

Autoreferat

Dr Łukasz Dariusz Dylewski

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach
Katedra Zoologii
Pracownia Zoologii
Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

Poznań, 28.04.2025r.

Spis treści

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	4
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 późn. zm.).....	5
3.1. Osiągnięcie będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.....	5
3.1.1. Omówienie celu powiązanych tematycznie prac naukowych zgłoszonych w cyklu	5
3.1.2. Omówienie wyników w cyklu prac	10
3.1.3. Podsumowanie najważniejszych osiągnięć ze zgłoszonych prac	30
3.1.4. Literatura.....	31
3.2. Omówienie pozostałych istotnych osiągnięć naukowo-badawczych, nie ujętych w powyższym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych	36
3.2.1. Rola struktur antropogenicznych w zachowaniu różnorodności ptaków, owadów zapylających i roślin w krajobrazie rolniczym	37
3.2.2. Ekologia interakcji roślin z konsumentami ich nasion w kontekście inwazji biologicznych.....	40
3.2.3. Wykorzystanie nauki obywatelskiej i danych cyfrowych w badaniach biologicznych.....	44
3.2.4. Ekologia bociana białego w zmieniającym się krajobrazie rolniczym.....	48
3.2.5. Ekologia zwierząt w krajobrazie miejskim.....	51
4. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	54
4.1. University of Montana, Division of Biological Sciences, Montana, USA.....	55
4.2. Rocky Mountain Research Station, Montana, USA	56
4.3. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku	56
4.4. Missouri Department of Conservation, Missouri, Stany Zjednoczone	58
4.5. Conservation Culturomics and iEcology International Group	58
4.6. Instytut Biologii Ewolucyjnej, Uniwersytet Warszawski.....	59
4.7. Department of Biology, University of Dayton, Stany Zjednoczone	60
5. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych.....	62
6. Podsumowanie dotychczasowej działalności naukowej	64

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

2020 doktor nauk biologicznych

Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Tytuł pracy: *Udział konsumentów nasion w regulowaniu populacji inwazyjnego gatunku – kolczurki klapowanej (Echinocystis lobata)*

Promotor: dr hab. Janusz Klokowski, prof. UPP

Promotor pomocniczy: dr hab. Łukasz Myczko

2015 magister biologii, specjalność Biologia stosowana, specjalizacja: Biologia zwierząt

Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Tytuł pracy magisterskiej: *Wybiórczość fenotypowa dzięciola dużego względem wybranych cech morfologicznych szyszek świerka pospolitego i sosny zwyczajnej na terenie Sudetów Zachodnich*

Promotor: dr Łukasz Myczko

2013 licencjat na kierunku Biologia w specjalności Biologia stosowana

Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Egzamin

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2015 – 2020

doktorant

Instytut Zoologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

2019 – 2021

asystent

Zakład Ekologii

Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

2021 – do chwili obecnej

adiunkt

Katedra Zoologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

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 późn. zm.).

Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

3.1. Osiągnięcie będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 219 ust. 1. pkt 2b. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (dz. U. Z 2021 r. Poz. 478 z późn. zm.) będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wskazuję cykl pięciu oryginalnych publikacji, przedstawiających wyniki badań z zakresu ekologii pod tytułem: **Rola miejskich terenów zielonych w kształtowaniu różnorodności gatunkowej i funkcjonalnej owadów zapylających i roślin w kontekście postępującej urbanizacji.** Wszystkie artykuły stanowiące osiągnięcie zostały opublikowane w czasopismach z listy Journal Citation Reports (Tabela 1). Sumaryczny wskaźnik wpływu (IF 2-letni) cyklu publikacji wynosi 26,27, a suma punktów MEiN wynosi 620. We wszystkich artykułach jestem pierwszym autorem, a w czterech również autorem korespondencyjnym. Wyniki zrealizowanych badań opublikowane zostały w czasopismach przypisanych do dyscypliny nauki biologiczne, tj. *Ecological Entomology* (Q2), *Urban Forestry & Urban Greening* (Q1), *Environmental Science and Pollution Research* (Q1), *Ecological Indicators* (Q1) oraz *Methods in Ecology and Evolution* (Q1). Prace zostały zacytowane łącznie 189 razy. Oświadczenia współautorów, wskazujące na indywidualny wkład poszczególnych osób stanowią załącznik do niniejszego wniosku.

3.1.1. Omówienie celu powiązanych tematycznie prac naukowych zgłoszonych w cyklu

W wielu ekosystemach działalność człowieka znacząco przyczynia się do utraty bioróżnorodności oraz zmian w środowisku (Fischer i Lindenmayer 2007, Cardinale i wsp. 2012). Wylesianie, upraszczanie sposobu użytkowania ziemi, fragmentacja siedlisk, intensyfikacja rolnictwa oraz wprowadzanie gatunków inwazyjnych prowadzą do nieodwracalnych zmian środowiskowych, co skutkuje zaburzeniem funkcjonowania ekosystemów (Vitousek i wsp. 1997). Degradacja siedlisk powoduje utratę odpowiednich warunków życia dla wielu gatunków roślin i zwierząt (Seto i wsp. 2011) i może prowadzić do

spadku ich liczebności, a w niektórych przypadkach do ich wyginięcia. Znaczący wpływ działalności człowieka, skutkujący zakłóceniem łączności pomiędzy siedliskami naturalnymi i półnaturalnymi, obserwuje się zarówno w ekosystemach miejskich jak i rolniczych.

Kryzys związany z wymieraniem owadów zapylających jest jednym z najbardziej istotnych i niepokojących wyzwań środowiskowych na świecie (Tschardt i wsp. 2005, Goulson i wsp. 2008, Biesmeijer i wsp. 2006). Od wielu lat obserwuje się globalny spadek liczebności oraz różnorodności owadów zapylających (Burkle i wsp. 2013, Settele i wsp. 2010, Potts i wsp. 2010). Owady zapylające stały się ważną grupą w podnoszeniu świadomości społecznej na temat wpływu człowieka na bioróżnorodność (Fortel i wsp. 2014). Zapyłacze odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu oraz zachowaniu funkcji ekosystemów, umożliwiając rozmnażanie roślinom kwitnącym poprzez przenoszenie pyłku (Moreira-Hernández i Muchhala 2019). Wśród zapyłaczy szczególnie ważną grupę stanowią owady takie jak pszczoły, motyle i bzygi. W ostatnich latach odnotowuje się spadek populacji tych grup owadów (Potts i wsp. 2010, Nath i wsp. 2023), co stanowi poważne zagrożenie dla globalnej bioróżnorodności, bezpieczeństwa żywnościowego i ogólnego zdrowia ekosystemów.

Działalność człowieka odgrywa kluczową rolę w utracie i fragmentacji naturalnych siedlisk (McKinney 2002, Grimm i wsp. 2008). Te przekształcenia mają dalekosiężne konsekwencje zarówno dla bioróżnorodności, jak i funkcjonowania ekosystemów (Fischer i Lindenmayer 2007, Cardinale i wsp. 2012). Na całym świecie działalność człowieka prowadziła do masowego przekształcania naturalnych siedlisk w krajobrazy miejskie lub rolnicze (Seto i wsp. 2011), powodując zmiany w wzorcach różnorodności gatunkowej i dostarczaniu usług ekosystemowych przez organizmy w nich żyjące (Dirzo i wsp. 2014). Zielone obszary miejskie zaczęły pełnić kluczową rolę jako siedliska dla zapyłaczy żyjących wśród zabudowy miejskiej, oferując różnorodne i często obfite w zasoby kwiatowe miejsca w parkach, ogrodach i przestrzeniach zielonych (Llodra-Llabrés i Carinanos 2022, Poole i wsp. 2025, Ranalli i wsp. 2025, Zajdel i wsp. 2025). Miasta, dzięki różnorodności roślin kwitnących, zapewniają zapyłaczom w okresie wegetacji źródło pokarmu, przyczyniając się do utrzymania różnorodności gatunków owadów i jednocześnie wspierają wzrost bioróżnorodności w ekosystemach miejskich. Korytarze łączące pofragmentowane naturalne siedliska, tworzone przez miasta, a w szczególności zieleń miejską, mogą także ułatwiać przemieszczanie się, a co za tym idzie przyczynić się do zachowania różnorodności genetycznej tych owadów (Takami i wsp. 2004, Ramírez-Restrepo i MacGregor-Fors 2017, Collins i wsp. 2024). Z drugiej strony, chociaż miasta mogą oferować nowe nisze dla wielu gatunków, gęsta zabudowa i wysokie

budynki stanowią również istotne zagrożenie dla istniejącej bioróżnorodności (Baldock 2020, Liang i wsp. 2023). Specyfika terenów zurbanizowanych sprzyja gatunkom, które potrafią najlepiej się przystosować – generalistom o szerokiej tolerancji ekologicznej, zdolnym do życia w wielu niszach i odżywiania się różnorodnym pokarmem (Bates i wsp. 2011, Deguines i wsp. 2016, Wenzel i wsp. 2023).

Urbanizacja to nieustanny i dynamiczny proces, który powoduje liczne i złożone zmiany w środowisku, wpływając w różnym stopniu na wiele grup roślin i zwierząt (McKinney, 2002, Grimm i wsp. 2008). Miasta wyróżniają się unikalnymi cechami, takimi jak specyficzny mikroklimat, stopień zabudowy, gęstość zaludnienia czy dostępność terenów zielonych — te elementy w odmienny sposób oddziałują na różnorodność taksonomiczną i funkcjonalną owadów zapylających. Proces urbanizacji wielowymiarowo oddziałuje na społeczności zapylaczy i ich cechy, prowadząc do procesu selekcji kształtowanego przez różne czynniki ekologiczne i antropogeniczne (Merckx i Van Dyck 2019, Buchholz i Egerer 2020, Prendergast i wsp. 2022, Brasil i wsp. 2024). Aglomeracje miejskie mogą oddziaływać na różnorodność zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio, poprzez zmiany w strukturze siedlisk, co w konsekwencji oddziałuje na populacje owadów. Fragmentacja siedlisk i ich utrata na obszarach miejskich ograniczają dostępność i różnorodność zasobów kwiatowych, sprzyjając gatunkom roślin odpornym na takie zakłócenia. Zmienione zbiorowiska roślinne, często zdominowane przez gatunki obce lub inwazyjne i niewłaściwie zarządzane, mogą wpływać na preferencje zapylaczy. Bariery fizyczne, takie jak budynki i drogi, oraz sztuczny charakter środowiska przyczyniają się do presji selekcyjnej wywieranej na gatunki zapylaczy, co ostatecznie kształtuje skład i cechy tej społeczności w ekosystemach miejskich (Tzortzakaki i wsp. 2019, Gathof i wsp. 2022). Zrozumienie powyższej dynamiki jest kluczowe dla tworzenia skutecznych strategii ochrony i promowania bioróżnorodności w środowiskach miejskich (Ranalli i wsp. 2025).

W miarę postępującej urbanizacji, wiele organizmów zostaje pozbawionych naturalnych siedlisk, co może skutkować utratą bioróżnorodności (Czech i wsp. 2000, Grimm i wsp. 2008, Evans i wsp. 2009). Powoduje to homogenizację biotyczną, związaną z wyginięciem dużej części gatunków i rozprzestrzeniania się jedynie niewielkiej ich liczby (McKinney 2008). Jednak wiele gatunków roślin i zwierząt może również czerpać korzyści z wykorzystania miasta jako alternatywnego siedliska (Müller i wsp. 2010, Sattler i wsp. 2011, Dyderski i wsp. 2017), w tym gatunki zagrożone w skali regionalnej (Aronson i wsp. 2014, Ives

i wsp. 2016) dlatego miejskie zielone infrastruktury stają się coraz bardziej istotne dla wspierania bioróżnorodności (Peterson i wsp. 2018).

