

Gdynia 10.01.2013

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Maciejewskiej pt.
„Czynniki warunkujące stężenie rozpuszczonego i zawieszonego węgla organicznego (DOC i POC)
w Bałtyku Południowym – badania eksperymentalne i modelowe”**

Materia organiczna, zarówno w fazie rozpuszczonej jak i zawieszona, jest istotną składową ekosystemów wodnych wpływającą na ich produktywność. Biorąc pod uwagę, iż stężenia obu form w wodzie bałtyckiej znacząco przewyższają te mierzone w wodach oceanu światowego, wybór Bałtyku jako obszaru badań jest w pełni uzasadniony. Głównym celem przedstawionej pracy jest powiązanie wybranych parametrów/charakterystyk środowiska ze stężeniami organicznego węgla rozpuszczonego (DOC) i zawieszonego (POC). Waler nowości naukowej polega tu oszacowaniu „siły” tych powiązań. O ile mechanizmy wpływające na DOC i POC w środowisku wodnym są dobrze rozpoznane w sensie jakościowym, ilościowy opis tych procesów pozostaje w dużym stopniu obszarem niezbadanym. Autorka wchodzi w ten obszar posługując się metodami statystycznymi w analizie pozyskanych przez siebie danych środowiskowych oraz rozbudowując istniejący już model numeryczny. Podsumowując, uznaję iż istotność przedstawionego problemu jak i zaproponowany sposób jego rozwiązania są wystarczające dla przygotowania rozprawy doktorskiej.

Recenzję zacznę od skomentowania tytułu pracy. Uważam, iż określenie „badania eksperymentalne” jest tu w pewnym stopniu nieuprawnione: autorka nie prowadziła eksperymentów lecz mierzyła wybrane parametry środowiska a następnie wykorzystywała dane do doskonalenia/weryfikacji modelu.

Kolejna uwaga dotyczy nieprecyzyjnie sformułowanego, moim zdaniem, celu pracy. W pierwszym zdaniu dowiadujemy się, iż jest nim „określenie czynników warunkujących stężenia” DOC i POC. Sugerowałoby to, że te czynniki są nieznanne. W kolejnych zdaniach dowiadujemy się jednak, że „czynnikami warunkującymi stężenia obu form węgla organicznego” są temperatura, pH, zasolenie, chlorofil i feopigmenty. W tym miejscu chciałbym zwrócić uwagę na występujące kilkakrotnie w pracy utożsamianie korelacji ze związkiem przyczynowo-skutkowym. To, że np. pH jest dodatnio skorelowane z DOC nie daje podstaw do twierdzenia, iż pH warunkuje/wpływa/reguluje stężenie DOC. Dodatkowo, w celu pracy oczekiwałbym uzasadnienia wybrania takich a nie innych mierzonych parametrów. W zastosowanym modelu numerycznym jedną ze zmiennych jest intensywność fotosyntetycznie aktywnej radiacji słonecznej (PAR) opisywanej jako funkcja kolejności dnia w roku (str 131 i 132, wzór 57 i 76). Czy nie jest to zbyt daleko idące uproszczenie biorąc pod uwagę częste występowanie pochmurnego lata? Również szacowanie zasięgu PAR w głąb toni wodnej oparte wyłącznie zawartości fitoplanktonu (str 94

wzór 18) może być obarczone błędem wynikającym z nieuwzględnienia innych składników wody tłumiących PAR. Dlaczego wśród mierzonych parametrów zabrakło bezpośrednich pomiarów radiacji słonecznej i głębokości krążka Secchiego, które dostarczyłyby znacznie lepszych danych o intensywności i zasięgu PAR w toni wodnej?

