drugiego rzędu, dla stężenia chlorofilu-a, biomasy fitoplanktonu, biomasy zooplanktonu, stężenia substancji biogenicznych (fosforanów, azotanów i amoniaku, krzemianów), koncentracji tlenu rozpuszczonego, złoża detrytusu pelagicznego oraz bentosowego (dla dwóch zmiennych – fosforanów i azotanów), a także równań dla pestycydów. Funkcje źródła i strat zostały określone na podstawie znajomości procesów biologicznych i chemicznych, zachodzących w środowisku morskim i ich wzajemnych powiązań (podobnie jak w pracy Dzierzbicka-Głowacka i in. 2013b).

Moduł rozpływu pestycydów w modelu biochemicznym Zatoki Puckiej EcoPuckBay

Na podstawie danych literaturowych dokonano przeglądu istniejących modeli rozpływu pestycydów w wodach powierzchniowych ze szczególnym uwzględnieniem środowiska morskiego. Na tej podstawie wybrano modele SWAT i FANTOM jako bazę do opracowania modułu rozpływu pestycydów w modelu ekosystemu Zatoki Puckiej – EcoPuckBay. Opracowano algorytm obliczeniowy uwzględniający podstawowe procesy zachodzące w morzu, tj. adsorpcję na zawiesinach i degradację pestycydów, który zostanie zaimplementowany w modelu EcoPuckBay.

Budowa modułu rozpływu pestycydów w modelu ekosystemu Zatoki Puckiej EcoPuckBay wymagała wprowadzenia do równań transportu substancji biernej funkcji źródeł i strat opisujących specyficzne procesy zachodzące w przypadku pestycydów. Procesy sedymentacji i degradacji pestycydów zostały wprowadzone poprzez funkcję źródeł i upustów do tego EcoPuckBay modelu:

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_H \frac{C_p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_H \frac{\partial C_p}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial C_p}{\partial z}\right) - \left(u \frac{\partial C_p}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial C_p}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial C_p}{\partial z}\right) + Q_p$$

gdzie: C_p - stężenie pestycydu w wodzie, u - składowa prędkości przepływu wzdłuż osi x; v -składowa prędkości przepływu wzdłuż osi y; w - składowa prędkości przepływu wzdłuż osi z; D_H - współczynnik poziomej turbulentnej dyfuzji; D_Z - współczynnik pionowej turbulentnej dyfuzji. Funkcja źródeł i upustów Q_p pozwala na uwzględnienie procesów zachodzących w środowisku morskim, które wpływają na stężenie pestycydów.

Na podstawie analizy najważniejszych procesów zachodzących w środowisku morskim przyjęto funkcję wewnętrznych źródeł i upustów w równaniu transportu pestycydów w postaci:

$$Q_p = \frac{\delta C_p}{\delta t} = w_s \frac{K_d C_s}{1 + K_d C_s} \frac{\delta C_p}{\delta z} - k_{p,aq}\, C_p$$

Kalibracja empirycznych parametrów modelu, takich jak współczynnik degradacji $k_{p,aq}$ i współczynnik adsorpcji K_d przeprowadzona została w modelu SWAT dla wód powierzchniowych w ciekach. Stężenie zawiesiny C_s w modelu, która odgrywa bardzo ważną rolę w adsorpcji pestycydów, zostało oszacowane na podstawie martwej i żywej materii organicznej opisywanej w modelu biochemicznym poprzez odpowiednie zmienne stanu (opisujące plankton, detrytus itp.).

Ze względu na dużą liczbę związków uznawanych za pestycydy, została zawężona lista pestycydów, które są modelowane w obszarze Zatoki Puckiej. Lista uwzględnia aktualnie stosowane pestycydy w rolnictwie. Dla wybranych związków oszacowano dopływ wodami powierzchniowymi wybranych pestycydów do domeny obliczeniowej symulowany za pomocą modelu SWAT stosowanego w projekcie.

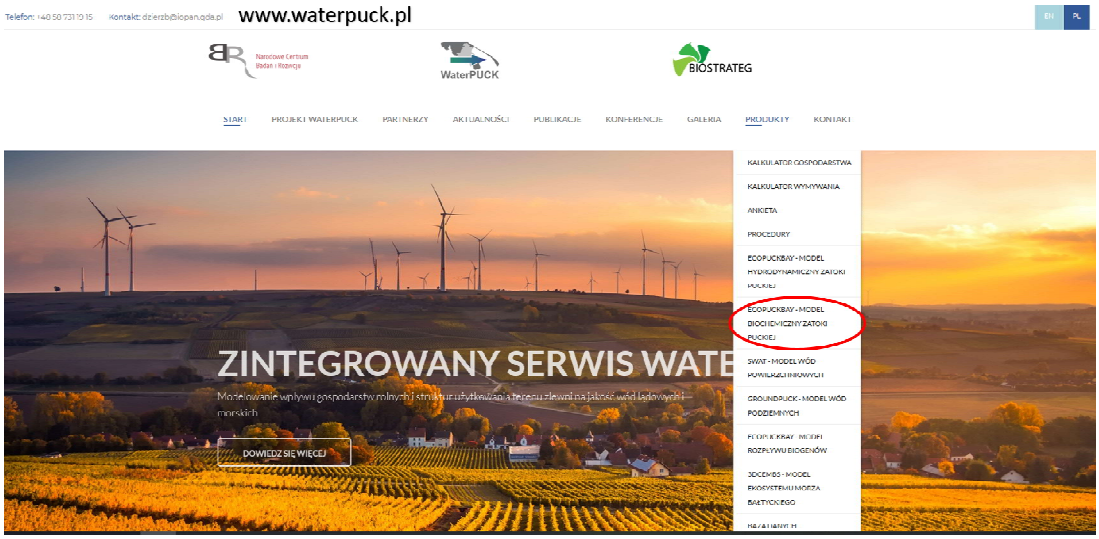
Walidacja i wyniki symulacji modułu biochemicznego

Do oceny modelu EcoPuckBay wykorzystano dwa źródła pomiarów in situ. Obejmują one pomiary wykonane podczas działań monitorujących przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Gdańsku oraz pionowych profili tlenu zarejestrowane w 2018 r. podczas jednej z kampanii pomiarowych r/v „Oceania" wzdłuż południowego wybrzeża Bałtyku. Ponadto przetworzono również dane liczbowe dotyczące parametrów chemicznych obliczone za pomocą systemu modeli NEMO-Nordic, które pochodzą z bazy danych Marine Copernicus. Krótki opis wszystkich baz danych wykorzystanych do celów

oceny modułu biochemicznego został przedstawiony w artykule (Dybowski i inni. 2020, złożony).
Weryfikacja i wyniki symulacji modułu biochemicznego zostały zaprezentowane w artykule (Dybowski i inni. 2020, złożony do *Water*).

