

Dr hab., Ireneusz Sobota, prof. UMK
Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr. Małgorzaty Merchel

**„Zmienność właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich w
Morzach Nordyckich w latach 1998–2017”**

wykonanej w Zakładzie Dynamiki Morza w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk
w Sopocie pod kierunkiem naukowym prof. dr. hab. Waldemara Walczowskiego

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi pismo Dyrektora Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie prof. dr. hab. Jana Marcina Węślowskiego z dnia 15 czerwca 2021 roku, zgodne z uchwałą Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie z dnia 14 czerwca 2021 roku.

Recenzja została opracowana na mocy §6 ust. 3 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku.

Współczesne zmiany jakie zachodzą w obrębie wód morskich stanowią jeden z najważniejszych problemów oceanologii. Mają one szczególne znaczenie w świetle zachodzących przemian klimatu i związanych z nimi zmianami zlodzenia mórz, topnienia lodowców, a przede wszystkim związane są z warunkami kształtowania się warunków termiczno-miksyjnych, tlenowych, czy prędkości przemieszczania mas wodnych. Mają też wpływ na strukturę i dynamikę prądów morskich, które istotnie kształtują, a zarazem pozostają w ścisłych zależnościach z procesami fizycznymi mas wodnych. Wszystkie powyższe kwestie były głównymi problemami, które przeanalizowała Pani mgr. Małgorzata Merchel w odniesieniu to tzw. Mórz Nordyckich, które przez to, że należą do obszarów współcześnie zlodowaconych, pozostają w licznych wzajemnych interakcjach z hydrosferą, atmosferą i kriosferą. Szczegółowe rozpoznanie zmienności właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich na tym obszarze było głównym celem przedłożonego do oceny osiągnięcia naukowego. Jest ono oryginalnym i syntetycznym

opracowaniem przedstawiającym pogląd na stan właściwości wód oraz prądów morskich Mórz Nordyckich.

W przedstawionej pracy doktorskiej Pani mgr Małgorzata Merchel podjęła się ważnego zadania wieloaspektowego rozpoznania zmienności czasowej i przestrzennej właściwości fizycznych wód pośrednich i głębinowych w Morzach Nordyckich w latach 1998–2017. Bardzo istotne jest, że wykorzystwała dokładnie powtarzające się czasowo i przestrzennie dane hydrograficzne. Dokonała tego przede wszystkim na podstawie wyników własnych prac terenowych, z wykorzystaniem najważniejszych technik pomiarowych stosowanych w tego typu badaniach. W pracy zostały wykorzystane dane CTD z lat 1998–2017, jak również dane z Opuszczanego Akustycznego Dopplerowskiego Prądomierza Profilującego z lat 2008–2017. Ponadto, w pracy wykorzystano również dane z pływaków Argo, pochodzące z drugiej dekady analizowanego okresu (2008–2017). Pozyskane dane pochodzą głównie corocznych rejsów statku badawczego Instytutu Oceanologii PAN r/v Oceania w rejon Mórz Nordyckich, co daje gwarancję rzetelności prac terenowych i dokładności pozyskanych danych. Warto również w tym miejscu dodać, że autorka pracy jest zaangażowana w działalność programu Argo od 2016 roku, a od początku 2019 roku należy do wąskiego grona operatorów DMQC (ok. 10 osób w Europie), którzy wykonują kontrolę jakości danych Argo w trybie opóźnionym.

Rozprawę doktorską Pani mgr. Małgorzaty Merchel stanowi praca zatytułowana „*Zmienność właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich w Morzach Nordyckich w latach 1998–2017*”. Składa się ona ze streszczenia (również w języku angielskim), 6 głównych rozdziałów (z licznymi podrozdziałami) oraz spisu literatury, rysunków, tabel, akronimów i oznaczeń oraz aneksu. Liczy 132 strony i zawiera 51 rycin oraz 13 tabel.

