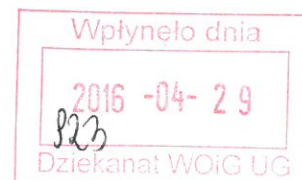


Prof. dr hab. Krzysztof W. Opaliński  
Instytut Ekologii i Bioetyki  
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego  
w Warszawie

Warszawa, 29 marca 2016 r.



**Ocena rozprawy doktorskiej**  
**Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej**  
**“The effect of carbon dioxide-induced water acidification on**  
**physiological processes of Baltic invertebrates -**  
**Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy**  
**fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców”**  
**wykonanej w Zakładzie Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich**  
**Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego**  
**pod kierunkiem Pani dr hab. Moniki Normant-Saremba, prof. UG**

### **Zakwaszenie oceanów**

Rozwój badań środowiskowych w XX wieku pozwolił na stwierdzenie występowania na naszej planecie dwu niepokojących zjawisk – wzrostu temperatury i wzrostu stężenia ditlenku węgla w atmosferze. Nadal dyskusyjne jest, które z tych zjawisk jest przyczyną, a które skutkiem, czy może przyczyna tkwi zupełnie gdzie indziej – nie koniecznie w rozwoju cywilizacji *Homo sapiens*. Natomiast same zmiany klimatu Ziemi są faktem potwierdzonym przez naukę. Najbardziej widoczne są one na półkuli północnej, np. w Arktyce (patrz Arctic climate impact assessment, 2004, Cambridge Univ. Press). Zmiany klimatyczne pociągają za sobą zmiany w strukturze i funkcjonowaniu świata żywego (np. Maxwell 1992, w: Arctic ecosystems in changing climate, Academic Press). Biocenozy i ekosystemy morskie są szczególnie wrażliwe na te zmiany – zmiany temperatury, zasolenia, czasu trwania pokrywy lodowej, zmiany zasięgu mas wodnych powodują głębokie przebudowy zespołów planktonowych, a po pewnym czasie również zespołów bentosowych (Graf 1992, Oceanography and Marine Biology. An Annual Review 30), a nawet lądowych (Stępniewicz *et al.* 2007, Deep Sea Res. II 54).

Większość rozważań na temat scenariuszy zmian zachodzących w ekosystemach morskich dotyczy zmian temperatury - ich wpływu na różnorodność gatunkową (Thuiller 2007, Nature 448), łańcuchy pokarmowe (Kędra *et al.* 2015, Polar Research, 34) czy metabolizm osobników (Pörtner 2001, Naturwissenschaften). Znacznie rzadziej rozważany jest wpływ podwyższonego stężenia ditlenku węgla w atmosferze na zakwaszenie wody morskiej (Bohaty *et al.* 2009, Paleoceanography 24) i wpływ tego zjawiska na ekosystemy morskie i metabolizm zwierząt morskich (Havenhand *et al.* 2008, Current Biol. 18, Brennan *et al.* 2010, PLoS ONE 5).

Bałtyk, niewielki zbiornik słonawowodny, jak na morze jest akwenem dość niestabilnym – niskie zasolenie, dwieście pięćdziesiąt wpadających rzek, wlewy słonej wody atlantyckiej, naturalna i antropogeniczna eutrofizacja, deficyty tlenowe oraz zanieczyszczenia przemysłowe i komunalne produkowane przez 80 milionów ludzi zamieszkujących w jego zlewni. Do tego dochodzi jeszcze zakwaszenie wody przez atmosferyczny ditlenek węgla. Jak zachowują się zamieszkujące wody Bałtyku zwierzęta pod wpływem zakwaszenia?

Na to pytanie odpowiada pani Magdalena Anna Jakubowska w swojej rozprawie doktorskiej zatytułowanej „The effect of carbon dioxide-induced water acidification on physiological processes of Baltic invertebrates - Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców” wykonanej w Zakładzie Ekologii

Eksperymentalnej Organizmów Morskich na Wydziale Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego pod kierunkiem Pani dr hab. Moniki Normant-Saremba, prof. UG.