Część doświadczalna zawiera zadowalający opis procedur analitycznych ale brakuje w niej danych pozwalających ocenić czytelnikowi jakość analiz. Zaczę od tego, iż szacowanie precyzji pomiaru wyłącznie na podstawie materiału referencyjnego (str 25) jest niewystarczające w badaniach środowiskowych. Aby ocenić np. powtarzalność pomiaru DOC w wodzie morskiej trzeba uwzględnić rozrzut wynikający z etapu pobierania próbki: można to zrobić np. mierząc DOC w próbkach z 3-4 zasobników rozety batometrycznej. Informacja, iż wyniki DOC uwzględniają ślepa próbę bez podania jej wartości jest niewystarczająca. Wielkość i powtarzalność analizy ślepej próby pozwalają na oszacowanie granicy oznaczalności definiowanej zwykle jako potrójne odchylenie standardowe ślepej próby. Brak tych danych uniemożliwia ocenę istotności prezentowanych zmienności. Błędem jest podawanie wyniku z dwoma cyframi po przecinku podczas gdy po liczba po znaku \pm nie zawiera żadnej lub jedną. Co gorsza, nie jest jasne co owa liczba oznacza: czy jest to miara precyzji pomiaru czy rozrzutu zbioru danych? Same wartości średnie nie są wystarczające do wyciągania wniosków o trendach (dyskusja danych tabeli 2 na stronie 32/33) - nie można zapominać, iż wartość średnia ma takie samo prawdopodobieństwo jak wartości zawarte w przedziale $\pm n$ odchylenie standardowe. Aby stwierdzić czy woda powierzchniowa ma inne stężenie DOC niż głębinowa, lepiej jest zastosować np. test t-studenta. Wynik naukowy powinien być podawany z miarą precyzji. W praktyce realizuje się to poprzez prezentowanie wyników z tzw. error bars. Ich brak we wszystkich rysunkach prezentujących uzyskane dane pomiarowe bardzo utrudnia ocenę istotności postulowanych trendów. Kontynuując omawianie danych przedstawionych w rozdziale 4 pozwolę sobie zakwestionować sens liczenia i prezentowania średnich (rys 6, str 33, rozdz. 4.1.3) całego zbioru danych. Może istnieć zbiór o rozkładzie bimodalnym, w którym żadna z wartości nawet nie zbliża się do średniej. Autorka jest świadoma tego problemu pisząc, iż duża wartość odchylenia standardowego wynika z wysokich stężeń latem i niskich zimą. Lepszą formą prezentowania danych jest w tym przypadku histogram. Przy omawianiu chlorofilu lepiej byłoby nie stosować skrótów chl.a na określenie całkowitego chlorofilu – może to być mylone z chlorofilem c. Efektem przyjęcia tego skrótów jest absurdalne z pozoru sformułowanie „chl.a jest częścią chl.a.c” (str 60, wers 6)

W omówieniu uzyskanych danych brakuje głębszego uzasadnienia i/lub doprecyzowania stawianych wniosków. Za przykład niech posłuży omówienie różnic w POC, które wyjaśniane są wędrówką planktonu. Oczekiwałbym tu wyjaśnienia kierunku migracji, tego czy dotyczy ona fito- czy zooplanktonu i zacytowania kilku (z dziesiątek, jeśli nie setek) prac dotyczących tego zjawiska. Podobnie wygląda omówienie wpływu pH, z którego dowiadujemy się tylko, że jest dodatnio skorelowany z POC.

Zdaję sobie sprawę, iż kwestie te mogą być dla Autorki tak oczywiste, że nie warto doprecyzowania. Uważam jednak, iż przedstawienie, prostej przecież, reakcji wiążącej fotosyntezę z pH byłoby przydatne.

Omawianie efektów stosowania metod statystycznych do wyszukiwania związków między parametrami środowiskowymi (rozd. 4.5) rozpocznę od wyrażenia swojej wysoce subiektywnej opinii na ten temat. Techniki te powinny służyć do potwierdzenia uprzednio przyjętej hipotezy, ewentualnie do potwierdzenia braku błędów w pozyskanych zbiorach danych. Uważam, iż podejście, w którym traktujemy środowisko przyrodnicze jako „black box” rozpoznawane/objaśniane za pomocą analizy skupień czy głównych składowych jest podejściem nienaukowym.

