

dr hab. Jarosław MICHALAK
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich
Akademia Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69, 81-127 Gdynia
e-mail: j.michalak@amw.gdynia.pl

Gdynia, dnia 05.02.2021 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt.:

„Effects of sea-dumped chemical warfare on Baltic Sea ecosystem”

(w języku polskim: “Wpływ zatopionej broni chemicznej na ekosystem Morza Bałtyckiego”)

**opracowanej w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk przez Pana
mgr. Michała CZUBA**

pod kierownictwem naukowym dr. hab. Lecha KOTWICKIEGO prof. IO PAN

Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo (DS/910/20) Pana prof. dr hab. Jana Węśławskiego Dyrektora Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk z dnia 16.12.2020 r.

I. Uwagi ogólne

Fakt niewykorzystania w działaniach bojowych II wojny światowej broni chemicznej spowodował, że po jej zakończeniu Alianci odnaleźli w niemieckich magazynach tysiące ton amunicji wypełnionej bojowymi środkami trującymi (BST). Wypełniając postanowienia zawartych porozumień poczdamskich (*Protocol of proceedings of the Potsdam Conference, Berlin 1945*) powojenna niemiecka amunicja chemiczna została zatopiona między innymi w Morzu Bałtyckim i Morzu Północnym. Broń chemiczną zatapiano we wszystkich oceanach, czego konsekwencją jest to, iż ponad milion ton amunicji chemicznej wyprodukowanej w czasie I i II wojny światowej, a także w okresie powojennym zalega na dnie Oceanów: Atlantyckiego, Indyjskiego, Spokojnego, Południowego i Arktycznego a także w Morzu Śródziemnym.

Operację zatapiania do wód Morza Bałtyckiego i Północnego prowadzono pod nadzorem wojsk alianckich i radzieckich, a w jej wyniku do wody trafiło kilkadziesiąt tysięcy ton niebezpiecznych środków trujących. Wybrano zatem rozwiązanie najtańsze i według ówczesnych strategów najbezpieczniejsze. Niestety nikt nie pomyślał o konsekwencjach

jakie mogą powstać w przyszłości. Lokując amunicję chemiczną na dnie mórz decydenci stworzyli swoistą broń o opóźnionym działaniu. Już kilka lat po operacji zatapiania doszło do incydentów, w których użytkownicy plaż i eksploatorzy zasobów morza zostali poszkodowani przez wyłowioną lub wyrzuconą na brzeg amunicję chemiczną.

Podobnie jak w wielu rejonach Wszechocanu, także i na Bałtyku odnotowano szereg przypadków wyławiania amunicji chemicznej przez rybaków oraz wyrzucania pojemników z tymi substancjami na brzeg w rejonach: Danii, Niemiec, Polski i Szwecji. Z informacji dostarczanych corocznie przez państwa nadbałtyckie (Dania, Szwecja, Niemcy) wynika, że wypadki te mają miejsce do dziś i w większości wiążą się z narażeniem zdrowia i bardzo często także życia ludzi gospodarczo wykorzystujących morze, a w szczególności rybaków. Zalegająca na dnie amunicja chemiczna stanowi również istotne zagrożenie dla ekosystemu morza a jej niekontrolowane uwolnienie może skutkować katastrofami ekologicznymi. Zagrożenie to potęgowane jest faktem, że przeprowadzona po wielu latach analiza udostępnionej dokumentacji, wykazała, że oficjalnie na dnie Morza Bałtyckiego zostało zdeponowane od 42 000 do 65 000 ton amunicji chemicznej wyprodukowanej w Niemczech do zakończenia II Wojny Światowej. Szacuje się, że w wyniku tak przeprowadzonych działań do wód Morza Bałtyckiego trafiło co najmniej 15 000 ton bojowych środków trujących z czego około 80% stanowił iperyt siarkowy, a pozostałe 20% to BST zawierające arsen i fosfor. Co gorsza problem zatopionej amunicji chemicznej przez ponad 50 lat od jej zatopienia (do czasu zakończenia tzw. „zimnej wojny”) był tematem „tabu” i stanowił zastrzeżoną prerogatywę służb wojskowych, a w późniejszych latach (do 2006 roku) był tematem rzadko rozpatrywanym i badanym. Natomiast prawdziwy przełom w badaniach (głównie nad stanem zatopionej amunicji chemicznej) nastąpił w 2011 roku, wraz z rozpoczęciem międzynarodowego projektu badawczego CHEMSEA (Chemical Munitions Search and Assessment).

