

### 1. Imię i nazwisko.

**Joanna Maria Wyszowska**

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

**2008 Dyplom doktora nauk biologicznych w zakresie biologia** uzyskany na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi<sup>2</sup>. Praca doktorska pt. *Modyfikacja czynności układu nerwowego owada w wyniku ekspozycji w polu elektromagnetycznym niskiej częstotliwości*” wykonana w Zakładzie Biofizyki<sup>1</sup>. Promotor: prof. dr hab. Maria Stankiewicz. Recenzenci: prof. dr hab. Michał Caputa oraz prof. dr hab. Andrzej Krawczyk.

**2003 Dyplom magistra fizyki, w zakresie fizyka medyczna** uzyskany na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Praca magisterska pt. *Warunki ekspozycji kultur tkankowych w miniaturowej komorze bezdechowej na pasmo 900 i 1800 MHz.* Praca wykonana w Zakładzie Ochrony Mikrofalowej Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii w Warszawie. Promotor: prof. dr hab. Andrzej Kowalczyk (Uniwersytet Mikołaja Kopernika) i płk prof. dr hab. inż. Roman Kubacki (Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii)

**2003 Dyplom ukończenia czterosemestralnego Studium Pedagogicznego** przy Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu

**2001 Dyplom licencjata fizyki w zakresie fizyka medyczna i zastosowanie komputerów** uzyskany na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Praca licencjacka pt. *Relacyjna baza danych stabilograficznych (aplikacja Ms Access).* Praca wykonana w Zakładzie Biofizyki. Promotor: dr Maria Berndt-Schreiber

### 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

15.04.2016-14.02.2017 bezpłatny urlop naukowy związany z **zagranicznym stażem** The Japan Society for the Promotion of Science Invitation Fellowships for Research in Japan, Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University, Sapporo, Japonia

01.10.2013-31.03.2014 bezpłatny urlop naukowy związany z **zagranicznym stażem podoktorskim** w Centre for Biological Sciences, University of Southampton (Wielka Brytania) odbywanego w ramach projektu "Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno-przyrodniczych" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego - Program Operacyjny Kapitał Ludzki (Priorytet IV: Szkolnictwo wyższe i nauka, Działanie 4.1: Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 4.1.1: Wzmocnienie potencjału dydaktycznego uczelni).

01.10.2009- obecnie **adiunkt** w Zakładzie Biofizyki<sup>1</sup> Instytutu Biologii Ogólnej i Molekularnej<sup>2</sup>, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi<sup>3</sup>, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.

01.10.2003-30.09.2009 **asystent** w Zakładzie Biofizyki<sup>1</sup> Instytutu Biologii Ogólnej i Molekularnej<sup>2</sup>, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi<sup>3</sup>, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.

---

<sup>1</sup> Obecna nazwa: Katedra Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii

<sup>2</sup> Obecna nazwa: Instytut Biologii

<sup>3</sup> Obecna nazwa: Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych

#### 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z ustawy wskazuję monotematyczny cykl publikacji z lat 2016-2023 pod wspólnym tytułem:

#### **Kompleksowa ocena wpływu pola elektromagnetycznego na układ nerwowy i reakcje stresowe.**

Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe (Impact Factor (IF) roku wydania wg bazy Journal Citation Reports (JCR), liczba cytowań wg bazy Web of Science (WoS) i Scopus, punkty wg Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW, od 2021 Ministerstwo Edukacji i Nauki (MEiN)). Symbolem (\*) oznaczono nazwisko autora korespondencyjnego.

1. **Wyszowska, J.\***, & Pritchard, C. (2022). Open Questions on the Electromagnetic Field Contribution to the Risk of Neurodegenerative Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16150. DOI: 10.3390/ijerph192316150 (IF<sub>2022</sub> -; punktacja MNiSW: 140; liczba cytowań: WoS: 0; Scopus: 1(1-bez autocytań))

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: koncepcję pracy, opracowanie metodyki pracy, przeprowadzenie analizy danych statystycznych WHO i przeglądu literatury oraz przygotowanie manuskryptu do złożenia w wydawnictwie. Współuczestniczyłam w korektach wydawniczych jako autor korespondencyjny.

2. **Wyszowska, J.**, Jędrzejewski, T., Piotrowski, J.\*, Wojciechowska, A., Stankiewicz, M., & Kozak, W. (2018). Evaluation of the influence of in vivo exposure to extremely low-frequency magnetic fields on the plasma levels of pro-inflammatory cytokines in rats. *International Journal of Radiation Biology*, 94(10), 909–917. DOI: 10.1080/09553002.2018.1503428 (IF<sub>2018</sub>=2,266; punktacja MNiSW: 35; liczba cytowań: WoS: 13 (10-bez autocytań); Scopus: 12 (8-bez autocytań))

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: 1) koncepcję badań; 2) współudział w opracowaniu metodyki pracy; 3) wykonanie optymalizacji (ze względu na nowy model doświadczalny) stanowiska do ekspozycji na pole elektromagnetyczne oraz przeprowadzaniu ekspozycji na pole elektromagnetyczne; 4) analizę wyników; 5) współudział w napisaniu manuskryptu oraz w korekcie pracy po recenzjach; 6) pozyskanie finansowania na badania.

3. **Wyszowska, J.**, Shepherd, S., Sharkh, S., Jackson, C. W., & Newland, P. L.\* (2016). Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts. *Scientific Reports*, 6(1), Article 1. DOI: 10.1038/srep36413 (IF<sub>2016</sub>=4,259; punktacja MNiSW: 40; liczba cytowań: WoS: 27 (21-bez autocytowań); Scopus: 31 (21-bez autocytowań))

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: 1) współudział w opracowaniu koncepcji i metodyki pracy; 2) wykonanie optymalizacji (ze względu na nowe stanowisko prowadzenia badań i nowy model badawczy) stanowiska do ekspozycji na pole elektromagnetyczne oraz przeprowadzanie ekspozycji na pole elektromagnetyczne; 3) przeprowadzenie doświadczeń elektrofizjologicznych: rejestracji zewnątrzkomórkowych (siły kopnięcia) oraz wewnątrzkomórkowych z motoneuronu; 4) analizę wyników; 5) współudział w przygotowaniu manuskryptu; 6) pozyskanie finansowania na badania.

4. **Wyszowska, J.\***, Maliszewska, J., & Gas, P.\* (2023). Metabolic and Developmental Changes in Insects as Stress-Related Response to Electromagnetic Field Exposure. *Applied Sciences*, 13(17), Article 17. DOI: 10.3390/app13179893 (IF<sub>2023</sub>=2,7; punktacja MEiN: 100; liczba cytowań: WoS: 0; Scopus: 0)

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: 1) koncepcję badań; 2) współudział w opracowaniu metodyki pracy; 3) wykonanie doświadczeń polegających na: przeprowadzaniu ekspozycji na pole elektromagnetyczne, ocenie tempa metabolizmu i przeobrażenia owadów, współudziale w pomiarach stężenia CO<sub>2</sub>; 4) współudział w analizie wyników; 4) analizę statystyczną; 5) współudział w przygotowaniu manuskryptu, opracowanie graficzne wyników, oraz korektę manuskryptu po recenzjach; 6) pozyskanie finansowania na badania.

5. **Wyszowska, J.\***, Kobak, J., Aonuma, H. (2023) Electromagnetic field exposure affects the calling song, phonotaxis, and level of biogenic amines in crickets. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 40, str. 93255–93268. DOI: 10.1007/s11356-023-28981-0 (IF<sub>2023</sub>=5,8; punktacja MNiSW: 100; liczba cytowań: WoS: 0; Scopus: 0)

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: 1) współudział w opracowaniu koncepcji i metodyki pracy; 2) wykonanie doświadczeń polegających na: optymalizacji (ze względu na nowe stanowisko prowadzenia badań i nowy model badawczy) stanowiska do ekspozycji na pole elektromagnetyczne, przeprowadzaniu ekspozycji na pole elektromagnetyczne, rejestracji melodii, badanie fonotaksji, preparowaniu zwojów mózgowych, przygotowaniu prób do analizy oraz przeprowadzenie analiz HPLC; 3) współudział w analizie i interpretacji wyników; 4) współudział w napisaniu w manuskrypcie oraz korekcie pracy po recenzjach; 5) pozyskanie finansowania na badania.

6. Kieliszek, J., **Wyszowska, J.\***, Sobiech, J., Puta R. (2020) Assessment of the Electromagnetic Field Exposure during the Use of Portable Radios in the Context of Potential Health Effects. *Energies*, vol. 13, no. 23, art. no. 6276. DOI: 10.3390/en13236276 (IF<sub>2020</sub>: 3,004; punktacja MNiSW: 140; liczba cytowań: WoS: 5 (5-bez autocytowań); Scopus: 5 (5-bez autocytowań))

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował: 1) współudział w opracowaniu koncepcji i metodyki pracy; 2) współudział w przeprowadzaniu pomiarów rozkładu pola-EM oraz pomiarów prądów kończynowych, przeprowadzenie badań neurofizjologicznych; 3) współudział w analizie i interpretacji wyników; 4) współudział w napisaniu w manuskrypcie oraz korekcie pracy po recenzjach.

Sumaryczny impact factor publikacji wchodzących w skład osiągnięcia (zgodnie z rokiem opublikowania) wynosi **18,029**, a sumaryczna liczba punktów MNiSW/MEiN wynosi **555** (zgodnie z rokiem opublikowania). Sumaryczna liczba cytowań tych prac wg bazy Web of Science: 45 (36 bez autocytowań), wg bazy Scopus: 49 (35 bez autocytowań).

## **Wstęp**

Pole elektromagnetyczne jest nierozzerwalnie związane ze środowiskiem, w którym żyjemy. Jest wszechobecne na Ziemi, towarzyszy jej od początku istnienia i w rezultacie ma ważny wpływ na funkcjonowanie organizmów. Częsteczki biologiczne, jako elementarne składniki systemów żywych, czerpią swoje cechy strukturalne i funkcjonalne z nieodłącznych właściwości elektromagnetycznych obejmujących rozkład ładunku, konformację geometryczną i polaryzację molekularną. Te charakterystyczne cechy leżą u podstaw skomplikowanych interakcji, w których pośredniczą siły elektrostatyczne, wyznaczając kluczowe procesy, takie jak wiązanie enzym-substrat i skomplikowana komunikacja komórkowa. Podstawowe zjawiska fizjologiczne, w szczególności transdukcja sygnału neuronalnego, kurczliwość mięśni i rytmiczność serca, są napędzane przez siły elektromagnetyczne na poziomach subkomórkowym i molekularnym. Wiele organizmów, w tym kręgowce i bezkręgowce, posiada zdolność do postrzegania i reagowania na środowiskowe sygnały elektromagnetyczne wykorzystując ją jako sposób na przetrwanie, komunikację, nawigację i eksploatację dostępnych zasobów. Zjawiska te podkreślają istotny wpływ oddziaływań elektromagnetycznych na różne aspekty życia (Blank, 1995; Reilly, 2012).

W wyniku celowej, ogólnoswiatowej aktywności człowieka, wprowadzającej coraz to bardziej zaawansowane technologie, naturalne środowisko elektromagnetyczne uległo znacznym zmianom. Rozwój cywilizacji technicznej, a zwłaszcza elektryfikacji (np. elektro-energetyczne linie napowietrzne wysokiego napięcia) oraz upowszechnienie radiokomunikacji (np. stacje nadawcze radiowe i telewizyjne, stacje radiolokacyjne, radionawigacyjne, stacje bazowe telefonii komórkowej) powoduje, że rośnie spektrum częstotliwości i wartość natężenia pola elektromagnetycznego, na które ekspozowane są wszystkie organizmy. Terminem pole elektromagnetyczne (pole-EM) określa się zwykle pola zmienne w czasie, o częstotliwościach mniejszych niż 300 GHz (SCENIHR).

Biologiczny efekt narażenia na pole-EM zasadniczo zależy przede wszystkim od jego częstotliwości. Jednym z mechanizmów oddziaływania pola-EM na ludzi jest indukowanie pola elektrycznego wewnątrz ekspozowanych obiektów przewodzących i związany z tym polem przepływ prądu elektrycznego (Reilly, 1998). Przepływ prądu elektrycznego przez ciało osoby ekspozowanej na pole-EM może być skutkiem bezpośredniego oddziaływania pola-EM na człowieka (jest to tzw. prąd indukowany). Może on być również skutkiem oddziaływania pośredniego (tzw. prąd kontaktowy) np. w wyniku dotknięcia obiektów przewodzących (np. konstrukcje metalowe) ekspozowanych na pole-EM. Zarówno prądy indukowane, jak i kontaktowe, mogą zakłócać funkcjonowanie organizmu na skutek interferencji z endogennymi prądami elektrofizjologicznymi. Mogą one powodować stymulację centralnego układu nerwowego bądź mięśni lub/i nerwów obwodowych. Powyższe efekty występują szczególnie przy ekspozycji na pole-EM o częstotliwościach mniejszych od 100 kHz, ale można je również zaobserwować przy ekspozycji na pole-EM o częstotliwości do 20 MHz (ICNIRP, 2010; Karpowicz i in., 2008; Reilly, 2012). Prądy te mogą wywołać również skutki termiczne, tj. wzrost temperatury tkanek wewnątrz lub na powierzchni organizmu, co może prowadzić do ich uszkodzenia termicznego (zjawisko to występuje przy ekspozycjach na pole-EM o częstotliwościach powyżej 100 kHz, a dominuje powyżej 10 MHz). Trudności w ocenie skutków biologicznych działania

pola-EM polega na tym, że wywołanie efektu biologicznego nie zawsze wiąże się w prosty sposób z ilością przekazanej do układu energii.

Świadomość, że pole-EM nie jest czynnikiem obojętnym w stosunku do materii nieożywionej jak i ożywionej oraz gwałtowny wzrost liczby antropogenicznych źródeł pola-EM budzi zaniepokojenie nie tylko wśród naukowców: fizyków, biologów i lekarzy, ale również opinii publicznej o potencjalny negatywny wpływ na organizmy, w tym zdrowie ludzi oraz ewentualne konsekwencje ekologiczne. Obawy potęguje szybko rosnąca liczba bardziej lub mniej naukowych publikacji o możliwych biologicznych efektach oddziaływania pola-EM na zdrowie ludzi. Warto zwrócić uwagę, że mimo braku jednoznacznych wniosków działania pola-EM na zdrowie człowieka, działająca pod patronatem Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organisation*, WHO), Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (*International Agency for Research on Cancer*, IARC) zdecydowała o zaliczeniu zarówno pola-EM małych częstotliwości, jak i częstotliwości radiowych do czynników przypuszczalnie rakotwórczych dla ludzi (grupa 2B) (IARC, 2002, 2013; WHO, 2007). Podczas gdy badania epidemiologiczne sugerują możliwy związek między ekspozycją na pole-EM a wzrostem zachorowalności m.in. na choroby nowotworowe, neurodegeneracyjne i sercowo-naczyniowe (Davanipour & Sobel, 2009; SCENIHR; Simkó, 2004), to doświadczenia laboratoryjne nie potwierdzają jednoznacznie takiej zależności (Mattsson & Simkó, 2012).

W wielu schorzeniach zostało jednak potwierdzone doświadczalnie korzystne działanie pola-EM na organizm ludzki i jego zastosowanie terapeutyczne, np. w leczeniu osteoporozy, złamań, choroby zwyrodnieniowej oraz stanów zapalnych stawów, do gojenia się ran i uśmierzania bólu. Aczkolwiek należy tu zachować daleko idącą ostrożność, gdyż nie we wszystkich jednostkach chorobowych ich korzystne działanie zostało w pełni potwierdzone doświadczalnie, np. w chorobach nowotworowych czy krążeniowych (Hazlewood & Markov, 2009; Markov, 2007; Pilla, 2013; Sieroń i in., 2002).

Moje wcześniejsze badania (m.in. przedstawione w pracy doktorskiej) oraz coraz częściej pojawiające się doniesienia literaturowe wskazują, że pole-EM działa jako czynnik stresogenny (Simkó & Mattsson, 2004), który może prowadzić do m. in. do wzrostu aktywności ruchowej (Wyszowska i in., 2006a), zwiększenia opóźnienia ucieczki przed wysoką temperaturą (Maliszewska i in., 2018), stresu, niepokoju, zachowań przypominających depresję, oraz do deficytów pamięci (Jadidi i in., 2007; Kitaoka i in., 2013; Liu i in., 2008; Szemerszky i in., 2010). Ponadto, ekspozycja na pole-EM zwiększa poziom kortykosteronu, uwalnianie kortyzolu i noradrenaliny, powoduje aktywację osi podwzgórze-przysadka-nadnercza (HPA) oraz wywołuje stres oksydacyjny (Kitaoka i in., 2013; Kivrak i in., 2017; Mostafa i in., 2002; Sedghi i in., 2005).

Ostre reakcje na stres sprzyjają adaptacji i przetrwaniu poprzez reakcje układu nerwowego, sercowo-naczyniowego, autonomicznego, odpornościowego oraz zmiany w metabolizmie. Podczas gdy przewlekły stres może sprzyjać i zaostrzać patofizjologię poprzez te same układy, które są rozregulowane. Zatem niewykluczone jest, że negatywne efekty zdrowotne mogą mieć swoje podłoże w stresie wywołanym ekspozycją na pole-EM. Na przykład, zaburzenia w neurotransmisji amin wywołane stresem mogą potencjalnie prowadzić do zaburzeń neurologicznych, takich jak choroba Parkinsona, schizofrenia, deficyty poznawcze, lęki i depresja (Kobayashi, 2001; Taylor i in., 2005).

Opisywane reakcje stresowe wywołane ekspozycją na pole-EM odnoszą się przede wszystkim do układu nerwowego i wskazują głównie szkodliwe konsekwencje (Comba & Fazzo, 2009; Touitou i in., 2012). Niemniej jednak niektóre badania sugerują, że pole-EM o małym natężeniu lub krótkotrwałe może wykazywać działanie neuroprotektoryjne, np. przez produkcję

białek neuroprotektynowych, takich jak Hsp70 czy BDNF, a także zwiększenie aktywności enzymów antyoksydacyjnych (Cichon i in., 2018; Cichoń i in., 2017; Cuccurazzu i in., 2010; Tasset i in., 2012).