Portal internetowy

Model 3D EcoPuckBay – Moduł Biochemiczny Zatoki Puckiej jest usługą udostępnioną w serwisie WaterPUCK (www.waterpuck.pl), poprzez zakładkę „PRODUKTY" na pasku nawigacyjnym i wybraniu „EcoPuckBay - Model Biochemiczny Zatoki Puckiej" (Rysunek 2).

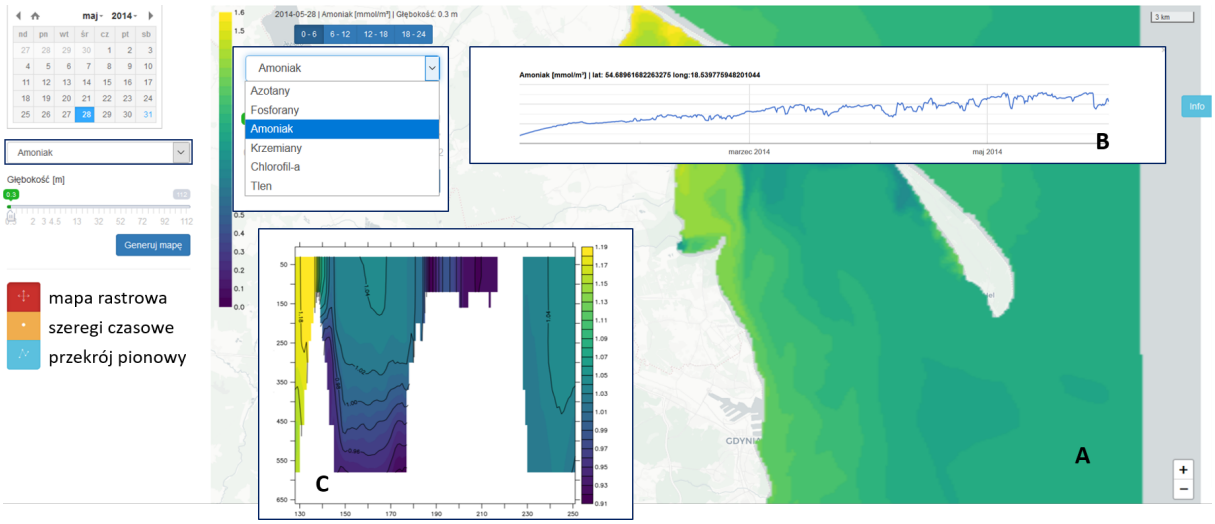


Rysunek 2. Strona projektu WaterPUCK i wyboru produktu „EcoPuckBay – Model Biochemiczny Zatoki Puckiej".

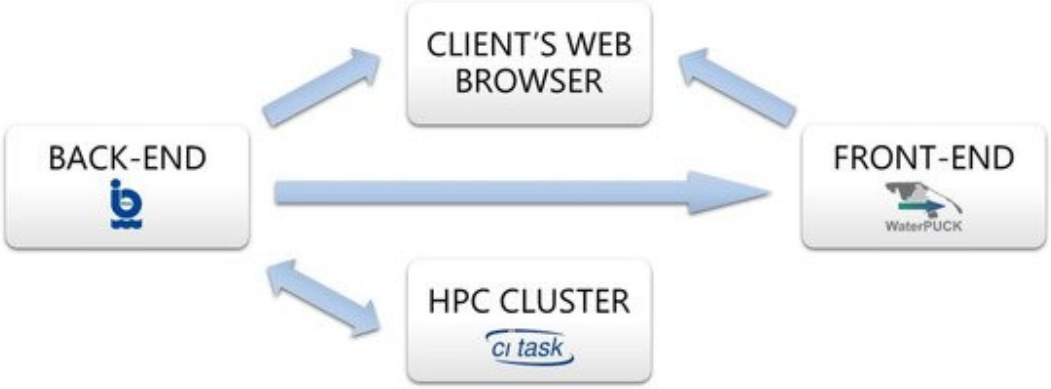
Usługa podaje bieżącą 48 – godzinną prognozą. Można generować mapy rastrowe (Rysunek 3 A) dla poszczególnych głębokości, które reprezentują kolejny poziom pionowy modelu. Ponadto możliwe jest tworzenie szeregów czasowych (Rysunek 3 B) dla ustalonych okresów w wybranej lokalizacji (po wcześniejszym ustaleniu lub wskazaniu żądanej szerokości i długości geograficznej), a także przekrojów WE i / lub SN, umożliwiając analizę zmienność stanu parametru w całym słupie wody (Rysunek 3 C).

Portal działa w oparciu o technologię front-end/ back-end (podobnie jak w przypadku usługi 3D EcoPuckBay – Moduł hydrodynamiczny). Mechanizmy odpowiedzialne za wyświetlanie (front-end) są oddzielone od przetwarzania danych (back-end). To rozwiązanie pozwala zbudować portal o wysokich możliwościach skalowania, tj. zwiększający liczbę obsługiwanych połączeń jednocześnie. Ponadto oddzielenie wyświetlania od przetwarzania danych zapewnia dodatkowe bezpieczeństwo serwera i umożliwia niezależny rozwój obu części. Warstwa frontonu odpowiedzialna za

wizualizację danych została stworzona w technologii Bootstrap i przystosowana do obsługi z urządzeń mobilnych. Back-end odpowiedzialny za przetwarzanie danych i przenoszenie ich do części front-end został stworzony w technologii RESTful-API. Technologia ta opiera się na komunikacji między częściami portalu przy użyciu zapytań bezstanowych (rysunek 4).



