

dr inż. Paweł Jan Migdał

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt

Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt

Pracownia Pszczelnictwa

AUTOREFERAT OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

1. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM PODMIOTU NADAJĄCEGO STOPIEŃ, ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Doktor nauk rolniczych w dziedzinie zootechniki – 2019 rok – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, tytuł rozprawy doktorskiej „Ocena zmian fizjologicznych oraz behawioralnych u pszczoły miodnej pod wpływem pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz i zmiennym natężeniu”

Magister biologii spec. techniki laboratoryjne w biologii – 2015 rok - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt

Inżynier bezpieczeństwa żywności – 2016 rok - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt,

Starszy specjalista Zarządzania jakością i bezpieczeństwem pracy – 2014 - studia podyplomowe - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt,

Tytuł zawodowy Pszczelarz – 2018 - Szkoła Policealna “LIDER” - ukończenie kwalifikacyjnego kursu pszczelarskiego R-04 - Prowadzenie produkcji pszczelarskiej,

Tytuł technika pszczelarza – 2018 - Szkoła Policealna “LIDER” - ukończenie kwalifikacyjnego kursu pszczelarskiego R-17 - organizacja i nadzorowanie produkcji rolniczej i pszczelarskiej.

2. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Od 2019 do chwili obecnej – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu – Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt – adiunkt.

2018 – 2019 – PORT – Polski Ośrodek Rozwoju Technologii – inżynier procesu.

2019 – 2020 – Sieć Badawcza Łukasiewicz - PORT – Polski Ośrodek Rozwoju Technologii – starszy inżynier procesu.

2020 do chwili obecnej – Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej Polskiej Akademii Nauk PAN we Wrocławiu – ekspert specjalista do spraw aparatury środowiskowej.

3. 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 PÓŻN. ZM.).

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Wykorzystanie wybranych wskaźników biochemicznych do oceny wpływu pola elektromagnetycznego na organizm pszczoły miodnej przy długotrwałej ekspozycji

3.2. Prace wskazane jako szczególne osiągnięcie naukowe

Cykl publikacji

1. **Migdał, P.;** Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P.; Roman, A. (2020). Changes in the Honeybee Antioxidant System after 12 h of Exposure to Electromagnetic Field Frequency of 50 Hz and Variable Intensity. DOI: [10.3390/insects11100713](https://doi.org/10.3390/insects11100713)
Insects 11, 713 (IF – 2,769, pkt MNiE – 100 pkt).

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji badań oraz ich rozplanowanie, opracowanie metodyki i organizacja stanowiska badawczego, udział w przeprowadzeniu doświadczenia, analizę wyników, przygotowanie treści pracy, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

2. **Migdał, P.;** Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P.; Roman, A. (2021). Honey Bee Proteolytic System and Behavior Parameters under the Influence of an Electric Field at 50 Hz and Variable Intensities for a Long Exposure Time.
<https://doi.org/10.3390/ani11030863>
Animals 11, 863, (IF – 2,752, pkt MNiE – 100 pkt).

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji badań oraz ich rozplanowanie, opracowanie metodyki, analizy statystyczne, dobór parametrów doświadczalnych i organizacja stanowiska badawczego. Ponadto przygotowanie treści pracy, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

3. **Migdał P.**, Murawska A, Bieńkowski P, Strachecka A, Roman A (2021) Effect of the electric field at 50 Hz and variable intensities on biochemical markers in the honey bee's hemolymph. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252858>
PLoS ONE 16(6): e0252858, (IF – 2,740, pkt MNiE – 100 pkt).

Mój wkład w przygotowanie pracy obejmował zaprojektowanie badań oraz ustalenie zakresu analiz. Przygotowanie stanowisk, badawczych, udział w przeprowadzeniu badania, analiza wyników i zaplanowanie analiz statystycznych. Ponadto przygotowanie treści pracy, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

4. **Migdał P.**, Murawska A., Bieńkowski P., Strachecka A., Roman A. (2021), Effect of E-field at frequency 50 Hz on protein, glucose, and triglycerides concentration in honeybee hemolymph. DOI: 10.1080/24750263.2021.2004247
The European Zoological Journal 88(1), 1170-1176, (IF – 1,74, pkt MNiE – 140 pkt).

Mój wkład w przygotowanie pracy obejmował zaprojektowanie badań oraz ustalenie parametrów doświadczenia. Przygotowanie stanowiska badawczego, materiału do analiz, udział w przeprowadzeniu badania, analiza wyników i zaplanowanie analiz statystycznych. Opracowanie graficzne materiału. Ponadto przygotowanie treści pracy, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

4.3. Omówienie szczególnego osiągnięcia naukowego

Wprowadzenie

Pszczoła miodna (*Apis mellifera* L.), jest jednym z najważniejszych ogniw w produkcji żywności. Dzięki zapyłaniu przyczynia się do wydania plonu przez rośliny lub jego zwiększenia. Pszczoły robotnice wylatując z ula przemierzają środowisko naturalne w poszukiwaniu źródeł pokarmu. Dzięki tej pracy zaopatrują rodzinę pszczelą w nektar i pyłek,

czyli podstawowe składniki odżywcze. Niestety, podczas zapyłania i pozyskiwania pokarmu, robotnice pszczoły miodnej są narażone na różnorodne stresory środowiskowe, zarówno naturalne jak i te pochodzenia antropogenicznego. Stresory będące naturalnym elementem środowiska, to między innymi nagłe zmiany warunków atmosferycznych, drapieżniki czy promieniowanie pochodzące z rud metali oraz słońca. W toku ewolucji pszczoła miodna wykształciła różne systemy umożliwiające ograniczenie wpływu tych naturalnych czynników, jedynie w sytuacjach ekstremalnych są one bezpośrednim zagrożeniem. Większość zagrożeń bezpośrednio oddziałujących negatywnie na pszczołę miodną jest pochodzenia antropogenicznego. Są to między innymi pestycydy, zanieczyszczenie środowiska metalami czy nieustannie zwiększające się wypełnienie środowiska naturalnego sztucznym polem elektromagnetycznym (PEM) o różnych częstotliwościach i natężeniach. Dla części z tych czynników miejscem narażenia jest nie tylko środowisko, ale również wnętrze ula. Właśnie ten ostatni czynnik stresowy, czyli pole elektromagnetyczne, w ostatnich latach zaczyna być zagadnieniem istotnym z punktu widzenia prowadzenia gospodarki pasiecznej i badania środowiska życia pszczół, ponieważ dynamicznie rośnie liczba emiterów pola elektromagnetycznego. Rozwój technologii i telekomunikacji jest zjawiskiem globalnym. Generuje to potrzebę rozwoju zarówno przesyłania energii na duże odległości jak i zwiększenie jej produkcji. Każdego roku nowo powstające linie wysokiego napięcia, stacje bazowe, maszty radiowe i nadajniki Wi-Fi coraz gęściej przecinają środowisko naturalne i docierają do odległych zakątków świata (Loriatti i wsp. 2009). Wśród wielu różnych częstotliwości i natężenia pola elektromagnetycznego najczęściej spotykanymi są te emitowane przez urządzenia elektryczne wykorzystywane w codziennym życiu (sprzęt AGD, silniki elektryczne w samochodach, pociągach i tramwajach) (Ahlbom et al. 2005). Linie przesyłowe dostarczające energię do obsługi tych urządzeń, generują przy tym pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz, które oddziałuje na otaczające środowisko. Pole to jest klasyfikowane jako ekstremalnie niskiej częstotliwości (ELF). W przypadku pól ELF praktycznie zawsze mamy do czynienia z polem bliskim, w którym pole elektryczne może być traktowane niezależnie od pola magnetycznego. Można przyjąć, że natężenie pola elektrycznego zależy od napięcia i pola magnetycznego oraz prądu płynącego w obwodzie (Al-Bassam i in. 2016). Ze względu na budowę napowietrznych linii wysokiego napięcia, natężenie pola elektrycznego pod liniami może wahać się od 1 kV/m, nawet do 10 kV/m na wysokości 2–3 m nad powierzchnią gruntu, osiągając ponad 20 kV/m na wysokości 5–10 m, w zależności od wysokości przewodów nad ziemią i napięcia roboczego linii, i jest stałe w czasie. Pole magnetyczne zależy bezpośrednio

od obciążenia linii, a jego natężenie może zmieniać się w czasie nawet kilkukrotnie (Maslanyj i wsp. 2009; Milutinov i wsp. 2009).

Tabela 1. Tabela 2. Przeciętna wartość natężenia PEM emitowanego przez linie wysokiego napięcia (Kiciński i Żera, 2002)

Lp.	Wyszczególnienie	Natężenie pola EM w kV/m
1	Pod liniami napięć 220 – 400 kV	5 – 10
2	W odległości 50 m. od linii 400 kV	< 0,5
3	Pod liniami 110 Kv	0,5 – 4

Robotnica w trakcie lotu na pożytek może być narażona na działanie tych pól, a czas trwania narażenia może wynosić od kilku do kilkudziesięciu minut. Ponadto gęste usianie w środowisku różnych źródeł PEM naraża zbieraczki na coraz dłuższy czas ekspozycji. Natomiast cała rodzina pszczoła może być ekspozowana przez dłuższy czas, gdy ul znajduje się w sąsiedztwie źródeł pola elektromagnetycznego. Niestety, badań z tego zakresu jest niewiele, dodatkowo często różnią się one sposobem generowania pola elektromagnetycznego, a także jego częstotliwością. W badaniach naukowych wykorzystuje się różne częstotliwości od kilku herców przez 50 herców aż do mega i gigaherców. Z literatury wynika, że bezpośredni lub pośredni kontakt z polem elektromagnetycznym, nie powoduje znaczących upadków pszczół, jak ma to miejsce przy narażeniu np. na środki ochrony roślin. Udowodniono, że pszczoły unikają pozyskiwania pokarmu w miejscach charakteryzujących się polem elektromagnetycznym o niskiej częstotliwości (Shepherd i wsp. 2018). Pole elektromagnetyczne o częstotliwości 60 Hz > 150 kV/m powoduje u nich drganie skrzydeł, czułków i ciała (Bindokas i wsp. 1989). Bindokas i wsp. (1988) pokazują również, że ekspozycja pszczoły miodnej przez dłuższy czas na linie wysokiego napięcia może zwiększać ich śmiertelność. Ponadto pole elektromagnetyczne wpływa na fizjologię pszczoły miodnej, modyfikując rozwój poczwarki (szczególnie z zakresu częstotliwości telefonu komórkowego) (Odemer and Odemer, 2019) oraz zwiększa zużycie tlenu (pole statyczne 1,4–2,8 kV/m) (Altmann 1959). Dodatkowo, analizy wpływu PEM na pszczołę miodną wykazują, że zachodzą zmiany w parametrach wydajnościowych i kondycyjnych rodzin pszczelich oraz wewnątrz ich organizmu. Wśród badań wydajnościowych określano między innymi wydajność składania jaj

przez matkę, powierzchnię czerwiu, powierzchnię zapasu pierzgi i miodu, aktywność i skłonność do agresji w rodzinach pszczelich. Sharma i Kumar (2010), w swoich badaniach oceniali oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości 900 MHz na wskaźniki reprodukcyjne matek pszczelich oraz wskaźniki wydajnościowe rodzin pszczelich. Stwierdzili oni zmniejszenie liczby jaj złożonych przez matkę pszczelą. Rodziny pszczele charakteryzowały się obniżoną wydajnością pyłkową. Dodatkowo określano zmiany biochemiczne w hemolimfie trutni (Kumar i wsp. 2013). Dotychczas prowadzone badania skupiały się na ewentualnym wpływie pola elektromagnetycznego na zaburzeniu zdolności lokalizacji pożytku przez zbieraczki. Drogę tę według Etheredge i wsp., (1999) wyznaczają kierując się położeniem linii sił pola magnetycznego i polaryzacji światła słonecznego.