Miejskie krajobrazy stanowią alternatywne siedliska dla owadów zapylających (Baldock i wsp. 2015, Banaszak-Cibicka i wsp. 2016). Jednak wpływ miejskiej matrycy siedliskowej na zespoły zapylaczy w zależności od czynników środowiskowych i związanych z roślinnością w różnych miastach nie jest jeszcze dobrze poznany. Różnorodność zapylaczy i ich społeczności w miastach może zależeć od zmiennych matrycy miejskiej, takich jak poziom urbanizacji czy łączność przestrzenna (von der Lippe i wsp. 2020), oraz od zmiennych lokalnych, takich jak wielkość obszaru, pokrycie roślinnością i/lub jego brak, bogactwo gatunkowe roślin czy wysokość roślinności (Dylewski i wsp. 2019, Felderhoff i wsp. 2022). Urbanizacja zmienia strukturę zespołów zapylaczy, sprzyjając gatunkom posiadającym cechy przystosowane do życia w mieście, podczas gdy inne gatunki unikają takich środowisk (Blair 1999, Banaszak-Cibicka i Żmihorski 2012, Banaszak-Cibicka i Dylewski, 2021, Gathof i wsp. 2022). Na przykład stwierdzono, że pszczoły polielektyczne i eusocjalne o długim okresie aktywności korzystają z obszarów miejskich (Banaszak-Cibicka i Dylewski 2021). Z kolei bzygi wykazywały odwrotny efekt – więcej gatunków było związanych z siedliskami o niskim stopniu urbanizacji ze względu na cechy związane z rozwojem larw (Gathof i wsp. 2022). Dodatkowo, różne części miasta charakteryzują się różnym poziomem powierzchni nieprzepuszczalnych, co wpływa na różnorodność funkcjonalną zapylaczy. Zróżnicowanie urbanizacji w obrębie miasta jest dynamiczne i odzwierciedla wieloaspektowy charakter rozwoju miejskiego. Czynniki takie jak wzorce historyczne, działalność gospodarcza i polityka planowania przestrzennego przyczyniają się do powstawania różnorodnych krajobrazów i społeczności w miejskich obszarach. W badaniach Banaszak-Cibicka i Dylewski (2021) wykazano, że funkcjonalna dyspersja pszczół znacząco wzrastała na obszarach podmiejskich w porównaniu do lokalizacji miejskich. Powierzchnie nieprzepuszczalne (ISA) są dobrym wskaźnikiem procesów urbanizacyjnych (Szulkin i wsp. 2020), ponieważ mogą redukować lub eliminować dostępność odpowiednich dla zapylaczy siedlisk, ograniczając ich zasoby pokarmowe i miejsca do gniazdowania, a także uniemożliwiając im przemieszczanie się. Budynki, drogi i inne struktury mogą niszczyć lub rozdzielać tereny zielone w granicach miasta, co utrudnia zapylaczom znalezienie niezbędnych do przetrwania zasobów.

Nadrzędnym celem wszystkich publikacji naukowych przedstawionych jako osiągnięcie habilitacyjne, było określenie wpływu cech środowiskowych, składu roślinności

oraz praktyk zarządzania zielenią miejską na różnorodność gatunkową i funkcjonalną społeczności zapylaczy w różnych typach siedlisk miejskich (Tabela 1).

Tabela 1. Szczegółowe dane dotyczące pięciu oryginalnych publikacji stanowiących cykl.

Lp.	Opis publikacji	IF _{2-letni}	MNiSW
		IF _{5-letni}	
1.	Dylewski, L., Maćkowiak, Ł., Banaszak-Cibicka, W. (2019) Are all urban green spaces a favourable habitat for pollinator communities? Bees, butterflies and hoverflies in different urban green areas. <i>Ecological Entomology</i> , 44(5), 678-689.	4,22 4,30	100
2.	Dylewski, L., Maćkowiak, Ł., Banaszak-Cibicka, W. (2020). Linking pollinators and city flora: How vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment. <i>Urban Forestry & Urban Greening</i> , 56, 126795.	4,53 5,35	100
3.	Dylewski, L., Banaszak-Cibicka, W., Maćkowiak, Ł., Dyderski, M. K. (2023) How do urbanization and alien species affect the plant taxonomic, functional, and phylogenetic diversity in different types of urban green areas? <i>Environmental Science and Pollution Research</i> , 30(40), 92390-92403.	4,22 4,30	100
4.	Dylewski, L., Białas, J. T., Szymysł, A., Banaszak-Cibicka, W. (2024) Pollinator assemblages in grasslands along river valleys depend on the urban matrix and local habitat scale variables. <i>Ecological Indicators</i> , 159, 111687.	7,00 6,60	200
5.	Dylewski, L., Kaźmierczak, S., Giejdasz, K., & Banaszak-Cibicka, W. (2024) Osmia3DNest—Novel designed 3D printed artificial nest for solitary cavity-nesting bees. <i>Methods in Ecology & Evolution</i> , 15(8), 1325-1331.	6,30 8,90	140
\sum IF _{2-letni} = 26,27; \sum IF _{5-letni} = 29,45; \sum Punkty MNiSW = 640			

Cykl prac naukowych wchodzących w skład habilitacji omawia następujące cele badawcze:

1. Zbadanie różnic w obfitości i bogactwie gatunkowym dzikich pszczół, motyli i bzygów w trzech typach miejskich terenów zielonych: łąkach miejskich, parkach oraz zieleni osiedlowej.
2. Określenie wpływu cech środowiskowych, takich jak udział terenów zabudowanych, udział terenów zielonych, wysokość roślinności oraz obecność zbiorników wodnych, na społeczności zapylaczy.
3. Analiza wpływu składu gatunkowego roślin na różnorodność gatunkową i funkcjonalną zapylaczy w różnych miejskich siedliskach.
4. Ocena znaczenia praktyk zarządzania zielenią miejską, takich jak ograniczenie liczby koszeń, dla ochrony i wspierania zapylaczy.

5. Zbadanie roli urbanizacji, w tym powierzchni nieprzepuszczalnych i odległości od osiedli ludzkich, w kształtowaniu różnorodności gatunkowej i funkcjonalnej zapylaczy oraz roślin.
6. Wykazanie znaczenia nadrzecznych terenów zielonych jako kluczowych siedlisk wspierających różnorodność zapylaczy w miejskich ekosystemach.
7. Sformułowanie zaleceń dla polityki zarządzania zielenią miejską w celu promowania zróżnicowanych i przyjaznych zapylaczom terenów zielonych w miastach. Opracowanie prototypu sztucznych gniazd 3D z biodegradowalnego materiału z polilaktydu (PLA), przeznaczonych do badań nad biologią rozrodczą pszczół samotnych.

3.1.2. Omówienie wyników w cyklu prac

3.1.2.1 Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł., Banaszak-Cibicka, W. (2019). Are all urban green spaces a favourable habitat for pollinator communities? Bees, butterflies and hoverflies in different urban green areas. *Ecological Entomology*, 44(5), 678-689.

Urbanizacja jest jednym z najbardziej dynamicznych procesów wpływających na środowisko, powodującym przekształcanie się naturalnych siedlisk. Pomimo negatywnych skutków dla bioróżnorodności, miasta mogą także pełnić ważną rolę w ochronie gatunków roślin i zwierząt, w tym zapylaczy, oferując im alternatywne siedliska (Banaszak-Cibicka i Żmihorski 2012, Baldock i wsp. 2016). Różnorodność przestrzenna zieleni miejskiej, obejmująca parki, łąki miejskie, zieleń poboczy dróg, ogrody czy zieleń osiedlową, sprzyja utrzymaniu bogactwa gatunkowego zapylaczy, jednak wpływ tych siedlisk na ich społeczności różni się w zależności od struktury roślinności, praktyk zarządzania, a w szczególności stopnia ich urbanizacji. W miastach zapylacze napotykać jednak na różne wyzwania, w tym ograniczoną dostępność zasobów pokarmowych, brak odpowiednich miejsc gniazdowania oraz presję wynikającą z intensywnych działań zarządczych, takich jak częste koszenie czy sadzenie roślin ozdobnych (Banaszak-Cibicka i wsp. 2016, Aguilera i wsp. 2019). Zrozumienie, jak różne typy zieleni miejskiej wpływają na społeczności zapylaczy, jest kluczowe dla opracowania skutecznych strategii zarządzania terenami zielonymi w celu wspierania bioróżnorodności w miastach.

Dotychczasowe badania skupiały się głównie na porównaniach społeczności owadów zapylających między siedliskami miejskimi i wiejskimi, natomiast niewiele uwagi poświęcono

różnicom między poszczególnymi typami terenów zielonych w miastach (Verboven i wsp. 2014, Fischer i wsp. 2016). W pracy tej podjęto próbę wypełnienia tej luki, badając liczebność i różnorodność gatunkową trzech grup zapylaczy – dzikich pszczół, motyli i bzygów – w trzech typach siedlisk miejskich: łąkach miejskich, zieleni osiedlowej oraz parkach miejskich w Poznaniu. Celem badań było również określenie wpływu czynników środowiskowych i cech roślinności na kształtowanie społeczności zapylaczy. **W tym badaniu postawiono hipotezę, że różne typy terenów zielonych w miastach, takie jak łąki miejskie, zieleń osiedlowa i parki miejskie, różnią się pod względem warunków środowiskowych i składu roślinności, co wpływa na obfitość, różnorodność gatunkową oraz skład społeczności zapylaczy, takich jak dzikie pszczoły, motyle i bzygi.** Łąki miejskie, ze względu na większą pokrywą roślin zapylanych przez owady i mniej intensywne zarządzanie, będą bardziej sprzyjać bogactwu gatunkowemu i obfitości zapylaczy niż intensywnie zarządzane parki miejskie i zieleń osiedlowa. W ramach tych badań wyznaczono 47 powierzchni badawczych o wymiarach około 250×250 m w obrębie trzech typów terenów zielonych w Poznaniu: 13 powierzchni w parkach miejskich, 22 na terenach zieleni osiedlowej oraz 12 na łąkach miejskich. Każda z tych kategorii charakteryzowała się odmienną strukturą zieleni i sposobem zarządzania. Badania prowadzono od czerwca do sierpnia 2016 roku. Na każdej powierzchni badawczej wyznaczono trzy transekty o długości 250 m i szerokości 1 m, w których przeprowadzono miesięczne odłowy zapylaczy (dzikich pszczół, motyli i bzygów) za pomocą siatek entomologicznych. Na każdej powierzchni wykonano od trzech do pięciu zdjęć fitosocjologicznych o powierzchni 25 m^2 , w zależności od różnorodności roślinności. Zidentyfikowano gatunki roślin, oszacowano pokrywą roślin zapylanych przez owady, wysokość roślinności oraz pokrywą zieleni. Dodatkowo określono udział roślin drzewiastych i pokrywą powierzchni nieprzepuszczalnych w promieniu 250 m od centrum każdej powierzchni badawczej. Do analizy różnic w społecznościach zapylaczy między typami siedlisk wykorzystano modele liniowe mieszane (GLMM). Zależności między obfitością i różnorodnością zapylaczy a cechami środowiska analizowano za pomocą kanonicznej analizy korespondencji (CCA). Wszystkie analizy przeprowadzono w programach R (wersja 3.3.2) i Canoco (wersja 5.0).

Badania udowodniły, że obfitość zapylaczy różniła się między typami terenów zielonych w Poznaniu. Najwięcej zapylaczy odnotowano na łąkach miejskich 2093 osobników, podczas gdy w zieleni osiedlowej zarejestrowano 1586 osobników, a w parkach miejskich 722 osobników. Różnorodność gatunkowa motyli była najwyższa na łąkach miejskich, co wskazuje, że są one szczególnie korzystnym siedliskiem dla tej grupy zapylaczy. Dla dzikich pszczół i

bzygów różnice między typami siedlisk nie były istotne, co sugeruje, że społeczności tych gatunków mogą być bardziej odporne na zmienność środowiskową. Analiza czynników środowiskowych unaoczniała, że pokrywa roślin zapylanych przez owady miała istotny wpływ na obfitość i różnorodność zapylaczy we wszystkich typach terenów zielonych. Największe znaczenie tego czynnika zaobserwowano na łąkach miejskich i w zieleni osiedlowej, natomiast w parkach miejskich efekt był ograniczony. Wysokość roślinności również odgrywała istotną rolę – pozytywnie wpływała na obfitość zapylaczy w zieleni osiedlowej, natomiast na łąkach miejskich i w parkach miejskich wpływ ten był negatywny, co mogło wynikać z trudności w dostępie do kwiatów w zbyt wysokiej roślinności trawiastej. Wyniki badań ujawniły także zróżnicowane reakcje poszczególnych grup zapylaczy na różne typy siedlisk. Obfitość i różnorodność gatunkowa dzikich pszczoł między badanymi siedliskami nie wykazywały istotnych różnic, co sugeruje ich zdolność do adaptacji w różnych warunkach miejskich. Motyle, jako najbardziej wrażliwa grupa, były najliczniejsze na łąkach miejskich, które zapewniały im optymalne warunki do rozwoju i żerowania dzięki wysokiej różnorodności roślin kwitnących. Bogactwo gatunkowe bzygów było nieznacznie wyższe w zieleni osiedlowej, ale ich liczebność była niska, co można tłumaczyć obecnością bardziej zróżnicowanych i mniej intensywnie zarządzanych siedlisk, przy czym należy wspomnieć, że wyniki te nie były istotne statystycznie. Skład gatunkowy społeczności zapylaczy różnił się istotnie między typami siedlisk. Łąki miejskie wyróżniały się jako najkorzystniejsze środowisko dla różnorodnych społeczności zapylaczy, zapewniając odpowiednie zasoby pokarmowe, miejsca gniazdowania oraz środowisko do rozwoju larw. Co istotne, podczas badań zaobserwowano czerwończyka nieparka (*Lycaena dispar*), co podkreśla znaczenie miejskich terenów zielonych w ochronie rzadkich i zagrożonych gatunków. Z kolei intensywnie zarządzane parki miejskie, charakteryzujące się częstym koszeniem i dominacją roślin ozdobnych, wykazywały najniższą obfitość i różnorodność zapylaczy, co wskazuje na konieczność zmiany praktyk zarządczych. Wyniki badań podkreślają znaczenie łąk miejskich jako kluczowych siedlisk dla zapylaczy w miastach. Sugerują również potrzebę ograniczenia intensywnego koszenia, wprowadzenia większej liczby rodzimych roślin zapylanych przez owady oraz tworzenia mniej zarządzanych stref zieleni miejskiej. Takie działania mogą znacząco przyczynić się do ochrony różnorodności biologicznej zapylaczy w warunkach miejskich, w tym gatunków chronionych.