W związku z powyższym stwierdzam, że w literaturze przedmiotu badań brak jest wyczerpujących opracowań dotyczących kompleksowego ujęcia podjętej przez Doktoranta problematyki. Wagę rozpatrywanych przez Doktoranta zagadnień zwiększa fakt, że nie mają one cech problemu zamkniętego, wymagają zatem ciągłych badań podejmowanych z coraz to innego punktu widzenia, ale i korygujących istniejące już rozwiązania. Świadczy to o ważności i aktualności podjętej przez Doktoranta problematyki, a więc poszukiwaniu teoretycznych podstaw do tworzenia rekomendacji dla kierunków dalszych badań nad wpływem zatopionych bojowych środków trujących na ekosystem Morza Bałtyckiego.



Mając również na uwadze osobisty udział Autora w międzynarodowych projektach badawczych sfokusowanych na problematykę powojennej amunicji chemicznej zatopionej w Morzu Bałtyckim: CHEMSEA, MODUM (Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat) oraz DAIMON (Decision Aid for Marine Munitions) uważam, że podjęcie przez Doktoranta badań naukowych w tym obszarze było w pełni uzasadnione.

II. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. Michała CZUBA została opracowana pod naukową opieką dr. hab. Lecha Kotwickiego. Opisane w doktoracie badania współfinansowane były z międzynarodowych projektów badawczych CHEMSEA, MODUM i DAIMON oraz z grantu NCN PRELUDIUM nr 1017/27/N/NZ8/02813 „Toksyczność i biodegradacja broni chemicznej zatopionej w środowisku morskim”, w którym Doktorant pełnił rolę kierownika. Rozprawę stanowi zbiór trzech spójnych tematycznie artykułów opublikowanych w renomowanych, specjalistycznych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania. Publikacje ukazały się w latach 2018 (1 praca) i 2020 (2 prace).

Prace wchodzące w skład rozprawy doktorskiej to:

1. **Czub M.**, Kotwicki L., Lang T., Sanderson H., Klusek Z., Grabowski M., Szubska M., Jakacki J., Andrzejewski J., Rak D., Bełdowski J., 2018. *Deep sea habitats in the chemical warfare dumping of the Baltic Sea*. Science of the Total Environment, Vol. 616-617.
2. **Czub M.**, Nawała J., Popiel S., Dziejczak D., Brzeziński T., Maszczyk P., Sanderson H., Fabisiak J., Bełdowski J., Kotwicki L., 2020. *Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to Daphnia magna*. Marine Environmental Research, Vol. 161, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105077>.
3. Brzeziński T., **Czub M.**, Nawała J., Gordon D., Dziejczak D., Dawidziuk B., Popiel S., Maszczyk P., 2020. *The effects of chemical warfare agent Clark I on the life histories and stable isotopes composition of Daphnia magna*. Environmental Pollution, Vol. 266 (part 3), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115142>.

W przedstawionych publikacjach mgr Michał Czub dwa razy występuje na pierwszym miejscu a raz na drugim. Musze jednak zwrócić uwagę, że w przedstawionych publikacjach trudno jest oddzielić indywidualny udział Doktoranta, jak wymaga tego Ustawa. Zadanie to byłoby dużo łatwiejsze, gdyby załączone przez Doktoranta oświadczenia współautorów, oprócz opisowej części zaangażowania, zawierały również ich procentowe przeliczniki.