Badania wykazały, że ekspozycja na pole-EM prowadzi do aktywacji reakcji komórek na stres np. przez indukcję ekspresji genów odpowiedzi na stres, takich jak *Hsp70*. Niektórzy autorzy podkreślają, że początek odpowiedzi na stres w wyniku ekspozycji na pole-EM powinien być uważany za wskaźnik potencjalnego szkodliwego oddziaływania pola-EM, opierając się na koncepcji, że odpowiedź na stres jest reakcją obronną komórki na czynniki uszkodzające (Blank & Goodman, 2009; Goodman & Blank, 1998). Inni autorzy sugerują, że korzystne efekty (takie jak ochrona przed innymi czynnikami stresogennymi) mogą być wywoływane przez stres, w tym również ekspozycja na pole-EM, jeśli działają jako łagodny (*mild*) czynnik stresujący. Ponadto komórkowe mechanizmy homeostazy mogą szybko kompensować zakłócenia fizjologiczne wywołane właśnie umiarkowanym stresem (Carmody i in., 2000; Guerriero & Ricevuti, 2016; Zeni i in., 2017). Z drugiej strony pole-EM może również zmniejszyć tolerancję komórek na dodatkowe czynniki stresowe np. wywołujące stres oksydacyjny. To z kolei może istotnie zwiększać ryzyko rozwoju chorób neurodegeneracyjnych czy nowotworów (Falone i in., 2007; Simkó, 2004). Nadal nie znamy granicy ekspozycji na pole-EM, powyżej której możliwości adaptacyjne organizmu zostają przekroczone i procesy wywołane przez pole-EM stają się niekorzystne. Lepsze zrozumienie wpływu pola-EM na poziomie komórkowym, molekularnym, fizjologicznym i behawioralnym pozwoli uzupełnić istniejący stan wiedzy na temat wpływu pola-EM na reakcje organizmu i funkcje układów. Ważne jest zrozumienie ryzyka związanego z wpływem pola-EM na powstawanie zaburzeń związanych ze stresem, w tym konsekwencji neurodegeneracyjnych. Poznanie mechanizmów działania pola-EM może ocenić ryzyko na jego ekspozycję. Dodatkowo może rozwinąć kierunki badań nad wykorzystaniem pola-EM w profilaktyce i leczeniu wielu różnych chorób (Klimek & Rogalska, 2021).

Mimo kilkudziesięciu lat prowadzenia intensywnych prac nad wpływem pola-EM na zdrowie, problem ten wydaje się być wciąż daleki od ostatecznego rozwiązania. Różnorodność i zmienność efektów biologicznych wynikających z ekspozycji na pole-EM utrudnia próby usystematyzowania wyników badań oraz wyciągnięcia jednoznacznych wniosków co do potencjalnej szkodliwości działania pola-EM. Brak też całościowych opracowań przygotowanych na podstawie badań na jednym modelu badawczym, ale wykonanych na różnych poziomach jego funkcjonowania. Ponadto zbyt często aspekty techniczne ekspozycji na pole-EM są przedstawiane w sposób uniemożliwiający odtworzenie warunków badań, a nawet określenie rzeczywistej ekspozycji, przez co wyniki takich badań nie mogą być uznane za miarodajne. W obliczu licznych badań nad skutkami działania pola-EM konieczne jest usystematyzowanie wiedzy dla lepszego zrozumienia tego zjawiska, w celu zmniejszenia ryzyka związanego z narażeniem na ten czynnik, ale także rozpoznania możliwości zastosowania go jako środka leczniczego (Bieńkowski & Wyszowska, 2015; Markov, 2007; SCENIHR).

Dążenie do pogłębienia wiedzy na temat mechanizmu działania pola-EM na organizmy, zwłaszcza układ nerwowy było powodem podjęcia badań stanowiących podstawę mojej rozprawy habilitacyjnej. Dodatkowo, w związku ze wspomnianym faktem, że wielu wyników badań nad wpływem działania pola-EM na organizmy nie można ze sobą porównać, co nie pozwala na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków, postanowiłam przeprowadzić usystematyzowane, przekrojowe badania w tym zakresie.

**Celem badań** była kompleksowa ocena wpływu pola-EM na układ nerwowy i reakcje stresowe.

W swoich badaniach założyłam, że ekspozycja na pole-EM, zwłaszcza niskich częstotliwości, wywołuje reakcje stresowe w organizmach. W zależności od poziomu stresu, co z

kolei jest uzależnione od parametrów ekspozycji (tzw. protokołu ekspozycji), w tym poziomu natężenia pola-EM, czasu ekspozycji i rodzaju ekspozycji (ciągła czy przerywana), zmieniają się parametry fizjologiczne określające stan organizmu, które mogą być odbierane jako pozytywne lub negatywne. Prace stanowiące osiągnięcie naukowe są rozwinięciem badań przedstawionych w mojej pracy doktorskiej, w której opisałam zmiany wywołane w funkcjonowaniu układu nerwowego owada pod wpływem ekspozycji na pole-EM (50 Hz, 7 mT) oraz wykazałam udział oktopaminy-hormonu stresu, w obserwowanych efektach.

Prezentowane badania prowadziłam w oparciu o następujące założenia:

- W doświadczeniach wykorzystano różne modele badawcze, lub jeden model na różnym poziomie organizacji
- Wszystkie eksperymenty laboratoryjne przeprowadzono przy ściśle określonych i powtarzalnych warunkach doświadczalnych i procedurach ekspozycji na pole-EM.
- Jako wzbudnika pola-EM w doświadczeniach laboratoryjnych wykorzystywano cewkę, aplikator stosowany w magnetoterapii. Dla grup kontrolnych skonstruowano zestawy gwarantujące identyczne warunki doświadczalne z pominięciem ekspozycji na pole-EM. Przygotowanie, opisanie i sprawdzenie zestawów pod kątem wykorzystania ich do doświadczeń laboratoryjnych na żywych organizmach stanowiły część mojej pracy doktorskiej. Zestawy doświadczalne zostały szczegółowo opisane (Bieńkowski i in., 2015; Bieńkowski & Wyszowska, 2015; Trawiński i in., 2007, 2010).
- Stosowaną ekspozycję na pole-EM w doświadczeniach laboratoryjnych ograniczono do dwóch wartości indukcji magnetycznej: 1 i 7 mT oraz do dwóch trybów: ekspozycji ciągłej: 24h/d oraz powtarzanej 1h/d x 5-7 dni.

Doboru wartości indukcji magnetycznej dokonano w oparciu o zalecane wartości graniczne narażenia zawodowego określone w wytycznych Dyrektywy Unii Europejskiej 2013/35/UE, zgodnie z którymi, 1 mT stanowi wartość progową (tzw. *low Action Levels, ALs*) indukcji magnetycznej dla pola-EM o częstotliwości 50 Hz, po przekroczeniu której, można spodziewać się niewielkich przejściowych zmian w funkcjonowaniu w mózgu. Jednocześnie narażenie pracowników na pole-EM (50 Hz) nie może przekroczyć wartości 6 mT (tzw. *high Action Levels, ALs*) (Directive, 2013).

Zakładając cel moich badań jako określenie mechanizmów działania pola-EM, kierowałam się licznymi doniesieniami literaturowymi wskazującymi, że ekspozycja na pole-EM o natężeniu większym niż 6 mT powoduje wymierne efekty biologiczne, o potwierdzonych efektach biologicznych, takich jak generowanie synchronicznych wyładowań sieci neuronowych (Calvo & Azanza, 1999), modyfikacja aktywności motorycznej (Pešić i in., 2004), wywoływanie zachowań depresyjnych i wydzielanie kortykosteronu (Kitaoka i in., 2013), wytwarzanie wolnych rodników w mózgu (Ciejka i in., 2011), modulowanie obrony antyoksydacyjnej (Todorović i in., 2012) i upośledzanie konsolidacji pamięci przestrzennej (Jadidi i in., 2007). Podobnie wartość 1 mT często pojawia się w badaniach laboratoryjnych mających na celu wyjaśnienie biologicznych skutków pola-EM. Jednak w odróżnieniu do 7 mT, zastosowanie ekspozycji 1 mT daje mniej jednoznaczne wyniki, albo brak efektu lub działania zarówno negatywne jak i pozytywne co obszernie omówiono w doniesieniu Moretti i in. (2005). Ponadto w warunkach naturalnych ptaki i owady latające mogą być narażone na pole-EM o takich wartościach natężenia, m.in. w bliskim sąsiedztwie linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, gdzie poziom narażenia może wynosić 0,6 mT w odległości 1 m i prawie 14 mT w odległości 1 cm od przewodu linii przesyłowych 400 kV (Petrović i in., 2013).

Omówienie mojego osiągnięcia naukowego rozpocznę od przedstawienia pracy poświęconej rosnącej zapadalności na choroby neurodegeneracyjne (*Neurodegenerative Diseases*, NDD) i jej związku z zwiększającą się ekspozycją na pole-EM (**Wyszowska & Pritchard, 2022; Zał. 3, pkt. 4, poz. 1**). Omawiana praca składa się z dwóch części. W części pierwszej przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat potencjalnego związku ekspozycji na pole-EM z występowaniem NDD na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań epidemiologicznych, *in vitro* i *in vivo*, dotyczących wpływu ekspozycji na pole-EM na występowanie NDD takich jak choroba Alzheimera i Parkinsona, stwardnienie zanikowe boczne i stwardnienie rozsiane. Informacje o możliwym udziale pola-EM w występowaniu oraz w leczeniu chorób neurodegeneracyjnych opisano również we wcześniejszych pracach przeglądowych (Jankowska i in., 2018; **Wyszowska**, i in., 2019), których jestem współautorem. Bez wątpienia obserwuje się rosnącą liczbę przypadków autyzmu, dysleksji, zespołu nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi i chorób neurologicznych, takich jak stwardnienie zanikowe boczne, stwardnienie rozsiane, choroba Parkinsona, wczesna demencja, zanik wieloukładowy i postępujące porażenie nadjądrowe. W pracach z ostatnich lat zwraca się uwagę na związek występowania NDD z polem-EM wynikający raczej z ekspozycji zawodowej niż środowiskowej (Huss i in., 2018). Jednak nadal nie można jednoznacznie stwierdzić czy za wzrost występowania NDD odpowiada rosnąca ekspozycja na pole-EM. Ustalenia są niespójne, niektóre nie wykazały powiązania pola-EM z neuropatologią lub wykazały wręcz działanie terapeutyczne (Ciejka i in., 2018; Tasset i in., 2012).

W drugiej części pracy przeprowadzono analizę danych statystycznych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), dotyczących śmiertelności związanej z chorobami neurologicznymi (*Neurological Mortality*, NM) (WHO Mortality Database). Ogólne pojęcie NM jakim się posługiwano w pracy obejmuje główne stany, takie jak stwardnienie zanikowe boczne (*Amyotrophic Lateral Sclerosis*, ALS), chorobę Parkinsona (*Parkinson's disease*, PD), stwardnienie rozsiane (*Multiple Sclerosis*, MS) oraz choroba Alzheimera (*Alzheimer's Disease*, AD) i inne zgony z powodu demencji (*AD and Other Dementia Deaths*). Analizie poddano dane pozyskane z 21 krajów rozwiniętych (*Developed Countries*, DC), z okresu od roku 2000 do 2015. Uzyskane wyniki wskazują, że w badanym okresie nastąpił wzrost śmiertelności neurologicznej (NM), przewyższający zmiany w populacji, tj. rosnącej ogólnej liczby populacji oraz rosnący udział osób w wieku 55-74 lat w populacji ogólnej. Na przykładzie Wielkiej Brytanii w analizowanym okresie stwierdzono, że liczba ludności w wieku 55-74 lat wzrosła o 25%, przy czym liczba przypadków NM w tej grupie wiekowej wzrosła z 4650 do 9019 (o 94%), całkowita liczba NM w całej populacji tego kraju wzrosła z 24 601 do 103 550 przypadków, czyli ponad trzykrotnie, podczas gdy całkowita populacja wzrosła zaledwie o 9%. Przyrost śmiertelności neurologicznej jest znaczący, zwłaszcza, że dane dotyczą tylko okresu 15 lat. Wyniki wskazują również, że poprzedni pogląd, zgodnie z którym wzrost zachorowań wynika z demografii (większa liczba osób starszych w populacji), może być błędny. Nie ma wątpliwości, że mamy do czynienia z epidemicznym wzrostem liczby zgonów z powodu chorób neurologicznych, przewyższającym wszelkie wyjaśnienia demograficzne, w tym hipotezę Gompertza, zgodnie z którą ludzie żyją coraz dłużej, a więc zapadają na choroby związane z wiekiem (Easton, 2005), a także rosnącą skutecznością diagnostyki chorób neurologicznych. Zatem wydaje się oczywistym, że przy tak szybkim tempie wzrostu NM muszą mieć udział, oprócz predyspozycji genetycznych, inne czynniki np. środowiskowe. To, czy pole-EM odgrywa bezpośrednią rolę w omawianym wzroście NM, jest nadal kwestią otwartą. W literaturze pojawiła się nowa teoria, według której zaczęto postrzegać pole-EM jako czynnik środowiska wyzwalający szkodliwe działanie innych substancji zanieczyszczających środowisko np. związków aluminium, czy szkodliwych środków



chemicznych stosowanych w rolnictwie i gospodarstwach domowych. Jednak przegląd aktualnych danych literaturowych (w tym prace mojego autorstwa) nie potwierdzają jednoznacznie takiej interakcji. Badania prowadzone w celu wskazania możliwego związku pomiędzy NDD a ekspozycją na pole-EM różnią się pod względem zastosowanego pola-EM i innych czynników środowiskowych oraz czasu trwania narażenia, co uniemożliwia osiągnięcie powtarzalnych wyników i zadowalających, jednoznacznych wniosków. Jak wspomniano we wstępie autoreferatu, obecne dane naukowe nie są wystarczające, aby określić zależność poszczególnych efektów od parametrów narażenia na pole-EM, a tym samym określić liczbową wartość proggu narażenia, przy którym mechanizmy obronne każdego organizmu ludzkiego są niewystarczające (lub wystarczające) do ochrony zdrowia.

W świetle aktualnego stanu wiedzy, celem przedstawionej pracy było zaprezentowanie, jak złożony jest to problem, jak trudno jest porównywać dane między sobą, a co za tym idzie, trudno formułować wnioski pomimo istnienia dużej ilości dostępnych danych. Nie można przeoczyć wpływu pola-EM na występowanie NDD i należy prowadzić bardziej systematyczne, wystandaryzowane badania, np. z wykorzystaniem modeli zwierzęcych, dobrze zaprojektowanego systemu ekspozycji na pola-EM i dobrze zdefiniowanej dozymetrii, na co również wskazywałam w swoich publikacjach (Bieńkowski & **Wyszowska**, 2014; **Wyszowska**, i in., 2018).

Biorąc pod uwagę, że istnieje potencjalny związek między narażeniem na pole-EM o bardzo niskiej częstotliwości, reakcją stresową i występowaniem chorób neurodegeneracyjnych, postanowiono ocenić zmiany stężenia cytokin, a także parametry hematologiczne u szczurów eksponowanych na pole-EM. Dodatkowo, sprawdzono zależność potencjalnych zmian od rodzaju przeprowadzonej ekspozycji na pole-EM (**Wyszowska, i in., 2018, Zał. 3, pkt. 4, poz. 2**). W tym celu zastosowano ekspozycję na pole-EM o określonej częstotliwości i wartości indukcji magnetycznej (50 Hz, 7 mT), o dwóch różnych protokołach ekspozycji, tzn. zastosowano ekspozycję jednorazową, ciągłą przez 24h (stosowaną we wcześniejszych doświadczeniach) oraz ekspozycję powtarzaną, 1 godzinę dziennie przez 7 dni (nawiązującą do protokołu stosowanego w magnetoterapii). Pola magnetyczne stosowane w magnetoterapii jako element medycyny fizykalnej, zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami fizycznymi i kryteriami medycznymi, mają częstotliwość niższą niż 100 Hz, wartość indukcji magnetycznej w zakresie od 0,1 do 20 mT i czasy ekspozycji od 30 do 60 minut przez 1 – 2 tygodnie (Ciejka i in., 2011; Karpowicz, 2015; Sieroń i in., 2002). Zakładając, że efekt biologiczny zależy od konkretnej odpowiedzi cytokin, celem niniejszych badań było określenie wpływu pola-EM na poziom wybranych cytokin: prozapalnych (IL-1 $\beta$ , IL-6), przeciwzapalnych (IL-10) i IL-2, która odgrywa kluczową rolę w tolerancji, odporności i aktywacji limfocytów T. Ponadto, ponieważ dane dotyczące wpływu pola-EM na dane hematologiczne uzyskane w różnych badaniach są sprzeczne, postanowiono również monitorować tę cechę fizjologiczną podczas eksperymentów. Ocenie poddano zmiany w składzie ilościowym populacji leukocytów: całkowita liczba leukocytów, liczba limfocytów, monocytów, granulocytów; liczbie erytrocytów i wskaźnikach erytrocytarnych: hemoglobinie, hematokrycie; liczbie płytek krwi. Doświadczenia przeprowadzono na samcach szczurów rasy Wistar [Strain: Wistar Crl: WI (Han)] zakupionych w Centrum Badań Medycznych im. Mossakowskiego Polskiej Akademii Nauk (Warszawa, Polska). Analizy wykonano za pomocą odpowiednio testów immunoenzymatycznych ELISA oraz automatycznego analizatora hematologicznego.

Uzyskane wyniki wskazują, że pojedyncza i ciągła (trwająca 24h) ekspozycja w polu elektromagnetycznym (50 Hz, 7 mT) spowodowała znaczny wzrost poziomu IL-1 $\beta$ , IL-6 i IL-2 w osoczu i podwyższenie parametrów krwi, takich jak białe krwinki, limfocyty, hemoglobina i

poziom hematokrytu. W przeciwieństwie do tego, powtarzalna ekspozycja szczurów na pole-EM przez 1 godzinę dziennie przez 7 dni nie doprowadziła do żadnych zmian w poziomach cytokin we krwi i parametrach hematologicznych. Ekspozycja szczurów na pole-EM zarówno pojedyncza, jak i powtarzana nie miała wpływu na stężenie IL-10 w osoczu.