Podsumowując wyniki tych badań udowodniły, że nie wszystkie miejskie tereny zielone mają jednakową wartość jako siedliska dla zapylaczy. Łąki miejskie, charakteryzujące się

wysoką pokrywą roślin zapylanych przez owady i mniej intensywnym zarządzaniem, okazały się kluczowym środowiskiem wspierającym zarówno obfitość, jak i różnorodność gatunkową zapylaczy. Stanowią one szczególnie cenne siedliska dla motyli, które były najbardziej wrażliwe na intensyfikację zarządzania w innych typach zieleni miejskiej. Z kolei parki miejskie, zarządzane intensywnie poprzez częste koszenie i dominację roślin ozdobnych, charakteryzowały się najniższą różnorodnością i obfitością zapylaczy. Wyniki sugerują, że obecne praktyki zarządzania w parkach miejskich ograniczają dostępność zasobów pokarmowych i siedliskowych dla zapylaczy, co negatywnie wpływa na ich społeczności. Intensywne działania takie jak częste koszenie i usuwanie naturalnej roślinności prowadzą do homogenizacji środowiska, zmniejszając jego zdolność do wspierania różnorodnych grup owadów. Zieleń osiedlowa zajmuje pośrednie miejsce pod względem wartości siedliskowej dla zapylaczy. Dzięki zróżnicowanej strukturze roślinności i umiarkowanemu zarządzaniu przyciąga bzygi oraz pszczoły, ale nie zapewnia równie korzystnych warunków dla motyli, jak łąki miejskie. Kluczowym wnioskiem jest to, że odpowiednie praktyki zarządzania zielenią miejską odgrywają istotną rolę w ochronie różnorodności biologicznej zapylaczy. Ograniczenie częstotliwości koszenia, zwiększenie udziału roślin rodzimych zapylanych przez owady oraz pozostawianie niewykoszonych stref na terenach zielonych mogą znacząco poprawić warunki dla tych owadów. Wprowadzenie takich zmian, szczególnie w intensywnie zarządzanych parkach miejskich, mogłoby zwiększyć ich wartość dla owadów zapylających. Badanie wykazało również, że miejskie tereny zielone mogą mieć istotne znaczenie dla gatunków chronionych, takich jak czerwończyk nieparek, który znajduje się w załącznikach II i IV Dyrektywy Siedliskowej. Zarejestrowanie tego gatunku podkreśla potencjał miast jako miejsc ochrony bioróżnorodności. Podsumowując, aby wspierać różnorodność zapylaczy w miastach, konieczne jest dostosowanie polityki zarządzania zielenią miejską do potrzeb owadów. Wskazane jest promowanie różnorodnych, zrównoważonych praktyk zarządzania, które łączą cele ekologiczne z wymaganiami estetycznymi i rekreacyjnymi mieszkańców. Łąki miejskie oraz zieleń osiedlowa stanowią szczególną szansę na pogodzenie tych celów, a ich ochrona i rozwój powinny być priorytetem w strategiach zrównoważonego rozwoju miast.

3.1.2.2. Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł., Banaszak-Cibicka, W. (2020). Linking pollinators and city flora: How vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment. Urban Forestry & Urban Greening, 56, 126795.

W ramach tej pracy przeprowadzono szczegółową analizę wpływu składu roślinności i cech środowiskowych na społeczność owadów zapylających w różnych typach terenów zielonych w środowisku miejskim. **W badaniu tym postawiono następujące hipotezy: (I) Skład gatunkowy roślin różni się między trzema typami miejskich siedlisk. (II) Cechy środowiskowe i skład roślinności mają istotny wpływ na skład gatunkowy społeczności zapylaczy w miejskich siedliskach. (III) Obecność i pokrycie roślin z wybranych rodzin botanicznych koreluje z występowaniem określonych grup zapylaczy. (IV) Zachodzi istotna korelacja między składem gatunkowym roślin a składem gatunkowym zapylaczy w różnych typach siedlisk.** Badania terenowe zrealizowano w Poznaniu w 2016 roku, gdzie wyznaczono 47 powierzchni badawczych obejmujących trzy rodzaje siedlisk: łąki miejskie, tereny zieleni osiedlowej oraz parki miejskie. W celu oceny społeczności zapylaczy dokonano obserwacji i odłowów trzech głównych grup owadów: dzikich pszczół, motyli i bzygów. Monitoring prowadzono na transektach o długości 200 m i szerokości 1 m, gdzie rejestrowano liczebność i skład gatunkowy zapylaczy. Zebrane owady zostały oznaczone do poziomu gatunku. Równocześnie przeprowadzono analizę składu roślinności na każdej powierzchni badawczej, identyfikując gatunki roślin i oceniając ich pokrycie oraz wysokość. Gatunki roślin sklasyfikowano do rodzin, wyliczając ich procentowe pokrycie dla danej powierzchni. Dodatkowo oceniono cechy środowiskowe, w tym udział powierzchni zabudowanej w otoczeniu terenów zielonych, stopień urbanizacji oraz odległość od intensywnie zurbanizowanych obszarów. W celu określenia czynników wpływających na skład społeczności zapylaczy przeprowadzono niemetryczne skalowanie wielowymiarowe (NMDS), a do oceny zależności między strukturą roślinności a składem gatunkowym owadów zastosowano kanoniczną analizę korespondencji (CA). Badano również, w jakim stopniu występowanie gatunków roślin wpływają na występowanie poszczególnych grup zapylaczy osobno dla każdego siedliska wykorzystując analizę korespondencji i współ-korespondencji (CoCA).

W badaniu zidentyfikowano 266 gatunków roślin należących do 45 rodzin, przy czym największą różnorodność gatunkową odnotowano na terenach zieleni osiedlowej (191 gatunków), natomiast najmniejszą w parkach miejskich (136 gatunków). Na łąkach miejskich stwierdzono 159 gatunków, co sugeruje, że te siedliska stanowią pośrednie środowisko pod

względem różnorodności florystycznej. Najbogatsze gatunkowo rodziny to Asteraceae (52 gatunki), Poaceae (34), Fabaceae (25), Rosaceae (15) i Caryophyllaceae (15), co wskazuje na dominację roślin charakterystycznych dla siedlisk otwartych i ruderalnych. Nie wykazaliśmy istotnych różnic w stopniu pokrycia roślinności i liczbie gatunków roślin między analizowanymi siedliskami. Jednak indeks różnorodności Shannon-Wienera istotnie różnił pomiędzy siedliskami, przy czym największe zróżnicowanie roślinności odnotowano na terenach parków miejskich w porównaniu z zielenią osiedlową. Dalsza analiza składu gatunkowego wykazała, że typ siedliska miał istotny wpływ na skład roślinności. Roślinność na łąkach miejskich i w zieleni osiedlowej istotnie różniła się od tej w parkach, co sugeruje, że bardziej naturalne siedliska miejskie mogą sprzyjać większej różnorodności roślinnej.

Analiza niemetrycznego skalowania wielowymiarowego (NMDS) wykazała, że wysokość roślinności oraz stopień zabudowy terenu miały istotny wpływ na skład gatunkowy pszczoł i motyli, natomiast nie miały znaczącego wpływu na społeczność bzygów. Wyższa roślinność przyczyniała się do zwiększonej liczebności pszczoł, co może wynikać z lepszych warunków do żerowania i gniazdowania, natomiast motyle preferowały siedliska o niższej roślinności, gdzie dostęp do kwiatów był łatwiejszy. Wpływ powierzchni zabudowanej na społeczności zapylaczy był zróżnicowany. Większy stopień urbanizacji negatywnie oddziaływał na pszczoły, ograniczając ich występowanie, co mogło być związane z fragmentacją siedlisk i zmniejszoną dostępnością zasobów. Z kolei skład gatunkowy motyli wykazywał zależność od udziału powierzchni zabudowanej, co sugeruje, że niektóre gatunki mogą lepiej adaptować się do postępującej urbanizacji niż inne. Porównując różne siedliska, wykazano istotne różnice w składzie gatunkowym pszczoł i motyli, co podkreśla znaczenie struktury roślinności i stopnia urbanizacji w kształtowaniu społeczności tych zapylaczy. W przypadku bzygów nie stwierdzono istotnych zależności, co sugeruje, że ich rozmieszczenie w miastach może być determinowane innymi czynnikami, niezwiązanymi bezpośrednio z wysokością roślinności czy udziałem powierzchni zabudowanej. Wyniki te wskazują, że zarządzanie terenami zielonymi w miastach, zwłaszcza w zakresie regulacji wysokości roślinności oraz ograniczania intensywnej zabudowy, może odgrywać kluczową rolę w ochronie i wspieraniu różnorodności zapylaczy. Odpowiednie praktyki mogą wspierać stabilność populacji pszczoł i motyli, a tym samym przyczyniać się do utrzymania funkcji ekosystemowych, które pełnią w miejskich środowiskach.

Kanoniczna analiza korespondencji (CCA) wykazała, że skład gatunkowy pszczoł, motyli i bzygów był istotnie determinowany przez obecność określonych rodzin roślin oraz typ

siedliska. Roślinność i siedlisko wyjaśniały znaczną część zmienności w składzie społeczności zapylaczy, przy czym największy wpływ odnotowano w przypadku bzygów. W przypadku pszczoł istotny wpływ miała obecność roślin z rodzin Plantaginaceae i Caryophyllaceae. Skład gatunkowy motyli był silnie związany z obecnością roślin z rodzin Plantaginaceae, Lamiaceae, Boraginaceae i Asteraceae, co sugeruje, że szeroki wachlarz roślin kwitnących o różnych kształtach kwiatów jest istotny dla ich występowania. Natomiast bzygi preferowały siedliska bogate w rośliny z rodzin Ranunculaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae i Lamiaceae. Istotne różnice zaobserwowano również w składzie społeczności zapylaczy pomiędzy różnymi siedliskami miejskimi. Łąki miejskie charakteryzowały się odmiennym składem gatunkowym pszczoł i motyli w porównaniu do terenów osiedlowych i parków, co podkreśla ich rolę jako kluczowego siedliska wspierającego różnorodność zapylaczy. W parkach i na terenach osiedli, gdzie zarządzanie zielenią jest bardziej intensywne, społeczność owadów zapylających był mniej zróżnicowany, co może wynikać z ograniczonej dostępności roślin nektarodajnych i jednolitej struktury roślinności.

W celu określenia współzależności pomiędzy społecznościami zapylaczy (pszczoły, motyle i bzygi) a składem roślinności w różnych typach siedlisk miejskich przeprowadzono analizę współ-korespondencji CoCA. W przypadku pszczoł istotną zależność pomiędzy ich składem gatunkowym a roślinnością stwierdzono jedynie na terenach zieleni osiedli mieszkaniowych. Wskazuje to, że w tym typie siedliska skład społeczności pszczoł jest silnie związany z obecnością określonych gatunków roślin. Natomiast na łąkach miejskich i w parkach miejskich nie odnotowano istotnej zależności, co sugeruje, że w tych środowiskach inne czynniki mogą odgrywać większą rolę w kształtowaniu społeczności pszczoł. W przypadku motyli znaczącą zależność pomiędzy składem społeczności a roślinnością wykazano na łąkach miejskich, co wskazuje, że to siedlisko szczególnie silnie oddziałuje na różnorodność i liczebność motyli. Na terenach zieleni osiedli zależność ta była słabsza, ale wykazywała istotny trend, co sugeruje, że choć skład roślinności wpływa na motyle w tym siedlisku, to mogą tam występować inne dodatkowe czynniki regulujące ich społeczności. Natomiast w parkach miejskich nie odnotowano istotnych zależności pomiędzy składem gatunkowym motyli a roślinnością, co może wynikać z intensywnego zarządzania i ograniczonej różnorodności roślin kwitnących. Dla bzygów nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy składem społeczności tych owadów a roślinnością w żadnym z analizowanych siedlisk. Może to sugerować, że na rozmieszczenie bzygów w środowisku miejskim wpływają inne czynniki niż tylko dostępność

określonych gatunków roślin, na przykład struktura krajobrazu, dostępność miejsc do składania jaj, czy obecność źródeł pokarmu dla stadiów larwalnych.

