



Poznań, 8 stycznia 2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Weroniki Erdmann
pt. „*Response of the water bears (Tardigrada) on the hypomagnetic conditions*”

Niesporczaki (Tardigrada) to pospolicie występujące bezkręgowce drobnych rozmiarów, zasiedlające różnorodne ekosystemy wodne i lądowe, w tym siedliska o charakterze ekstremalnych. Zwierzęta te stały się w ostatnich latach przedmiotem intensywnych badań o charakterze interdyscyplinarnym. Stało się to za sprawą systematycznego dokumentowania wybitnej tolerancji wybranych gatunków na określone, skrajne warunki fizyczno-chemiczne, takie jak brak wody i tlenu, bardzo wysoka temperatura rzędu ok. 150°C lub bliska zeru absolutnego, a także dawki promieniowania jonizującego i ultrafioletowego letalne dla większości innych organizmów ziemskich. Przedstawiciele wybranych gatunków wysyłane były w kilku misjach kosmicznych, badane na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, eksponowane na działanie próżni kosmicznej czy symulowanych warunków panujących na różnych obiektach Układu Słonecznego. Zjawiskiem powiązanim z właściwościami niesporczaków do znoszenia skrajnie niekorzystnych warunków jest ich zdolność do zapadania – niekiedy długotrwale - w stan kryptobiozy, w trakcie którego spowalniane są procesy metaboliczne. Wszystko to sprawia, że rośnie zainteresowanie analizami mającymi na celu określenie biochemicznego i molekularnego podłoża adaptacji niesporczaków do skrajnych siedlisk bądź przynajmniej skutecznego znoszenia warunków ekstremalnych. Badania tych zwierząt mają bowiem potencjał aplikacyjny, nie tylko w eksploracji kosmosu, ale i poszukiwania mechanizmów przydatnych dla nowoczesnej medycyny, farmakologii, a nawet poprawy oporności roślin uprawnych na warunkach suszy. Warto również nadmienić, że istnieją warunki chemiczne i

fizyczne, wobec których tolerancja niesporczaków jest bardzo skąpo poznana bądź nie była przedmiotem jakichkolwiek analiz.

Co ciekawe, dotychczasowe badania niesporczaków prowadzono w obrębie ziemskiego pola magnetycznego, które występuje naturalnie wewnątrz i wokół Ziemi. Oddziałuje ono na wszystkie organizmy żyjące na naszej planecie, mając regulacyjny wpływ na procesy fizjologiczne, a jednocześnie chroni ziemską atmosferę przed działaniem promieniowania kosmicznego i wiatru kosmicznego. Nie jest więc zaskoczeniem, że jakiegokolwiek rodzaj izolacji organizmów żywych od wpływu pola geomagnetycznego może zakłócać poszczególne reakcje biochemiczne, całe procesy biologiczne i ogólnie szkodliwie wpływać na funkcjonowanie organizmu. Przykładowo, badania prowadzone przez NASA wykazały, że długotrwały brak pola magnetycznego powoduje u myszy istotne zmiany w morfologii krwi, zaburzenia metaboliczne, aberrację rytmu okołodobowego i zwiększa śmiertelność zwierząt.

Wpływ warunków hipomagnetycznych na funkcje życiowe niesporczaków nie był dotychczas przedmiotem jakichkolwiek badań. Wypełnienie tej luki wydaje się istotne chociażby z uwagi na potencjalne astrobiologiczne zastosowania niesporczaków i ich udział w eksploracji kosmosu. Taki właśnie cel postawiła sobie Pani mgr Weronika Erdmann w przedstawionej mi do recenzji dysertacji doktorskiej pt. *Response of the water bears (Tardigrada) on the hypomagnetic conditions*”, realizowanej w Zakładzie Taksonomii i Ekologii Zwierząt, której ko-promotorami byli prof. UAM dr hab. Łukasz Kaczmarek oraz prof. UAM dr hab. Jakub Ziemowit Kosicki.