W pierwszej części dysertacji Pani mgr Małgorzata Merchel przedstawiła rozbudowany *Wstęp, cel i zakres pracy*, w których przede wszystkim zauważa, że w ostatnich latach coraz większa uwaga oceanografów i klimatologów koncentruje się na ociepleniu oceanów i znaczeniu oceanu jako bufora akumulującego nadmiar energii zatrzymywanej w ziemskim systemie klimatycznym w wyniku efektu cieplarnianego, a lepsze zrozumienie zmian zachodzących w wodach pośrednich i głębinowych ma kluczowe znaczenie ze względu na ważną rolę, jaką te wody w nim odgrywają. Uważam, że jest to bardzo ważne spostrzeżenie, które w dalszej części pracy Doktorantka konsekwentnie udowodniła, włączając się w nurt znawców bardzo ważnych problemów związanych z gromadzeniem ciepła w masie wodnej oceanu światowego, znacząco uzupełniając dotychczasowy stan wiedzy w tym zakresie.

Doktorantka bardzo dojrzałe zdaje sobie sprawę i zaznacza, że pokrycie oceanów danymi pomiarowymi na większych głębokościach jest bardzo rzadkie lub wręcz ograniczone wyłącznie do określonych transektów, zwłaszcza w obszarach arktycznych. Natomiast dokładne oszacowanie zmian, jakie zachodzą w Arktyce na pośrednich i dużych głębokościach jest bardzo trudne, zaś wyniki obarczone są dużą niepewnością pomiarową. Zauważa Ona, że pływaki głębokowodne są dopiero wprowadzane, a dodatkowo rejon Mórz Nordyckich jest słabo pokryty siecią pływaków. W mojej opinii pozostaje nadzieja, że w miarę rozwoju tych badań, również autorka będzie realizowała swoją naukową pasję w tym zakresie.

Doktorantka stwierdza w tej części pracy, że hipoteza badawcza pracy jest oparta na wstępnej analizie danych hydrograficznych IOPAN i zakłada, że woda głębinowa i pośrednia badanego obszaru ociepla się znacznie szybciej niż wynosi średnia globalna, a pośrednie i głębinowe wody badanego rejonu Arktyki znacznie mocniej reagują na nasilające się zmiany klimatyczne niż reszta oceanu. Z kolei zmiany właściwości tych wód mogą również mieć znacznie większy wpływ na przyszłe zmiany klimatyczne niż wcześniej przypuszczano. Jest to bardzo ważne i ciekawe spostrzeżenie. Myślę, że w tym miejscu ciekawa byłaby krótka dyskusja i próba wyjaśnienia roli wód topniejących lodowców i lądolodów na kształtowanie właściwości wód morskich pośrednich i głębinowych, a nie tylko powierzchniowych. Czy ilość słodkich wód tego pochodzenia wpływa i w jaki sposób na zmiany właściwości wód morskich (np. obniża istotnie temperaturę)? Czy może ich znaczenie nie jest istotne, a raczej zmiany właściwości wynikają z ruchu mas wodnych?

Przedstawiony *Wstęp* jest również skróconym przeglądem literatury, który wraz z dalszą częścią pracy Doktorantka udokumentowała 121 pozycjami literatury, w tym 4, których jest współautorem. Sposób przedstawienia i dokładność zaprezentowanego przeglądu są dowodem na dużą wiedzę, jaką Doktorantka posiada w zakresie podjętej tematyki badawczej. Należy podkreślić, że cele pracy zostały przedstawione jasno i w sposób wymagany dla tego typu rozpraw naukowych.

Następnie Autorka dokonała charakterystyki obszaru badań, szczegółowo opisując położenie i batymetrię Mórz Nordyckich, jak również cyrkulację wód, masy wodne, powstawanie i transformację wód pośrednich i głębinowych oraz interakcję ocean-atmosfera. W interesujący sposób opisała przebieg ich granic i kierunki płynięcia prądów morskich oraz ich powiązania z Oceanem Arktycznym. Sądzę, że ciekawym uzupełnieniem tej części pracy mogłoby być przedstawienie/wydzielenie tzw. brzegów lodowych, które stanowią lodowce zakończone w morzu, a których rola w kształtowaniu analizowanych wód jest coraz większa,

głównie w związku z ociepleniem klimatu. Przykładowo na wschodnim wybrzeżu Spitsbergenu stanowią one ponad 30% ich długości. Uważam, że ta część pracy stanowi ważne tło do dalszych rozważań, choć niekiedy jest zbyt obszerna, a jej pewne fragmenty powinny raczej znaleźć się w części opisującej dyskusję wyników.