W oparciu o uzyskane wyniki sformułowano rekomendacje dotyczące zarządzania zielenią miejską. Ograniczenie częstotliwości koszenia, zwłaszcza na łąkach miejskich i w zieleni osiedlowej, może znacząco zwiększyć liczebność i różnorodność zapylaczy. Wprowadzanie roślin kwitnących z rodzin „przyjaznych” zapylaczom, takich jak Asteraceae, Lamiaceae, Boraginaceae i Plantaginaceae, może poprawić dostępność zasobów pokarmowych. Wyniki jednoznacznie wskazują, że łąki miejskie odgrywają kluczową rolę w ochronie zapylaczy i powinny być priorytetem w strategiach zarządzania zielenią miejską, podczas gdy parki miejskie, ze względu na intensywne zarządzanie, wymagają modyfikacji praktyk pielęgnacyjnych w celu zwiększenia ich wartości ekologicznej.

Podsumowując, badanie potwierdziło kluczową rolę struktury roślinności i zarządzania terenami zielonymi w kształtowaniu społeczności zapylaczy w miastach. Łąki miejskie stanowią najkorzystniejsze środowisko dla zapylaczy, charakteryzują się bowiem najwyższą liczebnością pszczoł, motyli oraz bzygów, oraz najwyższą różnorodnością motyli. Zatem dostosowanie praktyk zarządczych w parkach i zieleni osiedlowej mogłoby znacząco poprawić warunki życia tych owadów w środowisku miejskim. Zróżnicowana roślinność i bogactwo gatunkowe roślin kwitnących w tych siedliskach sprzyjają utrzymaniu stabilnych populacji zapylaczy w miastach. W przeciwieństwie do nich parki miejskie, zarządzane intensywnie poprzez częste koszenie i ograniczoną obecność roślin kwitnących, wykazywały najniższą różnorodność gatunkową zapylaczy, co wskazuje na negatywny wpływ intensywnego zarządzania zielenią na te owady, przy czym wynik ten nie był istotny statystycznie. Zieleni osiedlowa stanowiła środowisko pośrednie, oferując umiarkowanie korzystne warunki dla zapylaczy, zwłaszcza bzygów. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano zalecenia dotyczące zarządzania zielenią miejską w sposób sprzyjający zapylaczom. Podkreślono znaczenie ograniczenia koszenia oraz wprowadzania roślin przyjaznych owadom zapylającym. Dzięki przeprowadzonym analizom uzyskano kompleksowy obraz interakcji między roślinnością, cechami środowiska a społecznościami zapylaczy w warunkach miejskich. Wyniki tej pracy dostarczają cennych informacji, które mogą przyczynić się do lepszego planowania zieleni miejskiej i wdrażania strategii ochrony zapylaczy w miastach.

3.1.2.3. Dylewski, Ł., Banaszak-Cibicka, W., Maćkowiak, Ł., & Dyderski, M. K. (2023). How do urbanization and alien species affect the plant taxonomic, functional, and phylogenetic diversity in different types of urban green areas? Environmental Science and Pollution Research, 30(40), 92390-92403.

W miastach tereny zielone, takie jak parki miejskie, zieleń osiedlowa i łąki miejskie, pełnią kluczową rolę w podtrzymywaniu bioróżnorodności, jednak ich struktura i skład florystyczny mogą być silnie modyfikowane przez działalność człowieka. Praktyki zarządzania zielenią oraz wprowadzanie gatunków obcych mogą prowadzić do homogenizacji biotycznej, zmniejszając unikalność lokalnych zbiorowisk roślinnych i wpływając na ich różnorodność taksonomiczną, funkcjonalną i filogenetyczną. Celem niniejszych badań było określenie, w jaki sposób urbanizacja oraz obecność obcych gatunków roślin wpływają na skład roślinności w różnych typach miejskich siedlisk. Szczególną uwagę poświęcono analizie różnorodności α i β oraz interakcji pomiędzy stopniem urbanizacji a zarządzaniem terenami zielonymi. **W tym badaniu postawiono następujące hipotezy: (I) Proces urbanizacji wpływa istotnie na poziom taksonomicznej, funkcjonalnej oraz filogenetycznej różnorodności roślin w miejskich terenach zieleni. (II) Sposób zarządzania trzema typami miejskich siedlisk zieleni (parki miejskie, osiedla mieszkaniowe, miejskie łąki) istotnie różnicuje taksonomiczną, funkcjonalną i filogenetyczną różnorodność roślin. (III) Występowanie i udział gatunków obcych w pokryciu roślinności wpływa negatywnie na taksonomiczną, funkcjonalną i filogenetyczną różnorodność roślin.** Wyniki tych badań dostarczają istotnych informacji na temat procesów ekologicznych zachodzących w miejskich ekosystemach oraz pozwalają opracować strategie zarządzania zielenią sprzyjających ochronie różnorodności biologicznej w miastach. Dane pochodzą z badań prowadzonych w Poznaniu w 2016 roku, a metodyka spisu roślinności omówiona została powyżej (Dylewski i wsp. 2019).

W badaniu zidentyfikowano 266 gatunków roślin należących do 45 rodzin, przy czym największą liczbę gatunków stwierdzono w terenach zieleni osiedlowej (191 gatunków), natomiast najmniejszą w parkach miejskich (136 gatunków). Łąki miejskie charakteryzowały się pośrednią różnorodnością botaniczną (159 gatunków), co sugeruje, że różne typy siedlisk miejskich mają odmienny wpływ na skład gatunkowy roślin. Analiza wykazała istotne różnice w wysokości roślinności oraz stopniu urbanizacji (mierzonym wskaźnikiem ISA) pomiędzy badanymi siedliskami. Łąki miejskie charakteryzowały się najwyższą roślinnością, co mogło sprzyjać większej różnorodności biologicznej i tworzeniu bardziej stabilnych siedlisk. Urbanizacja również różniła się istotnie między siedliskami, co sugeruje, że stopień

przekształcenia terenu ma bezpośredni wpływ na ekosystemy miejskie. Jednak w badaniu nie stwierdzono istotnych różnic w liczbie i pokryciu gatunków obcych pomiędzy analizowanymi siedliskami, co sugeruje, że gatunki obce mogą rozprzestrzeniać się w sposób niezależny od rodzaju siedliska miejskiego. Podobnie, analiza cech funkcjonalnych roślin, takich jak masa nasion, powierzchnia liścia (SLA) oraz wysokość roślin, nie wykazała istotnych różnic pomiędzy siedliskami, co może wskazywać na podobne strategie adaptacyjne roślin w różnych warunkach miejskich. Z kolei wartości wskaźników ekologicznych Ellenberga wykazały, że trzy kluczowe czynniki glebowe – wilgotność, odczyn (pH) oraz żyzność – różniły się istotnie między siedliskami, co oznacza, że lokalne warunki glebowe mogą wpływać na skład gatunkowy roślin w miejskich terenach zielonych. Wilgotność gleby była najwyższa na łąkach miejskich, natomiast odczyn i żyzność gleby różniły się w zależności od typu siedliska, co może wynikać z różnego stopnia zarządzania i historii użytkowania tych obszarów. Analiza NMDS wykazała, że punkty reprezentujące różne typy siedlisk miejskich częściowo na siebie nachodziły, co sugeruje, że choć poszczególne siedliska mają pewne unikalne cechy roślinności, to istnieje między nimi znaczny stopień podobieństwa. Pierwszy gradient NMDS (NMDS1) był związany głównie z parametrami gleby, takimi jak żyzność, wilgotność i odczyn (pH), a także z cechą funkcjonalną SLA (specyficzna powierzchnia liściowa). Wartości wskaźników różnorodności alfa, takich jak bogactwo gatunkowe, bogactwo funkcjonalne, funkcjonalna dyspersja i równomierność, a także filogenetyczna różnorodność (PD) i minimalna odległość filogenetyczna (MNTD), były negatywnie skorelowane z NMDS1, co oznacza, że większa różnorodność roślin była związana z siedliskami o mniejszej żyzności i mniejszej wilgotności gleby. Dodatkowo masa nasion również wykazywała negatywną korelację z tym gradientem. Co istotne, urbanizacja była pozytywnie skorelowana z NMDS1, co oznacza, że bardziej zurbanizowane obszary były związane z niższą różnorodnością alfa i cechami roślinności, takimi jak większa specyficzna powierzchnia liściowa (SLA). Drugi gradient NMDS (NMDS2) rozróżniał siedliska na podstawie wysokości roślinności. Obszary z wyższymi roślinami były oddzielone od miejsc charakteryzujących się wyższą średnią odległością filogenetyczną (MPD), funkcjonalną dywergencją oraz wskaźnikami ekologicznymi Ellenberga związanymi ze światłem i temperaturą. Oznacza to, że siedliska o większej wysokości roślin miały odmienny skład funkcjonalny i filogenetyczny w porównaniu do tych o bardziej otwartej strukturze. Analiza wskazała, że roślinność w miastach jest silnie zależna od warunków glebowych oraz stopnia urbanizacji. W szczególności urbanizacja miała

wyraźny wpływ na strukturę roślinności, przyczyniając się do selekcji roślin o specyficznych cechach, co może prowadzić do homogenizacji flory miejskiej.

Badanie wykazało, że urbanizacja miała istotny pozytywny wpływ jedynie na filogenetyczną różnorodność alfa (PD), natomiast w przypadku innych wskaźników różnorodności alfa (taksonomicznej i funkcjonalnej) nie stwierdzono istotnych zależności. Wynik ten wskazuje, że wraz ze wzrostem stopnia urbanizacji roślinność miejska staje się bardziej zróżnicowana pod względem pokrewieństwa ewolucyjnego, ale niekoniecznie pod względem składu gatunkowego czy funkcjonalnego. Liczba gatunków obcych wykazywała nieliniowy wpływ na indeks różnorodności Shannon-Wienera oraz funkcjonalną dyspersję. Oznacza to, że umiarkowanie liczna obecność gatunków obcych mogła zwiększać różnorodność gatunkową i funkcjonalną, ale przy większej liczebności tych roślin efekt ten był osłabiony lub nawet odwrócony. Podobnie, analiza interakcji między liczbą gatunków obcych a typem siedliska wykazała istotny wpływ na bogactwo gatunkowe, indeks Shannon-Wienera oraz wskaźniki funkcjonalne (funkcjonalne bogactwo i dyspersję). Analizując pokrycie gatunków obcych jako zmienną wyjaśniającą, ponownie stwierdzono, że urbanizacja miała istotny pozytywny wpływ tylko na różnorodność filogenetyczną, co potwierdza wcześniejsze wyniki. Jednocześnie różnorodność taksonomiczna, funkcjonalna i filogenetyczna okazały się podobne w badanych typach siedlisk (parki miejskie, zieleń osiedlowa, łąki miejskie), co zostało potwierdzone przez test Tukey'a. Interakcja między pokryciem gatunków obcych a typem siedliska miała istotny wpływ na taksonomiczną różnorodność alfa, zwłaszcza na bogactwo gatunkowe i indeks Shannon-Wienera. Oznacza to, że wpływ gatunków obcych na lokalną florę jest zróżnicowany w zależności od rodzaju siedliska, a ich obecność może mieć zarówno pozytywne, jak i negatywne konsekwencje dla różnorodności biologicznej w miastach. Wyniki wskazują, że urbanizacja sprzyja większemu zróżnicowaniu filogenetycznemu roślin, ale nie wpływa znacząco na taksonomiczną i funkcjonalną różnorodność alfa. Obecność gatunków obcych może początkowo zwiększać różnorodność roślinną, ale w większym natężeniu prowadzi do jej homogenizacji. Wpływ ten jest również silnie zależny od rodzaju siedliska, co podkreśla konieczność indywidualnego podejścia do zarządzania zielenią miejską w kontekście ochrony bioróżnorodności.