Przy określaniu stanu organizmu robotnic pszczoły miodnej po narażeniu na działanie różnych czynników stresogennych, w tym pola elektromagnetycznego, najpowszechniejszym materiałem do badania zmian w markerach i wskaźnikach biochemicznych jest hemolimfa (Łoś i Strachecka 2018; Migdał i wsp. 2020). W przypadku pszczoły miodnej płyn ten bierze czynny udział w transporcie składników odżywczych, białek odpornościowych i zbędnych produktów przemiany materii (Otlewski i wsp. 2001). Dzięki określaniu aktywności oraz zmian poziomu różnych markerów biochemicznych, uzyskujemy obraz stanu organizmu pszczoły miodnej. Materiał ten był wykorzystany w kilku pracach, w których robotnice pszczoły miodnej narażano na PEM przez 1, 3 i 6 h przy częstotliwości 50 Hz i zmiennym natężeniu. W badaniach tych określano zmiany zachodzące w wybranych elementach behawioralnych pszczół (częstotliwość i czas trwania chodzenia, bezruchu, wentylacji, ruchu skrzydeł, kontakcie osobniczym) oraz wybranych markerach biochemicznych (aktywność dysmutazy ponadtlenkowej - SOD; aktywność katalaz - CAT; aktywność proteaz kwaśnych, zasadowych, obojętnych oraz ich inhibitorów). Prowadzone analizy odbywały się w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Okazało się, że ekspozycja przez 1, 3 i 6 h na PEM o częstotliwości 50 Hz spowodowała zmiany w aktywności markerów systemu antyoksydacyjnego (CAT, SOD) oraz proteolitycznego (szczególnie proteaz kwaśnych i neutralnych). Natomiast nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu tego czynnika na całkowitą zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) oraz na proteazy zasadowe i inhibitory proteaz (Migdał i wsp. 2020; Migdał i wsp. 2021). Migdał i wsp. (2021) stwierdzili również zmiany w zachowaniu pszczoły miodnej poddanej wpływowi pola elektromagnetycznego, szczególnie widoczne było to w przypadku czyszczenia się robotnic. Wzrosła częstotliwość wystąpień oraz długość trwania czasu spędzanego na tym zachowaniu. Według autorów może to świadczyć o podrażnieniu

receptorów, które odpowiadają za ochronę powierzchni ciała przed zagrożeniem oraz stymulują robotnice do utrzymywania higieny powłok zewnętrznych ciała. Wszystkie te prace opierały się o ekspozycję przez 1, 3 lub 6 h, natomiast wcześniejsze badania nie prezentowały wpływu ekspozycji dłuższej (12 h), na organizm pszczoły miodnej. Dodatkowo wykazano pewną cykliczność zmian parametrów pod wpływem tego czynnika. Nie określano natomiast utrzymywania się tych zmian w organizmie robotnic. Nie badano również stopnia zmian w odżywieniu organizmu i systemu detoksykacyjnego pszczoły miodnej wystawionej na działanie pola elektromagnetycznego. Wobec powyższego, jest to element który skłania do sprawdzenia czy podobne zmiany będą w innych wskaźnikach biochemicznych niż te dotychczas badane oraz czy wcześniej obserwowane efekty utrzymają się przy dłuższej ekspozycji. Ważne jest też sprawdzenie wpływu na kondycję organizmu pszczoły miodnej określanej przez stopień jego odżywienia (zawartość glukozy, trójglicerydów i białka w hemolimfie). Ze względu na obecny stan wiedzy przedstawione osiągnięcie naukowe opierające się o wykorzystanie markerów biochemicznych do oceny 12h wpływu pola elektromagnetycznego na organizm pszczoły miodnej można uznać za nowatorskie i w sposób znaczący uzupełniające aktualną wiedzę. Ponieważ dotychczasowe badania nie analizowały długotrwałej ekspozycji robotnic pszczoły miodnej na ten czynnik.

Cel badań

Przedstawiony cykl publikacji ma na celu określenie stopnia zmian biochemicznych w organizmie robotnic pszczoły miodnej przy długotrwałej (12 h) ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz przy różnym natężeniu.

Szczegółowe cele badań:

1. Ocena stopnia zmian w wybranych parametrach antyoksydacyjnych (CAT, SOD, FRAP) u robotnic pszczoły miodnej poddanej wpływowi pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz po 12h ekspozycji.
2. Analiza stopnia zmian w aktywności systemu proteolitycznego robotnic pszczoły miodnej przy 12h ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz.
3. Określenie zmian aktywności wybranych enzymatycznych wskaźników biochemicznych oraz stężenia wybranych nieenzymatycznych przeciwutleniaczy (kreatyniny i albumin) w hemolimfie pszczoły po ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i po 12h ekspozycji.

4. Wykazanie wpływu na wskaźniki odżywienia i detoksykacyjne organizmu pszczoły miodnej przy 12h ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz.
5. Stwierdzenie jak dużym stresorem środowiskowym dla pszczoły miodnej jest pole elektromagnetyczne.

Omówienie cyklu publikacji:

Publikacja 1:

Migdał, P.; Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P.; Roman, A. Changes in the Honeybee Antioxidant System after 12 h of Exposure to Electromagnetic Field Frequency of 50 Hz and Variable Intensity. *Insects* 2020, 11, 713 DOI: [10.3390/insects11100713](https://doi.org/10.3390/insects11100713).

W badaniach postawiono hipotezę, że po 12 h ekspozycji na pole elektromagnetyczne zwiększa się aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), katalaz (CAT) i zmienia zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) w hemolimfie pszczoł. Badania miały na celu przedstawienie wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz i zmiennej intensywności 5,0; 11,5; 23,0 i 34,5 kV/m na parametry antyoksydacyjne robotnic pszczoły miodnej, takie jak SOD, CAT i FRAP po 12 h ekspozycji. Badania zostały podjęte w tym kierunku, ponieważ wcześniejsze doświadczenia własne oraz innych autorów, wykazały, że widoczne są zmiany w tych wskaźnikach pod wpływem pola elektromagnetycznego. W badaniach scharakteryzowano aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), katalazy (CAT) i całkowitego potencjału antyoksydacyjnego (FRAP) jako głównych enzymów antyoksydacyjnych.

Badania przeprowadzono na robotnicach pszczoły miodnej rasy kraińskiej (*Apis mellifera carnica*). W tym celu z rodzin pszczelich pobierano plaster z czerwem w 20. dobie rozwoju i umieszczano w inkubatorze o kontrolowanej temperaturze $34,4 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej $70\% \pm 5\%$. W inkubatorze robotnice pszczoły miodnej miały zapewniony dostęp do miodu oraz pierzgi *ad libitum*. Po wygryzieniu jednodniowe robotnice pszczoły miodnej umieszczono w drewnianych klatkach ($200 \times 150 \times 70$ mm) po 100 robotnic w każdej. Klatki wyposażone były w dwa wewnętrzne dozowniki z roztworem sacharozy o stężeniu 1 mol/dm³ *ad libitum*. Każda grupa (doświadczalna i kontrolna) składała się z 10 klatek. Materiał badawczy stanowiły dwudniowe robotnice pszczoły miodnej.

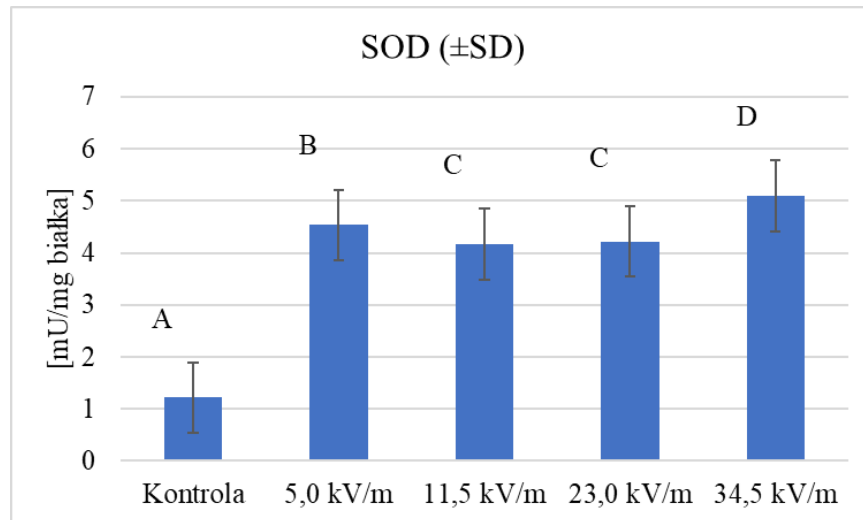
Hemolimfę do analiz pobierano od 100 żywych robotnic z każdej grupy po ekspozycji na pole elektromagnetyczne, usuwając czułki za pomocą sterylnej pęsety. Hemolimfę zabezpieczano w szklanej kapilarze o pojemności 20 μL . Podczas pracy próbowki z kapilarami

umieszczano na bloku chłodzącym. Przygotowane próbówki przeniesiono do krio-pudełka, a następnie zamrożono w temperaturze $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aktywności dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) określono przy użyciu komercyjnego zestawu do oznaczania Sigma-Aldrich 19160 SOD. Aktywności katalazy (CAT) określono przy użyciu komercyjnego zestawu z zestawu EnzyChromTMCatalase Assay Kit (ECAT-100). Zdolność antyoksydacyjną hemolimfy określano metodą FRAP (Ferric ion reduction power przeciwutleniacz).

Pszczoły w grupach doświadczalnych poddano działaniu pól elektromagnetycznych o częstotliwości 50 Hz i różnych natężeniach: 5,0 kV/m, 11,5 kV/m, 23,0 kV/m i 34,5 kV/m przez 12 h. Grupa kontrolna nie była narażana na sztuczne pole elektromagnetyczne, znajdowała się w miejscu o scharakteryzowanym polu elektromagnetycznym $<2,0\text{ kV/m}$. Nazwa grupy to intensywność pola elektromagnetycznego. Czas ekspozycji wynosił 12 godzin dla wszystkich grup. Grupę kontrolną oznaczono literą C. Pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz było generowane w układzie emitera w postaci kondensatora płytowego. Zmiany jednorodności i stabilności natężenia pola elektromagnetycznego w emiterze były mniejsze niż $\pm 5\%$. Pomiar natężenia i jednorodności pola elektromagnetycznego w obszarze badań i kontroli wykonało akredytowane laboratorium badawcze LWiMP (certyfikat AB-361 Polskiego Centrum Akredytacji) przy użyciu miernika ESM-100-m nr 972153 ze świadectwem wzorcowania LWiMP/W/ 070/2017 z dnia 15 lutego 2017 r. wydany przez akredytowane laboratorium wzorcujące PCA AP-078.