Następnie Doktorantka dokonała szczegółowej charakterystyki danych oraz analizy zastosowanych metod badawczych, uważnie opisując wykorzystane urządzenia pomiarowe, ich dokładność, jakość, lokalizację i problemy z ich stosowaniem. Dotyczy to zarówno danych CTD, LADCP oraz pływaków Argo. Zauważa Ona, że pokrycie danymi oceanograficznymi Mórz Nordyckich, a tym samym wiedza o tym regionie, znacząco poprawiły się w ostatnich latach, ale w porównaniu z innymi akwenami są one nadal słabo pokryte pomiarami hydrograficznymi. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że od roku 2014 autorka, każdego roku, brała czynny udział w pomiarach hydrograficznych podczas rejsów AREX. Podziw budzi liczba wykorzystanych profili CTD (ponad 1000), które przedstawiła ona w wydzielonych sekcjach.

Uważam tą część pracy praktycznie za wyczerpaną. Pewien niedosyt budzi brak nieco szerszego wyjaśnienia w jaki sposób zostały potraktowane wyniki analiz statystycznych (np. przedstawione w załączonym aneksie), które nie są istotne statystycznie. Ponadto Doktorantka przyjęła kryterium głębokości, w którym woda znajdująca się pomiędzy 50 a 500 m została zdefiniowana jako woda powierzchniowa, woda w zakresie od 500 do 1000 m jako woda pośrednia, a woda poniżej 1000 m została zdefiniowana jako woda głębinowa. Wydaje się, że pomimo tego, że Doktorantka wspomina, że przez wielu autorów przyjmowane są różne kryteria podziału mas wodnych i przedziałów przyjmowanych głębokości, można by w tym miejscu nieco rozszerzyć informację, dlaczego akurat na takie przedziały się zdecydowała.

Z dużym zaciekawieniem zapoznałem się również z informacją, że lód morski często uniemożliwia wypłynięcie i wysłanie danych za pomocą pływaków Argo, a mimo tego w ostatnich latach działalność Argo w tym obszarze ulega szybkiemu rozwojowi. Ma to związek z intensywnymi zmianami klimatycznymi w Arktyce oraz cofającą się granicą lodu morskiego. W tym aspekcie bardzo ciekawa byłaby szersza analiza roli i zmieniającej się ilości pływaków Argo w poszczególnych sezonach w związku z zachodzącymi współcześnie przemianami pokrywy lodowej. Nie jest to oczywiście uwaga, a chęć pewnego rozpoznania tego problemu.

Niezależnie od powyższych uwag należy wyraźnie zaznaczyć, że Doktorantka w wyczerpujący sposób przedstawiła zastosowane dane pomiarowe i metody badawcze, zgodnie

z wymaganiami dla tego typu rozpraw naukowych. Ilość zastosowanych metod, jak również dokładna, a zarazem rozważna analiza danych pomiarowych świadczą o dużej dojrzałości naukowej doktorantki. Podkreśla to także jak ważną rolę w pracy stanowiły zastosowane metody, które praktycznie wyczerpują ich zakres w podjętym temacie.

Najobszerniejszym fragmentem pracy jest rozdział zatytułowany *Wyniki*, w którym Doktorantka przedstawiła szczegółowo najważniejsze rezultaty swojej pracy, dokumentując je wysokiej jakości grafikami i istotnymi tabelami. Wydaje się, że zbędne w tej części było powtórzenie niektórych celów pracy. Ponadto pewne fragmenty powinny się znaleźć w rozdziale dotyczącym metod badań np. wstępne paragrafy poszczególnych podrozdziałów (np. na stronie 61 i trzeci akapit na stronie 78), tabele 4.1 i 4.2, czy opisy przekrojów (przenieść np. na stronę 39), co znacząco ułatwiłoby percepcję tych zagadnień.