Pracę doktorską mgr Weroniki Erdmann stanowi cykl trzech anglojęzycznych publikacji naukowych poprzedzony krótkim wstępem w języku polskim. Wszystkie trzy artykuły zostały opublikowane w rozpoznawalnych, dobrze punktowanych czasopismach: *Origins of Life and Evolution of Biosphere*, *PLOS One* oraz *PeerJ*. We wszystkich artykułach doktorantka jest pierwszym autorem (w dwóch również autorem korespondencyjnym), a z przedłożonych przez nią oraz współautorów oświadczeń jasno wynika, że miała wiodący wpływ w powstanie każdej z prac. Jej rola polegała bowiem nie tylko na konceptualizacji projektu badawczego, zbieraniu dostępnych danych literaturowych, ale prowadzeniu hodowli niesporczaków, przeprowadzaniu eksperymentów, analizowaniu, wizualizowaniu i interpretowaniu uzyskanych wyników i przygotowywaniu manuskryptów.

Pod tym względem przedłożona dysertacja spełnia - i to z nawiązką – wymogi stawiane rozprawom doktorskim, na które składa się cykl publikacji.

Pierwsza publikacja wchodząca w skład cyklu, opublikowana na łamach *Origins of Life and Evolution Biosphere* (IF=1.9; 70 pkt. ministerialnych), jest pracą o charakterze przeglądowym, dotyczącą wpływu pola geomagnetycznego na rozwój życia na Ziemi, a także jego wielopłaszczyznowego wpływu na organizmy żywe. Włączenie jej do cyklu, jako pierwszej z trzech publikacji, jest całkowicie uzasadnione, gdyż stanowi solidny fundament do przeprowadzonych eksperymentów z udziałem niesporczaków, które opisane zostały w kolejnych artykułach. W kolejnych podrozdziałach przeglądu opisano ochronną funkcję, jaką pełni pole geomagnetyczne dla organizmów żywych i jego udział w tworzeniu warunków sprzyjających rozwojowi życia na Ziemi, czy wreszcie specyficzne wpływy biologiczne pola geomagnetycznego manifestujące się u organizmów o różnym stopniu organizacji poprzez takie zjawiska jak magnetorpizm, magnetorecepcja czy magnetonawigacja. W pracy omówiono również potencjalny wpływ przebiegunowania Ziemi na organizmy żywe, czyli procesu, w którym następuje odwrócenie kierunku ziemskiego pola magnetycznego. Jak skonkludowano, biologiczne konsekwencje tego, zachodzącego wielokrotnie w historii planety, zjawiska, są w dużej mierze nieznane i pozostają przedmiotem spekulacji naukowych. Podkreślono zatem konieczność zaplanowania i przeprowadzenia interdyscyplinarnych badań mających określić oddziaływanie przebiegunowania na organizmy żywe i potencjalną rolę tego zjawiska w masowym ich wymieraniu. W mojej opinii ten fragment publikacji jest jednym z najciekawszych i najbardziej inspirujących dla innych badaczy – a to przecież jedna z funkcji jaką powinny spełniać dobre prace przeglądowe. To, czego w mojej opinii zabrakło, to zaproponowania konkretnych modeli badawczych, które mogłyby poszerzyć naszą wiedzę na temat biologicznych skutków odwrócenia kierunku ziemskiego pola magnetycznego. W związku z tym, prosiłbym doktorantkę o ich zaprezentowanie w trakcie obrony pracy doktorskiej.

Co szczególnie ważne w świetle badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez doktorantkę, omawiana praca dokonuje również przeglądu skutków izolowania organizmów ziemskich od pola geomagnetycznego oraz potencjalne tego implikacje na płaszczyźnie astrobiologicznej. Nie ulega wątpliwości, że ujęta w cyklu praca przeglądowa stanowić będzie przedmiot zainteresowania badaczy związanych z różnymi dziedzinami, takimi jak ekologia, mikrobiologia, botanika, zoologia, a także astrobiologia, biofizyka i astrofizyka.