Na rozprawę doktorską Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej składają się cztery publikacje w czasopiśmie naukowych znajdujących się na „liście filadelfijskiej”:

Jakubowska M., Jerzak M., Normant M., Burska D., Drzazgowski J. 2013 - Effect of carbon dioxide-induced water acidification on the physiological processes of the Baltic isopod *Saduria entomon* - Journal of Shellfish Research 32(3):825-834 (IF 0,791);

Jakubowska M., Normant-Saremba M. in press - The influence of carbon dioxide-induced water acidification on the osmotic and metabolic responses of the Baltic amphipod *Gammarus oceanicus* - Marine and Freshwater Behaviour and Physiology 49(3) (IF 0,915);

Jakubowska M., Normant-Saremba M. 2015 - The effect of CO<sub>2</sub>-induced seawater acidification on the behaviour and metabolic rate of the Baltic clam *Macoma balthica* - Annales Zoologici Fennici 52(5-6):353-367 (IF 0,855);

Jakubowska, M., Normant M. 2015 – Metabolic rate and activity of blue mussel *Mytilus edulis trossulus* under short-term exposure to carbon dioxide – induced water acidification and oxygen efficiency - Marine and Freshwater Behaviour and Physiology 48(1): 25-39 (IF 0,915).

Wartym odnotowania jest fakt, że we wszystkich czterech publikacjach Pani Magdalena Anna Jakubowska jest pierwszym autorem (co podobno nic nie znaczy – patrz Grando, Bernhard 2003 – Science Editor 26), ale jest również Corresponding author – a wedle ResearchGate

([https://www.researchgate.net/post/Difference\\_between\\_Corresponding\\_author\\_and\\_First\\_author\\_and\\_what\\_are\\_all\\_their\\_responsibilities](https://www.researchgate.net/post/Difference_between_Corresponding_author_and_First_author_and_what_are_all_their_responsibilities)): „Corresponding author is usually the senior author who provides the intellectual input and designs and approves the protocols to be followed in the study. He is responsible for the manuscript correction, proof reading, whole correspondence during the paper submission, handling the revisions and re-submission of revised manuscripts upto the acceptance of the manuscripts”. A to już znaczy bardzo, bardzo dużo.

### **Rozprawa doktorska Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej**

Celem, jaki postawiła sobie Doktorantka w pracy „Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców” jest ocena wpływu zakwaszania wody bałtyckiej dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne czterech gatunków bezkręgowców - dwu gatunków skorupiaków: podwoja wielkiego *Saduria entomon* i kielża oceanicznego *Gammarus oceanicus* oraz dwu gatunków małży: rogowca bałtyckiego *Macoma balthica* i omułka *Mytilus edulis trossulus*, które stanowią istotny składnik zespołów bentosowych Bałtyku.

Podstawową metodą zastosowaną w badaniach są pomiary tempa metabolizmu. Tempo metabolizmu jest uniwersalną miarą wszystkich procesów życiowych organizmu (Kleiber 1968, Fire of Life, Duncan, Klekowski 1975, IBP Handbook no 24). Do jego pomiaru zastosowano unikatową metodę kalorymetrii bezpośredniej, opartej o pomiar ciepła wyprodukowanego przez organizm. Jest to szczególnie ważne w przypadku badań na organizmach zdolnych do uzyskiwania energii na drodze metabolizmu beztlenowego, na przykład w warunkach stresu środowiskowego. Badania te uzupełnione są rejestracją zmian behawioru organizmów, które to zmiany mogą być również reakcją na stres (zakwaszenie).

Pomiary tempa metabolizmu uzupełniono pomiarami zmian stężenia osmotycznego, stężenie jonów chlorkowych i pH hemolimfy podwoja i rogowca pod wpływem zakwaszenia środowiska ditlenkiem węgla (osmolalność hemolimfy lub różnica między osmolalnością hemolimfy i wody jest wskaźnikiem stresu środowiskowego).