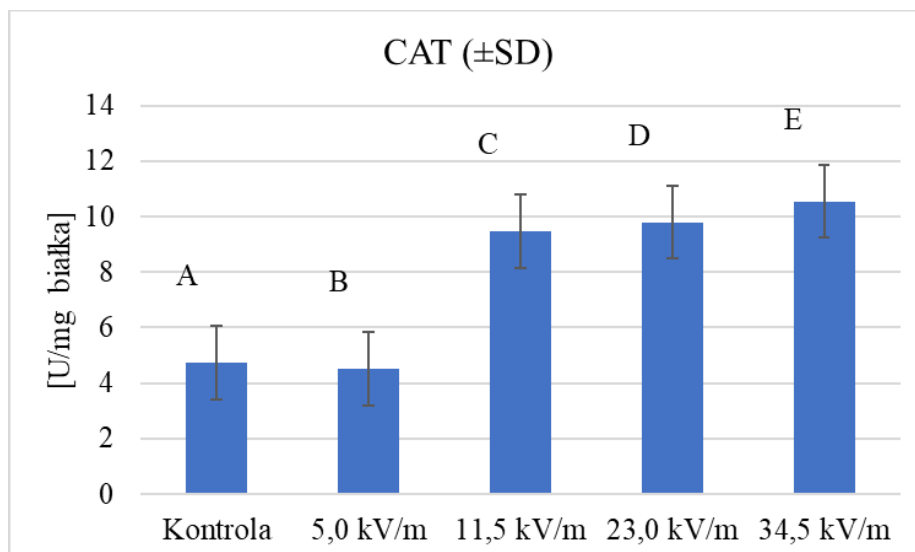
Normalność rozkładu danych analizowano testem Shapiro-Wilka. Istotność statystyczną różnicy średnich wartości danych między grupami określono testem Kruskala–Wallisa. Zastosowano poziom istotności statystycznej $\alpha = 0,05$. Do przeprowadzenia wszystkich testów użyto R-Studio

Uzyskane wyniki badań wskazują na zmiany w wybranych parametrach hemolimfy pszczoł. W przypadku dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) zaobserwowano czterokrotnie wyższą aktywność w grupach badanych w porównaniu z grupą kontrolną (ryc. 1). We wszystkich badanych grupach zaobserwowano statystycznie istotnie wyższą aktywność SOD niż w grupie kontrolnej (wartość $p < 2,2 \times 10^{-16}$). Największą aktywność odnotowano w grupie o największym natężeniu pola elektromagnetycznego. Najniższą aktywność odnotowano w grupie kontrolnej. Różnice między najniższą a najwyższą aktywnością były statystycznie istotne. W zakresie natężeń 11,5 kV/m i 23,0 kV/m nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic między tymi grupami.



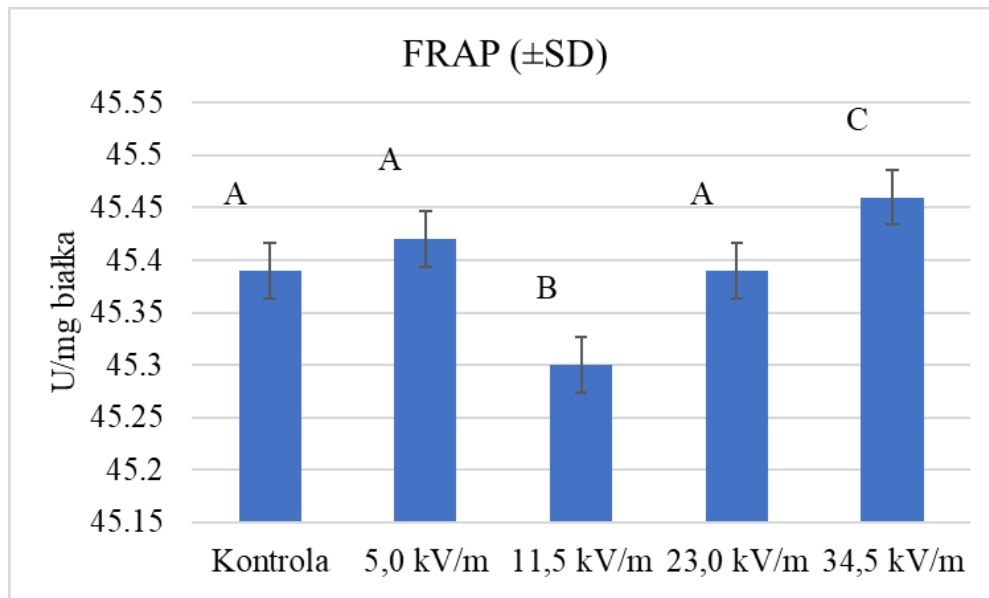
Rysunek 1. Aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) w hemolimfie pszczoły miodnej po ekspozycji na pole elektromagnetyczne (50 Hz i różne natężenia). Nazwa grupy to natężenie pola elektromagnetycznego. Grupę kontrolną oznaczono literą C. Grupy kontrolne nie były leczone sztucznym polem elektromagnetycznym, znajdowały się pod wpływem pola elektromagnetycznego mniejszego niż 2,00 kV/m. Różnice statystyczne między wartościami średnimi dla grup zaznaczono różnymi literami. Różne litery oznaczają różnicę na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Aktywność katalazy (CAT) we wszystkich grupach charakteryzowała się statystycznie istotnie różną aktywnością między grupami (wartość $p < 2,2 \times 10^{-16}$) (ryc. 2). Największą aktywność zaobserwowano w grupie o największym natężeniu pola elektromagnetycznego (34,5 kV/m). Najniższą aktywność odnotowano dla grupy o najniższym natężeniu pola elektromagnetycznego (5,0 kV/m). Była to aktywność niższa niż aktywność katalazy w grupie kontrolnej. Największą różnicę w aktywności katalazy odnotowano między grupą 5,0 kV/m a grupą 34,5 kV/m.



Rysunek 2. Aktywność katalazy (CAT) w hemolimfie pszczoły miodnej po ekspozycji na pole E (50 Hz i różne intensywności). Szczegóły jak na rysunku 1. Różnice statystyczne między wartościami średnimi dla grup zaznaczono różnymi literami. Różne litery oznaczają różnicę na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Całkowity potencjał antyoksydacyjny (FRAP) wykazał statystycznie istotne różnice między grupami (Rysunek 3) (wartość $p < 1,664 \times 10^{-13}$). Największą aktywność odnotowano w grupie 34,5 kV/m. Najniższą aktywność odnotowano w grupie 11,5 kV/m. Różnica między tymi grupami była istotna statystycznie. Nie było statystycznie istotnych różnic pomiędzy grupami kontrolnymi, 5,0 kV/m i 23,0 kV/m. Grupy 11,5 kV/m i 23,0 kV/m charakteryzowały się niższą aktywnością niż grupa kontrolna, w pozostałych grupach aktywność była wyższa niż w grupie kontrolnej.



Rysunek 3. Żelazo redukujące moc antyoksydacyjną (FRAP) w hemolimfie pszczoły miodnej po ekspozycji na pole E (50 Hz i różne intensywności). Szczegóły jak na rysunku 1. Różnice statystyczne między wartościami średnimi dla grup zaznaczono różnymi literami. Różne litery oznaczają różnicę na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Badania wykazały zmiany aktywności SOD, CAT i FRAP we wszystkich badanych grupach w porównaniu z grupą kontrolną. Badanie pola E występującego w życiu pszczoły miodnej pozwala zrozumieć wpływ tego czynnika na jej funkcjonowanie, ponieważ produkcja żywności zależy od obecności tego zapylacza. Przeprowadzone wyniki badań potwierdzają hipotezę postawioną w pracy.

Wyniki tego badania dostarczają danych do badań dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz na system antyoksydacyjny pszczoły miodnej

oraz stanowią podstawę do analizy zmian w systemie proteolitycznym przy 12 h ekspozycji. Stanowią one również ważny krok w kierunku kompleksowej oceny ryzyka dla pszczoły miodnej.

Publikacja 2:

Migdał, P.; Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P.; Roman, A. Honey Bee Proteolytic System and Behavior Parameters under the Influence of an Electric Field at 50 Hz and Variable Intensities for a Long Exposure Time. *Animals* 2021, 11, 863, <https://doi.org/10.3390/ani11030863>.

Organizm pszczoły miodnej wystawiony na działanie różnych stresorów reaguje poprzez aktywację systemów zabezpieczających. Jedną z ważnych barier indywidualnych obrony organizmu pszczół miodny obok systemu antyoksydacyjnego są proteazy, które występują zarówno wewnątrz organizmu pszczoły miodnej, jak i na powierzchni jej ciała (Migdał i wsp. 2020). System proteolityczny w organizmie pszczoły miodnej bierze udział w kluczowych procesach, takich jak trawienie białek, aktywacja receptorów, uwalnianie hormonów i aktywacja zymogenów. Spośród różnych funkcji, enzymy te odgrywają istotną rolę w działaniu układu odpornościowego. Jest to spowodowane tym, że system proteolityczny składa się ze związków, które przecinają białka znajdujące się w komórkach pszczół lub uwalniane są przez patogeny. Podczas tych reakcji powstają reaktywne formy tlenu, które są następnie usuwane przez przeciwutleniacze. Związki te są wytwarzane są głównie w ciele tłuszczowo - białkowym, a następnie uwalniane są do hemolimfy (Strachecka i wsp. 2022). Proteazy stanowią jedną z podstawowych linii obrony przed patogenami (Grzywnowicz i wsp. 2008). Takim stresorem aktywującym system proteolityczny jest pole elektromagnetyczne.

Wobec powyższego, w celu uzyskania pełniejszej informacji na temat aktywacji obrony indywidualnej organizmu przed stresorem w postaci pola elektromagnetycznego przy długiej ekspozycji 12h, jako cel pracy wybrano badanie zmian w aktywności systemu proteolitycznego.

Badania przeprowadzono, podobnie jak w poprzedniej pracy, na robotnicach pszczoły miodnej rasy kraińskiej pozyskanych z plastrów, które wcześniej umieszczono w inkubatorze. Jako czynnik wykorzystano pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i natężenia 5,0 kV/m, 11,5 kV/m, 23,0 kV/m i 34,5 kV/m na które robotnice pszczoły miodnej ekspozowano

przez 12 h. Po tym czasie pobierano hemolimfę, którą zabezpieczano w warunkach niskiej temperatury ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pole było emitowane w takim samym układzie i organizacji jak w poprzedniej pracy. Zachowano takie warunki, aby możliwe i uzasadnione było porównywanie uzyskanych wartości i scharakteryzowanie wpływu tych konkretnych wartości na organizm pszczoły miodnej.