Badanie wykazało, że różnice w stopniu urbanizacji miały istotny wpływ na różnorodność beta w wymiarze taksonomicznym, filogenetycznym i funkcjonalnym. Urbanizacja negatywnie wpływała na taksonomiczną i filogenetyczną różnorodność beta, co oznacza, że wraz ze wzrostem przekształcenia środowiska roślinność stawała się bardziej

jednorodna pod względem składu gatunkowego i filogenetycznego. Natomiast różnorodność funkcjonalna beta była pozytywnie związana ze stopniem urbanizacji, co sugeruje, że w bardziej zurbanizowanych terenach rośliny wykazują większe zróżnicowanie strategii ekologicznych. Analiza szczegółowych składowych różnorodności beta wykazała istotne negatywne zależności pomiędzy urbanizacją a wskaźnikiem zagnieżdżenia oraz wskaźnikiem wymiany gatunków w wymiarze taksonomicznym i filogenetycznym. Oznacza to, że w miarę wzrostu urbanizacji zmniejszała się stopniowa wymiana gatunków, a roślinność w silnie zurbanizowanych obszarach stawała się bardziej jednorodna. Wyjątkiem była funkcjonalna wymiana gatunków oraz filogenetyczny wskaźnik zagnieżdżenia, gdzie nie stwierdzono istotnych zależności z poziomem urbanizacji. Wyniki analizy wskazały również istotne różnice pomiędzy typami siedlisk. Parki miejskie charakteryzowały się niższą taksonomiczną, funkcjonalną i filogenetyczną różnorodnością beta w porównaniu do łąk miejskich i zieleni osiedlowej, co sugeruje, że ich skład florystyczny jest bardziej jednorodny. Jednak wraz ze wzrostem urbanizacji w parkach obserwowano wzrost wszystkich aspektów różnorodności beta, co oznacza, że bardziej zurbanizowane parki mogą sprzyjać większemu zróżnicowaniu gatunkowemu. W zieleni osiedlowej taksonomiczna i filogenetyczna różnorodność beta wzrastały wraz z poziomem urbanizacji, natomiast funkcjonalna różnorodność beta malała, co może oznaczać, że pomimo większej zmienności gatunkowej, rośliny pełniły podobne funkcje ekologiczne. W łąkach miejskich urbanizacja powodowała spadek taksonomicznej i filogenetycznej różnorodności beta, co sugeruje, że w tych siedliskach wzrost urbanizacji prowadzi do ujednolicenia składu gatunkowego. Analiza wskaźnika zagnieżdżenia wykazała, że w zieleni osiedlowej i na łąkach miejskich wartości te zmniejszały się wraz ze wzrostem urbanizacji, co oznacza, że w bardziej zurbanizowanych siedliskach nie zachodziła stopniowa wymiana gatunków. Natomiast w parkach miejskich funkcjonalny wskaźnik zagnieżdżenia wzrastał wraz z urbanizacją, co sugeruje, że bardziej zurbanizowane parki stają się siedliskami o bardziej zróżnicowanej strukturze funkcjonalnej roślin. W zieleni osiedlowej wskaźnik wymiany gatunków w wymiarze taksonomicznym, funkcjonalnym i filogenetycznym wzrastał wraz ze stopniem urbanizacji, co wskazuje na dynamiczne zmiany składu gatunkowego w tych obszarach. W łąkach miejskich funkcjonalna wymiana gatunków wzrastała z urbanizacją, natomiast taksonomiczna malała, co oznacza, że rzadkie gatunki zanikały, a ich miejsce zajmowały bardziej powszechne rośliny o zróżnicowanych cechach funkcjonalnych.

Wyniki badań potwierdziły hipotezę, że urbanizacja prowadzi do taksonomicznej, funkcjonalnej i filogenetycznej homogenizacji różnorodności roślin w miastach, co jest zgodne

z wcześniejszymi badaniami. Mimo że poziom urbanizacji istotnie różnił się pomiędzy analizowanymi typami siedlisk, nie stwierdzono istotnych różnic w bogactwie gatunkowym pomiędzy zielenią osiedlową, parkami miejskimi i łąkami miejskimi. Podobieństwo w różnorodności taksonomicznej, funkcjonalnej i filogenetycznej sugeruje, że urbanizacja działa jako filtr selekcyjny, eliminując rzadkie gatunki i sprzyjając roślinom lepiej przystosowanym do warunków miejskich, w tym gatunkom obcym. Tereny zielone w miastach są również silnie poddawane ingerencji człowieka, co zwiększa konkurencję między gatunkami i może ograniczać różnorodność florystyczną. Stwierdzono, że urbanizacja nie miała wpływu na różnorodność taksonomiczną i funkcjonalną, ale prowadziła do wzrostu różnorodności filogenetycznej. Może to wynikać z obecności gatunków obcych, w tym roślin ozdobnych, które uciekają z upraw i zasiedlają tereny zielone, wzbogacając skład filogenetyczny flory miejskiej. Ponadto, przekształcenia miejskie powodują zmiany w wilgotności i żyzności gleby, co sprzyja tworzeniu mikrośrodków i umożliwia współistnienie roślin filogenetycznie odległych. Analiza cech funkcjonalnych wykazała, że roślinność w różnych typach siedlisk była do siebie podobna pod względem wysokości roślin, specyficznej powierzchni liściowej (SLA) oraz masy nasion, co potwierdza trend homogenizacji flory miejskiej. Wskaźniki ekologiczne Ellenberga dla światła i temperatury były zbliżone w parkach, zieleni osiedlowej i na łąkach miejskich, natomiast istotne różnice odnotowano w zakresie wilgotności gleby, pH i żyzności, które były wyższe w parkach i na terenach zieleni osiedlowej niż na łąkach miejskich.

Liczba gatunków obcych miała krzywoliniowy wpływ na różnorodność alfa, co oznacza, że przy umiarkowanej obecności tych gatunków różnorodność wzrastała, ale ich nadmierna liczba prowadziła do homogenizacji składu gatunkowego. Wpływ ten był najsilniejszy w parkach miejskich i na łąkach miejskich, podczas gdy w zieleni osiedlowej efekt ten był słabszy. Pokrycie gatunków obcych również wpływało na bogactwo gatunkowe – w parkach i na łąkach miejskich liczba gatunków malała wraz ze wzrostem pokrycia roślin obcych, natomiast w zieleni osiedlowej efekt ten początkowo był dodatni, a następnie ulegał odwróceniu przy wysokich wartościach pokrycia. Jednak indeks różnorodności Shannon-Wienera wzrastał wraz ze wzrostem pokrycia roślin obcych we wszystkich trzech typach siedlisk, co sugeruje, że choć gatunki obce mogą redukować liczbę gatunków rodzimych, to jednocześnie mogą zwiększać ogólną różnorodność ekosystemu miejskiego. Analiza różnorodności beta wykazała, że urbanizacja wpływa na homogenizację flory miejskiej w sposób zależny od rodzaju siedliska. Wskaźnik wymiany gatunków był wyższy niż wskaźnik zagnieżdżenia, co sugeruje, że skład roślinności w zieleni miejskiej składa się z losowo

wyselekcjonowanych gatunków, a nie stałej grupy charakterystycznej dla danego środowiska. Wskaźnik zagnieżdżenia różnorodności funkcjonalnej i filogenetycznej był wyższy, co wskazuje, że dobór gatunków w miastach jest częściowo uzależniony od cech funkcjonalnych roślin oraz ich pokrewieństwa ewolucyjnego. Urbanizacja wpływała na różnorodność beta w sposób zależny od siedliska – w zieleni osiedlowej różnorodność taksonomiczna i filogenetyczna wzrastały, natomiast różnorodność funkcjonalna malała wraz ze wzrostem urbanizacji. W łąkach miejskich różnorodność taksonomiczna i filogenetyczna malały wraz ze wzrostem urbanizacji, natomiast różnorodność funkcjonalna wzrastała. W parkach miejskich wszystkie trzy rodzaje różnorodności beta wzrastały wraz z urbanizacją, co może być wynikiem większej liczby mikrosiedlisk powstających w tych obszarach. Zielen osiedlowa okazała się najbardziej podatna na wpływ urbanizacji, co może wynikać z różnych praktyk zarządzania – niektóre obszary są intensywnie koszone, inne pozostają częściowo zaniedbane, co powoduje większą zmienność składu gatunkowego. Dodatkowo, różne formy użytkowania tych terenów przez mieszkańców, takie jak wyprowadzanie psów czy deptanie, mogą wpływać na skład i strukturę roślinności.

Podsumowując, wyniki badań wskazują, że urbanizacja prowadzi do ujednoczenia flory miejskiej zarówno pod względem taksonomicznym, funkcjonalnym, jak i filogenetycznym, a jej wpływ różni się w zależności od typu siedliska. W celu zwiększenia heterogeniczności roślinności miejskiej, zarządzanie zielenią powinno obejmować nie tylko tworzenie zróżnicowanych przestrzeni zielonych, ale również eliminację gatunków obcych oraz wspieranie naturalnych procesów ekologicznych.

3.1.2.4. Dylewski, Ł., Białas, J. T., Szymysł, A., & Banaszak-Cibicka, W. (2024). Pollinator assemblages in grasslands along river valleys depend on the urban matrix and local habitat scale variables. *Ecological Indicators*, 159, 111687.

W omawianych dotychczas artykułach (1-3), wykazano istotne znaczenie łąk miejskich na różnorodność owadów zapylających jak i roślin zielnych. W niniejszej pracy skupiono się na nadrzecznych terenach zielonych w gradiencie urbanizacyjnym i ich roli w kształtowaniu się społeczności owadów zapylających. Celem badań było określenie, w jaki sposób czynniki środowiskowe i stopień urbanizacji wpływają na liczebność, bogactwo gatunkowe oraz różnorodność taksonomiczną oraz funkcjonalną trzech głównych grup zapylaczy – dzikich pszczół, motyli oraz bzygowatych – w nadrzecznych łąkach miejskich wzdłuż rzeki Warty w Poznaniu. Badanie miało odpowiedzieć na dwa kluczowe pytania:

1. Jak poziom urbanizacji, mierzony udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych (wskaźnik ISA), wpływa na zespoły zapylaczy w nadrzecznych łąkach miejskich?
2. Które cechy środowiskowe i struktury roślinności mają kluczowe znaczenie dla różnorodności taksonomicznej i funkcjonalnej zapylaczy w tych ekosystemach?

W tym badaniu testowaliśmy następujące hipotezy: (I) Stopień urbanizacji wpływa negatywnie na liczebność i różnorodność gatunkową zapylaczy – wyższy udział powierzchni nieprzepuszczalnych w krajobrazie miejskim prowadzi do spadku liczby zapylaczy oraz zmniejszenia ich różnorodności funkcjonalnej. (II) Czynniki środowiskowe i struktura roślinności mają istotny wpływ na zespoły zapylaczy – obecność roślin kwitnących, wysokość roślinności oraz bliskość zbiorników wodnych kształtują skład taksonomiczny i funkcjonalny zapylaczy.

Badania przeprowadzono w Poznaniu, wzdłuż doliny rzeki Warty, obejmując zróżnicowane pod względem urbanizacji siedliska łąk nadrzecznych. W terenie wyznaczono 30 transektów o wymiarach 200 × 1 m, rozmieszczonych losowo po obu stronach rzeki, przy zachowaniu minimalnej odległości 300 m między nimi. Prace terenowe realizowano w trzech sezonach w latach 2017–2019, a próbki zbierano raz na cztery tygodnie od maja do sierpnia. Zbieranie danych o zapylaczach obejmowało trzy główne grupy owadów: dzikie pszczoły (Apiformes), motyle (Lepidoptera) i bzygowate (Syrphidae). Owady odławiano metodą chwytania siatką entomologiczną, wykonując 300 machnięć siatką na każdym transekcie w dni bezwietrzne, przy temperaturze powyżej 20°C, w godzinach 10:00–16:00. Schwyte owady były preparowane, oznaczane do gatunku i analizowane w laboratorium. Pszczoła miodna (*Apis mellifera*) została wykluczona z analiz, ponieważ badanie koncentrowało się na gatunkach dzikich. W badaniu uwzględniono kilka kluczowych zmiennych środowiskowych, takich jak poziom urbanizacji, określany na podstawie udziału powierzchni nieprzepuszczalnych (wskaźnik ISA) w promieniu 250 m wokół każdego transektu, oraz pokrycie terenu, obejmujące procentowy udział obszarów zielonych, ogródków, terenów ruderalnych, zadrzewień oraz powierzchni zbiorników i cieków wodnych. Ponadto na każdym transekcie mierzono wysokość roślinności, określano liczbę gatunków roślin zielnych i ich procentowe pokrycie, a także wyznaczano odległość do najbliższych zabudowań na podstawie map topograficznych.

W tym badaniu zidentyfikowano łącznie 4887 owadów zapylających ze 116 gatunków, w tym 1191 osobników pszczoł (61 gatunków), 2949 osobników motyli (38 gatunków) i 747 osobników bzygów (17 gatunków). Wykazaliśmy, że najliczniejszymi gatunkami wśród pszczoł były *Bombus terrestris* (231 osobników), *Bombus lapidarius* (179 osobników) oraz

Colletes daviesanus (148 osobników). W przypadku motyli, największą liczebnością osiągnęły: *Aphantopus hyperantus* (579 osobników), *Melanargia galathea* (363 osobniki) i *Maniola jurtina* (282 osobniki). Z kolei wśród bzygów najliczniejszym gatunkiem była *Sphaerophoria scripta* (430 osobników). Ponadto, wykazano obecność dwóch rzadkich gatunków pszczół, *Colletes similis* i *Hylaeus gredleri*, których kategoria w Czerwonej liście zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce to "Dane Niedostateczne" (DD). Udokumentowano również obecność chronionego gatunku motyla, *Lycaena dispar*, który znajduje się w załącznikach II i IV Dyrektywy Siedliskowej.