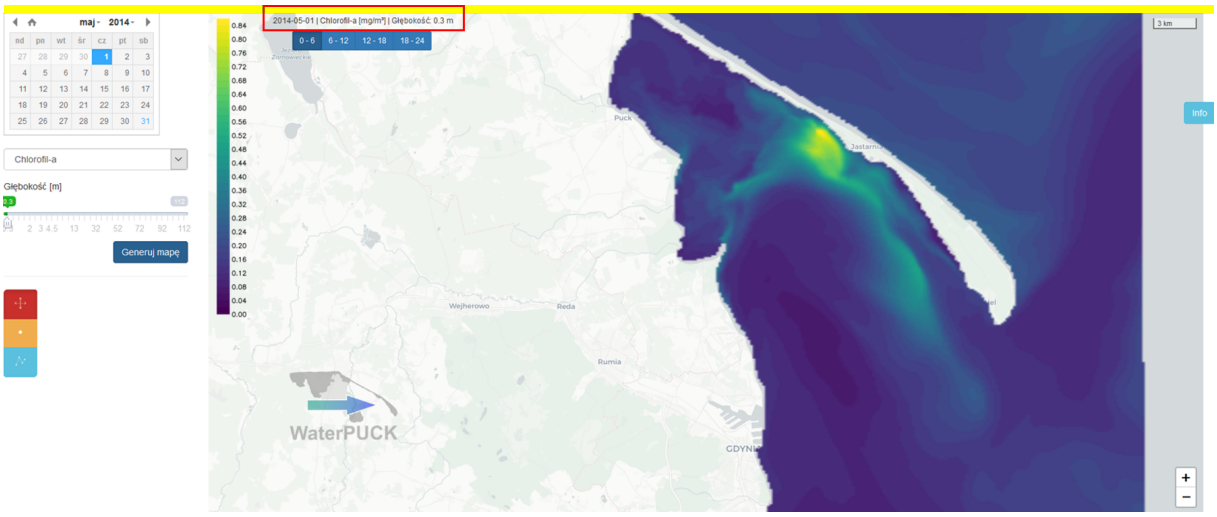
Rysunek 3. Zrzut ekranu menu nawigacyjnego i wyników dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model Ekosystemu Zatoki Puckiej" (A) mapa rastrowa (B) szeregi czasowe (C) przekrój pionowy wybranego parametru.



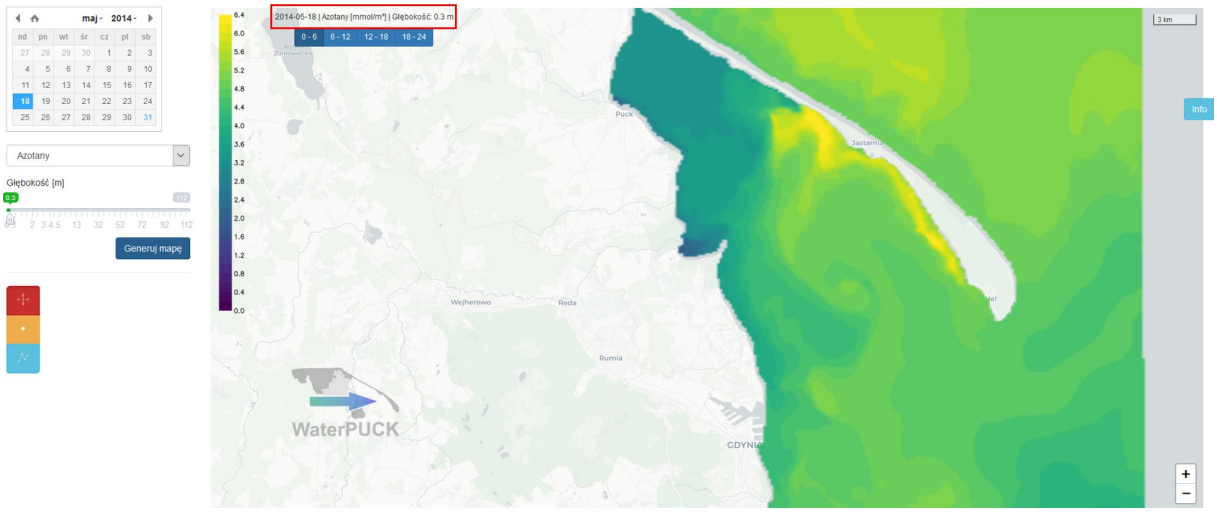
Rysunek 4. Schemat architektury usługi projektu WaterPUCK - biochemiczna część modelu EcoPuckBay.

Poprzez usługę „EcoPuckBay – Moduł biochemiczny Zatoki Puckiej" dostępne są prognozy następujących parametrów: stężenia dla chlorofilu-a (mg/m^3) (Rysunek 5), azotanów (mmol/m^3) (Rysunek 6), amoniaku (mmol/m^3) (Rysunek 7), fosforanów (mmol/m^3) (Rysunek 8) i krzemianów (mmol/m^3) (Rysunek 9) oraz koncentracja rozpuszczonego tlenu (mmol/m^3) (Rysunek 10), a także dla pestycydów – substancji