Oznaczenia aktywności proteaz kwasowych, obojętnych i zasadowych wykonano metodą Ansona (1938) zmodyfikowaną przez Strachecką i Demetraki-Paleolog (2011). Aktywność proteaz kwasowych oznaczono w buforze 100 mM glicyna-HCl o pH 2,4, obojętnych w buforze 100 mM Tris-HCl o pH 7,0, a zasadowych w buforze 100 mM glicyna-NaOH o pH 11,2 metodą opisaną przez Łoś i Strachecką (2018). Próbkę hemolimfy pobrano natychmiast po zakończeniu ekspozycji na pole E.

Normalność rozkładu danych analizowano za pomocą testu Shapiro–Wilka. Istotność statystyczną danych między grupami określono testem Kruskala–Wallisa oraz porównaniem post hoc sum rang Dunna przy użyciu pakietu „pgirmess” dla funkcji „kruscalmc”. We wszystkich testach zastosowano RStudio z poziomem istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły stwierdzić, że we wszystkich grupach doświadczalnych poziom aktywności proteaz był wyższy niż w grupie kontrolnej. Różnice pomiędzy wszystkimi grupami eksperymentalnymi a grupą kontrolną były istotne statystycznie z wyjątkiem grupy 23,0 kV/m w przypadku proteaz alkalicznych. Intensywność 5,0 kV/m zwiększała aktywność proteaz kwaśnych o 78%, obojętnych o 74%, a zasadowych o 40% w porównaniu z grupą kontrolną. Pszczoły ekspozowane na natężenie 11,5 kV/m charakteryzowały się o 63% wyższą aktywnością proteaz kwaśnych, o 61% wyższą aktywnością proteaz obojętnych i 5% wyższą aktywnością proteaz zasadowych w porównaniu z pszczołami kontrolnymi. Intensywność 23,0 kV/m spowodowała wzrost aktywności proteazy kwaśnej o 142%, proteazy obojętnej o 125%, a proteazy zasadowej o 4% w porównaniu z grupą kontrolną. Pszczoły poddane działaniu pola E o natężeniu 34,5 kV/m miały o 261% wyższą aktywność proteazy kwaśnej, o 74% wyższą aktywność proteazy obojętnej o 27% wyższą aktywność proteazy zasadowej w porównaniu z pszczołami kontrolnymi.

Największą aktywność proteaz kwaśnych odnotowano u pszczoł leczonych z intensywnością 34,5 kV/m, a najmniejszą w grupie kontrolnej. Wśród grup doświadczalnych najmniejszy wpływ na aktywność proteaz kwaśnych miał natężenie 11,5 kV/m. Wszystkie różnice między grupami były istotne statystycznie (wartość $p < 2,2 \times 10^{-16}$).

Natężenie 23,0 kV/m spowodowało największy wzrost aktywności proteaz obojętnych. Pszczoły kontrolne charakteryzowały się najniższą aktywnością proteaz obojętnych. Wśród

grup doświadczalnych najmniejszy wpływ na aktywność proteazy obojętnej miał natężenie 11,5 kV/m. Aktywność proteaz obojętnych u pszczoł z grup 5,0 kV/m i 34,5 kV m nie różniła się istotnie (wartość $p < 2,2 \times 10^{-16}$).

Najwyższą aktywność proteazy alkalicznej zarejestrowano u pszczoł wystawionych na działanie pola E o natężeniu 5,0 kV/m, a najniższą u pszczoł kontrolnych. Spośród grup doświadczalnych najmniejszy wpływ na aktywność proteazy alkalicznej miał natężenie 23,0 kV/m. Grupa kontrolna i grupa 23,0 kV/m nie różniły się istotnie. Zmiany aktywności proteaz alkalicznych pomiędzy grupami doświadczalnymi a grupą kontrolną były mniejsze w porównaniu do aktywności proteaz kwaśnych i obojętnych (wartość $p < 2,2 \times 10^{-16}$).

Wyniki pokazują, że pole elektromagnetyczne jest potencjalnym szkodliwym czynnikiem dla pszczoły miodnej. Wpływa na jej podstawowe systemy obrony indywidualnej charakteryzowanej przez system proteolityczny zwiększając podaż enzymów. Może to powodować w konsekwencji zmiany w kolejnych systemach odpowiedzialnych za detoksykację, metabolizm oraz wchłanianie.

Publikacja 3:

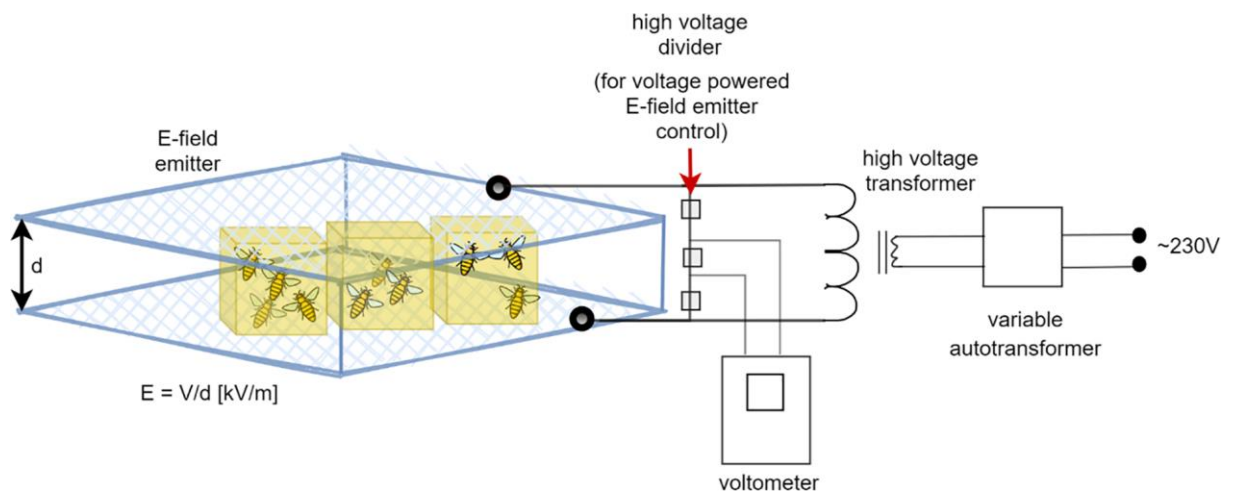
Migdał P, Murawska A, Bieńkowski P, Strachecka A, Roman A (2021) Effect of the electric field at 50 Hz and variable intensities on biochemical markers in the honey bee's hemolymph. PLoS ONE 16(6): e0252858, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252858>.

Wszystkie bariery i mechanizmy biochemiczne, takie jak m.in. układy antyoksydacyjne i proteolityczne, mają na celu utrzymanie homeostazy lub ochronę organizmu przed patogenami. Ważnym elementem tego systemu są enzymy odpowiedzialne za detoksykację organizmu (AST, ALT, ALP, GGTP, bilirubina). Zmiany aktywności tych wskaźników wskazują na nasilenie procesów zapalnych lub obronnych (Lala, 2020). Uzupełnieniem tego systemu są nieenzymatyczne antyoksydanty, które oddają swoje elektrony wolnym rodnikom. W efekcie zablokowana jest możliwość utlenienia innych składników. Chronią komórki przed reakcjami wolno rodnikowymi. Uzupełnieniem tego systemu są nieenzymatyczne antyoksydanty, które oddają swoje elektrony wolnym rodnikom. W efekcie zablokowana jest możliwość utlenienia innych składników. Chronią komórki przed reakcjami wolno rodnikowymi. Mogą być endogenne (melatonina, glutation, estrogen, albumina) lub egzogenne (witaminy, koenzym Q10, niektóre pierwiastki) (Hashimoto i wsp. 2002; Kopec i wsp. 2010]. Wskaźnikiem charakteryzującym wzmożoną aktywność organizmu jest również poziom

kreatyniny, która jest produktem rozpadu fosforanu kreatyny z metabolizmu mięśni i białek. Jest uwalniany przez organizm w stałym tempie. Zaburzenie jego poziomu oznacza wzmożoną pracę mięśni lub wzmożony metabolizm białek (Shepherd i wsp. 2021).

Ze względu na potencjalnie szkodliwy wpływ pola elektromagnetycznego na pszczołę miodną w tej pracy jako cel określono konieczność zbadania aktywność enzymatycznych markerów biochemicznych: aminotransferazy asparaginianowej (AST), aminotransferazy alaninowej (ALT) i fosfatazy alkalicznej (ALP) oraz stężenie nieenzymatycznych przeciwutleniaczy: albumina i kreatynina w hemolimfie pszczoły po ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i różnych natężeniach.

W badaniach wykorzystano taki sam układ ekspozycyjny jak w poprzednich publikacjach (rysunek 4). Materiał badawczy w postaci robotnic pszczoły miodnej oraz hemolimfę pozyskiwano metodami takimi jak w poprzednich publikacjach wchodzących w zakres osiągnięcia.



Rysunek 4. Ekspozycja pszczoł na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i zmiennym natężeniu w warunkach laboratoryjnych.

Aktywność enzymatycznych markerów biochemicznych: aminotransferazy asparaginianowej (AST), aminotransferazy alaninowej (ALT) i fosfatazy alkalicznej (ALP) w hemolimfie pszczoł mierzono metodą kinetyczną za pomocą monotestów firmy Cormay (Lublin, Polska) zgodnie z procedurą producenta. Stężenia antyoksydantów nieenzymatycznych (albuminy, kreatyniny) w hemolimfie pszczoły oznaczono metodą kolorymetryczną z wykorzystaniem monotestów firmy Cormay (Lublin, Polska) również zgodnie z procedurą producenta.

Istotność statystyczną danych w obrębie grup i pomiędzy grupami określono najpierw za pomocą nieparametrycznego testu Kruskala Wallisa. Aby zobaczyć, które grupy różnią się od siebie, wybraliśmy porównanie Dunna z poprawką Bonferroniego post-hoc za pomocą sumy rang przy użyciu pakietu „pgirmess” dla funkcji „krus-calmc”. We wszystkich testach zastosowano RStudio i poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Aktywność AST, ALT, ALP w hemolimfie pszczoł w grupach kontrolnych nie różniła się w sposób istotny statystycznie. Aktywności tych markerów biochemicznych w każdej z grup doświadczalnych były niższe niż w grupach kontrolnych. Aktywność AST, ALT i ALP w grupach doświadczalnych była tym niższa im dłuższy czas ekspozycji. Różnice pomiędzy aktywnością AST w grupach kontrolnych i wszystkich grupach eksperymentalnych były istotne statystycznie. Najniższą aktywność wszystkich trzech markerów biochemicznych zaobserwowano u pszczoł poddanych działaniu najwyższego natężenia pola elektromagnetycznego (tj. 34,5 kV/m) przez 12h.