Wpływ zakwaszenia środowiska może być dodatkowo wzmacniany przez inne czynniki, między innymi natlenienie wody. Dlatego kolejnym celem pracy było zbadanie, czy zakwaszanie wykazuje silniejsze działanie w wodzie o obniżonym nasyceniu tlenem.

Autorka postawiła dwie hipotezy badawcze. Pierwsza zakładała, że zakwaszanie wody wpłynie w istotny sposób na zachowanie badanych gatunków, co u skorupiaków może być związane ze zwiększoną aktywnością lokomotoryczną, spowodowaną chęcią ucieczki z niekorzystnych warunków środowiskowych i przez to podwyższenie tempa metabolizmu. Przeciwnie u małży – u nich należy się raczej spodziewać, że zakwaszenie może wywołać zmniejszenie aktywności poprzez odizolowanie się od niekorzystnych warunków i zamknięcie muszli, co z kolei obniży tempo metabolizmu.

U małży, które posiadają mało wydajne mechanizmy wymiany jonowej, należy się spodziewać obniżenia tempa metabolizmu związanego nie tylko z obniżoną aktywnością lokomotoryczną, ale również z brakiem buforowania zakwaszenia płynów ciała. W warunkach ekspozycji na niskie pH wody tempo metabolizmu skorupiaków może być natomiast podwyższone na skutek wzmożonej aktywności pompy sodowo-potasowej. To z kolei może mieć wpływ na stężenie osmotyczne hemolimfy.

Druga hipoteza zakłada, że jednoczesna ekspozycja na niskie pH i niskie nasycenie wody tlenem spowoduje większe zmiany tempa metabolizmu niż oba czynniki niezależnie.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów laboratoryjnych stwierdzono, że zakwaszanie wody nie wpływa istotnie na behavior badanych zwierząt – zachowują się one w sposób naturalny; w ich behaviorze mają miejsce okresy spoczynku i aktywności, którym odpowiadają odpowiednio niskie i wysokie wartości produkcji ciepła. Tempo metabolizmu aktywnego i zakres aktywności nie zmieniają się pomimo zmian pH wody. U rogowca i omułka nie zaobserwowano zmian w behaviorze związanym z zamykaniem i otwieraniem muszli, podobnie u podwoja stwierdzono naturalne zachowanie - zwierzę to spędza większość swojego życia zakopane w osadzie.

Tylko u rogowca odnotowano istotne różnice w behaviorze pod wpływem obniżonego pH w stosunku do warunków kontrolnych, ponadto tempo metabolizmu tego gatunku istotnie wzrosło. Stwierdzono zerowanie wielu osobników na powierzchni osadu, co wymaga większych nakładów energetycznych niż odżywianie się zawieszoną w toni materią za pomocą wystawionego z osadu syfonu.

Stwierdzono, że ekspozycja na zakwaszanie wody nie wpłynęła istotnie na tempo metabolizmu spoczynkowego żadnego z badanych gatunków. Dowodzi to, że zakwaszenie środowiska nie wywołała ani depresji metabolicznej ani nie doprowadziła do zwiększonych wydatków energetycznych. Zdolność badanych organizmów zachowania normalnej aktywności i normalnego tempa metabolizmu w warunkach zakwaszenia środowiska należy więc uznać za adaptację, która umożliwia im utrzymanie podstawowych funkcji fizjologicznych na niezakłóconym poziomie.

U omułka nie stwierdzono synergistycznego wpływu obniżonego pH i obniżonego nasycenia wody tlenem. Jednakże niskie nasycenie tlenem w przeciwieństwie do pH było sygnałem do zamknięcia muszli, co wpłynęło na istotne obniżenie czasu spędzonego aktywnie. Wskazuje to, że niedobór tlenu jest dla tego gatunku bardziej stresującym czynnikiem niż zakwaszenie.