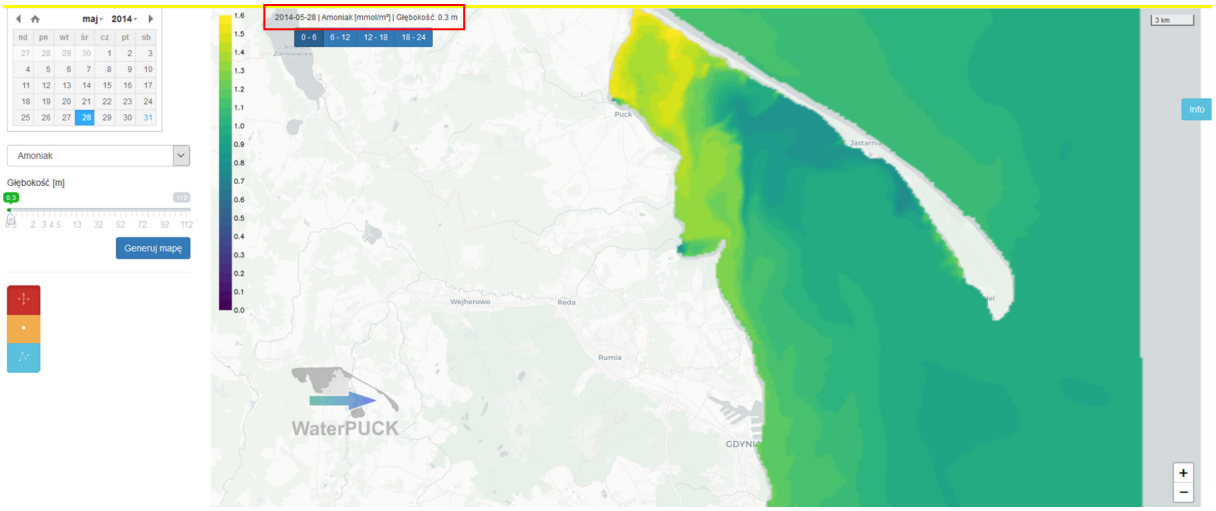
czynnej (Rysunek 11) (głównie glifosat, najbardziej aktywnej w środowisku wodnym w Gminie Puck). Glifofat w rowach melioracyjnych w miesiącach letnich osiągał wartości do d 4,7 ± 2,4 mg/m^3. W próbkach wód powierzchniowych pobranych z Zatoki Puckiej nie stwierdzono obecności żadnej z 309 badanych substancji z grupy pestycydów oraz pestycydów chloroorganicznych powyżej wartości granicznych..



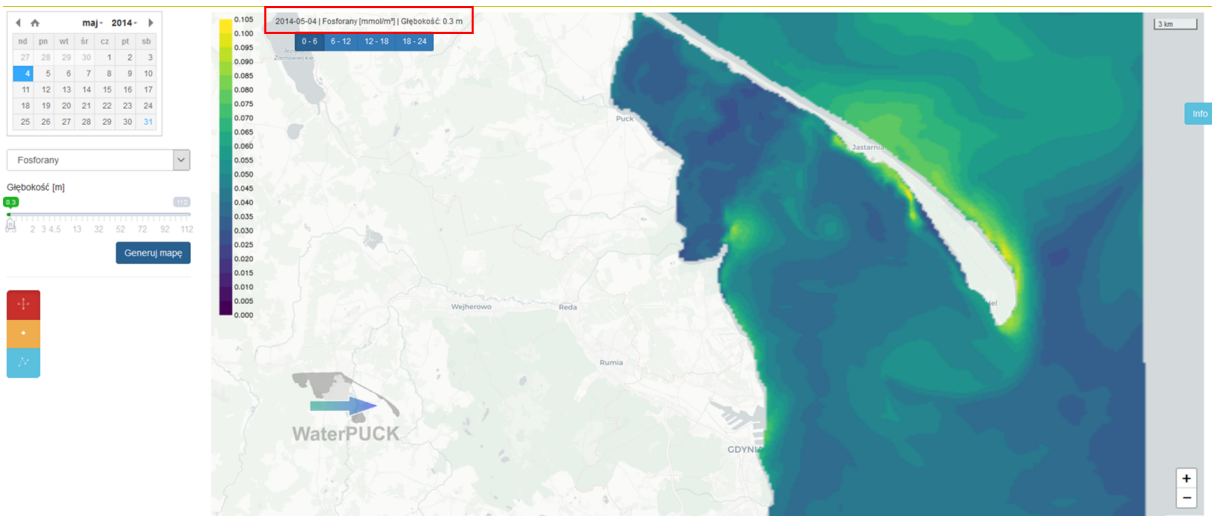
Rysunek 5. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: stężenie chlorofila-,a (mg/m^3)



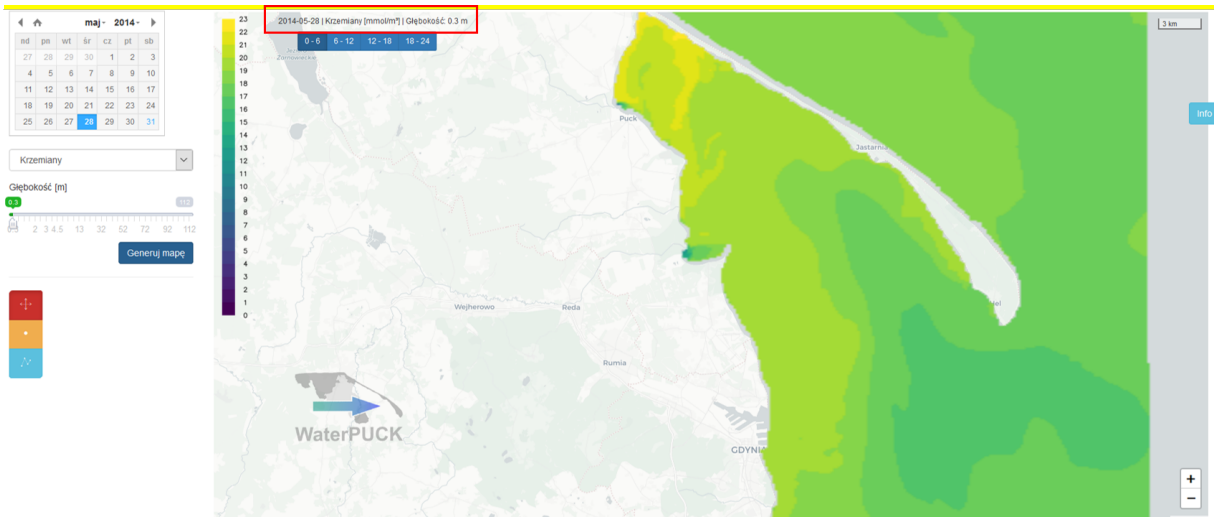
Rysunek 6. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: stężenie azotanów (mmol/m^3).