Co ważne podkreślenia, w części „Survey Methodology” starannie opisano metodologię wyszukiwania artykułów zarówno jeżeli chodzi o wykorzystane bazy artykułów naukowych, zastosowane słowa kluczowe i ich kombinacje, jak i zakres lat brany pod uwagę. Są to elementy niezbędne do zrozumienia zasięgu dokonywanego przeglądu danego zagadnienia, których niestety nie sposób odnaleźć w wielu opublikowanych pracach przeglądowych. Dla odmiany, lektura opisu metodologii przyjętej przez mgr Weronikę Erdmann i koleżeństwo daje gwarancje, że prezentowana praca ma charakter przeglądu systematycznego przeprowadzonego zgodnie z przyjętymi regułami sztuki naukowej, a jednocześnie dotyczy bardzo szerokiego, bo obejmującego sześć dekad, okresu publikowania danych badawczych w literaturze światowej. Jak wyjaśniono w opisie metodologicznym, artykułów naukowych na potrzeby przeglądu poszukiwano nie tylko przy wykorzystaniu tradycyjnych baz takich jak PubMed, Web of Science czy Scopus, ale skorzystano również z zasobów Google Scholar. Dzięki temu udało się zidentyfikować i omówić ponad 180 pozycji – samo to jest dowodem dużego wysiłku jaki został włożony w opublikowany przegląd literaturowy. Pewnym zaskoczeniem jest zatem fakt, że choć publikacja przeglądowa stanowi integralną część cyklu będącego podstawą dysertacji doktorskiej, będąc jednocześnie wartościową z naukowego punktu widzenia, to doktorantka w polskojęzycznym wstępie do swojej rozprawy zupełnie ją pominęła, nie uwzględniając jej w celach swojej pracy ani w omówieniu. Być może wynika to z przekonania, że prace przeglądowe są w jakiś sposób mniej znaczące niż prace oryginalne. Chciałbym zatem podkreślić, że dobrze przygotowane przeglądy literaturowe, napisane krytycznym okiem i wytyczające dalsze kierunki analiz – a do takich z pewnością zalicza się praca współautorstwa doktorantki - są bardzo ważne, bo niejednokrotnie stają się motorem napędowym dalszych działań naukowych prowadzonych przez inne zespoły badawcze.

Kolejne dwie prace ujęte w cyklu doktorskim mają charakter oryginalny i przybliżają rezultaty eksperymentów przeprowadzonych z udziałem trzech gatunków niesporczaków inkubowanych w hipomagnetycznych warunkach. Ich wspólnym celem było sprawdzenie wpływu tych warunków na zdolności anhydrobiotyczne niesporczaków – analizowano zarówno osobniki będące w stanie anhydrobiozy, wchodzące w nią, jak i powracające do stanu aktywnego. We wszystkich eksperymentach wykorzystywano specjalnie zaprojektowaną na ich potrzeby komorę składającą się dwuwarstwowego, zamkniętego

cylindra wykonanego ze stopu zawierającego przede wszystkim nikiel i w mniejszym stopniu, żelazo, miedź i molibden, który spełniał rolę izolatora od pól magnetycznych. W obu publikacjach szczegółowo wyjaśniono budowę komory i przedstawiono ją zarówno na zdjęciach, jak i schematach. Warto podkreślić, iż chociaż instalacje z μ -metal w celu ograniczenia działania pola geomagnetycznego wykorzystywane jest od dawna w tego typu eksperymentach, to zastosowana przez doktorantkę komora została specjalnie zaprojektowana tak, by umożliwić pracę z niesporczakami.