Wyniki wykazały również, że ekspozycja na pole-EM wywołała pewne zaburzenia hematologiczne, które wydawały się być związane z czasem trwania ekspozycji. Ekspozycja szczurów na pole-EM przez 24h spowodowała ogólny wzrost stężenia hemoglobiny, poziomu hematokrytu, białych krwinek, limfocytów i czerwonych krwinek, podczas gdy liczba granulocytów, monocytów i płytek krwi pozostały niezmienione. Zaobserwowana leukocytoza w rzeczywistości objawiała się limfocytozą. Nie zaobserwowano jednak żadnych istotnych różnic we wszystkich zmierzonych parametrach hematologicznych u zwierząt narażonych na powtarzalną ekspozycję na pole-EM.

Z pewnością stres jest jednym z czynników wpływających na układ odpornościowy w zależności od rodzaju, poziomu i czasu trwania czynnika stresogennego. Uważa się również, że może powodować leukocytozę odwracalną w ciągu kilku godzin od wyeliminowania czynnika inicjującego (Abramson & Melton, 2000). Na podstawie tych danych wnioskujemy, zgodnie z naszymi założeniami, że czas trwania/protokół-tryb ekspozycji odgrywa istotną rolę w odpowiedzi immunologicznej, szczególnie na poziomie komórkowym. Podczas gdy pojedyncze ekspozycje trwające 24h wywoływały zmiany wskazujące na stymulację odpowiedzi immunologicznej, to w warunkach zbliżonych dla terapeutycznego stosowania pola-EM (powtarzane krótkie codzienne ekspozycje) nie zaobserwowano odpowiedzi immunologicznej potencjalnie szkodliwej.

Uzyskane wyniki potwierdzają założenia, że potencjalny udział pola-EM w zaburzeniach neurodegeneracyjnych i innych chorobach jest związany z reakcjami stresowymi lub zmianami w funkcjonowaniu układu odpornościowego (Frahm i in., 2006; Huss i in., 2009; Selmaoui i in., 2011; Simkó & Mattsson, 2004). Wiadomo, że stres silnie wpływa na układ odpornościowy, a jego wpływ zależy od rodzaju, poziomu i czasu trwania stresora. W warunkach podobnych do stresu występuje aktywacja osi HPA i współczulnego układu nerwowego, powodując wzrost poziomu glikokortykoidów i katecholamin we krwi (Gu i in., 2012; Tian i in., 2014). Z kolei hormony te modyfikują wydzielanie cytokin (Kim i in., 2006). Powszechnie przyjmuje się, że stres tzw. ostry lub przewlekły i łagodny leży u podstaw prozapalnej ekspresji genów, dojrzewania i migracji komórek dendrytycznych, zwiększonej liczby makrofagów oraz podwyższenia rekrutacji i aktywności komórek T (Gu i in., 2012; Tian i in., 2014), natomiast długotrwały, umiarkowany stres psychiczny prowadzi do zmniejszenia prozapalnych i wzrostu przeciwzapalnych cytokin u ludzi (Vitlic i in., 2014). Dlatego osoby narażone na przewlekłe wysokie poziomy stresu mogą cierpieć z powodu deregulacji układu odpornościowego, zwiększając w ten sposób podatność na infekcje i choroby autoimmunologiczne. Ponieważ wiele badań sugeruje, że istnieje związek między aktywacją immunologiczną objawiającą się markerami stanu zapalnego (cytokiny, liczba komórek odpornościowych) a rozwojem chorób neurodegeneracyjnych (Cao i in., 2011; Martorana i in., 2012; Shad i in., 2013), uzyskane wyniki stanowią ciekawy punkt do dyskusji na ten temat. Na podstawie tych danych postulujemy, że czas/tryb ekspozycji na pole-EM jest krytycznym czynnikiem aktywacji immunologicznej, a przekroczenie limitów ekspozycji może zwiększać ryzyko rozwoju chorób i może być uznane za niebezpieczne.

Kolejne badania przeprowadzono na owadach. Modele owadzie doskonale nadają się do oceny wpływu pola-EM, pozwalając na obserwację zmian w obrębie jednego modelu na wielu poziomach organizacji biologicznej, w tym efektów poznawczych, behawioralnych, ekologicznych,

fizjologicznych i molekularnych oraz ich mechanizmów (Baier i in., 2002; Horch i in., 2017; **Wyszowska**, i in., 2018). Uważam, że takie wielokierunkowe podejście może przybliżyć nas do zdefiniowania mechanizmu oddziaływania pola-EM na organizmy. Obecne trendy wskazują ogólnie na znaczny spadek liczebności owadów przez co najmniej ostatnie trzy dekady. W ostatnim czasie jako jedną z przyczyn szybkiego wymierania populacji pszczoł miodnych, uznawanych za ważnego zapylacza o światowym znaczeniu, wskazano rosnącą ekspozycję na pole-EM (Hallmann i in., 2017; Leather, 2018; **Wyszowska** i in., 2019). Niewątpliwie dużą zaletą modeli owadzych, jest łatwość ich hodowli, krótkie cykle rozwojowe oraz możliwość uzyskania dużej liczby osobników. W konsekwencji możliwe jest śledzenie całej ontogenezy, a więc dobór do doświadczeń zwierząt na jednakowym etapie rozwoju. Kolejną zaletą jest duża przeżywalność preparatów ze zwierząt bezkręgowych, dochodząca do kilku godzin. Dodatkowo, wielkość i dostępność poszczególnych elementów ich układu nerwowego niewątpliwie ułatwiają przeprowadzenie doświadczenia.

Podsumowując, doświadczenia z wykorzystaniem owadów, dają nie tylko możliwości kompleksowej oceny wpływu pola-EM na organizmy, w tym potencjalnych mechanizmów jego działania, ale również wskazują potencjalne skutki ekologiczne rosnącej ekspozycji na pole-EM.

Mając na uwadze wyniki moich wcześniejszych doświadczeń wskazujących m.in. na zwiększoną aktywność lokomotoryczną karaczana w wyniku ekspozycji na pole-EM (50 Hz, 7 mT) (**Wyszowska** i in., 2006a, 2006b) postanowiłam zbadać efekt działania ekspozycji owadów na pole-EM na poziomie mięśni szkieletowych i motoneuronów. W tym celu podjęłam współpracę z Panem profesorem Philipem L. Newlandem, który w swoim laboratorium dysponował opracowanym modelem doświadczalnym (szarańczy pustynnej *Schistocerca gregaria* Forskål) oraz metodami do oceny funkcjonowania układu mięśniowo-nerwowego tych owadów. Wyniki tej współpracy przedstawiono w kolejnej pracy (**Wyszowska** i in., 2016, Zał. 3, pkt. 4, poz. 3). Szarańcza pustynna jest doskonale opisanym modelem doświadczalnym, który umożliwia zrozumienie neurofizjologii owadów poddanych np. działaniu pola-EM i jest również ważnym ekonomicznie szkodnikiem rolniczym. Owady pochodziły z insektarium University of Southampton w Wielkiej Brytanii. W niniejszej pracy określono również czy obserwowane zmiany zależą od parametrów stosowanej ekspozycji na pole-EM. W tym przypadku częstotliwość (50 Hz) i czas ekspozycji (24h) były stałe, natomiast wartość indukcji magnetycznej była zmienna: 1, 4 i 7 mT.

Doświadczenia rozpoczęto od oceny aktywności lokomotorycznej owada polegającej na swobodnym przemieszczaniu w tunelu o długości 30 cm uwzględniającej: liczbę prób, w których szarańcza przeszła całą długość tunelu (ukończenie tunelu), pomiary całkowitego (łącznie) przebytego dystansu i czasu ukończenia tunelu. Uzyskane wyniki wskazują, że ekspozycja na pole-EM (4 i 7 mT) prowadzi do zmniejszenia przemieszczania się owadów (liczba ukończonego tunelu mniejsza) w porównaniu z grupą kontrolną. Porównując przemieszczanie szarańczy eksponowanej na pole-EM z odpowiednią grupą kontrolną, zaobserwowano zmniejszenie średniego dystansu pokonywanego przez szarańczę w ciągu 5 min (dla 4 i 7 mT). Jedynie ekspozycja na 7 mT wpłynęła na skrócenie czasu ukończenia tunelu w porównaniu ze zwierzętami kontrolnymi, czyli ekspozycja na pole-EM znacząco zwiększyła prędkość z jaką szarańcza przechodziła przez tunel. Ekspozycja na 1 mT nie wpłynęła na aktywność lokomotoryczną badanych owadów.

W kolejnym etapie doświadczeń oceniono wpływ ekspozycji na pole-EM na siłę mięśni (kopnięcia) szarańczy. W tym celu stymulowano mięsień prostownik piszczelowy (*extensor tibiae*

muscle, ETi) tylnego odnóża w celu wywołania kopnięcia. W wyniku ekspozycji na pole-EM redukcji uległa siła kopnięcia tylnej kończyny, efekt był znaczący jedynie dla 7 mT.

Ponieważ jedynie ekspozycja na 7 mT wywoływała znaczące efekty u szarańczy, w kolejnych eksperymentach ograniczono ekspozycje owadów tylko do tej wartości pola-EM. Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie wewnątrzkomórkowej rejestracji w zwoju śródtułowiowym (*metathoracic ganglion*) czynności motoneuronu szybkiego prostownika kości piszczelowej tylnego odnóża (*fast extensor tibiae*, FETi), który unerwia mięsień ETi stosując metody opisane wcześniej (Alessi i in., 2014; Newland & Kondoh, 1997). Poprzez elektryczną stymulację mięśnia ETi wywoływano antydromową odpowiedź motoneuronu FETi. Ocenie poddano dynamikę potencjału czynnościowego i parametry pobudzającego potencjału postsynaptycznego (*excitatory postsynaptic potential*, EPSP) wynikające z informacji z mechanoreceptorów (*campaniform sensilla*) (Burrows & Pflüger, 1988) pod wpływem ekspozycji na pole-EM o wartości 7 mT.

Nie stwierdzono istotnego wpływu ekspozycji na pole-EM na amplitudę potencjału czynnościowego i sumarycznego potencjału czynnościowego EPSP w FETi. Zaobserwowano jednak wzrost opóźnienia potencjału czynnościowego FETi, chociaż ekspozycja na pole-EM nie miała wpływu na opóźnienie EPSP. Wydłużeniu uległ czas trwania potencjału czynnościowego FETi u owadów ekspozowanych na pole-EM, czas trwania EPSP nie uległ zmianie.

W ostatnim etapie zbadano wpływ ekspozycji na pole-EM o wartości 7 mT na poziom ekspresji białka Hsp70 metodą Western-Blotting z wyizolowanych zwojów śródtułowiowych (zawierających ciała komórkowe FETi) stosując metodę dla szarańczy (Wu i in., 2001). Wyniki wskazują na wzrost poziomu Hsp70, co sugeruje, że na poziomie molekularnym ekspozycja na wysokie wartości pola-EM wpływa na procesy stresowe, a zmiany te mogą leżeć u podstaw innych efektów obserwowanych w tym badaniu.

Podsumowując, w niniejszej pracy wykazano, że ekspozycja na pole-EM o wartości powyżej 4 mT wpływa na czynność układu nerwowo-mięśniowego, zmniejszając aktywność lokomotoryczną i siłę kopnięcia, a także zwiększa poziom białek stresowych u szarańczy.

Wiadomym jest, że ekspozycja na pole-EM indukuje w organizmach pola i prądy elektryczne, które mogą potencjalnie pobudzać neurony i możliwe jest, że w trakcie trwającej 24h ekspozycji na pole-EM, powtarzające się podprogowe pobudzenie układu nerwowo-mięśniowego szarańczy mogło doprowadzić do „zmęczenia” organizmu, co można było zaobserwować w obniżeniu siły kopnięcia czy wydolności chodu. Obserwowane efekty mogą być również spowodowane zmianami w poziomach  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  oraz aktywności  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ATPazy (Blank, 2005) a także zmianami stężenia  $\text{Ca}^{2+}$  (Barbier i in., 1996; Sun i in., 2016) wywołanymi działaniem pola-EM. Uzyskane wyniki potwierdzają, że ekspozycja na pole-EM o dużej wartości indukcji magnetycznej może mieć znaczący wpływ na zachowanie i funkcjonowanie układu nerwowo-mięśniowego owadów, obserwowane efekty można uznać za ich reakcję stresową na działanie tego pola, którą niewątpliwie potwierdza ekspresja białka Hsp70. Ponadto wyniki stanowią podstawę do zbadania ekologicznego znaczenia tych skutków na inne owady, zwłaszcza latające więc narażone na ekspozycje na duże wartości pola-EM (np. bliskość linii energoelektrycznych).

Kontynuując ocenę działania pola-EM jako czynnika stresogennego u owadów, w kolejnej pracy postanowiono zbadać wpływ ekspozycji na pole-EM na tempo metabolizmu i metamorfozy jako potencjalne wskaźniki stresu (Wyszowska i in., 2023; Zał. 3, pkt. 4, poz. 4). Aby ocenić te zmiany, wykorzystano szeroko stosowany i dobrze udokumentowany model owadzi- *Tenebrio molitor* L. (*Tenebrionidae*, *Coleoptera*), powszechnie znany jako mącznik młynarek. Owady

pozyskano z insektarium Katedry Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

*Tenebrio molitor* wykorzystywany był jako doskonały bioindykator w licznych eksperymentach ze względu na jego wyraźną zaletę, którą jest większa odporność i przeżywalność w porównaniu z innymi gatunkami owadów, gdy jest narażony na różne czynniki stresowe (Costantino i in., 1997). Metamorfoza i metabolizm owadów stanowią szczególnie interesujące procesy oceny warunków stresowych ze względu na ich naturalną wrażliwość i zdolność reagowania na zmiany środowiskowe. Skomplikowane przemiany fizjologiczne i biochemiczne w nich zachodzące czynią je wiarygodnymi wskaźnikami efektów wywołanych stresem. Co więcej, zmiany w metamorfozie i metabolizmie w odpowiedzi na stres dostarczają cennych informacji na temat strategii adaptacyjnych stosowanych przez te owady w celu radzenia sobie z trudnymi warunkami panującymi w środowisku. W konsekwencji badanie tych procesów zapewnia kompleksowe zrozumienie wpływu stresu na fizjologię owadów, co można ekstrapolować na szersze konteksty ekologiczne i środowiskowe. W pracy przyjęto założenie, że ekspozycja na pole-EM działa jako stresor, wpływając na tempo metabolizmu i metamorfozy owada w sposób zależny od wartości indukcji magnetycznej i stadium rozwoju owada.

Doświadczenia przeprowadzono na osobnikach dorosłych, poczwarkach i stadium larwalnym mącznika młynarka stosując ekspozycję na pole-EM o dwóch wartościach indukcji magnetycznej: 1 i 7 mT. Zmiany w tempie metabolizmu oceniano poprzez szybkość utraty wagi, śmiertelność, produkcję CO<sub>2</sub> i poziom cukru w hemolimfie, natomiast metamorfozę poprzez czas pojawienia się pierwszej poczwarki a następnie imago oraz liczby pomyślnie przemienionych poczwarek i dorosłych z eksponowanych na pole-EM larw.

Uzyskane wyniki pokazują, że ciągła ekspozycja na pole-EM o wartości indukcji 7 mT, w przeciwieństwie do ekspozycji na pole-EM o wartości 1 mT, skutkowałą przyspieszoną utratą masy ciała zarówno dorosłych, jak i larw. Obserwacja dorosłych osobników trwała 14 dni, zaś larw i poczwarek 7 dni ze względu na przeobrażenia. Utrata wagi poczwarek w czasie była niezależna od ekspozycji na pole-EM. Śmiertelność osobników dorosłych wyrażona jako czas pojawienia się pierwszego martwego osobnika lub 50% martwych osobników nie zależała od ekspozycji na pole-EM. Jednak czas do osiągnięcia 100% śmiertelności był znacząco krótszy w grupie eksponowanej na 7 mT niż w grupie eksponowanej na 1 mT i grupie kontrolnej. Ekspozycja na pole-EM nie wpłynęła znacząco na czas pojawienia się pierwszej poczwarki i imago ani na odsetek pomyślnie przemienionych poczwarek i dorosłych. Warto dodać, że podczas metamorfozy poczwarki w imago, pod wpływem pola EM o 7 mT, pojawiły się nieprawidłowości rozwojowe (u 27%), tj. upośledzenie pierwszej pary skrzydeł- braki odnóży krocnych (całkowite lub częściowe) oraz karłowatość odwłoka. Zmian takich nie obserwowano przy ekspozycji na pole-EM o 1 mT i w grupie kontrolnej. Ewentualne zaburzenia rozwojowe u owadów mogą stanowić wyzwanie do prowadzenia kolejnych badań oceny wpływu pola-EM bardzo niskich częstotliwości na takich modelach badawczych. Na podstawie uzyskanych wyników zdecydowaliśmy się ograniczyć kolejne eksperymenty do narażenia na pole-EM o wartości 7 mT, ponieważ stwierdzono, że ta wielkość wywołuje znaczące efekty biologiczne. Szybkości produkcji CO<sub>2</sub> mierzono zarówno u dorosłych osobników, jak i larw bezpośrednio po 24-godzinnej ekspozycji na pole-EM o wartości 7 mT, stosując respirometrię przepływową. Okazało się, że wpływ ekspozycji na pole-EM na produkcję CO<sub>2</sub>, był nieistotny u larw, ale dorosłe osobniki eksponowane na pole-EM wykazywały znacznie większe uwalnianie CO<sub>2</sub> niż osobniki kontrolne. Spektrofotometryczna ocena poziomu cukru w hemolimfie przeprowadzona na larwach po 24h ekspozycji na pole-EM o wartości 7 mT w porównaniu z grupą kontrolną nie wykazała żadnych zmian.