Zwykle autorzy mają tu sposobność do wykazania erudycji, przypisując każdej znaczącej korelacji proces (zespół procesów) obserwowany w środowisku. Podobnie (aczkolwiek nie do końca) postępuje Autorka, która komentuje występowanie oczekiwanych przez siebie prawidłowości. W tym miejscu zwracam uwagę na potrzeby czytelnika który, poza samym faktem występowania korelacji, chciałby poznać mechanizm za nią stojący. W mojej opinii zakres przywoływanych w tym rozdziale źródeł powinien być szerszy i bardziej „podstawowy”, czyli obejmujący prace, w których po raz pierwszy zaobserwowano omawiany proces. Sugerowałbym również przyjęcie surowszych kryteriów przy formułowaniu wyjaśnień zaobserwowanych korelacji. Za przykład niech posłuży związek pomiędzy stężeniem feopigmentów a POC. Stężenie traktowane jest tu jako „wskaźnik koncentracji biomasy zooplanktonu” będącego „istotnym składnikiem” POC. Pomijając już fakt, że feopigmenty są wskaźnikiem nie tyle biomasy, co żerowania zooplanktonu, rysunki 65 i 66 nie wskazują na istotny udział zooplanktonu w POC.

Z opisu w rozdziale 5 wynika, iż zastosowany model oparty jest na istniejącym już modelu, który poszerzono poprzez:

- wyodrębnienie, w składowej opisującej sole biogeniczne, jonów amonowych,
- rozdzielenie DOC na składowe podatne i niepodatne na biodegradację
- poszerzenie piramidy troficznej o bakterie.

Logiczną konsekwencją tych zmian było wprowadzenie dodatkowych procesów obejmujących min. nityfikację.

Omówienie tej części pracy ograniczę do postawienia pytań, na które nie udało mi się znaleźć odpowiedzi w tekście. Zacznę od prośby o uzasadnienie rozbudowy modelu:

- jakie znaczenie dla biomasy fitoplanktonu ma fakt, że przyswajany azot ma taki a nie inny stopień utlenienia?
- jakie dane literaturowe wskazują na istotność biomasy bakterii w POC w wodzie bałtyckiej?

Intencją tych pytań jest uzyskanie uzasadnienia dla komplikowania istniejącego modelu. Czy „mnożenie bytów” nie było „ponad potrzebę”, czy rozbudowany model jest doskonalszy?

W zastosowanym modelu nie uwzględniono źródeł allochtonicznych (rzeki, atmosfera). Jaki, zdaniem Autorki, ma to wpływ na modelowany obraz obiegu materii organicznej w Bałtyku?

Trochę niepokoi fakt, że całość oparta jest na modelu hydrodynamicznym dedykowanym oddziaływaniom ocean-lód (POPCICE). Czy nie ma to wpływu na wierność odwzorowywania dynamiki wód w okresie ciepłym?

Kolejne uwagi dotyczą tabeli 14 (str 88 i 89):

- w zmiennej Phyt nie występuje proces „wydzielanie fitoplanktonu” (ang. phytoplankton exudation) – jest on na tyle ciekawy, iż był tematem licznych publikacji; czy jest on nieistotny w Bałtyku?

- na ile znaczący jest spadek biomasy fitoplanktonu z powodu oddychania ?

- proszę o podanie źródła opisującego „wydzielanie zooplanktonu”

-dlaczego w zmiennej Zoop nie ma strat poprzez wyżeranie zooplanktonu przez organizmy na wyższym poziomie troficznym?

- dlaczego sorpcja na fazie stałej obejmuje tylko substancje labilne? Z tego co mi wiadomo, substancje „stabilne” zdominowane są przez hydrofobowe, a przez to skłonne do sorpcji, makromolekuły humusu,.