W pierwszej części *Wyników* przeanalizowała międzyletnią zmienność właściwości wody głębinowej i pośredniej w obserwowanych przekrojach. Zwraca między innymi uwagę, że ciepło zmagazynowane w tym obszarze i transportowane przez WSC do Oceanu Arktycznego może mieć duży wpływ na topnienie lodu morskiego w Arktyce oraz zmiany klimatu. W naukowej dyskusji bardzo ciekawi mnie jak Doktorantka ocenia ten wpływ na topnienie nie tylko lodu morskiego, ale również lodowców, jeśli takowy w ogóle według Niej istnieje, niezależnie od zachodzących zmian klimatycznych, a równocześnie je wzmacniając. Podobnie stwierdza ona, że górne 50 m masy wodnej jest zdominowane przez zimne, wysłodzone wody pochodzące z topnienia lodu morskiego. Czy tylko morskiego, a może również lodowcowego? Zauważa ona również, że wzdłuż sekcji K w roku 1998 wody pośrednie i głębinowe były znacznie zimniejsze i mniej zasolone niż w roku 2017 (w dwóch skrajnych sezonach letnich analizowanej serii czasowej). Czy mogło to być spowodowane właśnie odmiennymi warunkami pogodowymi w tych latach i zwiększonym topnieniem lodowców, które z własnych badań wiem, że w roku 1998 było jednym z najwyższych w ostatnich 30 latach.

Pani mgr Małgorzata Merchel przedstawiła dla wszystkich sekcji bardzo interesujące wykresy przedstawiające serie czasowe średniej temperatury oraz zasolenia wody powierzchniowej, pośredniej oraz głębinowej. Myślę, że ciekawym rozwinięciem tych zagadnień byłaby analiza (również w postaci graficznej, także w połączeniu z wykresami Hovmöllera) zależności tych parametrów z zasięgiem pokrywy lodowej (a może także topnieniem lodowców) nawet dla sekcji oddalonych od bezpośredniego kontaktu z nimi.

Bardzo istotne jest również to, że Autorka zdaje sobie sprawę, że na kształtowanie warunków dynamiki wód ma również ukształtowanie dna morza, jak na przykład podwodne grzbiety (Grzbiet Knipowicza i inne).

W kolejnej części *Wyników* Pani mgr M. Merchel dokonała analizy międzyletniej zmienności zawartości ciepła i soli w kolumnie wody, gdzie między innymi prezentuje bardzo interesującą rycinę przedstawiającą procentowy udział wzrostu zawartości ciepła w kolumnie wody warstwy powierzchniowej, pośredniej oraz głębinowej w obrębie sekcji K, N oraz EB-2 w latach 1998–2017. Stwierdza również, że w ciągu ostatnich 20 lat zdecydowanie największy wzrost zawartości ciepła w kolumnie wody odnotowano w obrębie sekcji N, a najmniejszy wzrost zawartości ciepła warstwy 50–2500 m wystąpił w obrębie sekcji K, osiągając wartość prawie połowę mniejszą od wartości odnotowanej w obrębie sekcji N. Podobnie wyglądała struktura zasolenia w poszczególnych sekcjach (rycina 4.12). Bardzo ciekawe jest, że w takim ujęciu bardzo słabo zaznacza się wpływ topniejących lodów morskich i lodowców w strefie EB-2, oczywiście przy założeniu, że jest on na tyle istotny, że mógłby kształtować te właściwości wód.

Następnie została scharakteryzowana sezonowa zmienność właściwości wody pośredniej i głębinowej na podstawie danych z pływaków Argo. Część tą uważam za jedną z najważniejszych w całej pracy. Doktorantka przeanalizowała dane w trzech sektorach i stwierdziła między innymi, że najchłodniejsza oraz najmniej zasolona woda pośrednia występowała w zachodniej części badanego obszaru, czyli w tzw. Domenie Arktycznej (Sektor 1). Natomiast najcieplejsza oraz najbardziej zasolona woda pośrednia występuje w południowej części regionu (Sektor 3). Sektor ten charakteryzuje się również stałym wzrostem temperatury i zasolenia oraz ich najmniejszą zmiennością międzyroczną oraz sezonową. Wszystko to może świadczyć o roli topniejących pokryw lodowych, potwierdzających znaczące ocieplenie klimatu w tym regionie Arktyki. Stąd można mieć wrażenie pewnego niedosytu jeszcze wyraźniejszego podkreślenia roli czynnika lodowego.