Podsumowując, wyniki uzyskane w niniejszej pracy wskazują, że układy biologiczne mogą reagować i zachowywać się różnie pod wpływem różnych parametrów ekspozycji (elektro)magnetycznej w zależności od stadium rozwojowego. Pole-EM (50 Hz) ma wpływ na metabolizm owadów, zwiększając utratę masy ciała, śmiertelność i produkcję CO<sub>2</sub>. Jednak ekspozycja na pole-EM nie wydaje się wpływać na proces metamorfozy. Warto zauważyć, że zaobserwowane zmiany były widoczne tylko wtedy, gdy owady były wystawione na silniejsze pole-EM (7 mT), a nie na słabsze (1 mT). Uzyskane wyniki wskazują, że ekspozycja na pole-EM działa jako czynnik stresogenny. Podwyższony poziom stresu początkowo służy celom adaptacyjnym, co widać w reakcjach takich jak reakcja ucieczki lub walki. Jednak te podwyższone poziomy stresu mogą przejść w stan patologiczny, jeśli utrzymują się przez dłuższy czas (McEwen, 2007). Ciągła aktywacja reakcji stresowej przez dłuższy czas, jak to miało miejsce w przypadku narażenia na pole-EM w całym cyklu rozwojowym, począwszy od stadium larwalnego, wyzwała przemiany fizjologiczne prowadzące do wyczerpania rezerw energetycznych i molekularnych, kumulacji związków toksycznych i zaburzeń szlaków regulacyjnych, co może mieć odzwierciedlenie w zaburzeniu przemian i powodzeniu metamorfozy (Hawlena i in., 2011). Nasze wyniki sugerują, że wiele szkodliwych konsekwencji związanych z ekspozycją na pole-EM można przypisać przedłużonemu wzrostowi poziomu hormonów stresu.

W kolejnej pracy zastosowałam metody i dobrze opisany model doświadczalny, który stanowiły świerszcze (*Gryllus bimaculatus*) wykorzystywane w badaniach neuronalnych mechanizmów, które leżą u podstaw modyfikowania zachowań zwierząt w odpowiedzi na zmieniające się warunki otoczenia (Wyszowska i in., 2023; Zał. 3, pkt. 4, poz. 5). Doświadczenia przeprowadzono na świerszczach kierując się przede wszystkim faktem, że jest to model dobrze opisany i często stosowany w badaniach neurofizjologicznych (Horch i in., 2017), co pozwoliło na dokładną ocenę działania pola-EM na różnym poziomie funkcjonowania organizmu. Poza tym, jest owadem o dużym znaczeniu ekologicznym. Badania te prowadziłam we współpracy z Panem profesorem Hitoshi Aonuma podczas mojego stażu w Sapporo (Japonia). Założyłam, że skoro moje wcześniejsze doświadczenia wskazują, że pole-EM działając jako czynnik stresowy wpływa na funkcjonowanie układu nerwowego i mięśniowego, to może to przekładać się na zmianę wzorca melodii wabiącej (*calling song*), a to z kolei może wywołać zmiany w parowaniu osobników. Konsekwencją mogą być zaburzenia w funkcjonowaniu populacji i dalsze konsekwencje ekologiczne. Postawiono hipotezę, że ekspozycja na pole-EM (50 Hz, 7 mT) wpłynie na wzorec a przez to na „jakość” śpiewu samca, a w konsekwencji na ich atrakcyjność dla samic. Ponadto założono, że działanie pola-EM spowoduje zmiany poziomu amin biogennych w mózgu owada, wskazując na zwiększony stres. Doświadczenia rozpoczęto od rejestracji melodii wabiącej generowanej przez samca świerszcza w obecności samicy. Owady umieszczone były w cewce do generowania pola-EM. Nagranie prowadzono przez 10 min, gdzie pierwsze 3 minuty stanowiły zapis kontrolny (odniesienie), następnie na kolejne 4 minuty włączano zasilanie cewki i generowanie pola-EM (50 Hz, 7 mT), pozostałe 3 minuty po zakończeniu ekspozycji na pole-EM, stanowiły okres po działaniu pola-EM, który miał dostarczyć informacji czy ewentualna zmiana w melodii utrzymuje się po wyłączeniu pola-EM. Analiza uzyskanych zapisów pokazała, że ekspozycja samców na pole-EM zwiększyła liczbę ćwierkania w ciągu minuty (*chirp rate*) i skróciła okres ćwierkania (*chirp period*) w melodii wabiącej odpowiednio o 2,7 i 5,1% w stosunku do melodii kontrolnej oraz o 4,7 i 3,7% w stosunku do okresu po zakończeniu działania pola EM, ale nie wpłynęła na częstotliwość generowanego dźwięku.

W następnym etapie sprawdzono fonotaksję samic świerszczy, określając kierunek poruszania się (*movement direction*), czas spędzony w ruchu (*the times spent on movement*) oraz

dystans pokonany w kierunku emitowanego dźwięku (*distances moved towards the signal*) w trakcie melodii zmienionej ekspozycją na pole-EM w porównaniu do ich zachowania w trakcie melodii kontrolnej. Dodatkowo sprawdziłam czy reakcja samic będzie zależała od ich wieku (i doświadczenia). Jedną grupę stanowiły samice 3-tygodniowe (starsze), mające kontakt z samcami, drugą zaś samice 1-tygodniowe (młode), które nie miały wcześniej kontaktu z samcami. Uzyskane wyniki wskazują, że kąt kierunku ruchu samic w trakcie melodii zmodyfikowanej ekspozycją na pole-EM (dla obu grup wiekowych samic) i melodii kontrolnej (tylko samice 3-tygodniowe) odbiegał istotnie od wartości neutralnej 0 w kierunku źródła dźwięku (co świadczyło, że dźwięk je wabił). Ponadto czas poruszania się (dla samic starszych dla obu melodii oraz samic młodych dla melodii zmienionej) i przebyty dystans (obie grupy wiekowe w trakcie zmienionej melodii) w kierunku źródła dźwięku były istotnie większe niż w przypadku oddalania się samic od źródła dźwięku. Samice 1-tygodniowe wykazywały więcej przemieszczeń kierunkowych, spędzały więcej czasu na poruszaniu się i pokonały większą odległość w kierunku źródła melodii zmienionej w porównaniu do melodii kontrolnej. Młodsze samice pokonały znacznie większą odległość w kierunku źródła zmienionej melodii niż 3-tygodniowe samice. Podsumowując, starsze (3-tygodniowe) samice były wabione zarówno przez naturalną - kontrolną melodię, jak i melodię zmodyfikowaną przez pole-EM, podczas gdy młode (1-tygodniowe, dziewicze) samice reagowały tylko na zmodyfikowany dźwięk, co sugeruje jego większą atrakcyjność w porównaniu z kontrolnym. Zakładając, że odpowiedzialna za zmianę melodii wabiącej może być stresowa reakcja samców na pole-EM, zbadano poziomy amin biogennych w ich zwojach mózgowych z wykorzystaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją elektrochemiczną (*High-Performance Liquid Chromatography with Electrochemical Detection*, HPLC-ECD). Wyniki analizy pokazują, że ekspozycja na pole-EM (50 Hz, 7 mT, 10 min) spowodowała wzrost stężenia dopaminy (o 50% w stosunku do wartości kontrolnej), tyraminy (o 65%) i serotoniny (o 25%) oraz spadek poziomu oktopaminy (o 25%).

Podsumowując, uzyskane wyniki wskazują, że ekspozycja na pole-EM (50 Hz, 7 mT) świerszcza prowadzi do zmian behawioralnych i fizjologicznych mogących zmienić kondycję i sprawność oraz zachowanie reprodukcyjne eksponowanych na pole-EM osobników. Niniejsza praca po raz pierwszy wykazała zmiany poziomu amin biogennych w mózgu owada zachodzące po ekspozycji na pole-EM (50 Hz, 7 mT), co potwierdza, że obserwowane zmiany są wynikiem reakcji stresowej owada na działanie pola-EM.

Uzyskane wyniki mogą być dobrym punktem odniesienia do dalszej analizy, w jaki sposób wysokie poziomy pola-EM mogą wpływać na inne owady świadczące cenne usługi ekosystemowe. Jednym z efektów negatywnego oddziaływania pola-EM na organizmy może być zakłócenie zachowań godowych, w tym wysyłania i odbierania sygnałów godowych oraz znajdowania odpowiednich partnerów. Rozmnażanie świerszczy jest ważne dla świata roślin, zwierząt i ludzi. Na pożywienie świerszczy składa się materiał roślinny bogaty w celulozę, która trafia wraz z ich odchodami do środowiska, gdzie bakterie i grzyby łatwo rozkładają odchody świerszczy, przyczyniając się do obiegu materii w ekosystemie. Zapewnia to roślinom bogate źródło łatwo dostępnych i niezbędnych czynników do wzrostu. Świerszcze pomagają również kontrolować zbiorowiska roślinne zarówno w ekosystemach naturalnych, jak i antropogenicznych. Ponadto są niezbędnym źródłem pożywienia dla owadożerców (Roger, 2021). W naszej pracy świerszcze były jedynie modelem wskazującym, że takie zjawisko może występować znacznie częściej w przyrodzie, w tym u innych gatunków owadów. Zmiany w pieśni wabiącej wywołane ekspozycją na pola-EM mogą zakłócać kojarzenie par, co może prowadzić do niekorzystnych skutków zdrowotnych, zmieniać dynamikę populacji i upośledzać dobór płciowy. Ostatecznie może mieć znaczenie ekologiczne, chyba że w populacjach dotkniętych przez człowieka pojawiają się adaptacje

do radzenia sobie z zaburzeniami antropogenicznymi (Bent i in., 2021). Antropogeniczne pole-EM staje się bardzo istotnym czynnikiem środowiskowym. Obawy nie mogą ograniczać się tylko do zdrowia człowieka, ale należy również wziąć pod uwagę ekologiczne znaczenie pola-EM. Nasze wyniki skłaniają do podjęcia dalszych badań nad wpływem pola-EM na owady, a także na uzupełnienie braków w wiedzy w tej dziedzinie, aby lepiej zrozumieć wpływ pola-EM na środowisko (Vanbergen i in., 2019; Wyszowska i in., 2019).

Ostatnia praca stanowiąca moje osiągnięcie naukowe dotyczy badania zagrożeń elektromagnetycznych związanych z przepływem prądu elektrycznego przez ciało człowieka (Kieliszek i in., 2023; Zał. 3, pkt. 4, poz. 6). Jej realizacja możliwa była dzięki współpracy z Wojskowym Instytutem Higieny i Epidemiologii (WIHE). Celem projektu była ocena wpływu ekspozycji na pole-EM pracownika podczas użytkowania radiotelefonu. Wyniki pomiarów składowej elektrycznej pola-EM wokół urządzeń wykazały dużą zmienność rozkładu przestrzennego. Głowa operatora i dłoń trzymająca radiotelefon często znajdowały się w polu-EM, które przekraczało ustalone limity w czasie pracy urządzenia w trybie nadawania (dla mocy wyjściowej 1 W i 3 W i częstotliwości 30 MHz i 55 MHz). Wartość zmierzonego natężenia pola-EM znajdowała się w przedziale 65-120 V/m (w odległości 10 cm od anteny) czyli przekroczyła 61V/m (*Action Levels, ALs(E)*) wartość ustaloną jako wartość graniczną w Dyrektywie 2013/35/UE (Directive, 2013). W takiej sytuacji należy oczekiwać wystąpienia niepożądanych efektów biologicznych. Przy takiej ekspozycji na pole-EM wartości zmierzonych kontaktowych prądów kończynowych wynosiły 80 mA i 160 mA, co stanowi 2 i 4 krotność ustalonego limitu (40 mA) w Dyrektywie 2013/35/UE. Mając na uwadze wyniki pomiarów pola-EM oraz prądów kończynowych, do oceny narażenia wykorzystano również symulacje komputerową w celu określenia wartości swoistego tempa pochłaniania energii (*Specific Absorption Rate, SAR*). Parametr ten ma służyć ochronie pracowników przed niekorzystnymi skutkami termicznymi oddziaływania pola-EM. Obliczone wartości SAR mieściły się w dozwolonych granicach, co wykluczyło występowanie efektów termicznych. Jednak przekroczenie dopuszczalnych wartości prądów kontaktowych kończyn mogło sugerować potencjalne skutki na układ nerwowo-mięśniowy. Dlatego też, aby badanie było w pełni kompleksowe, ocenę narażenia pracowników uzupełniono, nieinwazyjnymi badaniami neurofizjologicznymi, określającymi stan układu nerwowo-mięśniowego kończyn górnych. Badania miały odpowiedzieć na pytanie, czy 2 i 4-krotne przekroczenie dopuszczalnych wartości prądów kontaktowych kończyn może spowodować wystąpienie efektów nietermicznych w układzie nerwowo-mięśniowym ręki. Były to badania pilotażowe mające na celu opracowanie nieinwazyjnych i obiektywnych metod oceny zmian neurofizjologicznych w obrębie kończyny górnej. Pomiary przeprowadzono na 27 ochotnikach, których pomimo zatrudnienia na tym samym stanowisku pracy można było podzielić na dwie grupy: osoby nieeksponowane na działanie pola-EM (13 ochotników), stanowiące grupę kontrolną, oraz osoby eksponowane na działanie pola-EM (użytkownicy radia) jako grupę narażoną (14 ochotników). Osoby w obu grupach eksperymentalnych nie różniły się pod względem wieku i wskaźnika masy ciała BMI (*Body Mass Index*). Przeprowadzone testy elektromiograficzne oraz ocena wartości progu pobudzenia mięśni nie wykazały skutków ekspozycji na pole-EM w porównaniu z grupą kontrolną. Dodatkowo uzyskane wartości mieściły się w granicach normy. Brak zmian w powyższym badaniu nie pozwala jednak jednoznacznie wykluczyć wystąpienia potencjalnych skutków zdrowotnych. Wszyscy ochotnicy byli młodzi i wysportowani, dzięki czemu ich organizm doskonale radził sobie z ewentualnymi zaburzeniami neurologicznymi. Ponadto na parametry neurofizjologiczne wpływ ma wiek oraz styl życia, na przykład palenie. Przy obecnym stanie wiedzy nie można jednoznacznie wykluczyć możliwości



wystąpienia powikłań neurologicznych w późniejszym wieku. Inną możliwą przyczyną braku różnic pomiędzy grupą kontrolną a grupą eksponowaną mogą być ograniczenia aparaturowe. Urządzenie użyte w naszym badaniu to zaawansowane przenośne urządzenie do oceny i rehabilitacji mięśni, odpowiednie do zastosowań klinicznych i do użytku domowego; podejrzewamy jednak, że ta metoda pomiaru może nie być wystarczająco czuła. Z drugiej strony jeszcze raz należy podkreślić, że przy wyborze metody kierowano się przede wszystkim brakiem inwazyjności stosowanych testów, szybkością i łatwością pomiarów oraz brakiem podatności na wysokie poziomy zewnętrznego pola-EM towarzyszące pomiarom. Wszystko to rodzi potrzebę dalszych eksperymentów i większej liczby pomiarów a także testowania nowych parametrów neurofizjologicznych, które pozwolą uzyskać więcej informacji na temat ewentualnych zmian w układzie nerwowo-mięśniowym, co leży w planach mojej dalszej pracy naukowej.

Podsumowując, w pracy po raz pierwszy opisano kompleksową ocenę skutków narażenia użytkowników radiotelefonów na pole-EM, uwzględniając pomiary zewnętrzne (rozkład pola-EM w pobliżu radiotelefonów) i wewnętrzne, zarówno mierzone (prąd kontaktowy kończyny), jak i obliczane (parametr SAR) oraz ocenę potencjalnych skutków zdrowotnych poprzez zastosowanie testów neurofizjologicznych. Drugim osiągnięciem przeprowadzonych badań była ocena wszystkich parametrów w rzeczywistych warunkach narażenia na pole-EM podczas użytkowania radiotelefonu, a także ocena funkcjonowania układu nerwowo-mięśniowego w grupie kontrolnej i grupie narażenia na pole-EM przy zapewnieniu podobnych parametrów antropometrycznych.

### **Podsumowanie**

W publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe zostały przedstawione nowe wyniki kompleksowych badań nad wpływem pola-EM na układ nerwowy i reakcje stresowe organizmów. W czasie badań eksperymentalnych przeprowadzono ocenę na poziomie behawioralnym (zmian aktywności lokomotorycznej), fizjologicznym (m.in. tempa metabolizmu, czynności bioelektrycznej motoneuronu) i biochemicznym (m.in. stężenia amin czy ekspresji białka Hsp) w celu uzyskania możliwie szerokiej odpowiedzi wybranych organizmów na ekspozycję na pole-EM. Uzyskane w ramach przedstawianego osiągnięcia wyniki wskazują, że reakcja organizmu na działanie pola-EM jest odpowiedzią o charakterze stresu. Dalsze konsekwencje np. zdrowotne zależą od kierunku działania pola-EM, a mechanizm tego zjawiska może opierać się na zjawisku tzw. hormezy. Organizm może przystosować się (lub kompensować) do niskich poziomów pola-EM, natomiast ekspozycja na „silne” pole-EM może spowodować przekroczenie możliwości adaptacyjnych organizmu i uwrażliwić go na kolejny stres, a tym samym może modulować podatność na choroby. Poza natężeniem stosowanego pola-EM na kierunek jego działania ma również wpływ czas i sposób ekspozycji na pole-EM oraz stadium rozwojowe eksponowanego organizmu. Podsumowując, uważam, iż otrzymane przeze mnie wyniki stanowią bardzo ważną podstawę, dla dalszych badań mających na celu pogłębienie istniejącej wiedzy na temat mechanizmów działania pola-EM, co pozwoli na ponowną ocenę ryzyka związanego z nadmierną ekspozycją, zwłaszcza zawodową, a także na wykorzystanie wniosków w rozwoju badań w kierunku wykorzystania pola-EM w terapii medycznej.