Wybór gatunków do badań został dobrze uzasadniony. Pierwsze eksperymenty, których wyniki opublikowano na łamach czasopisma PLOS ONE, przeprowadzono z udziałem *Hypsibius exemplaris* (dawniej *H. dujardini*), który jest gatunkiem wodnym i powszechnie wykorzystywanym w badaniach niesporczaków z uwagi na łatwość prowadzenia hodowli, a co za tym idzie – jego biologia i tolerancja na różne warunki środowiskowe jest bardzo dobrze poznana. Z kolei w analizach opisanych na łamach PeerJ wykorzystano gatunki kserotermiczne *Echiniscus testudo* i *Milnesium ineptum*. Oba wykazują bardzo dużą tolerancję na wysychanie, ale o ile *E. testudo* rozmnaża się partenogenetycznie i jest roślinożerny, to *M. ineptum* jest drapieżnikiem rzadko rozmnażającym się na drodze partenogenezy. Reasumując, wykorzystanie w badaniach trzech gatunków należących do trzech różnych rodzajów niesporczaków, różniących się istotnie wymaganiami środowiskowymi, zasiedlanym środowiskiem i biologią daje możliwość stwierdzenia, że zjawisko ograniczonego wpływu pola geomagnetycznego zostało w opisanych pracach zbadane w sposób zasadniczo reprezentatywny dla niesporczaków.

Eksperymenty, których wyniki opisano w obu publikacjach zostały starannie zaplanowane. Wykorzystano dużą liczbę wybieranych losowo z hodowli osobników, zastosowano wystarczającą liczbę niezależnych powtórzeń oraz uwzględniono grupę kontrolną, nieinkubowaną w komorze. Również opracowanie statystyczne wyników nie budzi żadnych zastrzeżeń

Zaskakującym jest natomiast brak dokładnego określenia warunków pola magnetycznego na zewnątrz i wewnątrz komory, w której inkubowano niesporczaki. Z punktu widzenia pełnego zrozumienia znaczenia przeprowadzonych badań, a w szczególności charakteru środowiska, które określono jako hipomagnetyczne, taka informacja wydaje się niezbędna. Można więc wyrazić zdziwienie, że jej brak nie zwrócił uwagi recenzentów opublikowanych artykułów, pomimo tego, że w artykule opublikowanym na łamach PLOS

ONE wyraźnie zaznaczono, że siła pola magnetycznego była monitorowana i określono wykorzystywane w tym celu urządzenie. Oczywiście, wykorzystany stop, z którego wykonano komorę, ma udowodnione działania izolujące pole magnetyczne, stąd należy się spodziewać, że oddziaływanie pola geomagnetycznego na niesporczaki było w grupach testowych znacząco ograniczone. Uściślenia wymaga natomiast stopień tej izolacji. W związku z tym proszę, by doktorantka określiła jaka była średnia wartość siły pola magnetycznego wyrażona w μT na zewnątrz i wewnątrz komory w trakcie przeprowadzanych eksperymentów.

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują na negatywny wpływ warunków hipomagnetycznych na zdolności anhydrobiotyczne i istotnie zwiększa śmiertelność osobników wszystkich testowanych gatunków. Są zatem pierwszym bezpośrednim dowodem na to, że skuteczność tego fizjologicznego procesu jest wysoce zależna od obecności pola geomagnetycznego. Po raz kolejny podkreśla to jak ogromną rolę odgrywa ono w funkcjonowaniu życia na Ziemi. Poczynione w badaniach obserwacje mają również znaczenie z astrobiologicznego punktu widzenia i wykorzystania tych organizmów w eksploracji kosmosu, a zwłaszcza obiektów planetarnych, które charakteryzują się nieporównywalnie słabszym polem magnetycznym niż ziemskie. Co więcej, opublikowane wyniki badań jednoznacznie wskazują, że eksperymenty dotyczące potencjalnego przetrwania niesporczaków w symulowanych warunkach innych planet (a zwłaszcza Marsa, który cieszy się obecnie największym zainteresowaniem) powinny uwzględniać magnetyczne uwarunkowania poszczególnych obiektów. W przeciwnym razie nie będą do końca odzwierciedlać rzeczywistości – praca Pani mgr Weroniki Erdmann dobitnie to podkreśla i sędzę, że będzie istotna w planowaniu eksperymentów przez dla innych badaczy.