Stężenia albuminy i kreatyniny w grupie kontrolnej nie różniły się w sposób istotny statystycznie. Stężenie albuminy w hemolimfie pszczoł poddanych wpływowi pola elektromagnetycznego o natężeniu 5,0 i 11,5 kV/m było najwyższe w grupie eksponowanej przez 12h. Stężenie kreatyniny najniższe wartości osiągnęło w grupie doświadczalnej eksponowanej przez 12h na pole elektromagnetyczne. Po 12h ekspozycji na pole elektromagnetyczne stężenie kreatyniny w grupie doświadczalnej było niższe niż w grupie kontrolnej, natomiast stężenie albuminy było wyższe w porównaniu z grupą kontrolną.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono że aktywność AST, ALT i ALP w hemolimfie pszczoł zmniejszyła się po ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i różnym natężeniu. Zmniejszenie aktywności tych enzymów w hemolimfie pszczoły miodnej może wskazywać, że enzymy te nie zostały uwolnione i/lub zostały zablokowane przez szkodliwy czynnik, szczególnie widoczne było to przy ekspozycji przez 12h. Przez co pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz o różnym natężeniu może powodować upośledzenie kluczowych cykli metabolicznych w organizmie pszczoły miodnej (takich jak cykl kwasu cytrynowego, synteza ATP, fosforylacja oksydacyjna, β -oksydacja). Co więcej, ekspozycja na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i różnym natężeniu może wpływać na pszczołę miodną poprzez zmianę stężenia kreatyniny i albuminy, które są ważnymi nieenzymatycznymi przeciwutleniaczami. Zmiany aktywności AST, ALT i ALP nasilały się przy 12h ekspozycji niezależnie od natężenia pola elektromagnetycznego.

Wyniki uzyskane w obrębie tej publikacji świadczą o zaburzeniu równowagi wewnątrz organizmu pszczoły miodnej pod wpływem pola elektromagnetycznego. Proces kompensacji

tych zmian może generować zwiększone zapotrzebowanie energetyczne u robotnic pszczoły miodnej.

Publikacja 4:

Migdał P., Murawska A., Bienkowski P., Strachecka A., Roman A. (2021), Effect of E-field at frequency 50 Hz on protein, glucose, and triglycerides concentration in honeybee hemolymph. The European Zoological Journal 88(1), 1170-1176, DOI: 10.1080/24750263.2021.2004247.

Jakość życia pszczoły miodnej zależy od otaczającego ją środowiska. Zmiany w środowisku życia pszczół wpływają na ich reakcje i funkcjonowanie. Pszczoła miodna do prawidłowego funkcjonowania oraz utrzymania równowagi w organizmie, podobnie jak inne zwierzęta, potrzebuje zróżnicowanej diety zawierającej białka, węglowodany i tłuszcze oraz zrównoważonego środowiska. Dlatego też w badaniach skoncentrowano się na sprawdzeniu czy istnieje związek pomiędzy ekspozycją robotnic pszczoły miodnej na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i różnym natężeniu na całkowitą zawartość białka oraz stężenie glukozy i trójglicerydów w ich hemolimfie. Wskaźniki te odpowiedzialne są za informacje dotyczące stopnia odżywienia organizmu pszczoły miodnej oraz nasycenia hemolimfy podstawowymi substancjami odżywczymi.

Badanie opierały się o robotnice pszczoły miodnej utrzymywane w warunkach laboratoryjnych i poddanych wpływowi pola elektromagnetycznego w emiterze, który był wykorzystywany do poprzednich badań. Poziom wskaźników odżywienia organizmu oznaczano w hemolimfie, która była zabezpieczana w temperaturze -80°C .

Całkowitą zawartość białka oznaczono metodą Lowry'ego zmodyfikowaną przez Schacterle'a i Pollacka (1973) oraz Łosia i Strachecką (2018) w następujący sposób: 10 μl odczynnika miedziowego dodano do 10 μl roztworu/próbki hemolimfy przez dziesięciominutową inkubację w temperaturze 25°C . Następnie dodano 40 μl odczynnika Folina (1:17) na pięciominutową inkubację w 55°C . Otrzymane próbki analizowano spektrofotometrycznie (Eppendorf BioPhotometer) w celu pomiaru absorbancji przy 650 nm. Stężenia triglicerydów i glukozy mierzono metodą kolorymetryczną monotestami Cormay (Lublin, Polska) zgodnie z procedurą producenta.

Istotność statystyczną danych w obrębie grup i pomiędzy grupami określono testem Kruskala Wallisa z poprawką Bonferroniego. We wszystkich testach zastosowano R-Studio i poziom istotności $\alpha = 0,05$.

We wszystkich grupach kontrolnych zaobserwowano najniższe stężenie białka w hemolimfie robotnic pszczoły miodnej. Najwyższe stwierdzono w grupach doświadczalnych 23,0 kV/m i 34,5 kV/m przy czasie ekspozycji 12 h. W grupie eksponowanej przez 12h na pole elektromagnetyczne stężenie białka wzrosło istotnie statystycznie w stosunku do grupy kontrolnej.

Grupy kontrolne pod względem stężenia glukozy charakteryzowały się jednakowymi wynikami i nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic. We wszystkich grupach doświadczalnych zaobserwowano statystycznie istotnie niższe wartości stężenia glukozy w hemolimfie robotnic pszczoły miodnej niż w grupach kontrolnych. Dodatkowo najniższe stężenie glukozy zaobserwowano u pszczoł po 12 h ekspozycji.

Najwyższe stężenie triglicerydów zaobserwowano w grupach kontrolnych. Różnice istotne statystycznie zaobserwowano w grupie po 12h ekspozycji względem kontroli. Najniższe wartości zaobserwowano w grupach 23,0 kV/m i 34,5 kV/m przy czasie ekspozycji 12 h. W grupach 5,0 kV/m i 11,5 kV/m można zaobserwować spadek stężenia triglicerydów przy wydłużonych czasach ekspozycji. W pozostałych 2 grupach (23,0 kV/m i 34,5 kV/m) nie zaobserwowano bezpośredniego związku między wydłużeniem czasu ekspozycji a zmianami stężenia triglicerydów w hemolimfie robotnic.

Wyniki badań potwierdzają nasze wcześniejsze obserwacje, że pole elektromagnetyczne może powodować zmiany w organizmie pszczoły miodnej. Zmiany w tych ważnych wskaźnikach stanu odżywienia organizmu, takich jak poziomy białka, glukozy i trójglicerydów, mogą mieć długoterminowe skutki. Można obecnie stwierdzić, że czynnik ten powoduje zaburzenia niektórych wskaźników fizjologicznych.

Podsumowanie i wnioski

Wyniki uzyskane w badaniach przedstawionych w prezentowanym cyklu publikacji pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. Badane pole elektromagnetyczne powoduje zmiany aktywności SOD, CAT i FRAP we wszystkich badanych grupach w porównaniu z grupą kontrolną, co świadczy o pobudzeniu systemu antyoksydacyjnego w hemolimfie robotnic pszczoły miodnej co opisano w publikacji 1.

2. Wyniki uzyskane w publikacji 2 wskazują, że pole elektromagnetyczne przy badanych parametrach przy długiej ekspozycji zwiększa podaż enzymów proteolitycznych, co świadczy o pobudzeniu tego systemu przez ten czynnik.
3. Wyniki uzyskane w publikacji 3 wskazują na zmiany aktywności AST, ALT i ALP przy dłuższej ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz.
4. W publikacji 3 stwierdzono zmiany stężenia kreatyniny i albuminy, w hemolimfie robotnic pszczoły miodnej wystawionych na działanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz.
5. Badane pole elektromagnetyczne powoduje zmiany we wskaźnikach stanu odżywienia organizmu, takich jak poziom białka, glukozy i trójglicerydów, zostało to opisane w publikacji 4.

Na podstawie zgromadzonych materiałów i po ich analizie można stwierdzić, że pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz o różnym natężeniu przy długotrwałej ekspozycji wpływa na aktywność bądź stężenie wybranych wskaźników biochemicznych i może stanowić czynnik zagrażający prawidłowemu funkcjonowaniu organizmu robotnic pszczoły miodnej.

PIŚMIENNICTWO:

1. Ahlbom A., Bridges J., de Seze R., Hillert L., Juutilainen J., Mattsson M.O., Neubauer G., Schuz J., Simko M., Bromen K. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR, possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on human health. *Toxicology*. 2005, 246(2-3), 248–250.
2. Al-Bassam E., Elumalai A., Khan A., Al-Awadi L. Assessment of electromagnetic field levels from surrounding high-tension overhead power lines for proposed land use. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(5).
3. Altmann G. Hormon-physiologische Untersuchungen des Stoffwechsels der Honigbiene. *Dtsch Bienenwirtsch*, 1959, 2, 74–76.
4. Anson M.L. Estimation of pepsin, trypsin papain and cathepsin with haemoglobin. *Journal of General Physiology*, 1938, 22, 79–84.
5. Bindokas, V.; Gauger, J.; Greenberg, B. Laboratory investigations of the electrical characteristics of honey bees and their exposure to intense electric fields. *Bioelectromagnetics* 1989, 10, 1–12.
6. Bindokas, V.P.; Gauger, J.R.; Greenberg, B. Mechanism of biological effects observed in honey bees (*Apis mellifera*, L.) hived under extra-high-voltage transmission lines:

- Implications derived from bee exposure to simulated intense electric fields and shocks. *Bioelectromagnetics* 1988, 9, 285–301.
7. Etheredge J.A., Perez S.M., Taylor O.R., Jander R. Monarch butterflies (*Danaus plexippus* L.) use a magnetic compass for navigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(24), 13845–13846.
 8. Grzywnowicz K., Ciołek A., Tabor A., Jaszek M. Profiles of the body-surface proteolytic system of honey bee queens, workers and drones: Ontogenetic and seasonal changes in proteases and their natural inhibitors. *Apidologie* 2008, 40 (1), 4-19.
 9. Hashimoto H., Yoda T., Kobayashi T., Young A.J. Molecular structures of carotenoids as predicted by MNDO-AM1 molecular orbital calculations. *Journal of Molecular Structure* 2002, 604, 125–46.
 10. Kiciński W., Żera A., 2002. Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka. II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Ekologia w elektronice Przemysłowy Instytut Elektroniki Warszawa, 5-6.12.2002.
 11. Kopec R.E., Riedl K.M., Harrison E.H., Curley R.W., Jr Hruszkewycz D.P., Clinton S. K., Schwartz S.J. Identification and quantification of apo-lycopenals in fruits, vegetables, and human plasma. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2010, 58(6), 3290–3296.
 12. Kumar N.R., Neha R., Preeti K. Biochemical changes in haemolymph of *Apis mellifera* L. Drone under the influence of cell phone radiations. *Journal of Applied and Natural Science*, 2013, 5, 139–141.
 13. Lala, V., Goyal, A., Bansal, P. and Minter, D.A. Liver Function Tests. *StatPearls* 2020.
 14. Loriatti, L.; Martinelli, M.; Viani, F.; Benedetti, M. Real-time distributed monitoring of electromagnetic pollution in urban environments. In *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 09 (IGRASS)*, Cape Town, South Africa, 13–17 July 2009; Volume 5, pp. 100–103.
 15. Łoś, A.; Strachecka, A. Fast and Cost-Effective Biochemical Spectrophotometric Analysis of Solution of Insect “Blood” and Body Surface Elution. *Sensors*, 2018, 18, 1494.
 16. Maslanyj, M.; Simpson, J.; Roman, E.; Schüz, J. Power frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia: Misclassification of exposure from the use of the ‘distance from power line’ exposure surrogate. *Bioelectromagnetics* 2009, 30, 183–188.
 17. Migdał P., Murawska A., Bieńkowski P., Berbeć E., Roman A. Changes in Honeybee Behavior Parameters under the Influence of the E-Field at 50 Hz and Variable Intensity. *Animals*, 2021, 11(2), 247;