### **Plany przyszłych badań**

Wśród różnych mechanizmów proponowanych w literaturze na temat biologicznych skutków działania pola-EM, ten, który wyróżnia się jako najbardziej spójny, obejmuje napływ wapnia przez zależne od napięcia kanały wapniowe. Pole-EM może powodować wzrost wewnątrzkomórkowego prądu wapniowego poprzez zwiększenie średniego czasu otwarcia kanałów (Marchionni i in., 2006; Moghadam i in., 2008), zwiększenie liczby kanałów wapniowych

(Grassi i in., 2004; Morgado-Valle i in., 1998) lub może być efektem większego prądu płynącego przez pojedynczy kanał (Morgado-Valle i in., 1998). Podwyższone wnikanie wapnia prowadzi do wzrostu wewnątrzkomórkowego stężenia  $Ca^{2+}$ , co może zapoczątkować szereg procesów fizjologicznych, w tym aktywację zależnych od  $Ca^{2+}$  zewnętrznych prądów  $K^+$ , które regulują częstotliwość wyładowań (Calvo & Azanza, 1999; Manikonda i in., 2007; Moghadam i in., 2008). Na wyjaśnieniu tego mechanizmu chciałabym się skupić w swojej dalszej pracy badawczej. Jednocześnie planuję dalszą współpracę z WIHE podczas której kontynuowała będę badania nad oceną prądów kończynowych i ich potencjalnych konsekwencji zdrowotnych.

#### Literatura:

- Abramson, N., & Melton, B. (2000). Leukocytosis: Basics of clinical assessment. *American family physician*, 62(9), 2053–2066.
- Alessi, A. M., O'Connor, V., Aonuma, H., & Newland, P. L. (2014). Dopaminergic modulation of phase reversal in desert locusts. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 8(371), 1–15.
- Baier, A., Wittek, B., & Brembs, B. (2002). Drosophila as a new model organism for the neurobiology of aggression? *Journal of Experimental Biology*, 205(9), 1233–1240.
- Barbier, E., Dufy, B., & Veyret, B. (1996). Stimulation of  $Ca^{2+}$  influx in rat pituitary cells under exposure to a 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 17(4), 303–311. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1996\)17:4<303::AID-BEM6>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1996)17:4<303::AID-BEM6>3.0.CO;2-7)
- Bieńkowski, P., Cała, P., **Wyszowska, J.**, & Zubrzak, B. (2015). Układy ekspozycyjne PEM w badaniach biomedycznych. *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*, 88(4), 510–514.
- Bieńkowski, P., & **Wyszowska, J.** (2014). [Technical aspects of exposure to magnetic fields of extremely low frequencies (ELF) in biomedical research]. *Medycyna pracy*, 66(2), 185–197.
- Bieńkowski, P., & **Wyszowska, J.** (2015). Techniczne aspekty ekspozycji na pole magnetyczne ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) w badaniach biomedycznych. *Medycyna Pracy*, 66(2), 185–197.
- Blank, M. (1995). Biological effects of environmental electromagnetic fields: Molecular mechanisms. *Biosystems*, 35(2), 175–178. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(94\)01509-6](https://doi.org/10.1016/0303-2647(94)01509-6)
- Blank, M. (2005). Do electromagnetic fields interact with electrons in the Na, K-ATPase? *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 26(8), 677–683.
- Blank, M., & Goodman, R. (2009). Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology*, 16(2), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.006>
- Burrows, M., & Pflüger, H. J. (1988). Positive feedback loops from proprioceptors involved in leg movements of the locust. *Journal of Comparative Physiology A*, 163(4), 425–440. <https://doi.org/10.1007/BF00604897>
- Calvo, A. C., & Azanza, M. J. (1999). Synaptic neurone activity under applied 50 Hz alternating magnetic fields. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 124(1), 99–107.
- Cao, J.-J., Li, K.-S., & Shen, Y.-Q. (2011). Activated immune cells in Parkinson's disease. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 6(3), 323–329.
- Carmody, S., Wu, X. L., Lin, H., Blank, M., Skopicki, H., & Goodman, R. (2000). Cytoprotection by electromagnetic field-induced hsp70: A model for clinical application. *Journal of Cellular Biochemistry*, 79(3), 453–459.
- Cichon, N., Bijak, M., Synowiec, E., Miller, E., Sliwinski, T., & Saluk-Bijak, J. (2018). Modulation of antioxidant enzyme gene expression by extremely low frequency electromagnetic field in post-stroke patients. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 78(7–8), 626–631. <https://doi.org/10.1080/00365513.2018.1542540>
- Cichoń, N., Bijak, M., Miller, E., & Saluk, J. (2017). Extremely low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) reduces oxidative stress and improves functional and psychological status in ischemic stroke patients. *Bioelectromagnetics*, 38(5), 386–396. <https://doi.org/10.1002/bem.22055>
- Ciejka, E., Kleniewska, P., Skibska, B., & Goraca, A. (2011). Effects of extremely low frequency magnetic field on oxidative balance in brain of rats. *Journal of physiology and pharmacology*, 62(6), 657.
- Comba, P., & Fazzo, L. (2009). Health effects of magnetic fields generated from power lines: New clues for an old puzzle. *Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanita*, 45(3), 233–237.
- Costantino, R. F., Desharnais, R. A., Cushing, J. M., & Dennis, B. (1997). Chaotic Dynamics in an Insect Population. *Science*, 275(5298), 389–391. <https://doi.org/10.1126/science.275.5298.389>

- Cuccurazzu, B., Leone, L., Podda, M. V., Piacentini, R., Riccardi, E., Ripoli, C., Azzena, G. B., & Grassi, C. (2010). Exposure to extremely low-frequency (50Hz) electromagnetic fields enhances adult hippocampal neurogenesis in C57BL/6 mice. *Experimental Neurology*, 226(1), 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2010.08.022>
- Davanipour, Z., & Sobel, E. (2009). Long-term exposure to magnetic fields and the risks of Alzheimer's disease and breast cancer: Further biological research. *Pathophysiology*, 16(2), 149–156.
- Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (Electromagnetic Fields).
- Easton, D. M. (2005). Gompertzian growth and decay: A powerful descriptive tool for neuroscience. *Physiology & behavior*, 86(3), 407–414.
- Falone, S., Grossi, M. R., Cinque, B., D'Angelo, B., Tettamanti, E., Cimini, A., Di Ilio, C., & Amicarelli, F. (2007). Fifty hertz extremely low-frequency electromagnetic field causes changes in redox and differentiative status in neuroblastoma cells. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(11), 2093–2106. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2007.06.001>
- Frahm, J., Lantow, M., Lupke, M., Weiss, D. G., & Simkó, M. (2006). Alteration in cellular functions in mouse macrophages after exposure to 50 Hz magnetic fields. *Journal of cellular biochemistry*, 99(1), 168–177.
- Goodman, R., & Blank, M. (1998). Magnetic field stress induces expression of hsp70. *Cell stress & chaperones*, 3(2), 79.
- Grassi, C., D'Ascenzo, M., Torsello, A., Martinotti, G., Wolf, F., Cittadini, A., & Azzena, G. B. (2004). Effects of 50 Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca<sup>2+</sup> channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death. *Cell Calcium*, 35(4), 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2003.09.001>
- Gu, H., Tang, C., & Yang, Y. (2012). Psychological stress, immune response, and atherosclerosis. *Atherosclerosis*, 223(1), 69–77.
- Guerriero, F., & Ricevuti, G. (2016). Extremely low frequency electromagnetic fields stimulation modulates autoimmunity and immune responses: A possible immuno-modulatory therapeutic effect in neurodegenerative diseases. *Neural regeneration research*, 11(12), 1888.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., & de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS One*, 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hawlena, D., Kress, H., Dufresne, E. R., & Schmitz, O. J. (2011). Grasshoppers alter jumping biomechanics to enhance escape performance under chronic risk of spider predation. *Functional Ecology*, 25(1), 279–288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01767.x>
- Hazlewood, C. F., & Markov, M. (2009). Trigger points and systemic effect for EMF therapy. *The Environmentalist*, 29(2), 232–239.
- Horch, H. W., Mito, T., Popadić, A., Ohuchi, H., & Noji, S. (Red.). (2017). *The Cricket as a Model Organism*. Springer Japan. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-56478-2>
- Huss, A., Peters, S., & Vermeulen, R. (2018). Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of ALS: A systematic review and meta-analysis. *Bioelectromagnetics*, 39(2), 156–163.
- Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., & Röösli, M. (2009). Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal study of the Swiss population. *American journal of epidemiology*, 169(2), 167–175.
- IARC (2002). Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. In IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; International Agency for Research on Cancer (IARC): Lyon, France, 2002; Volume 80
- IARC (2013). Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. In IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; International Agency for Research on Cancer (IARC): Lyon, France, 2013; Volume 102.
- ICNIRP (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health physics*, 99(6), 818–836.
- Jadidi, M., Firoozabadi, S. M., Rashidy-Pour, A., Sajadi, A. A., Sadeghi, H., & Taherian, A. A. (2007). Acute exposure to a 50Hz magnetic field impairs consolidation of spatial memory in rats. *Neurobiology of learning and memory*, 88(4), 387–392.
- Jankowska, M., Szczygieł, M., & Wyszowska, J. (2018). Neurotherapeutic Applications of Electromagnetic Fields. *2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE)*, 85–88. <https://doi.org/10.1109/PTZE.2018.8503146>

- Karpowicz, J. (2015). 21 Environmental and Safety. *Electromagnetic fields in biology and medicine*, 341.
- Karpowicz, J., Bortkiewicz, A., Gryz, K., Kubacki, R., & Wiaderkiewicz, R. (2008). Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz – 300 GHz. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, Nr 4 (58)*. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-03d6ec8a-5e85-439b-a507-74bedc55045a>
- Kim, S.-J., Park, S.-H., Choi, S., Moon, B.-H., Lee, K.-J., Kang, S. W., Lee, M.-S., Choi, S.-H., Chun, B.-G., & Shin, K.-H. (2006). Effects of repeated tianeptine treatment on CRF mRNA expression in non-stressed and chronic mild stress-exposed rats. *Neuropharmacology*, 50(7), 824–833.
- Kitaoka, K., Kitamura, M., Aoi, S., Shimizu, N., & Yoshizaki, K. (2013). Chronic exposure to an extremely low-frequency magnetic field induces depression-like behavior and corticosterone secretion without enhancement of the hypothalamic–pituitary–adrenal axis in mice. *Bioelectromagnetics*, 34(1), 43–51.
- Kivrak, E. G., Altunkaynak, B. Z., Alkan, I., Yurt, K. K., Kocaman, A., & Onger, M. E. (2017). Effects of 900-MHz radiation on the hippocampus and cerebellum of adult rats and attenuation of such effects by folic acid and *Boswellia sacra*. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jmau.2017.09.003>
- Klimek, A., & Rogalska, J. (2021). Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor—Really Detrimental?—Insight into Literature from the Last Decade. *Brain Sciences*, 11(2), 174. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020174>
- Kobayashi, K. (2001). Role of Catecholamine Signaling in Brain and Nervous System Functions: New Insights from Mouse Molecular Genetic Study. *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*, 6(1), 115–121. <https://doi.org/10.1046/j.0022-202x.2001.00011.x>
- Leather, S. r. (2018). “Ecological Armageddon” – more evidence for the drastic decline in insect numbers. *Annals of Applied Biology*, 172(1), 1–3. <https://doi.org/10.1111/aab.12410>
- Liu, T., Wang, S., He, L., & Ye, K. (2008). Anxiogenic effect of chronic exposure to extremely low frequency magnetic field in adult rats. *Neuroscience letters*, 434(1), 12–17.
- Maliszewska, J., Marciniak, P., Kletkiewicz, H., **Wyszowska, J.**, Nowakowska, A., & Rogalska, J. (2018). Electromagnetic field exposure (50 Hz) impairs response to noxious heat in American cockroach. *Journal of Comparative Physiology A*, 204(6), 605–611. <https://doi.org/10.1007/s00359-018-1264-2>
- Manikonda, P. K., Rajendra, P., Devendranath, D., Gunasekaran, B., Channakeshava, Aradhya, R. S. S., Sashidhar, R. B., & Subramanyam, C. (2007). Influence of extremely low frequency magnetic fields on Ca<sup>2+</sup> signaling and NMDA receptor functions in rat hippocampus. *Neuroscience Letters*, 413(2), 145–149. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.11.048>
- Marchionni, I., Paffi, A., Pellegrino, M., Liberti, M., Apollonio, F., Abeti, R., Fontana, F., D’Inzeo, G., & Mazzanti, M. (2006). Comparison between low-level 50 Hz and 900 MHz electromagnetic stimulation on single channel ionic currents and on firing frequency in dorsal root ganglion isolated neurons. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1758(5), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2006.03.014>
- Markov, M. S. (2007). Magnetic field therapy: A review. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 26(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/15368370600925342>
- Martorana, A., Bulati, M., Buffa, S., Pellicanò, M., Caruso, C., Candore, G., & Colonna-Romano, G. (2012). Immunosenescence, inflammation and Alzheimer’s disease. *Longevity & Healthspan*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/2046-2395-1-8>
- Mattsson, M.-O., & Simkó, M. (2012). Is there a relation between extremely low frequency magnetic field exposure, inflammation and neurodegenerative diseases? A review of in vivo and in vitro experimental evidence. *Toxicology*, 301(1–3), 1–12.
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and Neurobiology of Stress and Adaptation: Central Role of the Brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>
- Moghadam, M. K., Firoozabadi, S. M., & Janahmadi, M. (2008). 50 Hz alternating extremely low frequency magnetic fields affect excitability, firing and action potential shape through interaction with ionic channels in snail neurones. *The Environmentalist*, 28(4), 341–347.
- Moretti, M., Villarini, M., Simonucci, S., Fatigoni, C., Scassellati-Sforzolini, G., Monarca, S., Pasquini, R., Angelucci, M., & Strappini, M. (2005). Effects of co-exposure to extremely low frequency (ELF) magnetic fields and benzene or benzene metabolites determined in vitro by the alkaline comet assay. *Toxicology Letters*, 157(2), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.01.009>
- Morgado-Valle, C., Verdugo-Díaz, L., García, D. E., Morales-Orozco, C., & Drucker-Colín, R. (1998). The role of voltage-gated Ca<sup>2+</sup> channels in neurite growth of cultured chromaffin cells induced by extremely low frequency (ELF) magnetic field stimulation. *Cell and Tissue Research*, 291(2), 217–230. <https://doi.org/10.1007/s004410050992>

- Mostafa, R. M., Mostafa, Y. M., & Ennaceur, A. (2002). Effects of exposure to extremely low-frequency magnetic field of 2 G intensity on memory and corticosterone level in rats. *Physiology & behavior*, 76(4–5), 589–595.
- Newland, P. L., & Kondoh, Y. (1997). Dynamics of neurons controlling movements of a locust hind leg II. Flexor tibiae motor neurons. *Journal of neurophysiology*, 77(4), 1731–1746.
- Pešić, V., Janać, B., Jelenković, A., Vorobyov, V., & Prolić, Z. (2004). Non-linearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. *Behavioural Brain Research*, 150(1), 223–227. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.07.003>
- Petrović, G., Kilić, T., & Garma, T. (2013). Measurements and estimation of the extremely low frequency magnetic field of the overhead power lines. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 19(7), 33–36.
- Pilla, A. A. (2013). Nonthermal electromagnetic fields: From first messenger to therapeutic applications. *Electromagnetic biology and medicine*, 32(2), 123–136.
- Reilly, J. P. (1998). Maximum pulsed electromagnetic field limits based on peripheral nerve stimulation: Application to IEEE/ANSI C95. 1 electromagnetic field standards. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 45(1), 137–141.
- Reilly, J. P. (2012). Applied bioelectricity: From electrical stimulation to electropathology. *Springer Science & Business Media*.
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), 27 January 2015. European Commission, Luxembourg.
- Sedghi, H., Zare, S., Hayatgeibi, H., Alirandi, S. G., & Ebadi, A. G. (2005). Effects of 50 Hz Magnetic Field on some Factors of Immune System in the Male Guinea Pigs. *Am J Immunol*, 1(1), 37–41.
- Selmaoui, B., Lambrozo, J., Sackett-Lundeen, L., Haus, E., & Touitou, Y. (2011). Acute exposure to 50-Hz magnetic fields increases interleukin-6 in young healthy men. *Journal of clinical immunology*, 31(6), 1105–1111.
- Shad, K. F., Aghazadeh, Y., Ahmad, S., & Kress, B. (2013). Peripheral markers of Alzheimer's disease: Surveillance of white blood cells. *Synapse*, 67(8), 541–543.
- Sieroń, A., Cieślak, G., Kawczyk-Krupka, A., Biniszkiwicz, T., Bilska-Urban, A., & Adamek, M. (2002). Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie. *Alfa-Medica Press, Bielsko-Biała*, 1–244.
- Simkó, M. (2004). Induction of cell activation processes by low frequency electromagnetic fields. *The Scientific World Journal*, 4, 4–22.
- Simkó, M., & Mattsson, M.-O. (2004). Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: Possible immune cell activation. *Journal of Cellular Biochemistry*, 93(1), 83–92.
- Sun, Z., Ge, J., Guo, B., Guo, J., Hao, M., Wu, Y., Lin, Y., La, T., Yao, P., Mei, Y., Feng, Y., & Xue, L. (2016). Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Facilitate Vesicle Endocytosis by Increasing Presynaptic Calcium Channel Expression at a Central Synapse. *Scientific Reports*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep21774>
- Szemerszky, R., Zelena, D., Barna, I., & Bárdos, G. (2010). Stress-related endocrinological and psychopathological effects of short-and long-term 50Hz electromagnetic field exposure in rats. *Brain research bulletin*, 81(1), 92–99.
- Tasset, I., Medina, F. J., Jimena, I., Agüera, E., Gascón, F., Feijóo, M., Sánchez-López, F., Luque, E., Peña, J., Drucker-Colín, R., & Túnez, I. (2012). Neuroprotective effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on a Huntington's disease rat model: Effects on neurotrophic factors and neuronal density. *Neuroscience*, 209, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.02.034>
- Taylor, C., Fricker, A. D., Devi, L. A., & Gomes, I. (2005). Mechanisms of action of antidepressants: From neurotransmitter systems to signaling pathways. *Cellular Signalling*, 17(5), 549–557. <https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2004.12.007>
- Tian, R., Hou, G., Li, D., & Yuan, T.-F. (2014). A possible change process of inflammatory cytokines in the prolonged chronic stress and its ultimate implications for health. *The Scientific World Journal*, 2014. <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/780616/abs/>
- Todorović, D., Mirčić, D., Ilijin, L., Mrdaković, M., Vlahović, M., Prolić, Z., & Mataruga, V. P. (2012). Effect of magnetic fields on antioxidative defense and fitness-related traits of *Baculum extrudentatum* (insecta, phasmatodea). *Bioelectromagnetics*, 33(3), 265–273. <https://doi.org/10.1002/bem.20709>
- Touitou, Y., Djeridane, Y., Lambrozo, J., & Camus, F. (2012). Long-term (up to 20years) effects of 50-Hz magnetic field exposure on blood chemistry parameters in healthy men. *Clinical biochemistry*, 45(6), 425–428.
- Trawiński, T., Szczygieł, M., & Wyszowska, J. (2007). Pomiar drgań zasobnika pod wpływem zmiennego pola magnetycznego przy wykorzystaniu laserowych czujników przemieszczeń. *Prace Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka*, 3, 137–146.