Adaptacje bałtyckich małży do niedoboru tlenu mogły być przyczyną podwyższonej tolerancji na zakwaszenie – w warunkach niedoboru tlenu i zamknięcia muszli zwierzę przechodzi na metabolizm beztlenowy, co powodują zakwaszanie płynów ciała.

Przeprowadzane badania potwierdziły obie postawione przez Autorkę hipotezy - pierwszą, mówiącą że bałtyckie bezkręgowce są odporne na zakwaszanie wody dwutlenkiem węgla, ponieważ u większości z nich nie zaobserwowano zmian w behaviorze i tempie metabolizmu pod wpływem tego czynnika, a badane gatunki małży okazały się być równie

tolerancyjne na zakwaszenie jak skorupiaki, oraz hipotezę drugą, mówiącą, że niskie nasycenie wody tlenem nie ma wpływu na obniżenie tolerancji na zakwaszenie środowiska u badanych zwierząt bałtyckich..

### **Co nowego wnosi rozprawa doktorska Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej do oceanologii?**

Rozprawa doktorska Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej wnosi szereg elementów nowości do aktualnego stanu wiedzy o faunie Bałtyku, jej przystosowaniach do życia w niestabilnych warunkach środowiskowych tego zeutrofizowanego zbiornika słonawoowodnego. Są to jedne z pierwszych, dobrze udokumentowanych informacji o przeżywalności, reakcji behawioralnej, metabolicznej i osmotycznej bentosowych zwierząt bałtyckich pod wpływem niskiego pH wody morskiej, spowodowanego wzrostem ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla w atmosferze.

Ważne, a dotychczas nieporuszone w literaturze jest zagadnienie jednoczesnego wpływu niskiego pH i nasycenia wody tlenem na organizmy bałtyckie. Uzyskane wyniki istotnie uzupełniają informacje na temat osmoregulacji organizmów morskich w warunkach obniżonego pH, zwłaszcza iż badania dotyczące potencjalnych kosztów regulacji osmotycznej w warunkach zakwaszenia środowiska w literaturze są bardzo nieliczne.

Wnioski z przeprowadzonych badań mają nie tylko znaczenie naukowe, ale również rzucają światło na losy fauny bałtyckiej w przyszłości, kiedy na skutek wzrostu zawartości ditlenku węgla w atmosferze zakwaszenie wód Bałtyku będzie wzrastało (patrz np. Schneider 2011, w: Schernewski *et al.* „Global Change and Baltic Coastal Zones”). Ponieważ zakwaszenie środowiska nie wpływa jednak znacząco na behavior i procesy fizjologiczne fauny bałtyckiej, można się spodziewać, że zmiany klimatyczne nie spowodują gwałtownych zmian w funkcjonowaniu tej fauny. A takie katastroficzne wręcz zmiany wróżą (z modeli matematycznych, a nie prac eksperymentalnych) liczni autorzy, np. Andersson *et al.*, 2015, *Ambio* 44 (Supl 3).

I jeszcze bardzo ważne *novum*, jakie wnosi rozprawa doktorska Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej do badań nad fizjologią zwierząt bałtyckich (i nie tylko bałtyckich) – zastosowanie kalorymetrii bezpośredniej. Jest to jedyna metoda pozwalająca na mierzenie całkowitego metabolizmu badanego organizmu – tlenowego i beztlenowego. Należy pamiętać, że wiele zwierząt, szczególnie bentosowych, w warunkach stresowych może przedstawiać swój metabolizm na beztlenową produkcję energii. Tradycyjne metody respirometryczne nie są w stanie zmierzyć wielkości procesów beztlenowych. Zastosowana przez Autorkę metoda kalorymetrii bezpośredniej wyklucza ewentualne niedoszacowanie tempa metabolizmu badanych organizmów, z jakim mamy do czynienia w przypadku tradycyjnych metod respirometrycznych. Warto tutaj wspomnieć, że kalorymetrię bezpośrednią do badań metabolizmu małych organizmów po raz pierwszy zastosowali w roku 1979 Erich Gnaiger (Gnaiger 1979, *Experimentia* Suppl. 34) i Ingolf Lamprecht (Lamprecht, 1998, *Pure Appl. Chem.* 70), a w Polsce – Monika Normant (Normant *et al.* 2007, *Thermochim. Acta* 458).