18. Migdał P., Roman A., Strachecka A., Murawska A., Bieńkowski P. Changes of selected biochemical parameters of the honeybee under the influence of an electric field at 50 Hz and variable intensities. *Apidologie*, 2020, 51, 956–967.
19. Migdał, P.; Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P.; Roman, A. Changes in the Honeybee Antioxidant System after 12 h of Exposure to Electromagnetic Field Frequency of 50 Hz and Variable Intensity. *Insects*, 2020, 11, 713.
20. Milutinov, M.; Juhas, A.; Prša, M. Electromagnetic field underneath overhead high voltage power line. In *Proceedings of the 4th International conference on Engineering Technologies–ICET*, Islamabad, Pakistan, 19–20 October 2009.
21. Odemer, R.; Odemer, F. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMF) on honey bee queen development and mating success. *The Science of the total environment*, 2019, 661, 553–562.
22. Otlewski, J.; Jaskólski, M.; Buczek, O.; Cierpicki, T.; Czapińska, H.; Krowarsch, D.; Smalas, A.; Stachowiak, D.; Szpineta, A.; Dadlez, M. Structure-function relationship of serine protease-protein inhibitor interaction. *Acta Biochimica Polonica*, 2001, 48, 419–428.
23. Schacterle G., Pollack R. Simplified method for quantitative assay of small amounts of protein in biological material. *Analytical Biochemistry*, 1973, 51:654–655.
24. Sharma V.P., Kumar N.R. Changes in honey bee behavior and biology under the influence of cellphone radiations. *Current Science*, 2010, 98, 1376–1378
25. Shepherd S., Jackson C.W., Sharkh S.M., Aonuma H., Oliveira E.E., Newland P.L. Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Entrain Locust Wingbeats. *Bioelectromagnetics*, 2021, 42(4):296–308.
26. Shepherd, S.; Lima, M.A.P.; Oliveira, E.E.; Sharkh, S.M.; Jackson, C.W.; Newland, P.L. Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields impair the Cognitive and Motor Abilities of Honey Bees. *Scientific Reports* 2018, 7932.
27. Strachecka A., Demetraki-Paleolog J. System proteolityczny powierzchni ciała *Apis mellifera* w zachowaniu zdrowotności rodzin pszczoł. *Kosmos*, 2011, 60, 43–51.
28. Strachecka, A.; Kuszewska, K.; Olszewski, K.; Skowronek, P.; Grzybek, M.; Grabowski, M.; Paleolog, J.; Woyciechowski, M. Activities of Antioxidant and Proteolytic Systems and Biomarkers in the Fat Body and Hemolymph of Young *Apis mellifera* Females. *Animals* 2022, 12, 1121. <https://doi.org/10.3390/ani12091121>

4. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI LUB INSTYTUCJI NAUKOWEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ.

W okresie od 16 sierpnia 2019 roku do 6 września 2019 odbywałem staż badawczy w pasiece doświadczalnej Uniwersytetu w Perugii, która znajduje się przy Wydziale Nauk Rolniczych, Żywnościowych i Środowiskowych we Włoszech (*Research Apiary of Genetic Selection honey bee (Apis mellifera ligustica, Spinola, 1806) and at Laboratory of University of Perugia, Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Italy*). Podczas stażu zajmowałem się prowadzeniem selekcji matek pszczelich pod kątem możliwości ich wykorzystania jako materiału podstawowego do wychowu czystorasowych matek pszczoł włoskich (*Apis mellifera ligustica, Spinola 1806*). Pobyt we Włoszech umożliwił mi poznanie technik laboratoryjnych oceny materiału genetycznego pozyskanego od pszczoły miodnej. Poznałem również elementy analizy morfologicznej charakterystycznej dla pszczoły miodnej włoskiej. Prowadzenie badań nad lokalnymi i rodzimymi rasami pszczoły miodnej daje możliwość oceny ich dostosowania do panujących na danym terenie warunków mikroklimatycznych. Ochrona zasobów pszczoł ras rodzimych ma na celu utrzymanie różnorodności genetycznej oraz zachowanie wyjątkowych cech użytkowych. W trakcie stażu brałem również udział w badaniach nad wpływem dodatków paszowych na jakość produktów pochodzenia zwierzęcego (Campione et al. 2020). Dodatkową korzyścią z odbytego stażu była możliwość zapoznania się z gospodarką pasieczną we Włoszech, a także z metodami badawczymi i naukowymi oraz dydaktycznymi na Uczelni w Perugii.

- Campione, A.; Nataello, A.; Valenti, B.; Luciano, G.; Rufino-Moya, P.J.; Avondo, M.; Morbidini, L.; Pomente, C.; Krol, B.; Wilk, M.; **Migdal, P.**; Pauselli, M. Effect of Feeding Hazelnut Skin on Animal Performance, Milk Quality, and Rumen Fatty Acids in Lactating Ewes. *Animals* 2020, 10, 588. DOI:10.3390/ani10040588

W okresie od 19.07.22 do 25.07.22 przebywałem na stażu badawczym w Wolnym Uniwersytecie w Berlinie, Instytut Biochemii Weterynaryjnej na Wydziale Medycyny Weterynaryjnej (*Institut für Veterinär-Biochemie am Fachbereich Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin*). Robotnice pszczoły miodnej pracując na roślinach są narażone na działanie zarówno stresorów biotycznych jak i abiotycznych. Podczas tego pobytu prowadziłem badania laboratoryjne nad wpływem czynników abiotycznych (pestycydy i pole elektromagnetyczne) na ekspresję genów u pszczoły miodnej oraz pobierałem materiał

biologiczny do badań biochemicznych i genetycznych. Nawiązana współpraca przyczyniła się do poszerzenia mojej wiedzy o zagadnienia genetyczne dotyczące pszczół oraz umożliwiła poznanie problemów pszczelarstwa oraz gospodarki pasiecznej w Niemczech. Dzięki temu przyszłe badania będą mogły zostać poszerzone o aspekty genetyczne. Szczególnie istotnym elementem zrealizowanego stażu było przygotowywanie rodzin pszczelich do zimowli. Współpraca ta zaowocowała złożeniem wspólnego projektu badawczego finansowanego z środków własnych Wolnego Uniwersytetu w Berlinie.

W ostatnich latach rośnie zainteresowanie badaniem wpływu różnych częstotliwości pola elektromagnetycznego na organizmy żywe w tym pszczołę miodną. Jest to jeden z dynamicznie rozwijających się elementów środowiska życia pszczoły miodnej mogący mieć na nią wpływ. Istotnym elementem charakteryzującym kondycję organizmu pszczoły miodnej oraz jej reakcji na zmieniające się warunki środowiskowe są badania biochemiczne w ramach których nawiązałem współpracę z Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie (dr hab. Anetą Strachecką). Badania biologii i biochemii pszczoły miodnej są działem, który w ostatnich latach zyskuje na popularności. Oddziaływanie elementów środowiskowych na różne parametry biochemiczne pokazuje czy dany czynnik może stanowić zagrożenia dla pszczoły miodnej czy jest dla niej obojętny. Poszerzając badania o inne częstotliwości i natężenia niż te przedstawione w cyklu, staram się sprawdzić jak wielokierunkowy wpływ może mieć ten czynnik. W celu prawidłowej oceny stabilności pola elektromagnetycznego oraz wykonania elementów emitujących ten czynnik podjąłem współpracę z Politechniką Wrocławską w szczególności z dr hab. inż. Pawłem Bieńkowskim z Wydział Informatyki i Telekomunikacji, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Pracowni Ochrony Środowiska Elektromagnetycznego. Dzięki znanym parametrom pola elektromagnetycznego można wykluczyć ewentualny wpływ zmienności tego czynnika.

Prowadząc badania terenowe na rodzinach pszczelich oraz analizując stan rodzin pszczelich konieczna jest ocena ich parametrów wydajnościowych i kondycyjnych. Nieustannie pojawiają się doniesienia od praktyków pszczelarstwa o problemach w kontrolowaniu chorób i pasożytów w pasiekach. Dlatego też elementem bezpośrednio powiązanych z oceną stanu zdrowia rodzin pszczelich są badania nad preparatami mającymi na celu ograniczenie rozwój chorób i populacji pasożytów. Ograniczanie chorób może odbywać się za pośrednictwem leków weterynaryjnych, metod fizycznych, substancji aktywnych pozyskanych z materiału biologicznego lub innych alternatywnych źródeł substancji cząstek

aktywnych. W pierwszej części prowadzonych badań sprawdzałem wpływ ekstraktu z kapusty głowiastej (*Brassica oleracea* L.), jako czynnika ograniczającego rozwój nosemozy u pszczoł. Efektem tych badań było wprowadzenie na rynek pszczelarski preparatu BrassiBee opartego na bazie tego ekstraktu. W tym zakresie podjąłem współpracę z firmą BrassiTech. Dodatkowo w ramach działalności naukowej związanej z poprawą stanu zdrowia pszczoł nawiązałem współpracę z Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. Ludwika Hirszfelda Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu, szczególnie z dr Ewą Jończyk - Matysiak, Prof. dr hab. Andrzejem Górskim oraz dr Beatą Weber - Dąbrowską z Laboratorium Bakteriofagowego. Podjęta współpraca zaowocowała zrealizowaniem projektu zakładającego opracowanie i wdrożenie preparatu bakteriofagowego wykorzystywanego w leczeniu oraz profilaktyce zgnilców czerwii pszczoły miodnej finansowanego z Program Operacyjny Inteligentny Rozwój w okresie 2017-03-01 2019-09-30. Projekt dotyczył badania wpływu bakteriofagów w formie oprysku i dodatku paszowego jako formy ograniczania rozwoju zgnilca amerykańskiego i zgnilca europejskiego występującego u pszczoły miodnej. Zgnilec amerykański jako choroba zwalczana z urzędu stanowi nieustannie poważny problem polskiego pszczelarstwa i wymaga ciągłego monitoringu. Mimo posiadanej wiedzy przez pszczelarzy i poprawy warunków sanitarno - higienicznych w pasiekach nadal pojawiają się ogniska tej choroby, uniemożliwiając pszczelarzom wydajne prowadzenie gospodarki pasiecznej. Uzyskane wyniki umożliwiły stworzenie prototypu preparatu bakteriofagowego oraz zaowocowały wynikami zaprezentowanymi na konferencji oraz wydanych w formie publikacji naukowych. Zagadnienie, to wymaga dalszych badań ze szczególnym uwzględnieniem prób terenowych.

Dodatkowo nawiązanie współpracy z IITD PAN we Wrocławiu umożliwiło realizację projektu BINWIT czyli Baza Informacji Naukowych Wspierających Innowacyjne Terapie w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa w ramach którego prowadzono digitalizację oraz tworzenie biblioteki bakteriofagów ułatwiającej porównywanie uzyskanych wyników z potencjalnymi wartościami referencyjnymi.