Ponieważ jednak dwa razy jest pierwszym a raz drugim autorem i występuje w kolejności niealfabetycznej przyjmuję, że jego rola w powstaniu manuskryptów była znacząca. Na podkreślenie zasługuje fakt wykorzystania przez Autora szerokiego wachlarza badań terenowych i laboratoryjnych o interdyscyplinarnym charakterze, a konieczność prowadzenia badań laboratoryjnych z bojowymi środkami trującymi, która wymagała od Doktoranta zaangażowania uprawnionego zespołu badawczego, usprawiedliwia, w moim przekonaniu, dużą liczbę współautorów publikacji.

Oprawiony materiał (Rozprawa Doktorska) zawiera: stronę tytułową, spis treści, podziękowania, streszczenie w języku angielskim (str. 9-15), streszczenie w języku polskim (str. 17-26), listę publikacji wraz z tabelarycznym zestawieniem udziału poszczególnych współautorów, artykuły (str. 29-44, str. 45-56 i str. 57-66) oraz oświadczenia współautorów o ich udziale w badaniach.

III. Ocena metodologiczna

Zasadniczą podstawę do ubiegania się mgra. Michała Czuba o nadanie stopnia naukowego doktora są wymienione powyżej artykuły naukowe. Przyjęcie ich do publikacji w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym świadczy o potwierdzeniu znaczenia prowadzonych przez Doktoranta badań. W recenzowanej rozprawie publikacje te Autor przedstawił pod wspólnym tytułem: **Effects of sea-dumped chemical warfare on Baltic Sea ecosystem** (Wpływ zatopionej broni chemicznej na ekosystem Morza Bałtyckiego). Istotnym elementem rozprawy jest streszczenie, które zostało przedstawione w języku polskim i angielskim. W streszczeniu Doktorant, na podstawie posiadanej wiedzy oraz doświadczenia zdobytego podczas realizacji międzynarodowych projektów badawczych dotyczących zatopionej w Morzu Bałtyckim amunicji chemicznej, w syntetyczny sposób nakreślił historyczne uwarunkowania zatapiania amunicji, podał oficjalne ilości zatopionych bojowych środków trujących, a także ocenił świadomość zagrożeń i obecny stan wiedzy. Ponadto Autor w syntetyczny sposób opisał najważniejsze wnioski i spostrzeżenia z przeprowadzonych badań, wskazując jednocześnie na pionierskie badania wpływu iperytu siarkowego (oraz 6 produktów jego degradacji i hydrolizy) i Clark I na organizmy wodne. Istotnym elementem streszczenia jest przedstawienie przez Autora zasadniczych komponentów naukowej metodologii badawczej tj. hipotezy, głównego celu badań i obszaru badań (w ujęciu geograficznym).

W związku z powyższym należy stwierdzić, że nie wzbudza wątpliwości określony przez Autora recenzowanej dysertacji cel poznawczy badań oraz przyjęte determinanty jego osiągnięcia. Za prawidłowo określoną uznaję główną hipotezę badawczą.

W dysertacji w sposób poprawny określono również założenia i ograniczenia badawcze podporządkowane przyjętemu celowi oraz bezpieczeństwu podczas prowadzenia badań.

Zorganizowany na potrzeby recenzowanej dysertacji proces badawczy zrealizowany został prawidłowo. Ocena ta dotyczy również odpowiedniego, do wynikających z rozwiązywanego problemu badawczego potrzeb, wykorzystania przez Doktoranta metod, technik i narzędzi badawczych.

Konkludując stwierdzam, że przyjęta procedura badawcza świadczy o tym, że Autor nabył wiedzę dotyczącą umiejętności prowadzenia badań naukowych.