- Trawiński, T., Szczygieł, M., **Wyszowska, J.**, & Kluszczyński, K. (2010). Analysis of magnetic field distribution and mechanical vibration of magnetic field exciter under different voltage supply. *Information technologies in biomedicine. Berlin: Springer Berlin Heidelberg*, 613–622.
- Vanbergen, A. J., Potts, S. G., Vian, A., Malkemper, E. P., Young, J., & Tscheulin, T. (2019). Risk to pollinators from anthropogenic electro-magnetic radiation (EMR): Evidence and knowledge gaps. *Science of The Total Environment*, 695, 133833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133833>
- Vitlic, A., Lord, J. M., & Phillips, A. C. (2014). Stress, ageing and their influence on functional, cellular and molecular aspects of the immune system. *Age*, 36(3), 1169–1185.
- WHO. (2007). Environmental Health Criteria Monograph No.238. Extremely Low Frequency Fields. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241572385>
- WHO Mortality Database—WHO. Pobrano 26 wrzesień 2022, z <https://www.who.int/data/data-collection-tools/who-mortality-database>
- Wu, B. S., Walker, V. K., & Robertson, R. M. (2001). Heat shock-induced thermoprotection of action potentials in the locust flight system. *Journal of Neurobiology*, 49(3), 188–199. <https://doi.org/10.1002/neu.1074>
- Wyszowska, J.**, Grodzicki, P., & Szczygieł, M. (2019). Electromagnetic fields and colony collapse disorder of the honeybee. *Przełąd Elektrotechniczny*, 95, 137–140.
- Wyszowska, J.**, Jankowska, M., & Gas, P. (2019). Electromagnetic fields and neurodegenerative diseases. *Przełąd Elektrotechniczny*, 1(95), 129–133.
- Wyszowska, J.**, Jankowska, M., & Stankiewicz, M. (2018). Comprehensive study of the effects of electromagnetic field exposure on nervous system using insect models. *2018 EMF-Med 1st World Conference on Biomedical Applications of Electromagnetic Fields (EMF-Med)*, 1–2. <https://doi.org/10.23919/EMF-MED.2018.8526060>
- Wyszowska, J.**, Jędrzejewski, T., Piotrowski, J., Wojciechowska, A., Stankiewicz, M., & Kozak, W. (2018). Evaluation of the influence of in vivo exposure to extremely low-frequency magnetic fields on the plasma levels of pro-inflammatory cytokines in rats. *International Journal of Radiation Biology*, 94(10), 909–917. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1503428>
- Wyszowska, J.**, Maliszewska, J., & Gas, P. (2023). Metabolic and Developmental Changes in Insects as Stress-Related Response to Electromagnetic Field Exposure. *Applied Sciences*, 13(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/app13179893>
- Wyszowska, J.**, & Pritchard, C. (2022). Open Questions on the Electromagnetic Field Contribution to the Risk of Neurodegenerative Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16150. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316150>
- Wyszowska, J.**, Shepherd, S., Sharkh, S., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2016). Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts. *Scientific Reports*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep36413>
- Wyszowska, J.**, Stankiewicz, M., Krawczyk, A., & Zyss, T. (2006a). Examination of nervous system exposed to electromagnetic field on the example of cockroach (*Periplaneta americana*). *Przełąd Elektrotechniczny*, 82, 66–67.
- Wyszowska, J.**, Stankiewicz, M., Krawczyk, A., & Zyss, T. (2006b). Octopamine Activity as Indicator of Electromagnetic Field Influence on Insect Nervous System. In Ohrid, Macedonia: SAEM–First Macedonian-Polish symposium on applied electromagnetics, 83–84.
- Zeni, O., Simkó, M., Scarfi, M. R., & Mattsson, M.-O. (2017). Cellular Response to ELF-MF and Heat: Evidence for a Common Involvement of Heat Shock Proteins? *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00280>

##### **5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

W październiku 2013 roku rozpoczęłam sześciomiesięczny staż podoktorski w Centre for Biological Sciences, University of Southampton (Wielka Brytania), w zakładzie prof. Philipa L. Newlanda (**Zał. 4 część II, pkt. 9B, poz. 4**). Pobyt został sfinansowany w ramach stypendium przyznanego mi w drodze konkursu w projekcie "Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno-przyrodniczych" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego - Program Operacyjny Kapitał Ludzki (Priorytet IV: Szkolnictwo wyższe i nauka, Działanie 4.1: Wzmocnienie i rozwój potencjału

dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 4.1.1: Wzmocnienie potencjału dydaktycznego uczelni). Badania dotyczyły oceny wpływu ekspozycji na pole-EM (50 Hz) na różnych poziomach funkcjonowania układu nerwowego owadów, mianowicie od odczuwania bodźców w środowisku przez integrację informacji nerwowej do wywoływania i kontroli ruchu. Efektem współpracy jest publikacja wchodząca w skład osiągnięcia naukowego **(Wyszowska i in. 2016; Zał. 4 część I, poz. 1)**. Wyniki prezentowałam również na konferencjach **(Zał. 4 część II, pkt. 5B, poz. 13-15)**.

W 2015 roku nawiązałam współpracę z Panem prof. Hitoshi Aonuma z Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University, Sapporo (Japonia). Dzięki stypendium przyznanemu przez Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), w kwietniu 2016 roku rozpoczęłam dziesięciomiesięczny staż w laboratorium Pana prof. Aonuma badając wpływ ekspozycji na pole-EM (50 Hz) na mechanizmy warunkujące zachowanie adaptacyjne zwierząt. Staż umożliwił mi poszerzenie warsztatu eksperymentalnego przede wszystkim o metody stosowane w analizach biochemicznych np. z wykorzystaniem HPLC-ED **(Zał. 4 część II, pkt. 9B, poz. 3)**. Część z uzyskanych wyników opublikowano w publikacji stanowiącej podstawę mojej rozprawy habilitacyjnej **(Wyszowska i in. 2023; Zał. 4 część I, poz. 5)**.

W 2002 nawiązałam współpracę z Panem płk. prof. dr. hab. inż. Romanem Kubackim (do 2009) oraz Panem ppłk. dr. inż. Jarosławem Kieliszkiem z Zakładu ochrony Mikrofalowej (obecnie Zespół Analiz Zagrożeń Elektromagnetycznych) Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Warszawie. Współpracę rozpoczęłam od udziału w projekcie mającym na celu stworzenie miniaturowej komory bezdechowej do ekspozycji hodowli tkankowych na pole elektromagnetyczne wytwarzane przez terminale telefonii komórkowej. Efektem tej współpracy była moja praca magisterska. Obecnie tematem naszych wspólnych badań jest ocena parametrów pola elektromagnetycznego w środowisku i miejscu pracy oraz wpływu pola elektromagnetycznego na aktywność nerwowo-mięśniową pracowników służb państwowych używających doreczne i przenośne środki łączności bezprzewodowej. Część uzyskanych wyników opublikowano w pracy, która wchodzi w skład mojego osiągnięcia naukowego **(Kieliszek i in. 2020; Zał. 4 część I, poz. 3)** oraz zaprezentowano przez współautorów na 3 konferencjach naukowych. Współpraca ta obejmuje również prowadzenie przeze mnie wykładów szkoleniowych dla pracowników laboratoriów wykonujących pomiary pola-EM na stanowiskach pracy oraz inspektorów ochrony przed polem-EM. Na chwilę obecną przeprowadziłam trzy takie szkolenia, jak wykazano w **Zał. 3 pkt. 6**.

Od 2018 roku współpracuję z dr inż. hab. Piotrem Gasem z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej w zakresie modelowania rozkładu pola-EM oraz wykorzystania symulacji komputerowej do optymalizacji procedury zastosowania pola-EM w hipertermii onkologicznej. Współpraca zaowocowała opublikowaniem 1 pracy przeglądowej **(Wyszowska i in., 2019; Zał. 4 część II, pkt. 3B, poz. 10)** i 2 prac oryginalnych, z których jedna wchodzi w skład osiągnięcia naukowego **(Gas i Wyszowska, 2019; Zał. 4 część II, pkt. 3B, poz. 8; Wyszowska i in. 2023; Zał. 4 część I, poz. 6)**. Efekty naszej współpracy prezentowane były również na 2 konferencjach: **(Zał. 4 część II, pkt. 5B, poz. 13)** oraz **Gas P., Wyszowska J., Influence of multi-tine electrode configuration in realistic hepatic RF ablative heating, The 14th Conference on Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics WZEE'2018, 19-21 November 2018, Szczecin.**

Od 2005 współpracuję z Panem prof. dr. hab. inż. Krzysztofem Kluszczyńskim, Panem dr. hab. inż. Tomaszem Trawińskim i Panem dr. inż. Marcinem Szczygłem z Katedry Mechatroniki Politechniki Śląskiej, od 2014 roku również Panem dr. hab. inż. Pawłem Bieńkowskim i jego zespołem z Pracowni Ochrony Środowiska Elektromagnetycznego Katedry Telekomunikacji i Teleinformatyki Politechniki Wrocławskiej. Celem wspólnych zadań jest analiza układów ekspozycyjnych pola elektromagnetycznego w badaniach biomedycznych oraz metod pomiarów



parametrów pola. Na podstawie wyników dotychczasowej pracy powstał cykl publikacji przedstawiający szczegółowe parametry najpopularniejszych zestawów ekspozycyjnych istotnych w badaniach biomedycznych (**Bieńkowski i in. 2015, 2015a; Trawiński i in. 2007, 2007a, 2010; Zał. 4 część II, pkt. 3A, poz. 2 i 3; pkt. 1A, poz. 5; pkt. 1B, poz. 1; pkt. 3A, poz. 4**). Wyniki zostały również zaprezentowane przez współautorów na 2 konferencjach naukowych.

W latach 2012-2022 współpracowałam z Panem profesorem Carlos Granja z Nuclear Physics Institute Czech Academy of Sciences i firmy ADVACAM, która jest światowym liderem w technologiach obrazowania i detekcji promieniowania jonizującego. W ramach współpracy rozwijałam swoje zainteresowania związane z terapią protonową i dozymetrią promieniowania jonizującego, odbyłam też krótki staż (**Zał. 4 część II, pkt. 5A, poz. 1**).

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

### **Osiągnięcia dydaktyczne**

Od początku mojej pracy jako nauczyciela akademickiego zatrudnionego w grupie pracowników naukowo-dydaktycznych oprócz aspektu naukowego nieodłącznym elementem jest działalność edukacyjna, organizacyjna i popularyzatorska. Od roku 2003-obecnie prowadziłam następujące zajęcia dydaktyczne dla kierunku:

- Biologia (2016-obecnie)- *Praktyczna fizyka dla biologów* – laboratoria
- Biologia (2010-2016)- *Fizyka i biofizyka* -wykład i laboratoria
- Biologia –specjalność nauczycielska (2005-2015)- *Biofizyka* - wykład i laboratoria
- Biologia sądowa (2017-obecnie)- *Fizyczne metody pomiarów* - wykład i laboratoria
- Biotechnologia (2003-obecnie)- *Fizyka* - wykład i laboratoria, *Biofizyka* - wykład i laboratoria
- Chemia medyczna (2018-obecnie)- *Biofizyka* - wykład i laboratoria
- Ochrona środowiska (2003-2019)-*Podstawy fizyki środowiska*- wykład i laboratoria
- Weterynaria (2018-obecnie)- *Biofizyka* - wykład i laboratoria

Inne:

- ćwiczenia z przedmiotu *Biofizyczne podstawy funkcjonowania układu nerwowego* dla studentów kierunku Biologia, spec. medyczna (II stopień II) (2004-2010)
- laboratoria *Pole elektromagnetyczne - ocena poziomów ekspozycji, skutki biofizyczne oddziaływania, wykorzystanie w terapii i diagnostyce medycznej* w ramach przedmiotu Biofizyka dla studentów kierunku Fizyka techniczna (2020, 2023) i Fizyka medyczna (2019)
- ćwiczenia w ramach przedmiotu Neurobiologia dla studentów kierunku Biologia (III stopień I)-(2017-obecnie)
- wykład *Metody diagnostyki obrazowej układu nerwowego* - w ramach przedmiotu Neurobiologia dla studentów kierunku Kognitywistyka (II stopień I)- 2022
- opracowanie i prowadzenie zajęć w projekcie studenckim w ramach programu "Universitas Copernicana Thoruniensis In Futuro" – modernizacja Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w ramach Zintegrowanego Programu Uczelni" (projekt nr POWR.03.05.00-00-Z302/17-00) realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój,); „*Diagnostyka zmian w funkcjonowaniu układu nerwowego wywołana ekspozycją w polu elektromagnetycznym*" (2018-2022)



- wykład dla Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich Matematyczno-Przyrodniczych „*Biofizyczne aspekty funkcjonowania żywych organizmów oraz ich interakcji ze środowiskiem*” w ramach projektu pn. „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno-przyrodniczych” realizowany w ramach Poddziałania 4.1.1 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki (06.03.-17.06.2015)
- udział w projekcie pt.: Wzbogacenie oferty edukacyjnej na studiach stacjonarnych I stopnia kierunku Biotechnologia - nowa perspektywa, realizowanym przez Wydział Biologii i Nauk o Ziemi UMK w Toruniu Priorytet IV POKL, Działanie 4.1, Poddziałanie 4.1.2. - Zajęcia wyrównawcze z fizyki (wykład: 5h, ćwiczenia: 42h). Kierownictwo (2011-2015)
- przygotowanie projektu „Żywe laboratorium przyrodnicze” - Moduł 8- Skóra a słońce, czyli co za dużo, to niezdrowo w ramach programu „Społeczna odpowiedzialność nauki” ogłoszonego przez MNiSW 3 lipca 2019 r. (2019).
- opracowanie i prowadzenie obowiązkowych zajęć dydaktycznych dla kierunku kosmetologia- Toruńska Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości: Biofizyka (wykłady 20h i ćwiczenia 10h) - 2009/2010
- pomoc w opiece nad pracami dyplomowymi (w tym 4 doktoratów) i 2 projektami studenckimi w zakresie stosowanych ekspozycji na pola (elektro)magnetyczne (w Katedrze Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii, Katedrze Fizjologii Roślin i Biotechnologii, Katedrze Mikrobiologii)
- opieka naukowa nad licealistą, który badał wpływ ekspozycji w stałym i zmiennym polu magnetycznym na rozwój i behavior muchy plujki *Calliphora vomitoria*. Wyniki swoich badań prezentował na konkursie naukowym E(x)plory 2016. Praca przeszła przez 2 etapy i znalazła się w finale konkursu (Gdynia, organizator: Fundacja Zaawansowanych Technologii)
- opiekun 5 projektów doświadczalnych w ramach Ogólnopolskiej Olimpiady Biologicznej Szkół Ponadgimnazjalnych - 2 projekty uzyskały wyróżnienie a uczniowie otrzymali tytuł Laureata Zawodów Okręgowych (obecnie absolwenci kierunków: biotechnologia UMK i lekarski Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego) -(2013-2015)

Pełniłam rolę promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr Mileny Jankowskiej (główny promotor prof. dr hab. Maria Stankiewicz). Rozprawa doktorska pt. *Mentol, składnik olejków eterycznych, czynnikiem podnoszącym efektywność bendiokarbu, insektycydu z grupy karbaminianów* została obroniona z wyróżnieniem w 2020 roku.

Sprawowałam opiekę nad realizacją prac dyplomowych wykonywanych przez studentów kierunków biologia, biologia sądowa, biotechnologia i ochrona środowiska. Dotychczas byłam promotorem 1 i opiekunem naukowym 6 prac magisterskich, promotorem 8 prac licencjackich wykonywanych w Zakładzie Biofizyki (obecna nazwa: Katedra Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii) WNBiW UMK.