Wartości stałych użyte w modelu przedstawiono w tabeli 15 (str 104). Skąd one pochodzą? Problem jest o tyle istotny, iż wiedza recenzenta okazała się tu niewystarczająca. Wybrane przykłady:

- współczynnik temperaturowy: domyślam się, że chodzi tu prawo Arrheniusa mówiące o przyspieszeniu reakcji z temperaturą, domyślam się też, że podano wzrost tempa reakcji na 1 stopień; w biologii wynosi on zwykle 2-3 na 10 stopni; skąd więc wartość 0,15 w tabeli?

-współczynniki N/C i P/C w fitoplanktonie: w oparciu o formułę Redfielda wynoszą odpowiednio 0,0125 i 0,00078; skąd pochodzą wartości przyjęte w modelu?

- wydajność produkcji bakteryjnej mieści się w zakresie podawanym w literaturze dotyczącej Bałtyku; problem polega jednak na tym, że nie jest to wartość stała i w znaczącym stopniu zależy min. od temperatury i stężenia azotu organicznego; tu otwierają się możliwości dalszego doskonalenia modelu poprzez przerobienie jej na funkcję temperatury i składu pierwiastkowego rozpuszczonej materii organicznej.

Problem z założeniami wyjściowymi występuje też w rozdziale 5.3.1. „Wartości początkowe”. We wstępie przyjęta masa fitoplanktonu w i zooplanktonu w styczniu w styczniu wynosi odpowiednio 10 i 1 mg/m³. Dlaczego więc dla parametryzacji modelu (5.3.2) użyto wartości odpowiednio 100 i 30 mg/m³? Pomijając już tę niejasność, warto zwrócić uwagę, iż przyjęte tu proporcje (szczególnie w drugim przypadku) odbiegają od występujących w wodach morskich.

Przy ewentualnym doskonaleniu modelu warto uwzględnić fakt, iż udział zoo-, fito- i bakterioplanktonu w POC jest wyraźnie związany z głębokością a ściślej z zasięgiem warstwy eufotycznej: głębiny są zdominowane przez bakterie. Kontynuując wątek ew. rozbudowy modelu sugeruję

uwzględnienie dodatkowego procesu, jakim jest usuwanie DOC w wyniku działania radiacji słonecznej. Proces ten, poza zmniejszeniem zasobu DOC w warstwie powierzchniowej pod koniec lata, może mieć wpływ na przekształcanie węgla „stabilnego” w labilny.

W części oceniającej jakość modelu Autorka dokonuje parametryzacji (5.3.2) mającej na celu „wykazanie poprawności funkcjonowania modelu”. Nie jest całkiem jasne, które wyniki przedstawione na rys 49a świadczą o poprawności funkcjonowania modelu. Rozdział 5.3.3 przedstawia kalibrację, która polegała na testowaniu wpływu zmiennych na „poprawne szacowanie wyników”. Tu niejasności jest więcej: porównywano „wyniki środowiskowe” i pochodzące „z symulacji numerycznych w latach 1995-1996 dla POC oraz 2009-2010 głównie dla równania opisującego DOC”. Gdzie są wyniki owego porównania? Konfuzję czytelnika pogłębia rozdział 5. 3.4 opisujący weryfikację modelu, która „dotyczyła głównie obliczeń numerycznych dotyczących stężenia POC; jeśli chodzi o DOC to została ona połączona z porównaniem danych eksperymentalnych i modelowych (powodu braku danych)”. Autorka odsyła do rozdziału 4.2.4, który, niestety, dotyczy chlorofilu. Podczas obrony pracy oczekiwałbym:

- przystępnego wyjaśnienia różnic pomiędzy parametryzacją (rozd. 5.3.2), kalibracją (rozd. 5.3.3), weryfikacją (rozd. 5.3.4) oraz „porównaniem wyników modelowych z danymi eksperymentalnymi (rozd. 5.4.2)
- wyjaśnienia sformułowania, iż weryfikacja „dotyczyła ona głównie danych numerycznych”
- podania źródeł wzmiankowanych danych z lat 1995-1996 i wyjaśnienia dlaczego wybrano akurat te lata, i dlaczego zbiór danych DOC ograniczono do 2009-2010
- wyjaśnienia pochodzenia danych dotyczących soli odżywczych na rys. 50.