IV. Ocena merytoryczna

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant sformułował hipotezę, w której zakłada, że *zatopiona broń chemiczna implikuje negatywne skutki na ożywione elementy ekosystemu Morza Bałtyckiego*. Tak sformułowana hipoteza staje zatem w opozycji do przesłanek, które kilkadziesiąt lat temu legły u podstaw podjęcia decyzji o zatopieniu amunicji chemicznej, a mianowicie przekonaniu, że zatopienie skutecznie zneutralizuje problem.

Dla weryfikacji przedstawionej powyżej hipotezy Autor przeprowadza, w ramach prac zespołowych, badania, których celem było:

1. Zaprojektowanie i przeprowadzenie szczegółowego i całościowego opisu habitatów w rejonach zatapiania amunicji chemicznej w Morzu Bałtyckim (Głębie: Bornholmska, Gotlandzka i Gdańska).
2. Określenie toksyczności iperytu siarkowego (oraz 6 produktów jego degradacji i hydrolizy) w środowisku wodnym.
3. Określenie subletalnych efektów ekspozycji *Daphnia magna* na działanie difenylochloroarsyny w czasie dłuższym niż 48 godzin.

Dla osiągnięcia postawionych celów Doktorant między innymi: w latach 2012-2017 prowadził monitoring wód w rejonach zalegania amunicji chemicznej (badania prowadzono podczas 10 rejsów badawczych), a w latach 2016-2020 brał udział, wraz z zespołem badawczym, w dostosowaniu, akredytowanego w Organizacji ds. Zakazu Broni Chemicznej (OPCW), laboratorium do pracy z żywymi organizmami co w konsekwencji umożliwiło

przeprowadzenie badań wpływu bojowych środków trujących na odpowiednio dobrany organizm modelowy dla środowiska wodnego.

W pierwszej publikacji zaprezentowano badania prowadzone w latach 2012-2017 i były one związane z realizacją pierwszego celu poznawczego. Wykazały one, że na obszarze zatapiania obserwuje się silne efekty antropopresji. Według autora, poza obecnością obiektów pochodzenia militarnego, wynikają one zarówno z eutrofizacji Morza Bałtyckiego, skutkującej zanikiem rozpuszczonego tlenu na obszarach głębi tego akwenu, jak i potwierdzonego rybołówstwa przydennego. W pracy tej stwierdzono, że przez większość czasu obszary te charakteryzuje niska bioróżnorodność, a jedynymi zaobserwowanymi przedstawicielami fauny bentosowej są organizmy wchodzące w skład Nicieni oraz dwa gatunki ryb przydennych. Odstępstwem od tych obserwacji, był okres następujący bezpośrednio po wlewie Bałtyckim, w czasie, którego znacząco, choć okresowo, wzrosła bioróżnorodność meiobentosu, a inspekcje telesterowanym pojazdem podwodnym (ROV) zaobserwowały powrót makrofauny. Autor sugeruje więc, że w efekcie wlewów bałtyckich obszary zatapiania mogą podlegać okresowej rekolonizacji, przez co możliwe jest ewentualne negatywne oddziaływanie BST na organizmy.

W drugiej publikacji autor podnosi problem wyciekania (uwalniania się) bojowych środków trujących z zatopionych pojemników i efektu ich oddziaływania na organizm modelowy jakim jest *D. magna*. Badania dotyczyły oszacowania progów toksyczności ostrej iperytu siarkowego wraz z produktami jego degradacji i hydrolizy, i zdeterminowane były osiągnięciem drugiego celu poznawczego. Przestrzeganie wytycznych OECD poprzez wykorzystanie odpowiedniej metodyki i gatunku modelowego pozwoliło na uzyskanie, po raz pierwszy w historii badań nad bojowymi środkami trującymi, rzetelnych i uznanych wyników, co przyczyniło się do pierwszego, poprawnego kategoryzowania tego zagrożenia dla organizmów wodnych. Autor stwierdza, że mimo krótkiego czasu ekspozycji, wynikającego z tempa jego hydrolizy, w rozpuszczonej formie iperyt siarkowy jest toksyczny dla *D. magna*. Dodatkowo, badania toksyczności ostrej produktów jego degradacji wykazały, że dwa z nich (1,2,5-tritiepan oraz 1,4,5-oxaditiepan) były dużo bardziej toksyczne od iperytu siarkowego. Ponadto, charakteryzuje je większa rozpuszczalność w wodzie i mniejsza hydrofobowość niż iperyt siarkowy. Oznacza to, że przynajmniej w niektórych przypadkach degradacja BST w środowisku wodnym nie jest rozwiązaniem problemu, lecz generuje nowy.