Wyniki tych badań wykazały, że liczebność motyli była pozytywnie związana z pokryciem roślinnością, podczas gdy urbanizacja wykazała negatywny trend. Z kolei liczebność pszczół była negatywnie skorelowana z pokryciem drzewami i krzewami, co sugeruje, że zbyt duża obecność tych roślin może zmniejszać liczbę dzikich pszczół. Zarówno liczebność jak i liczba stwierdzonych gatunków bzygów była pozytywnie związana z wysokością roślinności, co wskazuje, że wyższa roślinność może sprzyjać tej grupie owadów. Bogactwo gatunkowe motyli malało wraz ze wzrostem urbanizacji natomiast pokrycie roślinnością pozytywnie wpływało na ich liczebność. Wyniki te wskazują na pozytywne znaczenie roślinności i negatywnie urbanizacji dla utrzymania różnorodności zapylaczy w badanych obszarach. Różnorodność alfa motyli była pozytywnie skorelowana z pokryciem roślinnością, odległością od osiedli ludzkich oraz wysokością roślinności. Z kolei różnorodność alfa bzygów była pozytywnie związana z pokryciem roślinnością drzewiastą oraz krzewami. Wzrost udziału powierzchni nieprzepuszczalnej miała negatywny wpływ na różnorodność alfa zarówno motyli, jak i bzygów. Wzrost udziału powierzchni zbiorników i cieków wodnych wpływał natomiast pozytywnie na różnorodność alfa pszczół i bzygów. Dodatkowo, odległość od osiedli ludzkich oraz pokrycie roślinnością miały pozytywny wpływ na funkcjonalną różnorodność motyli, podczas gdy funkcjonalna różnorodność bzygów była pozytywnie związana z udziałem powierzchni wód. Wyniki te podkreślają znaczenie naturalnych elementów krajobrazu, takich jak roślinność, drzewa, krzewy i wody, dla utrzymania różnorodności zarówno gatunkowej, jak i funkcjonalnej zapylaczy w badanych obszarach. Wyniki wykazały, że skład gatunkowy pszczół był znacząco zależny od urbanizacji oraz odległości od osiedli ludzkich. Wykres NMDS pokazał, że różne gatunki pszczół reagowały inaczej na urbanizację. Niektóre gatunki, takie jak *Anthophora plumipes* (oraz jego kleptopasożyt *Melecta albifrons*) czy *Colletes similis* i *Colletes daviesanus*, a także ich pasożyt gniazdowy *Epeolus variegatus*, były związane z silnie zurbanizowanymi obszarami. Inne, takie

jak *Panurgus calcaratus*, *Lasioglossum leucozonium* czy *Bombus pratorum*, wykazywały przeciwną tendencję. Skład gatunkowy motyli był znacząco zależny od powierzchni wód, odległości od osiedli ludzkich, urbanizacji, liczby roślin zapylanych przez owady, pokrycia roślinnością oraz pokrycia roślinami zapylanymi przez owady. Tylko dwa gatunki motyli (*Plebejus argus* i *Plebejus argyrognomon*) były słabo związane z wysokim poziomem urbanizacji. Większość gatunków motyli była związana z czynnikami roślinnymi. Skład gatunkowy bzygów był znacząco zależny od pokrycia wodami, odległości od osiedli ludzkich oraz liczby roślin zapylanych przez owady. Gatunki, których larwy odżywiają się bezkręgowcami i martwą materią organiczną były związane z wyższym udziałem powierzchni wód. Niektóre gatunki (np. *Meliscaeva cinctella*, *Eristalis tenax*) były związane z bliską odległością do osiedli ludzkich oraz wyższą liczbą roślin zapylanych przez owady. Wyniki te wskazują, że urbanizacja, pokrycie roślinnością oraz obecność roślin zapylanych przez owady mają istotny wpływ na skład gatunkowy zapylaczy wzdłuż nadrzecznych łąk w krajobrazie miejskim.

Na podstawie wyników tych badań, można stwierdzić, że obszary łąk miejskich wzdłuż rzek stanowią cenne i zróżnicowane siedliska dla zapylaczy, oferując mieszankę roślin kwitnących, miejsc gniazdowania oraz schronienia. Niemniej jednak urbanizacja ma istotny wpływ na skład gatunkowy zapylaczy, zmieniając strukturę siedlisk, ograniczając zasoby kwiatowe, wprowadzając nowe stresory i tworząc bariery dla przemieszczania się owadów. Mimo tych trudności, łąki miejskie wzdłuż rzek pozostają ważnymi obszarami dla zapylaczy, pełniąc funkcję korytarzy ekologicznych, łącząc rozdzielone siedliska i umożliwiając zapylaczom swobodne przemieszczanie się, co zwiększa różnorodność genetyczną ich populacji. Regularne monitorowanie stanu tych siedlisk jest kluczowe dla oceny ich jakości i zapewnienia ich odpowiedniej ochrony. Zmiany kondycji siedlisk nadrzecznych mogą sygnalizować szersze problemy środowiskowe, które wymagają interwencji. Działania mające na celu przywrócenia siedlisku stanu naturalnego, takie jak nasadzenia rodzimych gatunków roślin, zarządzanie gatunkami inwazyjnymi oraz ochrona jakości wód, przyczyniają się do utrzymania tych ekosystemów. Właściwe planowanie i zarządzanie łąkami miejskimi wzdłuż rzek są kluczowe dla zapewnienia trwałości populacji zapylaczy, ich dobrostanu i ich roli w ekosystemie miejskim. Ochrona i zarządzanie tymi obszarami mają zatem zasadnicze znaczenie dla utrzymania różnorodności zapylaczy w miastach i w całych ekosystemach miejskich.

3.1.2.5. Dylewski, Ł., Kaźmierczak, S., Giejdasz, K., & Banaszak-Cibicka, W. (2024). Osmia3DNest—Novel designed 3D printed artificial nest for solitary cavity-nesting bees. *Methods in Ecology & Evolution*, 15(8).

W wielu badaniach nad fauną pszczół w ekosystemach miejskich pomijane są aspekty związane z ich rozrodczością. Większość badań dotyczących tego tematu skoncentrowana jest na gatunkach trzmieli, a nieliczne dotyczą pszczół gniazdujących w zagłębieniach (ang. *cavity-nesting bees*), które nie kopią własnych tuneli, lecz wykorzystują już istniejące przestrzenie, takie jak otwory w drewnie stworzone przez inne owady, naturalne pustki w łodygach roślin oraz specjalnie przygotowane przez człowieka schronienia. W przypadku pszczół gnieźdzących modelowym gatunkiem w wielu badaniach jest murarka ogrodowa (*Osmia bicornis*). W aspekcie różnorodności pozostałych gatunków pszczół gnieźdzących się, ale innych gatunków należących do błonkoskrzydłych Hymenoptera, problemem staje się dostosowanie rozmiarów sztucznych gniazd wykorzystywanych przez te gatunki. Najczęściej do produkcji rurek gniazdowych wykorzystywana jest trzcina. W tym artykule przedstawiono zaprojektowane przez nas sztuczne gniazdo, które może być wykorzystywane zarówno do hodowli murarki ogrodowej, jak dla innych gatunków błonkoskrzydłych. Projekt sztucznego gniazda w łatwy sposób może zostać wydrukowany na drukarce 3D, a materiał wykorzystany do ich produkcji opiera się na biodegradowalnym polimerze – polilaktydzie PLA, powstały z odnawialnych surowców np. mąki kukurydzianej. Celem tego artykułu było stworzenie alternatywnego gniazda wykorzystywanego do hodowli murarki ogrodowej z potencjałem monitoringu innych gatunków błonkoskrzydłych.

W naszym projekcie stworzyliśmy dwa typy rur gniazdowych przy użyciu oprogramowania Blender (3.0.0.) do modelowania 3D. Następnie, aby przygotować model do druku 3D, wykorzystaliśmy oprogramowania Prusa Slicer (2.4.0.). Pierwszy typ rury miał długość 150 mm i wewnętrzną średnicę 7,0 mm, ze ścianą o grubość 1,3 mm, i zamkniętym dnem o grubości 1,2 mm. Samice murarki wykorzystują rury gniazdowe o szerokim zakresie wymiarów, jednak ten rozmiar jest optymalny i często stosowany przy hodowli pszczół murarek (Ivanov, 2006; Seidelmann i wsp. 2016). Drugi typ rury miał te same wymiary co pierwszy, ale został przecięty wzdłuż w celu łatwego dostępu do larw czy kokonów. Tak powstałe dwie części zostały połączone dwiema tulejami o długości 150 mm i grubości ściany 1,3 mm. Do druku 3D gniazd użyto drukarki 3D Anycubic Vyper. Gniazda drukowano za pomocą białego i brązowego filamentu PLA. Filament PLA to materiał stosowany w drukarkach 3D działających w technologii fuzji osadzania materiału (FDM). Filament PLA jest

uznawany za ekologiczny, ponieważ ulega biodegradacji, zmniejszając swój wpływ na środowisko w porównaniu z plastikiem na bazie ropy naftowej, takim jak terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy, zwany powszechnie jako ABS.

W badaniu przeprowadzono dwa eksperymenty. W pierwszym eksperymencie porównano wskaźnik zasiedlenia, liczbę komór, liczbę kokonów, masę samców i samic w kokonach, sukces hodowlany, śmiertelność niedojrzałych pszczół oraz poziom zainfekowania pasożytami a pomiędzy trzema typami gniazd: dwoma rodzajami gniazd 3D (białe, nieotwierane – dalej "gniazdo 3D" i brązowe, otwierane – dalej "gniazdo 3D otwarte") oraz gniazdami powstałymi z łodyg trzcinowych (*Phragmites australis*). Gniazda z łodyg trzcinowych posiadały parametry przybliżone do gniazd 3D (średnica wewnętrzna 7,0–7,5 mm, długość 110–150 mm). Wystawiono 25 pakietów gniazd każdego typu w maju 2022 roku do zasiedlenia przez pszczoły murarki w Ogrodzie Dendrologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Kokony pszczoły murarki, jako potomstwo pszczół gniazdujących w tym miejscu w poprzednim roku, zostały umieszczone obok sztucznych gniazd. W listopadzie wszystkie gniazda zostały przeniesione do komory chłodzącej ustawionej na temperaturę 4°C i wilgotność 60% na kolejne 30 dni. Wszystkie gniazda zostały sprawdzone i pozyskano dane dotyczące wskaźnika zasiedlenia, liczby komór, liczby kokonów, masy samców i samic w kokonach, sukcesu hodowlanego, martwych niedojrzałych osobników oraz poziomie spasożytowania. W drugim eksperymencie wystawiono gniazda 3D o różnej średnicy otworu (7mm, 8mm i 10mm) w liczbie 25 pakietów dla każdej średnicy. Procedura przetrzymywania gniazd była taka sama jak w eksperymencie pierwszym. Następnie w okresie wylotu pszczół murarek, każde gniazdo było codziennie kontrolowane w celu policzenia dorosłych osobników.

W obu eksperymentach stwierdzono, że jedynym gatunkiem pszczoły, który zasiedlał gniazda, była pszczoła murarka ogrodowa. W pierwszym eksperymencie, we wszystkich typach gniazd zaobserwowano wysoki wskaźnik zasiedlenia: gniazda 3D – 100%, gniazda 3D otwarte – 92% oraz gniazda z łodyg trzcinowych – 100%. Kolor gniazd 3D nie wpływał na wskaźnik zasiedlenia. Współczynnik płci był podobny w przypadku gniazd 3D (samce: 21,3%, samice: 78,6%) i gniazd z trzciny (samce: 20,7%, samice: 79,3%), podczas gdy w gniazdach 3D otwartych wynosił 44,2% dla samców i 55,8% dla samic. Zauważono brak istotnych różnic w masie kokonów samców pomiędzy typami gniazd, natomiast masa kokonów samic różniła się istotnie, gdzie najwyższa masa kokonów samic była w gniazdach 3D w porównaniu do gniazd 3D otwartych i gniazd z trzciny. Liczba komór i liczba kokonów różniły się istotnie

pomiędzy typami gniazd. Liczba komór w gniazdach z trzciny i gniazdach 3D była wyższa w porównaniu do gniazd 3D otwartych. Liczba kokonów była istotnie wyższa w gniazdach z trzciny niż w gniazdach 3D i 3D otwartych. Sukces hodowlany był niższy w gniazdach 3D otwartych w porównaniu do gniazd 3D i gniazd z trzciny. Ponadto, prawdopodobieństwo śmiertelności niedojrzałych pszczoł, w tym z powodu spasożytowania, było wyższe w gniazdach 3D otwartych w porównaniu do gniazd 3D i gniazd z trzciny. Różnice w sukcesie hodowlanym oraz prawdopodobieństwie śmiertelności nie były istotne między gniazdami 3D a gniazdami z trzciny. W drugim eksperymencie stwierdzono istotne różnice w całkowitej liczbie imago oraz liczbie imago samców, które były związane z trzema średnicami wewnętrznymi gniazd 3D. Nie stwierdzono różnic w przypadku liczby imago samic pomiędzy badanymi rozmiarami gniazd. Całkowita liczba imago była wyższa w gniazdach o średnicy 7 mm w porównaniu do gniazd o średnicy 10 mm. Liczba samców była wyższa w gniazdach 7 mm w porównaniu do 8 mm i 10 mm.