Doktorantka zauważa także, że wschodnia część obszaru (Domena Atlantycka; Sektor 2) charakteryzuje się najmniejszą liczbą profili Argo oraz ich najmniejszym trendem wzrostowym. Równocześnie podkreśla, że może to być również związane z niewystarczającą ilością profili w tym obszarze. Takie stwierdzenie z jednej strony mogłoby wywołać zastanowienie, czy w takim razie ma sens ich analizowanie, a z drugiej po raz kolejny daje się zauważyć naukową ostrożność Autorki, która doskonale zdaje sobie sprawę, że wszelkie dane z tego regionu są niezwykle cenne i zawsze wymagają naukowej oceny.

Ostatnia część tego rozdziału dotyczy dynamiki warstwy przydennej na podstawie pomiarów LADCP, w której Doktorantka przede wszystkim podkreśla rolę cyrkulacji głębinowej w transporcie ciepła, zasolenia, tlenu, dwutlenku węgla i innych właściwości wody morskiej z wysokich do niższych szerokości geograficznych na całym globie, co jak wiemy ma bardzo istotne konsekwencje. Najważniejsze z nich wymienia i analizuje. Między innymi wskazuje Ona, że największe prędkości przydennych prądów morskich występują na szelfie oraz na skłonie kontynentalnym zachodniego Spitsbergenu. W tych rejonach najczęściej występują prądy o prędkościach powyżej 30 cm s^{-1} . Jest to szczególnie zauważalne w pobliżu Sorkappu oraz na północ od wyspy Ziemia Księcia Karola.

Powyższe spostrzeżenia czy propozycje w żadnym wypadku nie pomniejszają jakości pracy, a raczej wynikają z chęci recenzenta do wyrażenia opinii, postawienia pewnych pytań i podjęcia dyskusji naukowej.

Po raz kolejny należy podkreślić dużą dojrzałość naukową Doktorantki, która zaznacza, że w pracy w głównej mierze analizuje warstwę wód pośrednich i głębinowych, jednak uważa, iż nie jest to możliwe w całkowitym oderwaniu od warstwy wód powierzchniowych. Podkreśla również wielokrotnie, że należy być ostrożnym przy interpretacji wartości średnich niektórych danych, zwłaszcza temperatury dla poszczególnych wydzielonych sekcji. Doskonale zdaje sobie Ona również sprawę z problemów związanych z tego typu badaniami i należy się z Nią zgodzić, że dane z pływaków Argo są niezwykle cenne, szczególnie w rejonach badawczych, tak ważnych dla globalnych zmian klimatu jak Morza Nordyckie, a zarazem tak trudnych pomiarowo ze względu na ciężkie warunki pogodowe i sytuację lodową. W części związanej z wynikami badań uzyskanymi za pomocą Opuszczanego Dopplerowskiego Prądomierza Akustycznego (LADCP), wyraźnie zaznacza, że choć niektóre uzyskane wyniki nie są jednoznaczne, postanowiła je wykorzystać, wychodząc z założenia, że wynik nie całkowicie potwierdzający początkowe założenia, a nawet im zaprzeczający, jest też wartościowy i istotny. Poza tym opracowane dane dają istotne informacje o strukturze, prędkościach i zmienności prądów przydennych w badanym akwenie. Oczywiście bardzo doceniam i popieram takie podejście, świadczące o naukowej zawziętości Doktorantki, koniecznej w rozwiązywaniu nawet najtrudniejszych problemów.

Po części wynikowej Doktorantka przedstawiła bardzo ciekawą dyskusję poruszając wiele zagadnień związanych ze zmiennością właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich w Morzach Nordyckich, jak również aspekty pokrewne podjętej tematyce badań. Na uwagę zasługuje, że w wielu fragmentach odnosi się często do innych powiązanych badań i źródeł literatury. Może jedynie w przypadku informacji o globalnym

wzroście poziomu morza warto było oprzeć się o nieco nowsze szeroko dostępne dane niż tylko za lata 1993-2010.