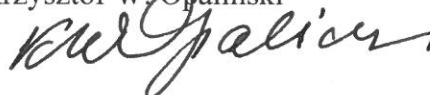
Na zakończenie jeszcze jedna ważna uwaga – rozprawa doktorska Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej jest zszywką czterech anglojęzycznych publikacji z „listy filadelfijskiej” opatrzoną obszernym wstępem po polsku i po angielsku. Oznacza to, że rozprawa ta, a właściwie jej części składowe nie tylko przeszły przez sito światowej klasy *PT* Recenzentów i Redaktorów, którzy na pewno wytknęli przed drukiem wszystkie uchybienia formalne i merytoryczne prac, ale prace te weszły już *de facto* do naukowego obiegu światowego, i pewnie lada chwila będą licznie cytowane, nie tylko przez oceanografów „bałtyckich”, ale i światowych, bo zagadnienie zakwaszenia morza przez ditlenek węgla nie jest naszym, lokalnym zmartwieniem, ale problemem ogólnoswiatowym.

Na czym więc w takim przypadku polega opinia recenzenta rozprawy doktorskiej? Chyba już tylko na wykazaniu, że przedstawiony zestaw prac stanowi zwartą całość, że nie są to drobne przyczynki, ale przemyślana konstrukcja wnosząca coś nowego do dotychczasowego stanu wiedzy w danej dziedzinie nauki - zgodnie z Art.13 punkt 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595): „Rozprawa doktorska ...powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne dokonanie artystyczne oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”. Przedstawiona rozprawa spełnia te wymagania.

Przygotowując swoją rozprawę doktorską Pani Magdalena Anna Jakubowska wykazała, że jest w pełni dojrzałym pracownikiem naukowym, umie podejmować nowe i trudne zadania badawcze, opanowała nowoczesny i skomplikowany warsztat naukowy, jakim jest kalorymetria bezpośrednia. I zaistniała na światowych salonach oceanograficznych.

Uważam, że praca Pani mgr Magdaleny Anny Jakubowskiej spełnia z naddatkiem kryteria stawiane rozprawom doktorskim przez przytoczoną wyżej Ustawę i wnioskuje do Rady Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie rozprawy doktorskiej „The effect of carbon dioxide-induced water acidification on physiological processes of Baltic invertebrates - Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców” Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Krzysztof W. Opaliński



PS Jako integralną część mojej oceny rozprawy doktorskiej Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej “The effect of carbon dioxide-induced water acidification on physiological processes of Baltic invertebrates - Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców” proszę potraktować mój wniosek o wyróżnienie/nagrodzenie niniejszej rozprawy lub/i jej Autorki.

Wniosek swój motywuję następująco:

- praca ta już weszła na naukowy rynek międzynarodowy, została zaakceptowana przez gremia recenzentów i redakcji wydawniczych, co jest rzadkością w sferze prac doktorskich;
- porusza słabo (lub wcale) poznane procesy reakcji bałtyckich zwierząt bentosowych na zakwaszenie środowiska ditlenkiem węgla, co stanowi *novum* w biologii morza - oceanografii;
- w pracy zastosowano najnowocześniejsze metody pomiarowe (kalorymetrię bezpośrednią), która daje jakościowo nowe (pełniejsze) dane o procesach metabolicznych zwierząt mających zdolność okresowego przechodzenia na metabolizm beztlenowy.

Myszę, że to uzasadnienie wystarczy, aby uznać rozprawę doktorską Pani Magdaleny Anny Jakubowskiej “The effect of carbon dioxide-induced water acidification on physiological processes of Baltic invertebrates - Wpływ zakwaszania wody dwutlenkiem węgla na procesy fizjologiczne bałtyckich bezkręgowców” za wyróżniającą się.