- Popiela-Pleban E., **Migdał P.**, Jończyk-Matysia E., Światała- Jeleń K., Roman A., Chorbiński P., Hodyra-Stefaniak K., Owczarek B., Murawska A., Weber-Dąbrowska B., Górski A. Wpływ preparatu fagowego przeznaczonego do zwalczania zgnilców na organizm pszczoły miodnej – badania klatkowe. 56 Naukowa Konferencja Pszczelarska, Kazimierz Dolny, 5-6 Marca 2019.
- Popiela E., **Migdał P.**, Jończyk-Matysiak E., Owczarek B., Światała-Jeleń K., Chorbiński P., Hodyra-Stefaniak K., Roman A., Górski A., Kula D., Łodej N. Using specific bacteriophage preparation in honey bee infections caused by *Paenibacillus larvae*. The XIXth International Congress Of The International Society For Animal Hygiene “Animal Hygiene As A Fundament

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
Of One Healthand Welfare Improving Biosecurity, Environment And Food Quality”. September
8th - 12th 2019, Wrocław, Poland.

- **Migdal P.**, Roman A., Popiela E., Murawska A. Activity of cabbage (*Brassica oleracea*) extract on *Nosema spp.* under laboratory conditions. The XIXth International Congress Of The International Society For Animal Hygiene “Animal Hygiene As A Fundament Of One Healthand Welfare Improving Biosecurity, Environment And Food Quality”. September 8th - 12th 2019, Wrocław, Poland.
- Jończyk-Matysiak, E.; Owczarek, B.; Popiela, E.; Światała-Jeleń, K.; **Migdal, P.**; Cieślik, M.; Łodej, N.; Kula, D.; Neuberg, J.; Hodyra-Stefaniak, K.; Kaszowska, M.; Orwat, F.; Bagińska, N.; Mucha, A.; Belter, A.; Skupińska, M.; Bubak, B.; Fortuna, W.; Letkiewicz, S.; Chorbiński, P.; Weber-Dąbrowska, B.; Roman, A.; Górski, A. Isolation and Characterization of Phages Active against *Paenibacillus* larvae Causing American Foulbrood in Honeybees in Poland. *Viruses* 2021, 13, 1217. DOI:10.3390/v13071217
- Jończyk-Matysiak, E., Popiela, E., Owczarek, B., Hodyra-Stefaniak, K., Światała-Jeleń, K., Łodej, N., Kula, D., Neuberg, J., **Migdal, P.**, Bagińska, N., Orwat, F., Weber-Dąbrowska, B., Roman, A., Górski, A. Phages in Therapy and Prophylaxis of American Foulbrood – Recent Implications From Practical Applications. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11, 1-16. DOI:10.3389/fmicb.2020.01913

Kolejny nurt badań dotyczy oceny morfologii i reakcji mikroorganizmów na różne elementy występujące w ich środowisku życia z wykorzystaniem wysoko wyspecjalizowanego sprzętu takiego jak skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) oraz transmisyjnego mikroskopu elektronowego (TEM). Rozwijająca się oporność mikroorganizmów na antybiotyki stwarza konieczność poszukiwania nowych metod zwiększania ich wrażliwości na te substancje. Aby osiągnąć ten cel konieczne jest dobre poznanie biologii i funkcjonowania mikroorganizmów. Dlatego też w ramach współpracy z Uniwersytetem Medycznym im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Katedrą i Zakładem Mikrobiologii Farmaceutycznej i Parazytologii przy Wydziale Farmaceutycznym (Dr hab. Adam Junka) oraz Uniwersytetem Wrocławskim, Zakładem Mikrobiologii przy Wydziale Nauk Biologicznych prowadzone są badania nad zmianami w biofilmie oraz morfologii bakterii poddanych wpływowi między innymi związków lotnych. W ramach tej współpracy badane są również elementy morfologiczne u bakterii *Helicobacter pylori*, szczególnie ważnym aspektem tych badań jest obrazowanie z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. Dzięki tej współpracy udało się opisać różne zmiany występujące w morfologii tej bakterii i sprawdzić jej reakcję na zmieniające się warunki środowiskowe. Ważnym aspektem tych badań jest narażanie

bakterii na antybiotyki o różnych stężeniach. W tym zakresie współpracuję z dr Pawłem Krzyżkiem z Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Katedra i Zakład Mikrobiologii przy Wydziale Lekarskim. Aby badać tę bakterię w zakresie wirulencji nawiązano również współpracę z Rossella Grande z Katedry Farmaceutycznej z G. d'Annunzio" of Chieti-Pescara we Włoszech. Uzyskane wyniki badań zostały opublikowane w kilku czasopismach oraz zaprezentowane na konferencji.

- Krzyżek, P.; Franiczek, R.; Krzyżanowska, B.; Łaczmanski, Ł.; **Migdal, P.**; Gościński, G. In Vitro Activity of Sertraline, an Antidepressant, Against Antibiotic-Susceptible and Antibiotic-Resistant Helicobacter pylori Strains Pathogens, 2019, vol. 8, nr 4, s.1-21, Numer artykułu:228. DOI:10.3390/pathogens8040228

- Krzyżek, P.; Gościński, G.; Fijałkowski, K.; **Migdal, P.**; Dziadas, M.; Owczarek, A.; Czajkowska, J.; Aniołek, O.; Junka, A. Potential of Bacterial Cellulose Chemisorbed with Anti-Metabolites, 3-Bromopyruvate or Sertraline, to Fight against Helicobacter pylori Lawn Biofilm. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 9507 DOI:10.3390/ijms21249507

- Krzyżek, P.; Grande, R.; **Migdal, P.**; Paluch, E.; Gościński, G. Biofilm Formation as a Complex Result of Virulence and Adaptive Responses of Helicobacter pylori. Pathogens, 2020, 9, 1062. DOI:10.3390/pathogens9121062

- Brożyna, M.; Żywicka, A.; Fijałkowski, K.; Gorczyca, D.; Oleksy-Wawrzyniak, M.; Dydak, K.; **Migdal, P.**; Dudek, B.; Bartoszewicz, M.; Junka, A. The Novel Quantitative Assay for Measuring the Antibiofilm Activity of Volatile Compounds (AntiBioVol). Appl. Sci. 2020, 10, 7343. DOI:10.3390/app10207343

- Krzyżek, P., **Migdal, P.**, Grande, R. Gościński, G. Biofilm Formation of Helicobacter pylori in Both Static and Microfluidic Conditions Is Associated With Resistance to Clarithromycin. Frontiers in cellular and infection microbiology, 2022,12, 1-16. DOI:10.3389/fcimb.2022.868905

Dodatkowo współpraca w ramach badania mikroorganizmów związana jest z analizą mechanizmów zwiększonej efektywności substancji przeciwdrobnoustrojowych względem biofilmu w obecności wirującego pola magnetycznego. W tym zakresie współpracuję z Dr hab. inż. Karol Fijałkowski z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Katedra Immunologii, Mikrobiologii i Chemii Fizjologicznej. W ramach tej działalności był realizowany projekt MagBac finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu „OPUS 14”. Przy jego realizacji współpracowałem również z Siecią Badawczą Łukasiewicz – PORT Polskim Ośrodkiem Rozwoju Technologii we Wrocławiu. Badanie jedynie wpływu substancji aktywnych na rozwój biofilmu bakteryjnego stanowi wycinek stanu jaki panuje w organizmie. Dlatego też, aby warunki te jak najbardziej zbliżyć do naturalnych prowadzono w ramach współpracy kohodowle fibroblastów i mikroorganizmów na przykładzie *Staphylococcus aureus*.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

- Ciecholewska-Juśko, D., Żywicka, A., Junka, A., Woroszyło, M., Wardach, M., Chodaczek, G., Szymczyk-Ziółkowska, P., **Migdal, P.**, Fijałkowski, K. The effects of rotating magnetic field and antiseptic on in vitro pathogenic biofilm and its milieu. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, nr 1, s.1-19, Numer artykułu:8836. DOI:10.1038/s41598-022-12840-y

- Żywicka, A., Junka, A., Ciecholewska-Juśko, D., **Migdal, P.**, Czajkowska, J., Fijałkowski, K. Significant enhancement of citric acid production by *Yarrowia lipolytica* immobilized in bacterial cellulose-based carrier *Journal of Biotechnology*, 2020, 321, 13-22. DOI:10.1016/j.jbiotec.2020.06.014

- Ciecholewska-Juśko, D.; Broda, M.; Żywicka, A.; Styburski, D.; Sobolewski, P.; Gorący, K.; **Migdal, P.**; Junka, A.; Fijałkowski, K. Potato Juice, a Starch Industry Waste, as a Cost-Effective Medium for the Biosynthesis of Bacterial Cellulose. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 10807. DOI:10.3390/ijms221910807

Pozostała działalność naukowo-badawcza:

W pracy naukowej ważnym aspektem są elementy dotyczące możliwości aplikacyjnych prowadzonych badań. W ostatnich latach doszło do wzrostu zainteresowania pszczelarstwem wśród młodszych osób. Przyczyniło się to do wkroczenia w klasyczną gospodarę pasieczną współczesnych technologii. Takie zmiany generują potrzebę opracowywania nowych produktów oraz dostosowywanie ich do potrzeb rodzin pszczelich. Kolejnym aspektem jest tworzenie produktów przyjaznych pszczelarzom. Takie połączenie stanowi duże wyzwanie, ponieważ dynamika rozwoju i funkcjonowania rodziny pszczelej w ciągu roku bardzo mocno się różni. Aby stwierdzić jakie jest aktualne zapotrzebowanie na nowe rozwiązania wśród pszczelarzy, pod koniec 2019 roku w ramach projektu finansowanego z planu działania KSOW na lata 2014-2020 realizowany przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu w partnerstwie z Dolnośląskim Ośrodkiem Doradztwa Rolniczego, Dolnośląskim Związkiem Pszczelarzy we Wrocławiu oraz Rejonowym Zrzeszeniem Pszczelarzy w Oławie, przeprowadzone zostały ankiety na temat stanu i perspektyw rozwoju pszczelarstwa na Dolnym Śląsku, które zostały opracowane i wydane w formie monografii. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane na konferencji oraz posłużyły jako podstawa do dalszych działań w kierunku określenia kondycji pszczelarstwa na Dolnym Śląsku. Kolejnym elementem mojego działania na rzecz rozwoju gospodarki pasiecznej był udział w realizacji projektu dotyczącego opracowania prototypu inteligentnej pasieki i automatycznych rozwiązań informatycznych wspierających pszczelarzy w ich codziennej pracy. Bee Monitor był to projekt, którego głównym celem było wspieranie pszczelarzy w nadzorowaniu rodzin pszczelich poprzez monitorowanie parametrów ula takich jak: waga, temperatura, wilgotności oraz zmiany dźwięku. W ten sposób rozpoznając zagrożające tym cennym zapylaczom zmiany otoczenia. Tak złożone przedsięwzięcie wymagało zaangażowania podmiotu gospodarczego firmy Invebit oraz Politechniki

Wrocławskiej, aby połączyć elementy nauk przyrodniczych, technicznych i sztucznej inteligencji. Uzyskane wyniki pozwoliły na stworzenie prototypu ula oraz zostały zaprezentowane na konferencji.