Zaznacza Ona między innymi, że dwudziestoletnie serie czasowe spójnych danych oceanograficznych stanowią cenną podstawę do analiz. Ujawniają istotne, międzyletnie zmiany podstawowych właściwości wód (np. w rejonie Prądu Zachodniospitsbergeńskiego). Równocześnie podkreśla, że przedstawione serie czasowe nadal są zbyt krótkie, aby określić dokładne przyczyny tych zmian lub oddzielić zmienność naturalną, od zmienności wynikającej z postępujących zmian klimatycznych. Należy się z tym zgodzić, dodając jednak, iż w dużej części z dużą dociekliwością naukową próbuje Ona je jednak wyjaśnić. Szczegółowo opisuje kształtowanie się warunków termicznych i zasolenia poszczególnych analizowanych mórz, a także źródła ich ocieplania lub ochładzania. Podaje na przykład, że źródłem ocieplenia wód głębinowych Morza Grenlandzkiego jest napływ wód głębinowych z Oceanu Arktycznego. W tym miejscu ponownie odczuwam pewien niedosyt w ocenie roli topniejących lodów w tym regionie. Jaka jest ich rola, czy przyspieszająca ablacja lodowców i lądolodu grenlandzkiego ma znaczenie w kształtowaniu takich parametrów jak temperatura czy zasolenie wód morskich. Należy przecież pamiętać, że ilość dostarczanej wody w wyniku topnienia jest coraz większa. Oczywiście zdaję sobie sprawę, że nie to było głównym tematem rozprawy, ale mogłoby to być również zaczątkiem ciekawej dyskusji naukowej.

Należy tu zauważyć jednak, że dość dużo miejsca Doktorantka poświęca półzamkniętej zatoce Storfiord znajdującej się w południowo-wschodniej części archipelagu Svalbard, która ze względu na występowanie nawracającej połyinii przybrzeżnej jest nazywana fabryką lodu. Zatem wiąże Ona zmiany właściwości również ze zjawiskami lodowymi tam występującymi, niezależnie od warunków pogodowych czy przepływu wód z różnych akwenów morskich. Nie jest to uwaga merytoryczna, a jedynie chęć pewnej dyskusji i może czynnik motywujący do dalszych badań w przyszłości, również w tym zakresie, które Doktorantka na pewno wykonałaby z charakterystyczną dla siebie precyzją i dbałością o naukową dyskusję.

W dalszej części dyskusji Autorka zauważa, że zarówno globalne (Morze Grenlandzkie), jak i lokalne (Storfiord) źródła wód głębinowych w coraz mniejszym stopniu zasilają okoliczne obszary w gęste, zimne oraz dobrze natlenione wody pośrednie i głębinowe, przyczyniając się do największego trendu wzrostowego temperatury i zasolenia w obrębie sekcji N. I dodaje, że nie można z całą pewnością stwierdzić, czy przyczyny tych zmian są naturalne, czy antropogeniczne. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że bardzo trudno o takie analizy tych przyczyn, to rzeczywiście należy się z tym zgodzić. Jednak, gdy przyjmiemy, że źródłem - początkiem współczesnych przemian klimatycznych jest

działalność człowieka, to wyłania się tu bardzo skomplikowany problem do dyskusji, co na pewno nie było celem tej pracy.

Stwierdza Ona również, iż temperatura i zasolenie warstwy głębinowej nadal wzrastają najszybciej w Domenie Arktycznej. Jednak w warstwie pośredniej największy wzrost jest obserwowany w południowej części obszaru (Sektor 3) a najmniejszy w części zachodniej (Sektor 1) i wiąże to z konwekcją w Morzu Grenlandzkim (w pobliżu Sektora 1), która sięga do pośrednich głębokości zasilając tą warstwę w zimne i mało zasolone wody. W ten sposób przyczynia się do mniejszego wzrostu temperatury i zasolenia warstwy pośredniej Sektora 1. Sektor 2 natomiast jest zasilany w gęste, zimne wody przydenne ze Storfiordu. Czy zatem może to oznaczać, że istnieje jakaś szansa na zwolnienie tempa ocieplenia? Warto dodać, że to tempo jest częstym problemem w opisywanej pracy, na który zwraca uwagę Doktorantka, wykazując bardzo dużą rozważę i naukową czułość na te sprawy, stwierdzając między innymi, że w ostatnich dziesięcioleciach obserwujemy, jak ten niezwykle cenny mechanizm stabilizujący klimat ziemski coraz bardziej ulega degradacji. Przez ograniczoną konwekcję oraz napływ wody głębinowej z Oceanu Arktycznego wody głębinowe i pośrednie Mórz Nordyckich stają się coraz cieplejsze. Oznacza to również mniejszą ilość dobrze natlenionej i bogatej w składniki odżywcze wody, która jest rozprowadzana po całym wszechoceanie. I bardzo trafnie zaznacza, że niepokoi to szczególnie w kontekście faktu, że Arktyka była zawsze chłodnicą ziemskiego systemu klimatycznego.