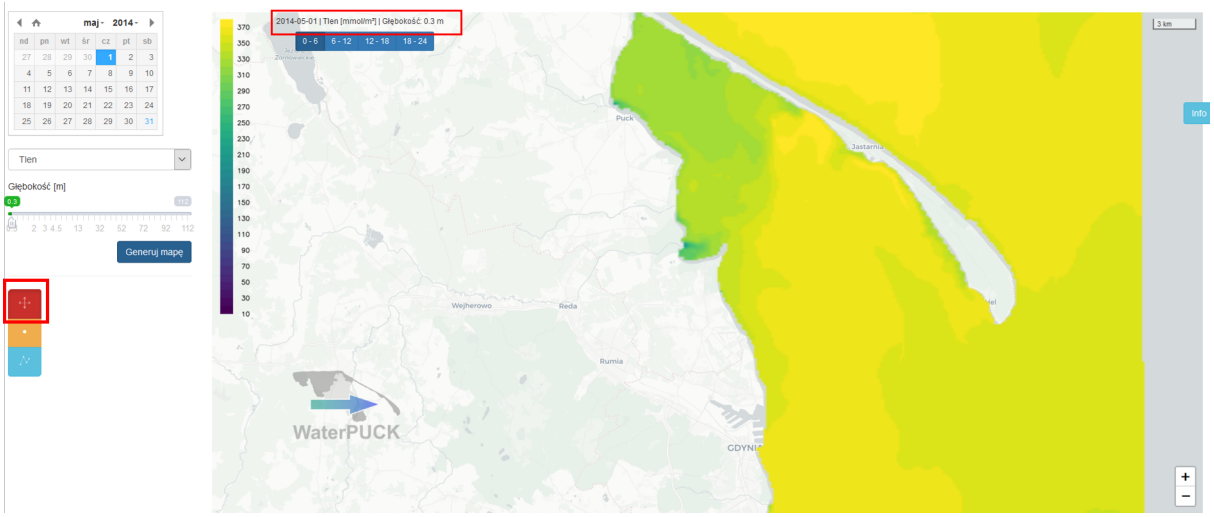
Rysunek 7. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: stężenie amoniaku (mmol/m^3).



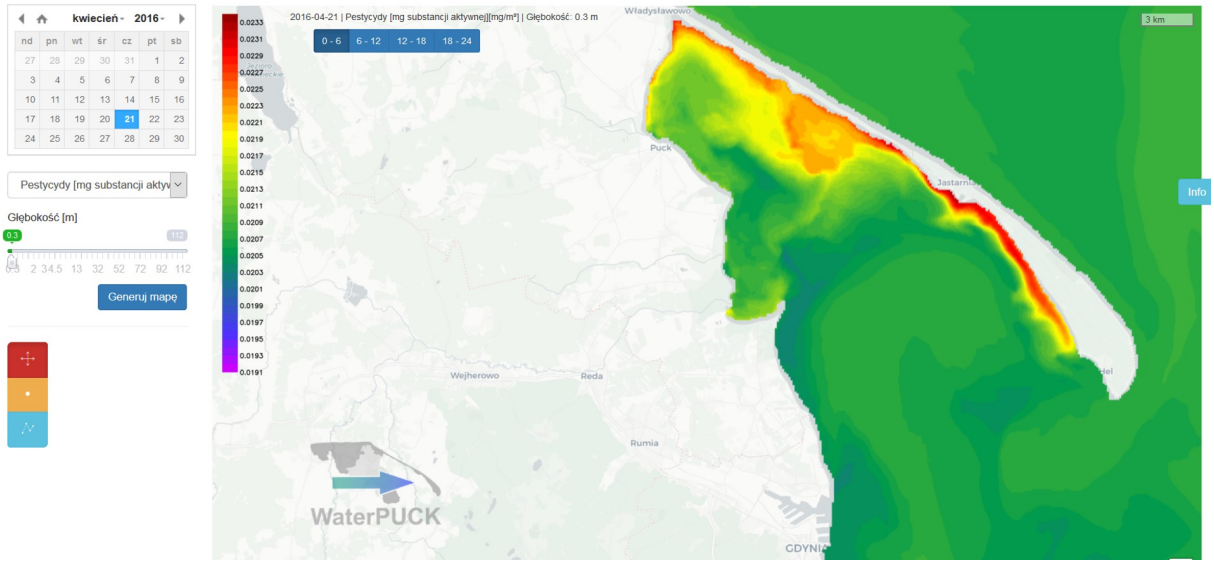
Rysunek 8. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: stężenie fosforanów (mmol/m^3).



Rysunek 9. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: stężenie krzemianów (mmol/m³).



Rysunek 10. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: koncentracja rozpuszczonego tlenu (mmol/m³).



Rysunek 11. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla zmiennej: pestycydy – (mg substancja aktywnej/m^3).

Aby wyświetlić prognozę dla wybranej zmiennej biochemicznej w obszarze Zatoki Puckiej, należy:

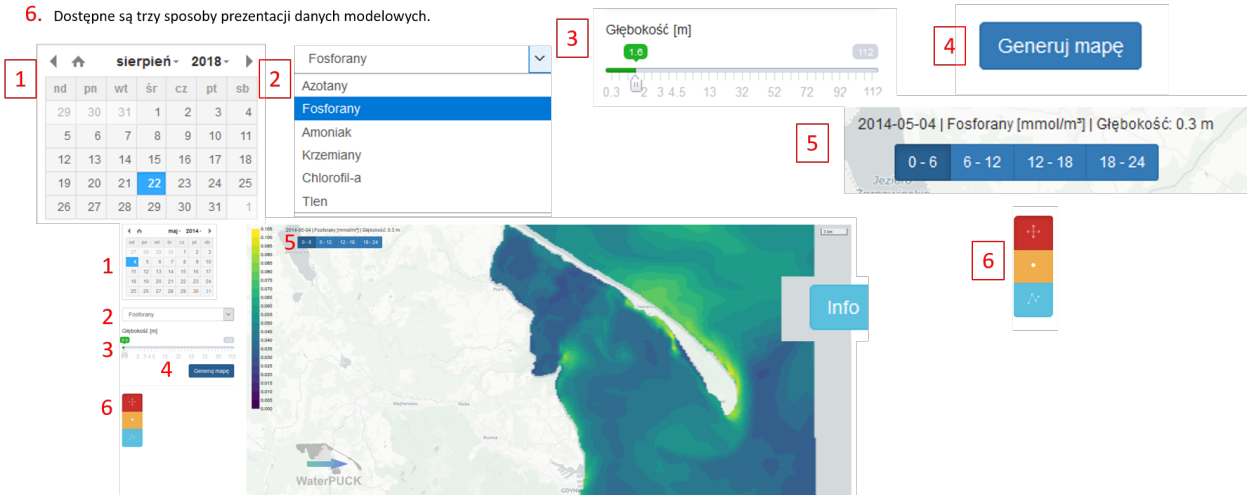
- wybierz czas prognozy (prognoza 48 h) (Rysunek 12 [1]),
- wybierz zmienną (rysunek 12 [2]),
- wybierz głębokość dla których chcesz zobaczyć wyniki modelu (rysunek 12 [3]),
- po wybraniu wszystkich parametrów naciśnij: „Generuj mapę" (rysunek 12 [4]).
- wybierz średnią sześciogodzinną dla której chcesz wygenerować mapę (rysunek 12 [5]).
- wybierz jedną z trzech dostępnych sposobów prezentacji danych modelowych (rysunek 12 [6]).