### **Specjalistyczne wykłady szkoleniowe dla kadry zewnętrznej**

- *Oddziaływanie pola elektromagnetycznego z organizmem człowieka - EM-1. Ocena zagrożeń elektromagnetycznych*, Ramowy Program Szkolenia Pracowników Służby BHP, 22-23 listopada 2018, Warszawa

- *Pośrednie lub bezpośrednie skutki oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi w aspekcie urządzeń techniki wojskowej użytkowanych w jednostkach organizacyjnych Marynarki Wojennej RP – Szkolenie dla pracowników służby BHP oraz inspektorów ochrony przed polem elektromagnetycznym, 18-19 kwietnia 2018, Gdynia*
- *Elektromagnetyczne oddziaływanie pola elektromagnetycznego z organizmem człowieka (skutki pośrednie i bezpośrednie)- EM-1 / Ocena zagrożeń elektromagnetycznych, Ramowy Program Szkolenia Pracowników Służby BHP, 6-7 marca 2018, Warszawa*
- *Zagrożenie elektromagnetyczne w przestrzeni pracy. Pośrednie lub bezpośrednie skutki oddziaływania pola elektromagnetycznego na pracujących - V Konwersatorium „Praktycy dla Praktyków- dla Laboratoriów wykonujących pomiary na stanowiskach pracy”, 20-23 listopada 2017, Warszawa*

#### **Osiągnięcia organizacyjne:**

- Członek Rady Dyscypliny (przedstawiciel ZNP, 10.2019-obecnie)
- Członek Rady Dziekańskiej (przedstawiciel ZNP, 10.2019-10.2020), Członek Rady Wydziału jako przedstawiciel nauczycieli akademickich nieposiadających stopnia doktora habilitowanego (10.2014-09.2019)
- Członek komisji ds. Nagród i Wyróżnień na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UMK-2019
- Opiekun roku na kierunku Biologia (2019-2023)
- Opiekun roku na kierunku Biotechnologia (2011-2016)
- Byłam recenzentem 4 prac licencjackich. Przewodniczyłam 12 komisjom egzaminacyjnym powołanym do obrony prac licencjackich (5) i magisterskich (7) na Wydziale Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych, UMK.

#### **Osiągnięcia popularyzujące naukę:**

- 2023- artykuł popularno-naukowy: Ratajewska K., Wyszowska J. "Ocena wpływu pola elektromagnetycznego na organizmy z wykorzystaniem modeli owadź", Nauczanie Przedmiotów Przyrodniczych, ISSN 1509-6351, Nr 78 (2/2023), Wyd. PSNPP, Kraków/Toruń.
- 2023-Członek Komitetu Okręgowego Olimpiady Biologicznej w Toruniu
- 2021-Współorganizacja Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) Alumni Club w Polsce
- 2021-Współtworzenie materiału dla TVP Bydgoszcz o Katastrofie w Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej z okazji 35. Rocznicy
- 2020-Prezentacja - Noc biologów na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UMK
- 2016-2 artykuły w lokalnej prasie związane z tematyką prowadzonych przeze mnie badań i wyjazdem na staż naukowy do Japonii w ramach stypendium rządu japońskiego.
- 2015- obecnie-Prowadzenie strony na Facebook z doniesieniami naukowymi z dziedziny fizyki, biofizyki, medycyny, nowoczesnych technologii i astronomii skierowanych głównie do studentów (wcześniej strona Zakładu Biofizyki)
- 2014-Prezentacja - Dzień Otwarty na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UMK
- 2013-Prezentacja - Noc biologów na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UMK
- 2011-Czarnobyl w przeddzień rocznicy, prezentacja dla akademickiego klubu „Bezdroża” na podstawie wyprawy naukowej do Strefy Wykluczenia wokół czarnobylskiej elektrowni jądrowej w dniach 29.03.- 04.04.2011

## 7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W roku 1998 rozpoczęłam studia na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika na kierunku fizyka i specjalności fizyka medyczna i zastosowanie komputerów. Swoją działalność naukowo-badawczą rozpoczęłam w 2000 roku, kiedy dołączyłam do grupy prowadzącej badania stabilograficzne w Zespole Fizyki Medycznej UMK. Podjęłam pracę w zakresie wykrywania zaburzeń równowagi w okresie bezobjawowym. Efekty swojej pracy zaprezentowałam w wystąpieniu zatytułowanym „Assessing Human Balance by Posturography” podczas szkoły letniej (International Summer Student School „Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine”) w Dubna (Rosja), zorganizowanej przez Joint Institute for Nuclear Research, University Center w dniach 27 czerwca-11 lipca 2001). W ramach swojej pracy badawczej, obok pomiarów stabilograficznych i analizy uzyskanych wyników stworzyłam narzędzie do klasyfikacji danych stabilograficznych, pomocne w diagnostyce neurologicznej i otolaryngologicznej. Zaprojektowałam relacyjną bazę danych, która miała służyć do testowania metody ilościowej analizy parametrów stabilograficznych oraz umożliwić dokonanie statystycznych analiz uzyskiwanych wyników w celu określenia korelacji między parametrami pochodzącymi z badań a rozpoznaniem klinicznym. Utworzona baza stanowiła podstawę mojej pracy licencjackiej pt. „Relacyjna baza danych stabilograficznych (aplikacja Ms Access).”, której promotorem był dr Maria Berndt-Schreiber). Pracę obroniłam 11 września 2001.

Początek XXI wieku to okres gwałtownego rozwoju telekomunikacji. Rosnącej powszechności telefonii komórkowej towarzyszyła szybko rosnąca liczba popularnonaukowych i naukowych doniesień na temat możliwych negatywnych skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi m.in. wzrost zachorowalności na nowotwory mózgu oraz glejaka. Postanowiłam zgłębić ten temat. Zainteresowałam się zasadą działania i strukturą sieci telefonii komórkowej w systemie GSM (*Global System for Mobile Communications*) oraz wpływem pola elektromagnetycznego z zakresu częstotliwości telefonii komórkowej na środowisko i organizmy, zwłaszcza na układ nerwowy. Rozwijanie tych zainteresowań wymagało nawiązania współpracy z Pracownią Metrologii Promieniowania Elektromagnetycznego Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Warszawie (WIHE), kierowaną przez płk. prof. dr hab. inż. Romana Kubackiego. W ramach współpracy uczestniczyłam w projekcie mającym na celu opracowanie i zbudowanie miniatury komory bezechowej (MKB), która umożliwiała eksponowanie hodowli tkankowych w optymalnych i kontrolowanych warunkach temperaturowych. Warunki ekspozycji wewnątrz MKB, zbliżone były do realnych warunków narażenia głowy użytkownika telefonii komórkowej, co narzuciło konieczność określenia rozkładu wszystkich składowych pola elektromagnetycznego, jak również konieczność określenia obszaru pola jednorodnego w obszarze, w którym planowane było umieszczanie hodowli tkankowych wewnątrz MKB (**Wyszowska i in., 2004; Zał. 4, część II, pkt. 1A, poz. 1**). Na podstawie uzyskanych wyników przygotowałam pracę magisterską pt. „Warunki ekspozycji kultur tkankowych w miniatury komory bezechowej na pasmo 900 i 1800 MHz.”, której promotorami byli prof. dr hab. Andrzej Kowalczyk - UMK, płk prof. dr hab. inż. Roman Kubacki, WIHE). Pracę obroniłam 11 września 2003 z wynikiem bardzo dobrym uzyskując tytuł magistra fizyki (specjalność fizyka medyczna). Wyniki badań zaprezentowałam na 2 konferencjach o zasięgu międzynarodowym (**Zał. 4, część II, pkt. 5A, poz. 1 i 2**). Wiedzę i umiejętności nabyte w trakcie pracy nad pracą magisterską uznaję za niezwykle wartościowe i kluczowe w dalszych etapach kariery naukowej.

W październiku 2003 rozpoczęłam pracę na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Biofizyki Instytutu Biologii Ogólnej i Molekularnej Wydziału Biologii

i Nauk o Ziemi (obecnie: Katedra Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych), Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu kierowanym przez Panią prof. dr hab. Marię Stankiewicz. To był przełomowy moment w mojej pracy naukowej. Zatrudnienie w Zakładzie Biofizyki pozwoliło mi na poszerzenie moich zainteresowań bioelektromagnetyzmem i umożliwiło prowadzenie badań nad wpływem pola-EM na organizmy żywe, zwłaszcza na układ nerwowy z wykorzystaniem technik elektrofizjologicznych. Dzięki życzliwości, ogromnemu zaangażowaniu i wsparciu Pani prof. Stankiewicz otrzymałam narzędzia i zdobyłam wiedzę, pozwalającą na prowadzenie badań w interesującej mnie tematyce.

W 2004 roku zostałam członkiem Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu (PTZE). Coroczne konferencje organizowane przez PTZE, w których uczestniczyłam, okazały się doskonałym forum do poszerzenia wiedzy i zakresu moich interdyscyplinarnych zainteresowań i dały możliwość wymiany doświadczeń. Podczas jednej z tych konferencji poznałam Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Krawczyka (Prezes PTZE), który zainteresował mnie tematem oddziaływania pola-EM bardzo niskich częstotliwości na organizmy. Podjęłam, więc decyzję o przeprowadzeniu kompleksowych badań i oceny wpływu pola-EM bardzo niskiej częstotliwości (50 Hz) na układ nerwowy. Korzystając z wyposażenia pracowni elektrofizjologicznej mojej jednostki, skupiłam się na ocenie wpływu pola-EM na funkcjonowanie układu nerwowego karaczana amerykańskiego, *Periplaneta americana*. Owad ten jest doskonałym modelem w badaniach neurofizjologicznych, zwłaszcza wielkość i budowa jego układu nerwowego pozwala na zastosowanie technik elektrofizjologicznych (**Wyszowska i in. 2005; Zał. 4, część II, pkt. 1A, poz. 3**)

Realizacja podjętej przeze mnie tematyki badawczej wymagała opracowania i przygotowania stanowiska badawczego do oceny wpływu pola-EM na owady (i małe zwierzęta), z możliwością jego wykorzystania zarówno w dalszych badaniach własnych jak i prowadzonych poza jednostką macierzystą. Dzięki nawiązaniu współpracy z firmą „Elektronika i Elektromedycyna” z Otwocka zorganizowałam własną pracownię, która w chwili obecnej obejmuje 10 zestawów do ekspozycji małych zwierząt, jeden do ekspozycji komórek nerwowych na pole-EM (50 Hz,  $B_{max}=8$  mT), jeden zestaw do ekspozycji na pole-EM (50 Hz,  $E_{max}=10$  kV/m) oraz 4 zestawy do ekspozycji materiału biologicznego na stałe pole magnetyczne (130 i 350 mT). Wszystkie stanowiska do ekspozycji na pole-EM dostosowałam po pracy na organizmach żywych, co wymagało dokładnego określenia charakteru wytwarzanego pola i poziomu ekspozycji. W tym celu zmierzono fizyczne (wartość, częstotliwość) i geometryczne (rozkład) parametry pola-EM. Zmierzone wartości zostały potwierdzone symulacjami komputerowymi. Przeanalizowano również warunki termiczne podczas ekspozycji oraz drgania występujące w trakcie doświadczeń. W opomiarowaniu zestawów badawczych swoją wiedzą, doświadczeniem i pomocą służyli Pan prof. dr hab. inż. Krzysztof Kluszczyński, Pan dr hab. inż. Tomasz Trawiński i Pan dr inż. Marcin Szczygieł (Katedra Mechatroniki Politechniki Śląskiej) oraz Pan dr hab. inż. Paweł Bieńkowski wraz z zespołem (Pracownia Ochrony Środowiska Elektromagnetycznego Katedry Telekomunikacji i Teleinformatyki Politechniki Wrocławskiej). Uzyskanie dokładnej charakterystyki warunków ekspozycji pozwala na (1) umieszczanie organizmów/modeli w trakcie doświadczeń się w obszarze o dużej jednorodności rozkładu pola magnetycznego/elektrycznego, co umożliwiła ekspozycję całego materiału biologicznego w podobnych warunkach; (2) pozwala na powtórzenie eksperymentu z zachowaniem takich samych (powtarzalnych) warunków doświadczalnych np. w pracowni poza jednostką macierzystą. Dokładna charakterystyka warunków ekspozycji na pole-EM ma istotne znaczenie przy porównywaniu wyników badań uzyskanych w różnych ośrodkach naukowych i wyciąganiu poprawnych wniosków na temat efektów działania pola-EM na organizm. Nasze wyniki i spostrzeżenia opublikowaliśmy w cyklu prac (**Bieńkowski i in.**

**2015, 2015a; Trawiński i in. 2007, 2007a, 2010; Zał. 4 część II, pkt. 3A, poz. 2 i 3; pkt. 1A, poz. 5; pkt. 1B, poz. 1; pkt. 3A, poz. 4).** W pracach tych zależało nam na zwróceniu uwagi badaczy eksperymentalnych na znaczenie świadomego doboru warunków ekspozycji i ich jednoznacznego opisu. Znając wszystkie warunki towarzyszące ekspozycji w polu-EM, zbudowano zestawy do ekspozycji kontrolnych (*sham-exposure*) zapewniające takie same warunki doświadczalne jak ekspozycja na pole-EM ale bez obecności pola-EM.

Skonstruowano również zestaw, do ekspozycji w polu-EM układu nerwowego owada lub pojedynczych komórek nerwowych, który umożliwiła równoczesne zapisy elektrofizjologiczne. Było to bardzo znaczącym osiągnięciem pozwalającym na uzyskanie w trakcie doświadczeń bardzo dobrej jakości zapisów elektrofizjologicznych pozbawionych zakłóceń powodowanych przez pole-EM. Daje to duże możliwości obserwacji wpływu pola-EM na preparaty z układu nerwowego w różnych układach doświadczalnych. Opracowanie warunków doświadczalnych dla dwóch wyżej opisanych zestawów umożliwiła prowadzenie kompleksowych badań na poziomie całego organizmu oraz jego tkanek pobudliwych, zarówno w trakcie jak i po ekspozycji na pole-EM.

Wyniki moich badań wykazały zmianę funkcjonowania układu nerwowego owada w czasie i po ekspozycji na pole-EM (50 Hz, 7 mT), którym towarzyszył wzrost uwalniania oktopaminy. Zmiany w wydzielaniu oktopaminy zostały wykazane metodami pośrednimi przez: (1) porównanie efektów ekspozycji w polu-EM i działania egzogennej oktopaminy; (2) ocenę wpływu ekspozycji na pole-EMF na aktywność neurosekrecyjnych neuronów DUM (*Dorsal Unpaired Median*) i działanie blokera kanałów wapniowych – niklu, ograniczającego zdolności neurosekrecyjne w organizmie owada; (3) obserwację działania izolowanego fragmentu układu nerwowego owada, który poddany był wcześniej ekspozycji na pole-EM i porównanie zarejestrowanych zmian z efektami egzogennej oktopaminy. Uzyskane wyniki wskazują, że pole-EM działa jak czynnik stresowy na badany organizm. Założyłam, że w warunkach ekspozycji na pole-EM następuje zwiększenie aktywności wydzielniczej neuronów DUM, jak również innych neuronów produkujących oktopaminę. Przy współpracy z dr Anną Sztramską z Zakładu Biologii Medycznej Instytutu Biologii Ogólnej i Molekularnej UMK oraz dr Katarzyną Kozłowską z Pracowni Histologii i Embriologii Kręgowców Instytutu Ekologii i Ochrony Środowiska, UMK rozpoczęłam doświadczenia mające na celu ocenę zawartości amin, głównie oktopaminy, w ostatnim zwoju odwłokowym TAG (*Terminal Abdominal Ganglion*) u owadów kontrolnych oraz po ekspozycji w polu-EM z wykorzystaniem zjawiska fluorescencji indukowanej formaliną (*Formalin-Induced Fluorescence*, FIF). Jednakże wstępne wyniki badań wykazały, że zbyt trudne jest określenie, czy faktycznie istnieje różnica w obrazach preparatów pochodzących z grupy kontrolnej i ekspozowanej na pole-EM. W związku z tym dalszych badań w tym zakresie nie prowadzono.

Uzyskane wyniki pozwoliły mi na przygotowanie rozprawy doktorskiej pt. „Modyfikacja czynności układu nerwowego owada w wyniku ekspozycji w polu elektromagnetycznym niskiej częstotliwości”, której obrona odbyła się 25 czerwca 2008 (Instytut Biologii Ogólnej i Molekularnej, UMK). Ponadto wyniki opublikowano w następujących doniesieniach (**Wyszowska & Stankiewicz, 2007, 2009, 2010; Wyszowska i in., 2005, 2005a, 2006, 2006a; Zał. 4. Część II, pkt 1A, poz. 3, poz. 6, pkt. 1B, poz. 2, pkt. 3A, poz. 1-3, pkt. 3B, poz. 1).**

Okres do obrony rozprawy doktorskiej był czasem intensywnej pracy, w którym zgłębiłam wiedzę z zakresu metrologii pola-EM, zorganizowałam pracownię bioelektromagnetyczną, prowadziłam doświadczenia w podjętej tematyce oraz, co stanowiło dla mnie największe wyzwanie, pozyskałam wiedzę i umiejętności z zakresu neurofizjologii owadów i technik elektrofizjologicznych.

Po uzyskaniu stopnia doktora obroną tematykę badań kontynuowałam poszerzając zakres ekspozycji o dodatkową wartość indukcji magnetycznej (porównując efekty przy dwóch „poziomach” pola-EM: 7 mT i 1 mT), o różne czasy ekspozycji a także tryb ekspozycji (ekspozycja ciągła: 24 lub 72h i powtarzana: 1h/dzień przez 5-7 kolejnych dni; ekspozycja powtarzana nawiązuje do protokołu stosowanego w magnetoterapii). Założeniem było porównywanie efektów dla różnych protokołów ekspozycji na pole-EM, co miało pozwolić na określenie parametrów pola-EM stanowiących granicę pomiędzy oddziaływaniem negatywnym i efektami odbieranych jako pozytywne (wykorzystanie pola-EM w terapii). Dodatkowo szeroki wachlarz modeli doświadczalnych miał pomóc w ocenie mechanizmu („miejsca”) biologicznego oddziaływania pola-EM.