Dyskusję kończy stwierdzenie, że wody pośrednie i głębinowe przejmują nadmiar ciepła zgromadzonego w wodach powierzchniowych, co może być mylnie postrzegane jako zjawisko pozytywne w kontekście globalnego ocieplenia. Doktorantka słusznie zauważa, iż po pierwsze nie wiemy jak poważne długofalowe skutki może to spowodować, ponieważ nie znamy wrażliwości organizmów głębokowodnych na zmiany warunków, w których funkcjonują. Po drugie prędzej czy później ciepło zgromadzone w wodach pośrednich i głębinowych zostanie oddane do atmosfery. I możemy w ten sposób jedynie opóźnić pewne konsekwencje o kilkaset lat, ale jest to podejście bardzo krótkowzroczne. Należy się z Doktorantką jak najbardziej zgodzić, ale można przekornie też zapytać czy to opóźnienie jest dla nas szansą na opamiętanie i w tym sensie jest to zjawisko pozytywne.

Przedstawioną do oceny pracę Doktorantka kończy krótkim podsumowaniem wraz z 19 wnioskami. Sądzę, że jest ich nieco za dużo i nie wszystkie z nich mają charakter wniosków (na przykład pierwsze 4 z nich). Według mojej opinii najważniejsze z nich to:

- Największa zmienność temperatury i zasolenia wystąpiła w warstwie powierzchniowej i malała wraz z głębokością. We wszystkich warstwach wystąpiły dodatnie trendy zarówno temperatury, jak i zasolenia.
- W okresach, gdy Woda Atlantycka miała wyższą temperaturę, występował również niski eksport lodu morskiego z Oceanu Arktycznego do Mórz Nordyckich przez Cieśninę Fram. Po tym czasie następował zwiększony eksport lodu morskiego, a co za tym idzie znaczny spadek zasolenia wody głębinowej, szczególnie w 2001 roku. Może mieć to związek z tym, że cieplejsza Woda Atlantycka wpłynęła, z pewnym opóźnieniem, na większy eksport lodu morskiego z Oceanu Arktycznego do Morza Grenlandzkiego, a ten na spadek zasolenia wód głębinowych.
- Oba źródła wód głębinowych (Morze Grenlandzkie i Storfiord) w coraz mniejszym stopniu zasilają okoliczne akweny w gęste, dobrze natlenione wody pośrednie i głębinowe, przyczyniając się do największego trendu wzrostowego temperatury i zasolenia w obrębie sekcji N.
- Analizowane wyniki pochodzące z pomiarów LADCP wskazują, że warstwa głębinowa jest bardziej skomplikowana i dynamiczna niż powszechnie uważano. Kierunki przepływów prądów morskich bardzo często są przeciwne niż wskazywałby na to schemat ogólnej cyrkulacji wód badanego obszaru.

Jednym z najważniejszych osiągnięć przeprowadzonych badań naukowych jest to, że wykazano, iż efekty ocieplenia wód pośrednich i głębinowych są widoczne na całych przekrojach badawczych, a wzrost temperatury jest znacznie wyższy niż opisywana w literaturze średnia wartość dla całego oceanu. Jest to szczególnie ważne z punktu widzenia zachodzących zmian klimatu. Ciekawym spostrzeżeniem jest to, że w latach 1998–2001, 2005 oraz 2008–2010, w sezonie letnim zaobserwowano BSW w Rynnie Storfiord. Po roku 2010 ani razu nie odnotowano obecności tej wody w tym rejonie. Może to być szczególnie ciekawe i istotne w analizach porównawczych z innym procesami zachodzącymi w regionach polarnych, np. topnieniem lodowców i lodów morskich.