Przeprowadzone badania wykazały ponadto, że najbardziej wrażliwym momentem na działanie warunków hipomagnetycznych jest powrót niesporczaków z anhydrobiozy do stanu aktywnego – w mniejszym stopniu izolowanie pola magnetycznego wpływa natomiast na zdolność wchodzenia w stan kryptobiozy. Niemniej jednak pomiędzy badanymi gatunkami zaobserwowano pewne różnice w sile wpływu warunków hipomagnetycznych, np. stwierdzono, że *E. testudo* jest mniej oporny na ich działanie w momencie powracania do stanu aktywnego w porównaniu do *H. exemplaris* oraz *M. inceptum*, ale najlepiej je znosi w momencie wchodzenia w anhydrobiozę. Ogólna śmiertelność była największa w przypadku

H. exemplaris – można zatem przyjąć, że był on gatunkiem najgorzej tolerującym ograniczone warunki pola magnetycznego. Poczynione w pracach różnice są bardzo ciekawe i wymagałyby dalszego wyjaśnienia. W polskojęzycznym wstępie doktorantka spekuluje, że mogą one wynikać z odmiennej anatomii i fizjologii testowanych gatunków niesporczaków, jednocześnie wskazując, że zajmowane przez nie siedlisko czy ich zdolności anhydrobiotyczne powinny mieć raczej wpływ drugorzędny. Jest to o tyle zaskakujące, iż w dyskusji pracy opublikowanej na łamach PeerJ podkreślono wyraźnie, że różnice te mogą wynikać właśnie z faktu, że zdolności anhydrobiotyczne kserotermicznych *E. testudo* i *M. inceptum* są większe niż *H. exemplaris*. Drugą nieścisłość dotyczy wyjaśnienia faktu, że warunki hipomagnetyczne, aczkolwiek wyraźnie szkodliwe dla niesporczaków, nie doprowadziły do śmierci wszystkich osobników. W omówieniu, doktorantka jednoznacznie stwierdza, że jest to konsekwencja zmienności w przeżywalności i oporności na czynniki fizyczne. Rodzi to jednak pytanie czy przypadkiem nie jest to rezultat nie homogennych warunków magnetycznych w zastosowanej komorze? Bez przedstawienia dokładnych danych dotyczących panujących w niej warunków i ich zmienności przestrzennej i czasowej nie sposób tego wykluczyć. Ponownie więc zwracam się z prośbą o szczegółowe omówienie w trakcie obrony pracy doktorskiej warunków magnetycznych panujących w układzie eksperymentalnym – jestem przekonany, że pozwoli to rozwiązać moje wątpliwości.

Warto podkreślić, że wszystkie artykuły naukowe składające się na cykl przedstawiony w dysertacji doktorskiej zostały opublikowane w otwartym dostępie (Open Access). Zgodnie z danymi dostępnymi poprzez bazę Google Scholar w momencie recenzji łączna liczba cytacji publikacji składających się na cykl wynosiła 19 i prawdopodobnie będzie systematycznie rosła. Można to wywnioskować choćby po statystykach wyświetleń artykułu przeglądowego na stronie wydawcy (Springer) - został on opublikowany 7 sierpnia 2021 r. i w przeciągu pół roku doczekał się ponad 4 tys. czytelników.

Podsumowując, przedstawiona mi do oceny dysertacja doktorska wnosi nowe informacje dotyczące biologii niesporczaków i ich tolerancji wobec niekorzystnych warunków środowiskowych, jak również – bardziej ogólnie - związków pomiędzy polem geomagnetycznym a funkcjonowaniem organizmów żywych. Z pewnością będzie również inspiracją do prowadzenia dalszych, bardziej szczegółowych badań dotyczących

mechanizmów, poprzez które izolowanie pola geomagnetycznego szkodliwie wpływa na organizmy żywe takie jak niesporczaki. Doktorantka miała istotny wkład w powstanie każdej z trzech publikacji naukowych, które łącznie stanowią spójny cykl.

Nie mam żadnych wątpliwości, iż rozprawa doktorska Pani mgr Weroniki Erdmann spełnia wszystkie warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym stawiane pracom na stopień doktora nauk biologicznych w dyscyplinie ekologii. Wnoszę więc do Rady Naukowej Wydziału Biologii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie mgr Weroniki Erdmann do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Dr hab. n. med.
Piotr Rzymki