Potencjał wykorzystywania drukowanych 3D gniazd Osmia3DNest w badaniach nad rozrodczością dzikich pszczoł w krajobrazie miejskim jest obiecujący, szczególnie w kontekście monitorowania i analizy różnorodności gatunków błonkówek gnieźdzących się w takich warunkach. Badania wykazały, że gniazda 3D wykorzystywane przez murarkę ogrodową osiągają wskaźnik zasiedlenia porównywalny z gniazdami naturalnymi z trzciny (*Phragmites australis*), co czyni je atrakcyjną alternatywą dla tradycyjnych gniazd wykorzystywanych w badaniach. Ponadto, gniazda 3D mają tę zaletę, że są ustandaryzowane i mogą być łatwo dostosowane do różnych gatunków pszczoł, poprzez zmianę średnicy otworu wlotowego, co umożliwia ich wykorzystanie także w badaniach nad innymi gatunkami błonkówek gnieźdzących się w takich strukturach. Gniazda 3D, dzięki zastosowaniu biodegradowalnego filamentu PLA, stanowią bardziej ekologiczną alternatywę dla tradycyjnych plastikowych tubek, które mogą sprzyjać rozwojowi pleśni i zwiększać śmiertelność larw. Gniazda 3D wykazały podobny poziom przeżywalności do gniazd trzcinowych, z wyjątkiem wersji 3D otwartych, które charakteryzowały się wyższym poziomem zainfekowania pasożytami. Z tego względu gniazda 3D otwarte mogą być wykorzystywane do monitorowania poziomu pasożytnictwa w populacjach murarki ogrodowej w różnych środowiskach, takich jak obszary miejskie czy intensywne użytkowane tereny rolnicze. Ponadto, gniazda 3D pozwalają na modyfikację parametrów takich jak długość rurki i średnica otworu, co umożliwia dostosowanie tych gniazd do badań nad rozrodczością innych gatunków błonkówek. Na przykład, mogą być używane przez inne gatunki pszczoł z rodziny

Megachilidae, których preferencje dotyczące średnicy otworów mogą wynosić od 5 mm do 10 mm, w zależności od gatunku. Taka elastyczność pozwala na szerokie wykorzystanie gniazd 3D w badaniach biologicznych, monitoringu lokalnej różnorodności gatunkowej, a także w projektach edukacyjnych i związanych z popularyzacją nauki. Dodatkowo, zastosowanie drukowanych 3D gniazd w ramach projektów obywatelskiej nauki stanowi nowoczesne podejście do monitorowania pszczół samotniczych i błonkówek w kontekście zmieniających się warunków środowiskowych, takich jak urbanizacja. Dzięki standaryzacji tych gniazd możliwe jest łatwiejsze gromadzenie danych dotyczących różnorodności gatunków, co może być przydatne zarówno dla naukowców, jak i dla osób zainteresowanych hodowlą pszczół w celach zapylania roślin w miastach. Podsumowując, Osmia3DNest oferuje szeroki potencjał w badaniach nad rozrodczością pszczół samotniczych, w tym murarki ogrodowej, a także w monitoringu innych gatunków błonkówek gnieźdzących się w takich strukturach. **Wykorzystanie gniazd 3D stanowi innowacyjne podejście w skali krajowej jak i międzynarodowej, które może wspierać nie tylko badania biologiczne, ale także działania na rzecz ochrony środowiska i promocji zrównoważonego rozwoju w miastach.**

3.1.3. Podsumowanie najważniejszych osiągnięć ze zgłoszonych prac

Reasumując wyniki z przedstawionego cyklu publikacji mogę stwierdzić, że znacząco powiększają one stan wiedzy z zakresu wpływu urbanizacji i czynników środowiskowych na ekologię owadów zapylających w środowisku miejskim. Do najważniejszych z nich zaliczam:

Zrozumienie wpływu urbanizacji na różnorodność zapylaczy

Określono negatywny efekt urbanizacji mierzony indeksem struktur powierzchni nieprzepuszczalnych na różnorodność gatunkową i funkcjonalną dzikich pszczół, motyli i bzygów w miejskich ekosystemach.

Analiza różnic w składzie społeczności zapylaczy w różnych typach zieleni miejskiej

Porównano obfitość i bogactwa gatunkowego owadów zapylających w trzech typach terenów zielonych w mieście: łąkach miejskich, parkach i terenach zieleni osiedlowej. Stwierdzono znaczenie łąk miejskich w ochronie owadów zapylających w powiązaniu z czynnikami środowiskowymi. Udowodniono, że łąki miejskie są szczególnie ważnym siedliskiem dla motyli, dzięki większej pokrywie roślin zapylanych przez owady i mniej intensywnemu zarządzaniu, podczas gdy parki miejskie, ze względu na częste koszenie i dominację roślin ozdobnych, charakteryzują się najniższą różnorodnością i obfitością tych zapylaczy.

Identyfikacja kluczowych cech środowiskowych i roślinnych wpływających na zapylacze

Określono wpływ cech środowiskowych (np. pokrywa powierzchni zielonych, wysokość roślinności, obecność zbiorników wodnych) i składu roślinności na skład gatunkowy i funkcjonalny społeczności zapylaczy w różnych typach miejskich siedlisk.

Wpływ zarządzania zielenią miejską na zapylacze

Potwierdzenie znaczenia praktyk zarządzania terenami zielonymi, takich jak ograniczenie koszenia lub pozostawianie niewykoszonych obszarów, dla zwiększenia liczby i różnorodności zapylaczy. Podkreślenie potrzeby ochrony wysokiej jakości siedlisk, takich jak łąki miejskie, i poprawy warunków w intensywnie zarządzanych terenach zielonych.

Ochrona różnorodności biologicznej w miastach

Wskazano potrzeby promowania zróżnicowanych terenów zielonych w miastach oraz eliminacji inwazyjnych gatunków roślin, w celu zapobiegnięcia homogenizacji flory i wspieraniu różnorodność gatunkową roślin i zapylaczy.

Znaczenie nadrzecznych terenów zielonych w miastach

Wykazanie roli nadrzecznych siedlisk w krajobrazie miejskim jako kluczowych siedlisk dla zapylaczy, szczególnie w obszarach z mniejszym wpływem człowieka.

Dostosowanie polityki miejskiej do potrzeb zapylaczy

Zwrócenie uwagi na konieczność uwzględnienia wyników badań w planowaniu urbanistycznym i politykach zarządzania terenami zielonymi, w celu tworzenia i utrzymywania terenów miejskich sprzyjających zapylaczom oraz zapewnienie zrównoważonego rozwój miast. Stworzenie prototypu sztucznego gniazda Osmia3DNest oferującego szeroki potencjał w badaniach nad rozrodczością pszczoł samotniczych, w tym murarki ogrodowej, a także pomocnym w monitoringu innych gatunków błonkówek gnieźdzących się w takich strukturach w krajobrazie miejskim.

3.1.4. Literatura

1. Aguilera G, Ekroos J, Persson AS, Pettersson LB, Öckinger E (2019) Intensive management reduces butterfly diversity over time in urban green spaces. *Urban Ecosystems*, 22, 335–344.
2. Aronson MFJ, La Sorte FA, Nilon CH, Katti M, Goddard MA, et al. (2014) A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1780).

3. Baldock KC (2020) Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities. *Current Opinion in Insect Science*, 38, 63–71.
4. Baldock KC, Goddard MA, Hicks DM, et al. (2015) Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1803).
5. Baldock KCR, Goddard MA, Hicks DE, Kunin WE, Mitschunas N, Osgathorpe LM, et al. (2016) Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20142849.
6. Banaszak-Cibicka W, Żmihorski M (2012) Wild bees along an urban gradient: winners and losers. *Journal of Insect Conservation*, 16, 331–343.
7. Banaszak-Cibicka W, Dylewski Ł (2021) Species and functional diversity—A better understanding of the impact of urbanization on bee communities. *Science of the Total Environment*, 774, 145729.
8. Banaszak-Cibicka W, Ratyńska H, Dylewski Ł (2016) Features of urban green space favourable for large and diverse bee populations (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 448–452.
9. Bates AJ, Sadler JP, Fairbrass AJ, Falk SJ, Hale JD, Matthews TJ (2011) Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PLoS ONE*, 6(8), e23459.
10. Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters Schaffers AP, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunin WE (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and The Netherlands. *Science*, 313, 351–354.
11. Blair R (1999) Birds and butterflies along an urban gradient: Surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecological Applications*, 9(1), 164–170.
12. Brasil SN, George M, Rehan SM (2024) Functional traits of wild bees in response to urbanization. *Journal of Insect Conservation*, 28(1), 127–139.
13. Buchholz S, Egerer MH (2020) Functional ecology of wild bees in cities: towards a better understanding of trait–urbanization relationships. *Biodiversity and Conservation*, 29(9), 2779–2801.
14. Burkle LA, Marlin JC, Knight TM (2013) Plant–pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. *Science*, 339(6127), 1611–1615.

15. Cardinale BJ, Duffy JE, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, et al. (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59–67.
16. Collins CM, Audusseau H, Hassall C, Keyghobadi N, Sinu PA, Saunders ME (2024) Insect ecology and conservation in urban areas: An overview of knowledge and needs. *Insect Conservation and Diversity*, 17(2), 169–181.
17. Czech B, Krausman P, Devers P (2000) Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *BioScience*, 50(7), 593–601.
18. Deguines N, Julliard R, De Flores M, Fontaine C (2016) Functional homogenization of flower visitor communities with urbanization. *Ecology and Evolution*, 6(7), 1967–1976.
19. Dirzo R, Young HS, Galetti M, Ceballos G, Isaac NJB, Collen B (2014) Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401–406.
20. Dyderski M, Wrońska-Pilarek D, Jagodziński A (2017) Ecological lands for conservation of vascular plant diversity in the urban environment. *Urban Ecosystems*, 20(3), 639–650.
21. Dylewski Ł, Maćkowiak Ł, Banaszak-Cibicka W (2019) Are all urban green spaces a favourable habitat for pollinator communities? Bees, butterflies and hoverflies in different urban green areas. *Ecological Entomology*, 44(5), 678–689.
22. Evans KL, Newson SE, Gaston KJ (2009) Habitat influences on urban avian assemblages. *Ibis*, 151(1), 19–39.
23. Felderhoff J, Gathof AK, Buchholz S, Egerer M (2023) Vegetation complexity and nesting resource availability predict bee diversity and functional traits in community gardens. *Ecological Applications*, 33(2), e2759.
24. Fischer J, Lindenmayer DB (2007) Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 265–280.
25. Fischer LK, Eichfeld J, Kowarik I, Buchholz S (2016) Disentangling urban habitat and matrix effects on wild bee species. *PeerJ*, 4, e2729.
26. Fortel L, Henry M, Guilbaud L, Guirao AL, Kuhlmann M, Mouret H, Rollin O, Vaissière BE (2014) Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera: Anthophila) along an urbanization gradient. *PLoS ONE*, 9, e104679.

27. Gathof AK, Grossmann AJ, Herrmann J, Buchholz S (2022) Who can pass the urban filter? A multi-taxon approach to disentangle pollinator trait–environmental relationships. *Oecologia*, 199, 165–179.
28. Goulson D, Lye GC, Darvill B (2008) Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology*, 53, 191–208.
29. Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, Briggs JM (2008) Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–760.
30. Ives CD, Lentini PE, Threlfall CG, Ikin K, Shanahan DF, Garrard GE, Bekessy SA, Fuller RA, Mumaw L, Rayner L, Rowe R, Valentine LE, Kendal D (2016) Cities are hotspots for threatened species. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 117–126.
31. Liang H, He YD, Theodorou P, Yang CF (2023) The effects of urbanization on pollinators and pollination: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 26, 1629–1642.
32. Llodra-Llabrés J, Carinanos P (2022) Enhancing pollination ecosystem service in urban green areas: An opportunity for the conservation of pollinators. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127621.
33. McKinney ML (2008) Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11, 161–176.
34. McKinney ML (2002) Urbanization, biodiversity, and conservation: The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *BioScience*, 52, 883–890.
35. Merckx T, Van Dyck H (2019) Urbanization-driven homogenization is more pronounced and happens at wider spatial scales in nocturnal and mobile flying insects. *Global Ecology and Biogeography*, 28, 1440–1455.
36. Moreira-Hernández JI, Muchhala N (2019) Importance of pollinator-mediated interspecific pollen transfer for angiosperm evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 191–217.
37. Müller N, Werner P, Kelcey J (2010) *Urban Biodiversity and Design (Conservation Science and Practice)*, vol. 7. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey.
38. Nath R, Singh H, Mukherjee S (2023) Insect pollinators decline: an emerging concern of Anthropocene epoch. *Journal of Apicultural Research*, 62, 23–38.