Za jedno z najważniejszych osiągnięć pracy, istotnie pogłębiające naszą wiedzę w tym zakresie, uznaję również stwierdzenie i wniosek, że nie tylko woda powierzchniowa jest świetnym zbiornikiem ciepła, ale także warstwa pośrednia i głębinowa (które w sumie mają większą miąższość) i przejmują rolę bufora łagodzącego zmiany klimatu.

Na uwagę zasługuje fakt, że Doktorantka często zdaje sobie sprawę z pewnych ograniczeń metodycznych, a zwłaszcza, że przedstawione serie czasowe nadal są zbyt krótkie, aby określić dokładne przyczyny zmian właściwości wód pośrednich i głębinowych lub

oddzielić zmienność naturalną, od zmienności wynikającej z postępujących zmian klimatycznych. Pomimo tego potrafiła z naukową precyzją wyjaśnić poszczególne problemy i wysunąć istotne wnioski, co jest dowodem na wysoki poziom naukowy przedłożonej do recenzji dysertacji.

Ponadto Pani mgr Małgorzata Merchel sama zaznacza, że praca ta to tylko preludium do dalszych badań nad wodą pośrednią i głębinową w Morzach Nordyckich, zwłaszcza że podczas wykonywania potrzebnych analiz oraz ich interpretacji, przybywały kolejne serie pomiarowe; trzy lata pomiarów CTD oraz LADCP z programu AREX 2018–2020. Zwiększyła się też ilość profili Argo, ponieważ z każdym rokiem liczba wodowanych pływaków w Morzach Nordyckich wzrasta. Choć wydaje się, że taka uwaga w tego typu pracy nie jest konieczna, to ilość wykonanych prac i ich wnioski, przy równoczesnych dalszych planach badawczych, może świadczyć tylko o dużej odpowiedzialności naukowej Doktorantki.

W pracy nie dopatrzyłem się istotnych błędów literowych i stylistycznych.

Stwierdzam, że Pani mgr Małgorzata Merchel podjęła się trudnego, a zarazem bardzo ważnego zadania oceny i analizy zmienności właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich Mórza Nordyckiego w nawiązaniu do współczesnych przemian klimatycznych. Zarówno w ujęciu międzyrocznym, jak i sezonowym. Z naukową dociekliwością oszacowała wielkość zmian temperatury, zasolenia oraz zawartości ciepła w badanych warstwach wody oraz określiła przyczyny tych zmian. Przedstawiła cały szereg charakterystyk i opisów nie tylko mas wodnych, ale również zachodzących zależności i wzajemnych relacji pomiędzy oceanem i atmosferą.

Uważam, że uzyskane wyniki nie tylko stanowią bardzo ważne uzupełnienie dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie właściwości wód morskich, ale również są nowoczesnym spojrzeniem na ten problem. Równocześnie istotnie uzupełniają i poszerzają one obecną wiedzę na temat właściwości wód pośrednich i głębinowych w analizowanym obszarze oraz dają nowy obraz wielu problemów badawczych, w tym jakże ważnym dla kształtowania się procesów globalnych, regionie świata. Należy dodać, że są to także bardzo ważne badania w ocenie przemian zachodzących w szczególnych wodach morskich, bo zlokalizowanych i powiązanych z obszarami zlodowaceniami. Wszystko to czyni z pracy osiągnięcie naukowe wymagane od osoby ubiegającej się o tytuł doktora i nadaje jej wysoką wartość naukową, wymaganą dla tego typu opracowań. Ponadto tematyka pracy doskonale włącza się nie tylko w nurt współczesnych nauk oceanologicznych, ale również badań regionów polarnych.

Podsumowując jestem przekonany, że przedstawiona rozprawa doktorska, zatytułowana „Zmienność właściwości oraz rozkładu przestrzennego wód głębinowych i pośrednich w Morzach Nordyckich w latach 1998–2017”, w pełni spełnia wymagania stawiane przez odpowiednie przepisy prawne dotyczące prac doktorskich i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopotcie o dopuszczenie Pani mgr. Małgorzaty Merchel do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.



/dr hab. Ireneusz Sobota, prof. UMK/