W 2011 roku podjęłam współpracę z Panią dr hab. Iwoną Gorczyńską, prof. UMK z Zakładu Biofizyki i Fizyki Medycznej (obecnie: Katedra Biofotoniki i Inżynierii Optycznej,) Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, UMK w zakresie zobrazowania zmian funkcjonowania układu nerwowego u karaczana amerykańskiego na skutek ekspozycji na pole-EM z wykorzystaniem tomografii optycznej (*Optical Coherence Tomography, OCT*). Badania prowadzono w ramach projektu pt. „Rozwój metod badania aktywności tkanek nerwowych za pomocą tomografii optycznej OCT z detekcją fourierowską”, Programu Lider, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, (grant nr: LIDER/11/114/L-1/09/NCBiR/2010). Z wykorzystaniem OCT wykrywaliśmy stymulowaną aktywność neuronalną łańcuszka nerwowego karaczana amerykańskiego. Wstępne wyniki badań zaprezentowano na dwóch edycjach konferencji “Photonics West - Optical Coherence Tomography and Coherence Domain Optical Methods in Biomedicine XVII” organizowanej przez SPIE (the International Society for Optical Engineering), San Francisco, California, USA w 2012 i 2013 roku. Skonstruowaliśmy eksperymentalną konfigurację OCT pozwalającą na obrazowanie nerwu brzuszego, z rozdzielczością wystarczającą do wizualizacji olbrzymich aksonów. System ten został wykorzystany do opracowania metod wizualizacji odpowiedzi próbki na bodziec elektryczny. Naszym głównym celem była analiza intensywności i zmian fazowych w sygnale OCT. Niestety uzyskane wyniki nie spełniły naszych oczekiwań i badania nie były kontynuowane (**Wyszowska i in. 2012; Gorczyńska i in. 2013 Zał. 4, część II, pkt. 4A, poz. 1, poz. 2**).

Kontynuując badania prowadzone na karaczanie amerykańskim (*Periplaneta americana*) w naszej jednostce, poddano ocenie zmianę wrażliwości owada na neurotoksynę pod wpływem ekspozycji na pole-EM. Jak już wcześniej wspomniałam, pole-EM uważa się za czynnik środowiska mogący wyzwać szkodliwe działanie innych substancji zanieczyszczających środowisko np. związków aluminium, czy szkodliwych środków chemicznych stosowanych w rolnictwie i gospodarstwach domowych. Teoria ta ma tłumaczyć zwiększoną zachorowalność na m.in. choroby neurodegeneracyjne jak również przyczynę spadku liczebności owadów. W naszych doświadczeniach wykorzystany został rekombinant anty-owadziej toksyny alfa LqαIT z jadu skorpiona. Wyniki wskazują, że ekspozycja na pole-EM (50 Hz, 0,7 mT) modyfikuje wpływ toksyny powodując zmniejszenie efektu jej działania na poziomie nerwu cerkalnego (obwodowego), ale zwiększając jej toksyczne działanie na poziomie nerwu łańcuszka brzuszego (ośrodkowego). Obserwowane efekty sugerują, że pole-EM bezpośrednio oddziałuje na błony pobudliwe i transmisję synaptyczną. Dodatkowo doświadczenia *in vivo* wykazały, że ekspozycja karaczanów na pole-EM (50 Hz, 0,7 i 7 mT) zmniejszała toksyczność LqαIT w sposób zależny od dawki. Prawdopodobnie było to związane z pośrednim działaniem pola-EM np. przez zwiększenie tempa metabolizmu, które w konsekwencji doprowadziło do przyspieszenia procesu detoksykacji. W pracy pokazano, że wykorzystanie toksyn może być pomocne do rozróżniania pierwotnego i wtórnego efektu działania pola-EM (**Jankowska i in. 2015; Zał. 4, część II, pkt.**

**3B, poz. 4).** W innych doświadczeniach, zbadano wpływ ekspozycji na pole-EM (50 Hz, 7 mT) na reakcję karaczana na działanie wysokiej temperatury (*noxious heat*) oraz oceniono poziom stresu oksydacyjnego. Wyniki wykazały, że ekspozycja na pole-EM przez 24 i 72h oraz 7 dni znacząco zwiększyła opóźnienie ucieczki przed szkodliwym działaniem ciepła. Poziomy malondialdehydu wzrosły znacząco po 24h ekspozycji na pole-MF i utrzymywały się na podwyższonym poziomie przez całe 7 dni ekspozycji. Zawartość glutationu istotnie spadła u karaczanów eksponowanych na pole-EM przez 7 dni. Te wyniki dowodzą, że ekspozycja na pole-EM stanowi czynnik stresogenny, wywołujący stres oksydacyjny i zmieniający percepcję ciepła u amerykańskiego karaczana (**Maliszewska et al. 2018; Zał. 4, część II, pkt. 3B, poz. 6).**

Od 2014 roku w ramach współpracy Panią prof. dr hab. Justyną Rogalską z Zakładu Fizjologii Zwierząt (obecnie Katedra Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii) UMK oraz zespołem Pana prof. dr hab. Marka Wieczorka z Katedry Neurofizjologii Uniwersytetu Łódzkiego uczestniczę w badaniach nad reakcjami stresowymi szczurów rasy Wistar, w tym nad aktywnością układu współczulno-nadnerczowego (SAS) i osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej (HPA) wywołanych ekspozycją na pole-EM (50 Hz, 1 mT i 7 mT). Prowadzenie badań na kręgowcach wymagało ode mnie zdobycia stosownych uprawnień, poszerzyło moją tematykę badawczą, wiedzę oraz doświadczenie. Przeprowadzone badania wykazały, że ekspozycja na pole-EM wpływa na aktywność HPA i SAS oraz poziom stresu oksydacyjnego, a kierunek i dynamika tych zmian zależą od wartości indukcji pola-EM i liczby ekspozycji (ekspozycja pojedyncza lub powtarzana). Wykazano, że przy ekspozycji na niskie poziomy pola-EM, oddziaływanie na organizm może być odbierane jako pozytywne, sprzyjając plastyczności mózgu i zwiększając adaptację neurologiczną do kolejnych czynników stresogennych. Z drugiej strony zbyt duże wartości pola-EM mogą wywołać efekty negatywne, przyczyniając się do zakłóceń w reakcjach na stres i zwiększając wrażliwość na kolejne czynniki stresogenne, potencjalnie zwiększając ryzyko zaburzeń związanych ze stresem. Wyniki zostały opublikowane w dwóch oryginalnych pracach (**Klimek i in., 2022; Klimek i in., 2022; Zał. 4, część II, pkt. 3B, poz. 16, poz. 19).**

W roku 2013 poszerzyłam swoje badania nad biologicznymi efektami działania pola-EM o model roślinny. Pole magnetyczne jest powszechnie stosowane do poprawy jakości nasion i tym samym do uzyskania większych plonów. Metody fizyczne stanowią alternatywę dla środków chemicznych wykorzystywanych do poprawy jakości materiału siewnego i w odróżnieniu od nich są bezpieczne dla środowiska, ponieważ nie ingerują w chemiczny skład nasion i nie zanieczyszczają środowiska glebowego. Pierwsze doświadczenia zostały wykonane przez licealistkę (obecnie absolwentką kierunku Biotechnologia na UMK) w ramach dwóch projektów prezentowanych na Ogólnopolskiej Olimpiadzie Biologicznej Szkół Ponadgimnazjalnych (w roku szkolnym 2003/2014 oraz 2014/2015). Uczennica uzyskała tytuł laureata w zawodach okręgowych a praca została wyróżniona. Uzyskane wyniki były na tyle obiecujące, że w 2014 roku postanowiłam podjąć współpracę z Panią prof. dr hab. Adrianą Szmidt-Jaworską oraz Panią dr Agnieszką Pawełek z Katedry Fizjologii Roślin i Biotechnologii Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska (obecnie Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych) UMK. Celem wspólnych badań była kompleksowa analiza mechanizmów wzrostu i rozwoju roślin poddanych ekspozycji na pole magnetyczne i elektromagnetyczne. Doświadczenia przeprowadzono na pszenicy (*Triticum aestivum*) i bobiku (*Vicia faba*). Uzyskane do tej pory wyniki wskazują, że przedsięwzięta ekspozycja na pole-EM (50 Hz, 7 mT) przyspiesza kiełkowanie i wzrost, stymuluje wzrost korzeni oraz zawartość barwników fotosyntetycznych. Obserwowane efekty i ich wielkość zależą od dodatkowych czynników takich jak wiek nasion, warunki oświetleniowe oraz rodzaj podłoża wzrostowego. Wyniki sugerują działanie pola-EM jako czynnika stresogennego o niskiej intensywności, który prowadzi do stymulacji wzrostu i rozwoju rośliny, a efekt jest większy w niekorzystnych warunkach, np. w przypadku starszych nasion czy słabszej jakości podłoża. W



ramach wspólnie prowadzonych badań, w których odpowiadam za traktowanie nasion polem-EM realizowany jest doktorat (doktorant: Daniele Cecchetti; temat: "Holistic analysis of signaling molecules involved in the gibberellins/ abscisic acid - dependent response mechanism of *Triticum aestivum* seeds to pre-sowing treatment with magnetic field", promotorzy: Prof dr hab. Adriana Szmidt-Jaworska z Katedry Fizjologii Roślin i Biotechnologii, UMK oraz Prof. Massimo Maffei, Department of Life Sciences and Systems Biology, Plant Physiology-Innovation Centre, University of Turin, Włochy). Wspólne badania prowadzono również w ramach projektu finansowanego z mikrograntu INCOOP pt. "Wykorzystanie pola magnetycznego do poprawy jakości materiału siewnego" (01.10.2020 - 31.08.2021) w ramach Inicjatywny Doskonałości- Uniwersytet Badawczy, którego liderem była dr Agnieszka Pawełek oraz projektu studenckiego pt. "Diagnostyka materiału siewnego w kontekście zrównoważonej ochrony roślin" (01.10.2020 - 30.09.2022) ramach programu "Universitas Copernicana Thoruniensis In Futuro". Nasz wspólny dorobek publikacyjny dotyczący powyższej tematyki to pozycje **(Cecchetti i in., 2022; Pawełek, i in., 2022; Pawełek, i in., 2022; Zał. 4, część II, pkt. 3B, poz. 15, poz. 17, poz. 18)**, wyniki prezentowane były również przez współautorów na 3 konferencjach.

Tak jak wcześniej wspomniałam interesuje mnie również wykorzystanie ekspozycji na pole-EM w terapii, zwłaszcza w kontekście układu nerwowego. Przeanalizowałam stan wiedzy w tej tematyce, w dostępnej literaturze naukowej, co zaowocowało powstaniem pracy przeglądowej **(Jankowska i in. 2018; Wyszowska i in., 2019; Zał. 4, część II, pkt. 1B, poz. 4, pkt. 3B, poz. 10)**. Powstał również projekt, którego liderem była Pani dr Milena Jankowska (Katedra Fizjologii Zwierząt i Neurobiologii, UMK), mający zweryfikować czy pole-EM o częstotliwości 50 Hz wpływa korzystnie na przywrócenie zdolności karaczana *Periplaneta americana* do odbierania bodźców o podmuchu powietrza po usunięciu wyrostka rylcowego (głównego skupiska mechanoreceptorów). Wyniki wskazują, że pole-EM (50 Hz, 7 mT) powoduje przyspieszenie adaptacyjnych zmian w układzie nerwowym **(Jankowska i in. 2021; Zał. 4, część II, pkt. 3B, poz. 14)**. Rezultaty te są obiecujące ze względu na możliwość ich wykorzystania w np. terapii chorób neurologicznych i neurodegeneracyjnych. Temat terapeutycznego wykorzystania pola-EM rozwijam również we współpracy z dr. inż. hab. Piotrem Gasem (Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, AGH), w kontekście modelowanie hipertermii elektromagnetycznej stosowanej m. in. przezskórnej ablacji cieplnej guzów wątroby. Wyniki badań w ramach naszej współpracy przedstawiono w publikacji **(Gas & Wyszowska, 2019 Zał. 4, część II, pkt. 3B, poz. 8)**.

Wśród moich zainteresowań naukowych znajduje się również temat skutków (zdrowotnych, ekologicznych i społeczno-ekonomicznych) katastrofy w Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej. Wiedzę w tym temacie miałam okazję zdobywać m.in. w kolejnych edycjach Szkoły Jesiennej Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych (Zał 4. część II, pkt. 5B, poz. 9, 12, 15), w czasie odbytych wyjazdów naukowych (Zał 4. część II, pkt. 9B, poz. 1 i 2) oraz w trakcie naukowej wyprawy do Czarnobylskiej Strefy Wykluczenia w dniach 29.03.-04.04.2011.

### Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda Rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu za wysoko punktowaną publikację naukową 02.2021, 06.2021.
- Rektorskie dodatki stażowe przyznawane 6-krotnie w okresie 1.01.2011-25.10.2014 na podstawie rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 grudnia 2006 r. w sprawie warunków wynagradzania za pracę i przyznawania innych świadczeń związanych z pracą dla pracowników zatrudnionych w uczelni publicznej (Dz.U. Nr 251, poz. 1852 z późniejszymi zmianami).



## Uczestnictwo w szkoleniach/kursach doszkalających (potwierdzone certyfikatem)

### 1. Naukowe

- 08.04.2022 Webinar: *Current situation in the Ukrainian nuclear industry in Chornobyl and Zaporizhzhya NPPs and Charkiv neutron source facility*
- 3-5.11.2021 Szkolenie w zakresie wykonywania pomiarów pola-EM wytwarzanego przez aparaturę kontrolno-pomiarową (decyzja Nr 171/MON Ministra Obrony Narodowej z 27.10.2017 r. w prawie przestrzegania w resorcie obrony narodowej zasad bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne (Dz.Urz. MON Nr 171, poz. 208).
- 13.07.2021 The three-part Nature Masterclasses online course in Scientific Writing and Publishing (Part 1: Writing a Research Paper, Part 2: Publishing a Research Paper and Part 3: Writing and Publishing a Review Paper);
- 24.09.2021 Szkolenie *Bezpieczeństwo Informacji – Security Awareness*- Firma Uniseco Sp. z o. o.
- 24.09.2021 Szkolenie *Nowe podejście do ochrony danych osobowych po wejściu RODO*- Firma Uniseco Sp. z o. o.
- 17-22.10.2021 XXVI Szkoła Jesienna Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej – Curie pt. *Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce. Postęp czy zagrożenie?* Zakopane.
- 14.09.2021 Zebranie Członków Polskiego Komitetu SEP ds. Zastosowań Pola Elektromagnetycznego w Medycynie - Seminarium Naukowe. Jastarnia.
- 22-23.05.2019 *Workshop Medipix Meeting Prague*- international workshop on radiation imaging detectors, Praga, Czechy.
- 10.12.2018 *Szkolenie w zakresie ochrony informacji niejawnych*, Biuro ochrony informacji niejawnych, UMK, Toruń.
- 13-15.09.2018 *1<sup>st</sup> EMF- Med Training on Biomedical Applications of Electromagnetic Fields* w ramach programu COST EMF - MED (Action BM1309). Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Chorwacja.
- 11.2015 Szkolenie dla osób wykonujących czynności związane z wykorzystywaniem zwierząt do celów naukowych lub edukacyjnych organizowane przez Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy UMK w Toruniu (50 godzin).
- 12-16.10. 2015 XXIV Szkoła Jesienna Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej – Curie pt. *Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i niejonizującym. Nowe uregulowania prawne, źródła, problemy pomiarowe*, Zakopane.
- 08.10–21.01.2014 Kurs w zakresie statystyki opisowej i matematycznej z wykorzystaniem programu IBM SPSS Statistics przeznaczony dla pracowników naukowych, naukowo-dydaktycznych i dydaktycznych UMK pracujących w obszarze nauk humanistycznych i przyrodniczych (30 godzin).
- 04.12.2013 Szkolenie z zakresu użytkowania programu *Ethovision* (animal behavior video tracking program), Nottingham, Wielka Brytania
- 11-12.06.2008 Warsztaty technik elektroforetycznych i fluorescencyjnych oraz zapoznanie się z technikami rozdziału białek w systemie Nupage, właściwościami i zastosowaniem nowej generacji znaczników fluorescencyjnych Qdots
- 09-20.05.2005 *International course on Fundamentals of Neuroscience and Cognition*, Kraków (organizatorzy: Helholtz Institute, Utrecht University, Holandia i Rudolf Magnus Institute of Neuroscience, University Medical Center Utrecht, Holandia)
- 22-25.10.2005 *VII Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie* organizowane przez Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych oraz Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej Oddział Gliwice

- 11.2002 VII Jesienna Szkoła Fizyki Medycznej, zorganizowana przez Regionalne Centrum Onkologii w Bydgoszczy
- 27.06.-11.07.2001 International Summer Student School, *Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine* w Dubna, organizowanym przez Joint Institute for Nuclear Research, University Center. (Wygłoszony referat pt. *Assessing Human Balance by Posturography*)
- 09.2000 Szkolenie w ramach studenckich praktyk zawodowych w zakresie zastosowania programów i systemów komputerowych oraz nowoczesnej aparatury medycznej prowadzone przez 10 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką- Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej w Bydgoszczy

## 2. Dydaktyczne

- 02-03.03.2023 *Szkolenie nauczycieli akademickich z zakresu rozwijania kompetencji dydaktycznych w Microsoft Teams - co nowego* w ramach projektu „Universitas Copernicana Thoruniensis In Futuro II-modernizacja Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w ramach Zintegrowanego Programu Uczelni”
- 02-06. 2011 Kurs specjalistyczny z zakresu Nowoczesnych Metod Nauczania (NMN) - Grafika komputerowa - Adobe Photoshop (30 godzin).
- 11.2010 Seminarium *Krajowe Ramy Kwalifikacji. Budowa programów studiów na bazie efektów kształcenia*, Toruń
- 04-05.2003 *Praktyka przedmiotowo - metodyczna* z przedmiotu fizyka w Zespole Szkół Chemicznych, II Liceum Ogólnokształcące w Toruniu
- 09-10.2002 *Praktyka przedmiotowo-metodyczna* z przedmiotu fizyka w Zespole Szkół Powszechnych, Gimnazjum Nr 13 w Olsztynie

## 3. Fundusze Europejskie dla nauki

- 06.2013 Szkolenie organizowane we współpracy z Regionalny Punktem Kontaktowym Programów Badawczych UE przy Politechnice Gdańskiej, *Możliwości finansowania badań dla indywidualnych naukowców w Programie Ramowym UE HORYZONT 2020.*
- 04.2013 Warsztaty *Rozwój międzynarodowej indywidualnej kariery naukowej w 7. PR UE.*
- 10.2010 Dzień Informacyjny pn. *Nowe konkursy w 7. Programie Ramowym – szansą na sukces!*
- 10.2010 Warsztaty *Fundusze Europejskie dla nauki*, Toruń

.....  
(podpis wnioskodawcy)