Ostatecznie mapa wyników pojawi się na ekranie.

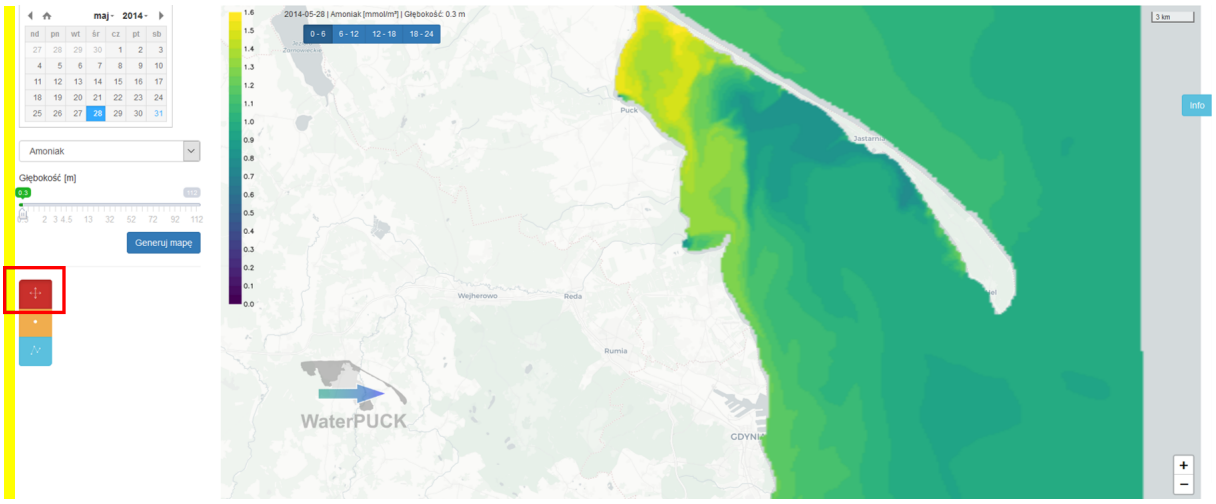
W serwisie dostępne są trzy sposoby prezentacji danych modelowych: rozkład przestrzenny (Rysunek 13), punktowa seria czasowa (Rysunek 14) i przekrój pionowy (Rysunek 15).

Celem wyświetlenia wyników modelu proszę wybrać:

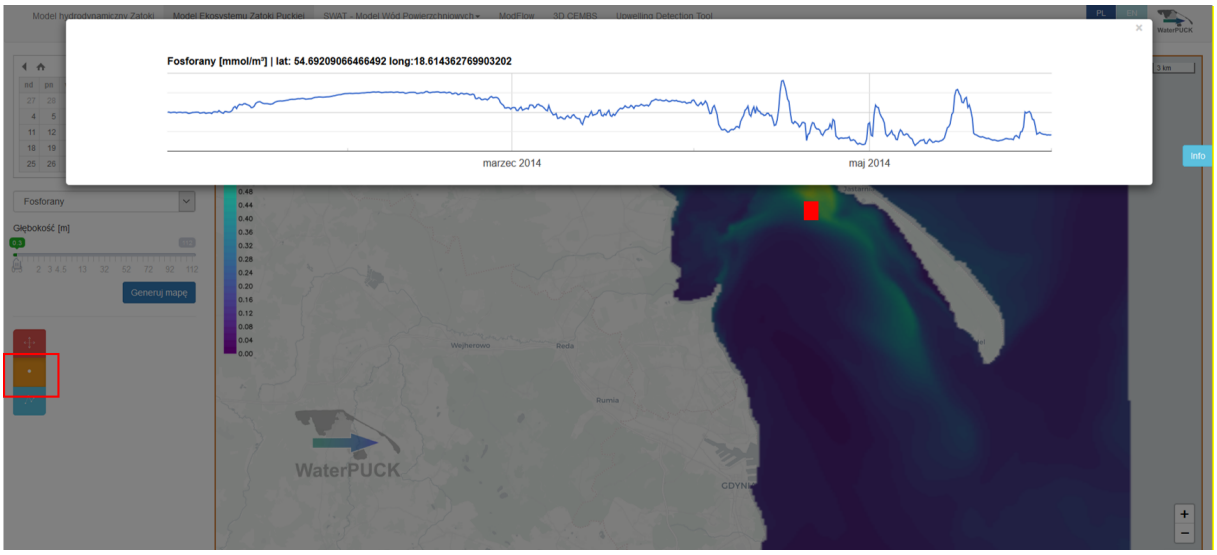
1. dzień z kalendarza
2. jedną z dostępnych zmiennych biochemicznych (stężenie azotanów, fosforanów, amoniaku, krzemianów, chlorofilu-a i koncentracja tlenu)
3. głębokość pod poziomem morza
4. Wybór potwierdzamy przyciskiem „Generuj mapę".
5. Prezentowane dane są przedstawiane jako średnie sześciogodzinne (4 średnie na dobę), wybranie odpowiedniej średniej jest możliwe dopiero po poprawnym wygenerowaniu mapy (patrz wyżej).
6. Dostępne są trzy sposoby prezentacji danych modelowych.