Badania przedstawione w trzeciej publikacji ukierunkowane były na określenie chronicznej formy toksyczności Clark I oraz określenie wpływu subletalnych stężeń tego BST na badane organizmy. W pracy tej autorzy stwierdzają istotne statystycznie zmiany w parametrach życia badanych organizmów (płodność, wielkość ciała, tempo wzrostu osobnika) oraz tempa wzrostu populacji, która wystawiona była na oddziaływanie difenylchloroarsyny. Istotny jest fakt, że do tej pory, nie przeprowadzono tego typu badań na organizmach wodnych. Eksperymenty przeprowadzono w bardzo niskich stężeniach (niższych niż stężenia tego związku w niektórych próbkach bałtyckich osadów), co dodatkowo uzasadnia konieczność ich przeprowadzenia. Przedstawione przez mgr. Michała Czuba i zespół autorów wyniki sugerują, że tego typu badania mogą w przyszłości doprowadzić do stworzenia specyficznych biomarkerów, potrzebnych w monitoringu tego zagrożenia. Dodatkowo, Clark I wybrany został nieprzypadkowo, ponieważ w innych pracach projektu DAIMON wykazana została zdolność tego związku do bioakumulacji w sieci troficznej Morza Bałtyckiego – wykryty został w śladowych ilościach w mięśniach i wątrobie 14% przebadanych w projekcie dorszów.

Po zapoznaniu się z przedstawionym jako rozprawa doktorska materiałem stwierdzam, że opublikowane przez Doktoranta wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły w pełni zweryfikować postawioną przez Autora hipotezę roboczą. Za najważniejsze osiągnięcia naukowe Pana mgr. Michała Czuba przedstawione w recenzowanym materiale, stanowiące jednocześnie element nowości naukowej i wzbogacenie obecnego stanu wiedzy w tym zakresie uważam:

- stwierdzenie, że mimo zatapiania broni chemicznej w Morzu Bałtyckim na terenach, które uznawane są za „pustynie tlenowe”, może w nich dochodzić do ekspozycji organizmów dennych i przydennych na skutki oddziaływania BST z uwagi na stałą, choć mocno limitowaną obecność elementów ożywionych ekosystemu;
- zaobserwowanie obecności makrofauny w pobliżu zatopionych obiektów. Ponadto stwierdzono, że na obszarze składowania broni chemicznej w rejonie Głębi Bornholmskiej, znajdującej się na drodze wlewów z Morza Północnego (w momencie ich trwania), okresowo rośnie liczebność i bioróżnorodność, zarówno na poziomie meiofauny jak i makrofauny;
- definitywne stwierdzenie toksyczności iperytu siarkowego w środowisku wodnym;

- niepotwierdzenie tezy, która przypuszczała, że toksyczność bojowych środków trujących maleje wraz z ich hydrolizą i degradacją w środowisku wodnym;
- potwierdzenie tezy, która zakłada, że pomimo zdeponowania w Morzu Bałtyckim znacznie mniejszych niż iperytu siarkowego ilości arsenowych BST one również mogą stanowić poważne zagrożenie ekologiczne;
- zaobserwowanie i opisanie zmian w składzie izotopowym organizmu modelowego *D. magna* wystawionego na oddziaływanie difenylchloroarsyny jako potencjalnego, specyficznego biomarkera ekspozycji organizmów wodnych na arsenowe BST;
- stwierdzenie, że obecność BST w osadach i wodach porowych należy potraktować jako obecny i przyszły problem dla rekolonizacji obszarów zatopienia przez organizmy bentosowe, który do rozwiązania wymagał będzie ingerencji człowieka.