- **Migdal P.** Główne zagrożenia zdrowotne rodzin pszczelich na Dolnym Śląsku. Stan i perspektywy rozwoju pszczelarstwa na Dolnym Śląsku. 15.10.2019 Wrocław.
- **Migdal P.** Analiza aktualnego stanu systemów monitorowania pasiek - potrzeby i możliwości. Nowoczesne metody detekcji chorób pszczelich. 09.04.2020, Wrocław.
- Chorbiński P., Kozak M., Liszewski M., **Migdal P.** Stan i perspektywy rozwoju pszczelarstwa na Dolnym Śląsku. AD FONTES Agencja Wydawnicza. 2019, ISBN 978-83-950114-4-3

Nieustannie ważnym aspektem prowadzenia badań z zakresu pszczelarstwa i gospodarki pasiecznej jest ocena wpływu środków ochrony roślin (ŚOR) na rodziny pszczele. Jest to bardzo aktualny i interesujący praktyków pszczelarstwa temat. Środki ochrony roślin obejmują głównie insektycydy, herbicydy i fungicydy. Kontakt pszczół ze ŚOR może spowodować natychmiastową śmierć lub, w dawce subletalnej, może wpłynąć na ich fizjologię i/lub zachowanie. Jest to istotne zarówno z punktu widzenia pojedynczych substancji jak i ich mieszanin. Zmiany biochemiczne mogą wpływać na wskaźniki wydajnościowe i kondycyjne rodzin pszczelich. Większość dotychczas prowadzonych badań dotyczących wpływu ŚOR na biochemię organizmu pszczoły miodnej koncentruje się na insektycydach, ze szczególnym uwzględnieniem neonikotynoidów. Natomiast ŚOR z grupy fungicydów i herbicydów, są analizowane znacznie rzadziej. Dodatkowo zmiany w zachowaniu pszczół mogą obniżyć ich skuteczność jako zapylaczy, co negatywnie oddziałuje na środowisko naturalne i utrzymanie bioróżnorodności. Stanowi, to również zagrożenia z punktu widzenia produkcji żywności i zachowania jakości produktów pszczelich. W trakcie prowadzonych badań sprawdzałem z jednej strony wpływ mieszanek pestycydów na behavior robotnic pszczoły miodnej oraz na jej wskaźniki fizjologiczne. Dodatkowo prowadziłem badania dotyczące dawek z jakimi robotnice mogą mieć kontakt w środowisku naturalnym. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane na konferencjach oraz w formie publikacji.

- **Migdal P.,** Roman A., Murawska A., Popiela-Pleban E. Badanie laboratoryjne wpływu mieszanek pestycydów na przeżywalność pszczoły miodnej. 56 Naukowa Konferencja Pszczelarska, Kazimierz Dolny, 5-6 Marca 2019.
- **Migdal P.,** Roman A., Murawska A., Popiela E. Impact of various pesticide compositions on the honey bee – Oral Presentation A.Murawska The XIXth International Congress Of The International Society For Animal Hygiene “Animal Hygiene As A Fundament Of One Healthand Welfare Improving Biosecurity, Environment And Food Quality”. September 8th - 12th 2019, Wrocław, Poland.

- Murawska, A.; **Migdal, P.**; Roman, A. Effects of Plant Protection Products on Biochemical Markers in Honey Bees. Agriculture 2021, 11, 648. DOI:10.3390/agriculture11070648.

5. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

5.1. OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE

Jako pracownik zatrudniony na stanowisku adiunkta badawczo - dydaktycznego w Katedrze Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt w Pracowni Pszczelnictwa, prowadzę zajęcia dydaktyczne, które są elementem mojej pracy zawodowej. Poniżej znajduje się lista prowadzonych przeze mnie przedmiotów:

1. *Biologia owadów użytkowych* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie wykładów, ćwiczeń oraz w formie terenowej dla studentów I stopnia na kierunkach biologia.
2. *Biometeorologia* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie wykładów, ćwiczeń oraz w formie terenowej dla studentów I stopnia na kierunkach biologia, biologia człowieka, bezpieczeństwo żywności, bioinformatyka i zootechnika.
3. *Chów i hodowla owadów użytkowych* - przedmiot obligatoryjny dla studentów pierwszego stopnia na kierunku zootechnika. Zajęcia prowadzone są w formie wykładów, ćwiczeń oraz w formie terenowej;
4. *Doświadczalne wykorzystanie owadów* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie wykładów, ćwiczeń oraz w formie terenowej dla studentów I stopnia na kierunkach bioinformatyka.
5. *Gospodarka pasieczna* - przedmiot fakultatywny dla studentów I stopnia na kierunku zootechnika. Przedmiot prowadzony w formie wykładów i ćwiczeń praktycznych w pasiece;
6. *Higiena produkcji* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
7. *Neurobiologia* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie ćwiczeń dla studentów kierunku biologia na II stopniu.

8. *Obrót surowcami pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów II stopnia, kierunek zootechnika;
9. *Ocena surowców pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek zootechnika;
10. *Owady i ich produkty jako żywność* - przedmiot obligatoryjny prowadzony w formie ćwiczeń laboratoryjnych oraz projektowych dla studentów kierunku zootechnika na II stopniu.
11. *Spoleczne życie zwierząt* - przedmiot fakultatywny prowadzony jest w formie wykładów dla studentów I stopnia kierunku zootechnika.
12. *Technologia surowców pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
13. *Terapeutyczne wykorzystanie zwierząt* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie wykładów, ćwiczeń oraz w formie terenowej dla studentów I stopnia na kierunkach biologia człowieka.
14. *Towaroznawstwo surowców i produktów pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek zootechnika;
15. *Zagrożenia w produkcji* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
16. *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem żywności* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń projektowych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
17. *Znaczenie owadów użytkowych w biologii i biomedycynie* - przedmiot fakultatywny prowadzony w formie ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów kierunku biologia na II stopniu.

Sprawowałem opiekę nad 31 pracami dyplomowymi, w tym 16 prac inżynierskich (kierunek zootechnika i bezpieczeństwo żywności), 3 prac licencjackich (kierunek biologia i bioinformatyka) oraz 12 prac magisterskich (kierunek biologia i zootechnika) realizowanych na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Funkcję recenzenta prac dyplomowych pełniłem łącznie w 7 postępowaniach. Aktualnie opieką promotorską objąłem kolejnych siedmiu dyplomantów. W każdym roku jestem członkiem komisji egzaminacyjnej na kierunku bezpieczeństwo żywności. W 2022 byłem członkiem komisji egzaminacyjnej na kierunku zootechnika niestacjonarna.

Od roku akademickiego 2019/2020 pełnię funkcję opiekuna kierunku bezpieczeństwo żywności studia I stopnia.

Od 2019 roku pełnię funkcję opiekuna Studenckiego Koła Naukowego Pszczelarzy "Apis" funkcjonującego przy Katedrze Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt. Koło Naukowe pod moją opieką otrzymało dofinansowanie na badania w ramach projektu „Wpływ niedożywienia na odporność pszczoły miodnej *Apis mellifera* L. ”Celem tego projektu jest sprawdzenie czy niedobory pokarmowe wywołają zmiany w aktywności enzymów odpornościowych u pszczół.

W 2022 roku zostałem wyróżniony nagrodą w konkursie Radia Luz "KUBEK DLA WYKŁADOWCY 2022" jako jeden z najlepszych wykładowców.

Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego:

Pełnię funkcję promotora pomocniczego w następujących rozprawach doktorskich:

1. mgr inż. Agnieszka Murawska "Zmiana poziomu wskaźników biochemicznych oraz kondycji rodziny pszczelej (*Apis mellifera* L.) narażonej na środki ochrony roślin i ich mieszaniny" Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt
2. mgr Ewelina Berbec "Zmiana podatności pszczół na wybrane choroby pod wpływem pola elektromagnetycznego o zmiennych parametrach" Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt
3. mgr inż. Mateusz Plotnik "Analiza oddziaływania pola elektromagnetycznego o częstotliwościach radiowych na markery biochemiczne i wskaźniki behawioralne pszczoły miodnej (*Apis mellifera*)" Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt
4. mgr Piotr Nowotnik "Opracowanie preparatu symbiotycznego o wysokim potencjale przeciwdrobnoustrojowym do stosowania w profilaktyce względem

5.2. OSIĄGNIĘCIE ORGANIZACYJNE

Udział w pracach w kolegiach i komisjach wydziałowych oraz uczelnianych:

- Obecnie jestem członkiem rady programowej kierunku bezpieczeństwo żywności.
- Obecnie jestem członkiem Senatu Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Członek stałej Senackiej Komisji ds. Badań Naukowych.

Członkostwo w towarzystwach naukowych:

- 2019 - obecnie - Członek Pszczelniczego Towarzystwa Naukowego
- 2022 – obecnie – Członek Polskiego Towarzystwa Genetycznego

Udział w pracach komitetów organizacyjnych:

- 2019 rok - członek komitetu organizacyjnego XIXth International Congress of ISAH Animal Hygiene as a Fundament of One Health and Welfare improving biosecurity, environment and food quality.
- 2019 rok - współorganizator Dni Przyrodników Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych:

Journal of Apicultural Research

KOSMOS

Ecotoxicology and Environmental Safety

Insect

Applied Sciences

5.3. OSIĄGNIĘCIA POPULARYZATORSKIE

- Organizacja wykładów oraz warsztatów podczas Dni Przyrodników na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu.

- 2020 - Przygotowanie materiałów szkoleniowych dla Górnołużyckiego Stowarzyszenia Pszczelarzy w Zgorzelcu.
- 2020 - Przygotowanie materiałów szkoleniowych dla Regionalnego związku Pszczelarzy "Ziemi Piotrkowskiej" w Piotrkowie Trybunalskim.
- Przygotowanie materiałów popularnonaukowych dla organizacji EkoCentrum działającej we Wrocławiu.
- Opracowanie materiałów dydaktycznych, popularnonaukowych i warsztatowych dla organizacji Zielona Akcja - Pszczoły Proszą o pomoc.
- Udzielenie wywiadu dla lokalnych rozgłośni radiowych (Radio Wrocław, Akademickie Radio Luz).
- 2020 - 2022 - Udzielenie wywiadu i udział w reportażu dla telewizji TVN oraz TVP.
- Przygotowanie materiałów i czynny udział w Dolnośląskim Festiwalu Nauki.
- Przygotowanie publikacji popularnonaukowych dla czasopism branżowych.
- Ścisła współpraca ze związkami pszczelarskimi na terenie kraju i po za jego granicami (Niemcy, Słowenia).
- Prowadzenie szkoleń i warsztatów dla pszczelarzy w licznych związkach pszczelarskich w Polsce (m.in. w Częstochowie, Zgorzelcu, Wałbrzychu, Wrocławiu, Zielonej Górze, Lublinie, Sielpi Wielkiej, Łodzi).

Wrocław, 30.09.2022

dr inż. Paweł Migdał