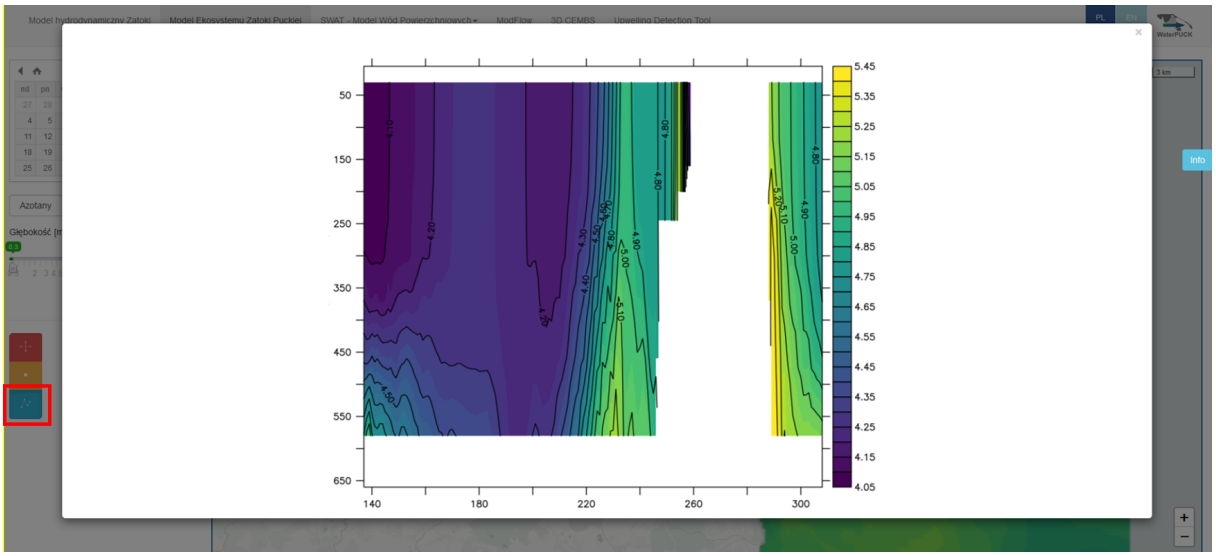
Rysunek 12. Panel wyboru poszczególnych parametrów dla wizualizacji prognozy wybranej zmiennej biochemicznej.



Rysunek 13. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej" dla sposobu prezentacji danych modelowych: rozkład przestrzenny.



Rysunek 14. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej” dla sposobu prezentacji danych modelowych: punktowa seria czasowa.



Rysunek 15. Zrzut ekranu dla usługi portalu internetowego „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej” dla sposobu prezentacji danych modelowych: przekrój pionowy.

Przykładowe wyniki działania usługi „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej"

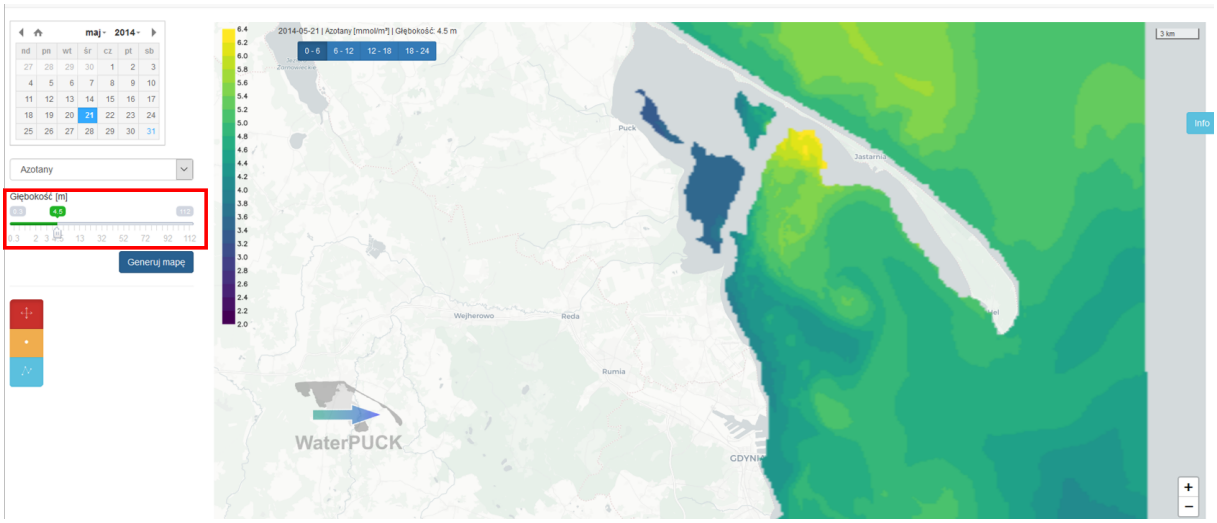
Panel wyboru użytkownika i przykładowa mapa z prognozą dla azotanów (przypadek 1) i (przypadek 2) zilustrowano odpowiednio na Rysunkach 15 i 16.