W podsumowaniu tej części stwierdzam, że dysertacja pod względem merytorycznym nie budzi zastrzeżeń. Jest napisana poprawnym i precyzyjnym językiem, choć Autorowi nie udało się uniknąć drobnych błędów edytorskich, które jednak nie mają wpływu na pozytywną ocenę merytorycznych treści zawartych w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Jednocześnie podkreślam, że podjęta przez Doktoranta problematyka jest niezwykle istotna i trudna, w związku z czym docenić należy wysiłek włożony w jej powstanie. Nie bez znaczenia są też utylitarne aspekty przeprowadzonych badań pozwalające na wykorzystanie ich w dalszych badaniach nad wpływem zatopionej amunicji chemicznej na ożywione elementy ekosystemu Morza Bałtyckiego.

Ponieważ w dyskusji naukowej o zagrożeniach spowodowanych zatopieniem amunicji chemicznej w Morzu Bałtyckim często pojawiają się kwestie dotyczące szeroko pojętego bezpieczeństwa chciałbym prosić Doktoranta o odpowiedź na pytanie:

1. Jak osiągnięte przez Doktoranta wyniki badań mogą przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa użytkowników morza oraz na ochronę środowiska morskiego?

Mając na uwadze obecny stan wiedzy, dotyczący zagrożeń spowodowanych zatopieniem w Morzu Bałtyckim amunicji chemicznej oraz pojemników z BST proszę również Doktoranta o:

- przedstawienie powodów, które zadecydowały o pominięciu w obszarze naukowej eksploracji przeprowadzenia badań toksyczności tabunu.

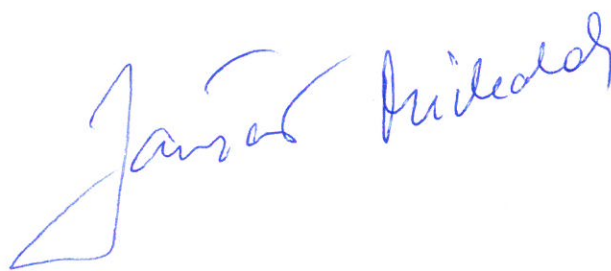


WNIOSEK KOŃCOWY

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. Michała CZUBA stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że większość z przeprowadzonych przez Doktoranta badań nigdy wcześniej nie była prowadzona. Rozprawa spełnia zatem wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i świadczy o dużym zasobie wiedzy merytorycznej i dobrym przygotowaniu metodologicznym Autora do prowadzenia samodzielnych badań.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl trzech artykułów stanowiących podstawę przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej nt. „**Effects of sea-dumped chemical warfare on Baltic Sea ecosystem**” (“**Wpływ zatopionej broni chemicznej na ekosystem Morza Bałtyckiego**”) opracowanej przez Pana mgr. Michała CZUBA w mojej opinii **spełnia wymagania** *Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2014 r. poz. 1852 z późn. zm.) w związku z *Ustawą z dnia 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1669). Dlatego wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr. Michała CZUBA i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie stwierdzam, że miałem przyjemność recenzować pracę stanowiącą sprawozdanie z pionierskich badań, których wyniki charakteryzują się wysokimi walorami poznawczymi. Dlatego też zwracam się do Wysokiej Rady z wnioskiem o wyróżnienie pracy stosowną nagrodą.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Janusz Milewski', is written in a cursive style across the lower right portion of the page.