Kolejne niejasności dotyczą rysunku 51 i 52 przedstawiających min. „dane eksperymentalne” z lat 1995-2000. Z tekstu wynikałoby, że pochodzą one z pracy prof. Witka. Wniosek ten jest chyba błędny ponieważ przywołaną pracę opublikowano w 1993 a dotyczy ona „studiów wykonanych w 1987”

Mocną stroną pracy pozostaje obraz procesów w toni wodnej przedstawiony na rys 54 oparty na stworzonym przez Autorkę modelu. Sekwencja zdarzeń jest logiczna i pozostaje w zgodzie z istniejącą wiedzą. Ciekawy wydaje się być wynik sugerujący maksimum rozwoju bakterii po fitoplanktonie i zooplanktonie, z wyraźnym opóźnieniem względem detrytusu pelagicznego. Mogłoby to świadczyć o tym, iż bakterie zdominowane są przez frakcję „swobodnie pływającą”. Przydałoby się tu jednak podanie w opisie rysunku, iż liczby od 1 do 12 na osiach poziomych dotyczą miesięcy a nie wielkości opisujących te osie. Rysunki 55 i 56 są jednak powtórzeniem danych z rys 54.

Interesujące i mające walor nowości naukowej są zestawienia efektów modelowania z wynikami pomiarów przedstawione w rozdz. 5.4.2. Model całkiem przyzwoicie prognozuje stężenia POC w warstwie powierzchniowej i umiarkowanie dobrze stężenia DOC. Warto zwrócić uwagę, iż model nie „przewidział” skrajnie wysokich stężeń DOC, które w tym przypadku mogły być spowodowane

wpływem wód wiślanych. Wskazywałoby to na celowość rozbudowania modelu o źródła zewnętrzne. Bardzo dobrze modelowana jest pionowa dystrybucja POC, co wynika, najprawdopodobniej, z większej niż DOC stabilności tej składowej materii w toni wodnej. Analizując wyniki DOC próbowałem znaleźć dowody na wspomnianą wcześniej możliwość fotomineralizacji rozpuszczonej materii organicznej. Oczekiwany efekt powinien być obserwowany pod koniec lata w warstwie powierzchniowej. Można się go doszukać w wynikach z sierpnia 2010 - model nie uwzględnia fotomineralizacji i podaje wyniki o 0,5 mg wyższe od rzeczywistych. Wyniki z września 2011 są jednak zgodne z modelem. W tym przypadku pomocny byłoby parametr lepiej opisujący radiację słoneczną – zastosowanie wyłącznie kolejnego numeru dnia w roku nie sprawdzi się w przypadku pochmurnego lata.

Słabszą stroną prezentowanej pracy jest rozdział poświęcony prognozowaniu w oparciu o model. Pomijając już kwestię sensowności prognozowania stężeń chlorofilu w czerwcu roku 2050, uważam że założenie wyjściowe o corocznym 1% wzroście stężeń substancji biogenicznych jest błędne. Proszę Autorkę o przekonanie mnie, że nie mam racji. Przy okazji zwracam uwagę na pewne nieścisłości w opisie tych założeń:

- wzrost dziennej dozy radiacji słonecznej występuje nie w okresie wiosenno-letnim lecz wyłącznie wiosennym a spadek zaczyna się od razu po przesileniu letnim; biorąc pod uwagę fakt, iż dopływ energii przy bezchmurnym niebie zależy od wysokości słońca na horyzoncie niejasna jest podana w pracy „niesymetryczność” zmian: wzrost o 0,003MJ a spadek o 0,00053 MJ dziennie
- sądzę, że założenie wzrostu intensywności radiacji „o 0,02 % rocznie” jest pomyłką w tekście.