Poniżej przedstawiono dwa przykłady dla następujących sytuacji:

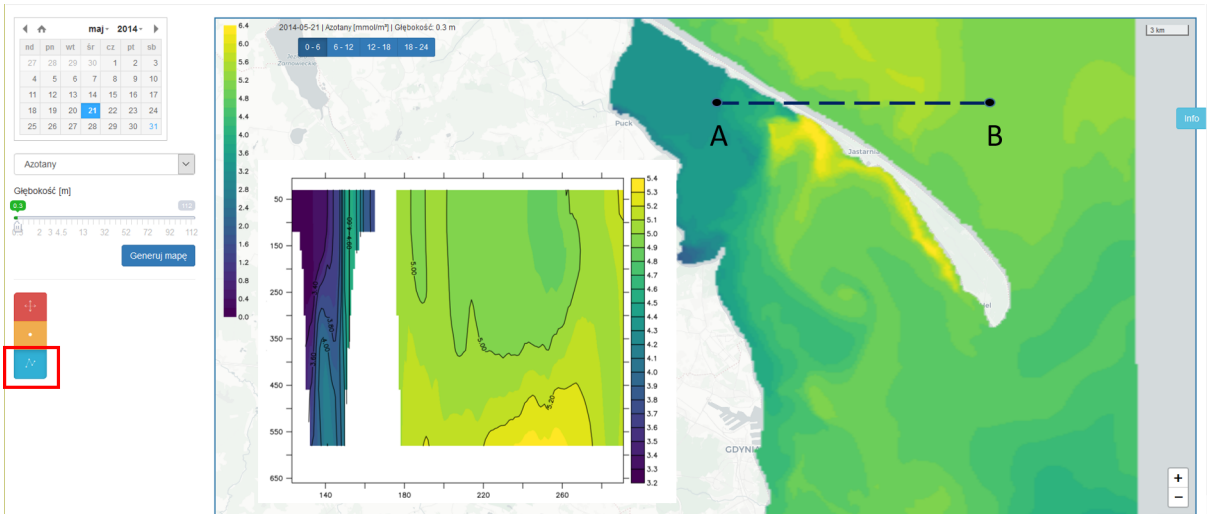
1. Wybrano następujące parametry prognozy: czas: 21.05.2014, 0-6 UTC; zmienna: Azotany [mmol m^{-3}]; głębokość: 4.5 [m]. Po zakończeniu wyboru parametrów, naciśnij: „Generuj mapę". Następnie wybrano sposób prezentacji danych: rozkład przestrzenny,

Ostatecznie na ekranie serwis zilustrował wyniki modelu (Rysunek 15).

2. Wybrano następujące parametry prognozy: czas: 21.05.2014, 0-6 UTC; zmienna: Azotany [mmol m^{-3}]; głębokość: 0.3 [m]. Po zakończeniu wyboru parametrów, naciśnij: „Generuj mapę". Następnie wybrano sposób prezentacji danych: przekrój pionowy – tu wybrano dwa punkty A i B (dla żądanej szerokości i długości geograficznej) umożliwiając analizę zmienności stanu wybranego parametru w słupie wody dla wybranego przekroju. Ostatecznie na ekranie serwis zilustrował wyniki modelu (Rysunek 16).



Rysunek 15. Panel wyboru poszczególnych parametrów dla wizualizacji prognozy wybranej zmiennej: Azotany – rozkład przestrzenny, dla wybranej głębokości 4.5 m (przykład 1).



Rysunek 16. Panel wyboru poszczególnych parametrów dla wizualizacji prognozy wybranej zmiennej: Azotany – przekrój pionowy dla dowolnie wybranych dwóch punktów (przykład 2).

Podsumowanie

Prace wykonane przez IOPAN w ramach realizacji projektu WaterPUCK opisane w WP6 raportu polegały na opracowaniu modułu biochemicznego modelu ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay z modułem pestycydów (jako substancja aktywna) i z modułami asymilacji danych oraz przygotowanie go do pracy w trybie operacyjnym. Jako, że modelowanie numeryczne badanego rejonu jest trudnym zagadnieniem nie tylko ze względu na specyfikę samego akwenu, ale również na dużą zmienność czasową modelowanych parametrów, należało uwzględnić wiele czynników wymuszających oraz zapewnić zarówno ich wysoką jakość jak i częstotliwość. W tym celu w modelu 3D EcoPuckBay uwzględnione zostały dopływy wody słodkiej z modelu SWAT – Modelu wód powierzchniowych i GroundPuck – Modelu wód podziemnych. Ponadto wykorzystane zostały atmosferyczne siły wymuszające z modelu prognozy pogody UM (ICM, Uniwersytet Warszawski) .

Usługa udostępniona na stronie internetowej pozwala generować mapy i przebiegi czasowe wybranych parametrów biochemicznych (chlorofilu-a (mg/m^3), azotanów (mmol/m^3), amoniaku (mmol/m^3), fosforanów (mmol/m^3) i krzemianów (mmol/m^3) oraz koncentracja rozpuszczonego tlenu (mmol/m^3) z modelu 3D EcoPuckBay rejonu Zatoki Puckiej i zachodniej części Zatoki Gdańskiej. Dostęp do tej usługi jest ze strony internetowej projektu (www.waterpuck.pl) po wybraniu „Usługi” z menu nawigacyjnego i wybraniu „EcoPuckBay - Model biochemiczny Zatoki Puckiej”. Uruchomienie modelu w trybie operacyjnym pozwala na tworzenie 48-godzinnych prognoz badanych zmiennych biochemicznych. Można generować mapy rozkładów przestrzennych

badanych zmiennych dla poszczególnych głębokości, które reprezentują kolejny poziom pionowy modelu. Ponadto możliwe jest tworzenie szeregów czasowych dla okresu rocznego wybranej lokalizacji (po wskazaniu ustalonej szerokości i długości geograficznej), a także przekrojów WE i / lub SN, umożliwiając analizę zmienności stanu parametru w słupie wody.

Dzięki wykonanym pracom Usługa „EcoPuckBay – Model Biochemiczny Zatoki Puckiej" jest przydatnym narzędziem pozwalającym na kontrolę stanu środowiska Zatoki Puckiej pod względem zanieczyszczeń substancjami biogennymi i pestycydami na podstawie badań numerycznych jak i w sposób pośredni badań środowiskowych poprzez asymilację danych. Umożliwia śledzenie zachodzących w badanym rejonie zmian dla poprawy stanu i ochrony ekosystemu, a także przewidywania jego reakcji na zagrożenia wynikające z przyczyn naturalnych, niezależnych od człowieka, oraz zagrożenia powodowane działalnością ludzką, nieobojętne dla ekologicznych uwarunkowań życia w morzu.

Literatura

Dybowski D., Janecki M., Nowicki A., Kalinowska D. and Dzierzbicka-Głowacka L Assessing the impact of chemical loads from agriculture holdings on the Puck Bay environment with the High-Resolution Ecosystem Model of the Puck Bay, Southern Baltic Sea. *Water*