Rysunki prezentowane w tej części zawierają powielające się informacje: rys 65 przedstawia, w czytelniejszej co prawda formie, wielkości przedstawione już na rys 62-64. Rys 66 jest uproszczonym rysunkiem 65. Narracja w tym rozdziale jest nieco zaskakująca. Uważam, że autorka dopiero za 40 lat będzie miała prawo stwierdzić, iż „biomasa detrytusowa osiągnęła swoje maksimum w sierpniu 2050”. Pomijając już kwestie stylu, wyniki modelowania dla roku 2050 są, moim zdaniem, zadziwiające. Tabela 16 przedstawia zmiany w składzie POC. Wynika z niej, iż wzrośnie udział zooplanktonu a spadnie wszystkich składowych będących jego pożywieniem. Drastycznie zmienią się proporcje w piramidzie troficznej: udział zooplanktonu stanowiący obecnie do 15% masy fitoplanktonu, wzrośnie do 45% .

Zastosowany w prezentowanej pracy klasyczny układ z rozdzieleniem wyników od dyskusji w pewnym stopniu wymusza powtarzanie podanych już informacji. Powtarzanie jednak całej tabeli z niezmiennym tytułem pod innym numerem jest jednak błędem (tab 3 i tab 18). Co gorsza, wyniki te po raz trzeci w przedstawiono w części „Podsumowanie i wnioski” w rozbiciu na tabele 24, 25 i 26. Tendencja do nadmiernego rozbudowywania pracy nieuchronnie prowadzi do „rozwadniania” zawartej w niej informacji. Przykładem może być wniosek „analiza danych wskazuje, że zakres stężeń jest szeroki”.

Przy okazji porównywania uzyskanych danych z literaturowymi (tabela 22) warto zwrócić uwagę na fakt stosowania różnych rodzajów filtrów. Autorka zastosowała filtr najbardziej odpowiadający klasycznej definicji substancji rozpuszczonej (0,4 mikrometra) ale w podanym zestawieniu wykorzystywano zarówno filtry o średnicy porów 0,2 mikrometra jak i ~ 0,8 mikrometra. Ma to niewątpliwie wpływ na różnice w wynikach.

Na zakończenie uwagi o charakterze technicznym. Pierwsza dotyczy sposobu wykorzystywania i powoływania się na źródła, który, moim zdaniem, wymaga poprawienia. Chodzi tu min. o podawanie odnośników przy informacjach z zakresu domeny publicznej (Stanisz 2007; mapa fizyczna Bałtyku z odnośnikiem Uścińowicz 2011), powoływanie się na wtórne źródła, brak źródeł (tab. 15), nietrafione cytowania (Grzybowski 2003 dotyczy amoniaku, Sharp 2002 nie używał analizatora HiperTOC), błędy w nazwisku (Lorenzen nie Lorentz). Kolejna uwaga dotyczy częstego, niestety, w pracach przyrodniczych, nieprecyzyjnego stosowania terminów chemicznych: nie należy pisać ditlenek węgla lub CO_2 w przypadku gdy chodzi o HCO_3^- oraz amoniak gdy chodzi o jony amonowe, fosfor nieorganiczny w środowisku morskim nie „występuje prawie wyłącznie jako reszta kwasu fosforowego PO_4^{-3} „.

Podsumowując ocenę przedłożonej mi pracy chciałbym wyjaśnić, iż zdominowanie oceny przez część „krytyczną” wynika z przyjęcia, być może błędnego, założenia, iż główną rolą recenzenta nie jest chwalenie. Przedstawione w recenzji kwestie mogą wynikać z nie dość jasnego przedstawienia problemu w recenzowanej pracy i/lub niedostatecznej wiedzy recenzenta. Sądzę, że uda się je wyjaśnić w trakcie publicznej obrony. Już teraz mogę jednak stwierdzić, iż przedłożona mi do recenzji praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN o dopuszczenie mgr Anny Maciejewskiej do dalszego postępowania zmierzającego do nadania stopnia doktora.

dr hab. Waldemar Grzybowski prof. UG