-
39. Peterson GD, Harmáčková ZV, Meacham M, Queiroz C, Jiménez-Aceituno A, Kuiper JJ, Bennett EM (2018) Welcoming different perspectives in IPBES. *Ecology and Society*, 23, 1.
 40. Poole O, Costa A, Kaiser-Bunbury CN, Shaw RF (2025) Pollinators respond positively to urban green space enhancements using wild and ornamental flowers. *Insect Conservation and Diversity*, 18, 16–28.
 41. Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 345–353.
 42. Prendergast KS, Dixon KW, Bateman PW (2022) A global review of determinants of native bee assemblages in urbanised landscapes. *Insect Conservation and Diversity*, 15, 385–405.
 43. Ramírez-Restrepo L, MacGregor-Fors I (2017) Butterflies in the city: a review of urban diurnal Lepidoptera. *Urban Ecosystems*, 20, 171–182.
 44. Ranalli R, Borghesan S, Labra M, Biella P (2025) From cities to refuges for pollinators: Urban practices for enhancing pollinator habitats in changing landscapes. *Journal of Applied Ecology*, in press.
 45. Sattler T, Obrist M, Duelli P, Moretti M (2011) Urban arthropod communities: Added value or just a blend of surrounding biodiversity? *Landscape and Urban Planning*, 103, 347–361.
 46. Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK (2011) A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS ONE*, 6, e23777.
 47. Settele J, Penev L, Georgiev T, Grabaum R, Grobelnik V, Hammen V, Klotz S, Kühn I (Eds.) (2010) *Atlas of Biodiversity Risk*. Pensoft, Sofia.
 48. Szulkin M, Munshi-South J, Charmantier A (Eds.) (2020) *Urban Evolutionary Biology*. Oxford University Press, Oxford.
 49. Takami Y, Koshio C, Ishii M, Fujii H, Hidaka T, Shimizu I (2004) Genetic diversity and structure of urban populations of *Pieris* butterflies assessed using amplified fragment length polymorphism. *Molecular Ecology*, 13, 245–258.
 50. Tscharrntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C (2005) Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857–874.

51. Tzortzakaki O, Kati V, Panitsa M, Tzanatos E, Giokas S (2019) Butterfly diversity along the urbanization gradient in a densely-built Mediterranean city: Land cover is more decisive than resources in structuring communities. *Landscape and Urban Planning*, 183, 79–87.
52. Verboven HA, Uyttenbroeck R, Brys R, Hermy M (2014) Different responses of bees and hoverflies to land use in an urban–rural gradient show the importance of the nature of the rural land use. *Landscape and Urban Planning*, 126, 31–41.
53. Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494–499.
54. von der Lippe M, Buchholz S, Hiller A, Seitz B, Kowarik I (2020) CityScapeLab Berlin: A research platform for untangling urbanization effects on biodiversity. *Sustainability*, 12, 2565.
55. Wenzel A, Grass I, Belavadi VV, Tscharrntke T (2020) How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108321.
56. Zajdel B, Dylewski Ł, Jojczyk A, Banaszak-Cibicka W, Kucharska K, Borański M, Gąbka J (2025) Sown wildflower meadows: Can they replace natural meadows in urban spaces for bees, butterflies and hoverflies? *Ecological Entomology*, 50, 214–227.

3.2. Omówienie pozostałych istotnych osiągnięć naukowo-badawczych, nie ujętych w powyższym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych

W kolejnych podrozdziałach zamierzam zwięźle przedstawić kluczowe spośród moich pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, które nie zostały uwzględnione w postępowaniu habilitacyjnym. Moja działalność naukowa, odzwierciedlona w publikacjach, koncentrowała się przede wszystkim na pięciu głównych obszarach badawczych:

1. Rola struktur antropogenicznych w zachowaniu różnorodności ptaków, owadów zapylających i roślin w krajobrazie rolniczym.
2. Ekologia interakcji roślin z konsumentami ich nasion w kontekście inwazji biologicznych.
3. Wykorzystanie nauki obywatelskiej (Citizen Science) i danych cyfrowych w badaniach biologicznych.
4. Ekologia bociana białego w zmieniającym się krajobrazie rolniczym.
5. Ekologia zwierząt w krajobrazie miejskim.

3.2.1. Rola struktur antropogenicznych w zachowaniu różnorodności ptaków, owadów zapylających i roślin w krajobrazie rolniczym

W przedstawionym osiągnięciu moja rola obejmowała opracowanie koncepcji badań, pozyskanie finansowania (Nieczynne linie kolejowe jako ważne siedlisko dla ptaków i owadów zapylających w krajobrazie rolniczym, 2016/21/N/NZ8/01289, grant PRELUDIUM NCN), sformułowanie celów i hipotez badawczych, współprowadzenie badań terenowych, przeprowadzenie analiz statystycznych oraz wizualizację danych. Ponadto byłem odpowiedzialny za napisanie pierwszej wersji manuskryptu, prowadzenie korespondencji z czasopiśmie oraz przygotowanie odpowiedzi na recenzje.

Struktury liniowe, takie jak zadrzewienia śródpolne i miedze, odgrywają istotną rolę w zwiększaniu lokalnej bioróżnorodności. Wpływają korzystnie na bogactwo gatunkowe roślin, dzikich pszczół oraz ptaków, a także zapewniają szereg usług ekosystemowych. Jednak w wyniku ekspansji rolnictwa obserwuje się postępującą degradację i zanikanie tych elementów w krajobrazie rolniczym. Jednym z możliwych rozwiązań wspierających bioróżnorodność oraz umożliwiających połączenia między populacjami organizmów jest wykorzystanie istniejących siedlisk i struktur antropogenicznych. Na przykład, nieczynne żwirownie sprzyjają wzrostowi liczby i różnorodności gatunków motyli w porównaniu z terenami trawiastymi, a tereny wokół kościołów mogą stanowić istotną odstoję dla ptaków w krajobrazie rolniczym. Szczególną rolę w ochronie bioróżnorodności mogą odgrywać liniowe elementy infrastrukturalne, takie jak linie energetyczne, pobocza dróg czy nasypy kolejowe. Badania wskazują, że mogą one stanowić alternatywne siedliska dla roślin, ptaków, owadów i ssaków, a także sprzyjać wzrostowi liczebności organizmów, bogactwa gatunkowego oraz różnorodności alfa. Ponadto, mogą stwarzać warunki do powstawania nowych zespołów gatunkowych, odmiennych od tych występujących na sąsiadujących terenach rolniczych. Szczególnym przykładem tego typu struktur są nieczynne linie kolejowe, które tworzą ciągłe pasy roślinności rozwijającej się spontanicznie, niezależnie od praktyk gospodarki rolnej. Opuszczone linie kolejowe są powszechnym elementem krajobrazu w wielu regionach świata – w Chinach obejmują one 20 000 km, w USA ponad 240 000 km, a w Europie długość sieci kolejowej zmniejszyła się z ponad 230 000 km do około 190 000 km w ciągu ostatnich 40 lat. W Polsce zamknięto około 11 000 km linii kolejowych, z czego 6 600 km zostało zdemontowanych, ale nawet po demontażu zachowana została struktura liniowa porastająca roślinnością. Pozostałe 3 500 km torowisk, także stopniowo ulegają sukcesji roślinnej. Zgodnie z polskim prawem, nieczynne linie kolejowe należą do Skarbu Państwa, a właściciele sąsiednich gruntów nie mają

możliwości ich zagospodarowania. W efekcie opuszczone linie kolejowe tworzą alternatywne siedliska w krajobrazie rolniczym, wspierając różnorodność biologiczną poprzez sukcesję gatunków drzewiastych i zielnych. Mimo ich potencjału jako nowych siedlisk, wciąż są one stosunkowo rzadko badane, co podkreśla potrzebę dalszych analiz nad ich rolą w ochronie bioróżnorodności.

W podjętej tematyce zbadano wpływ słupów energetycznych na odnowienie się gatunków roślin o mięsistych owocach oraz wpływie nieczynnych linii kolejowych na różnorodność ptaków, owadów zapylających oraz roślin.

- Udowodniono, że słupy energetyczne w krajobrazie rolniczym pełnią funkcję miejsc odpoczynku dla ptaków, co sprzyja gromadzeniu się nasion roślin o mięsistych owocach w ich pobliżu spowodowaną ich wydalaniem przez ptaki. Wyniki pokazują, że słupy energetyczne odgrywają istotną rolę w sukcesji krzewów i drzew owocujących mięsistymi owocami na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo. Stwierdzono, że pod słupami energetycznymi występuje większa gęstość roślin o mięsistych owocach w porównaniu do powierzchni kontrolnych. Najczęściej spotykanymi gatunkami były czeremcha amerykańska (*Padus serotina*) oraz bez czarny (*Sambucus nigra*). Ponadto, udział gatunków rozsiewanych przez ptaki był znacznie większy niż pionierskich gatunków anemochorycznych, takich jak sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*) i brzoza brodawkowata (*Betula pendula*). Badanie potwierdza, że dzięki obecności słupów energetycznych rośliny o mięsistych owocach mogą pojawiać się wcześniej niż w warunkach naturalnych, gdzie ich ekspansja zwykle następuje po rozwoju gatunków pionierskich stanowiących naturalne miejsca odpoczynku dla ptaków. W ten sposób słupy energetyczne kompensują brak naturalnych miejsc odpoczynku w jednorodnym, intensywnie użytkowanym krajobrazie rolniczym, wspierając proces sukcesji oraz różnorodność biologiczną [Załącznik IV do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego punkt II podpunkt 4 pozycja 9; dalej przedstawiany jako IV.II.4.9].
- W kolejnej pracy wykazano, że nieczynne linie kolejowe mogą odgrywać istotną rolę w ochronie bioróżnorodności w krajobrazie rolniczym, stanowiąc alternatywne siedliska dla ptaków. Porównano trzy typy siedlisk – nieczynne linie kolejowe, pobocza dróg gruntowych oraz pola uprawne – pod względem liczebności, bogactwa gatunkowego oraz wskaźnika różnorodności Shannon-Wienera ptaków. Wyniki potwierdziły, że linie kolejowe charakteryzujące się spontaniczną roślinnością

wspierają wyższą liczebność i różnorodność ptaków w porównaniu do pozostałych siedlisk. Ponadto zbiorowiska gatunków ptaków znacząco różniły się między analizowanymi typami siedlisk. Wykazano, że struktury roślinne wzdłuż nieczynnych linii kolejowych mogą pełnić funkcję schronienia dla ptaków przez cały rok, zapewniając im zasoby pokarmowe, miejsca lęgowe, schronienie, punkty obserwacyjne oraz przestrzeń do śpiewu i odpoczynku. Badanie sugeruje, że nieczynne linie kolejowe mogą pełnić rolę korytarzy ekologicznych w intensywnie użytkowanym krajobrazie rolniczym, łagodząc negatywne skutki utraty naturalnych siedlisk i przyczyniając się do ochrony bioróżnorodności [IV.II.4.36].

- W kolejnym artykule udowodniono, że nieczynne linie kolejowe mogą pełnić istotną rolę w ochronie owadów zapylających w intensywnie użytkowanym krajobrazie rolniczym. Porównano składy gatunkowe, liczebność, bogactwo gatunkowe oraz różnorodność alfa, beta i gamma trzech grup zapylaczy – pszczoł, motyli i bzygowatych – między nieużytkowanymi nasypami kolejowymi a półnaturalnymi łąkami. Wyniki wykazały, że liczebność, bogactwo gatunkowe oraz indeks różnorodności Shannon-Wienera były istotnie wyższe na terenach nieczynnych linii kolejowych niż na łąkach kontrolnych. Ponadto zbiorowiska zapylaczy były bardziej stabilne w nasypach kolejowych niż w siedliskach kontrolnych. Analiza NMDS potwierdziła znaczenie tych struktur dla społeczności zapylaczy – mimo że były one podzbiorem gatunków charakterystycznych dla łąk, ich liczebność była tam znacznie wyższa. Stwierdzono najwyższą całkowitą różnorodność beta dla pszczoł, motyli i bzygowatych oraz istotną wymianę gatunków w kontrolnych łąkach w porównaniu z nieczynnymi liniami kolejowymi. Natomiast w przypadku pszczoł i motyli znacząco wyższy był wskaźnik zagnieżdżenia na nasypach kolejowych niż na łąkach, podczas gdy dla bzygowatych nie odnotowano istotnych różnic. Wyniki sugerują, że nieużywane linie kolejowe mogą pełnić funkcję narzędzia ochrony populacji zapylaczy, wspierając ich różnorodność i stabilność w krajobrazie rolniczym oraz uzupełniając zanikające siedliska półnaturalne [IV.II.4.37].
- Dodatkowo stwierdzono, że nieczynne linie kolejowe mogą pełnić rolę alternatywnych siedlisk dla roślin w intensywnie użytkowanym krajobrazie rolniczym. Porównano różnorodność taksonomiczną, funkcjonalną i filogenetyczną roślin oraz skład ich społeczności między 25 stanowiskami na nasypach kolejowych a 25 stanowiskami referencyjnymi na przyległych półnaturalnych łąkach. Wyniki nie wykazały istotnych

różnic w bogactwie gatunkowym i różnorodności Shannon-Wienera między tymi dwoma typami siedlisk. Jednakże stwierdzono wyraźne różnice w różnorodności funkcjonalnej i filogenetycznej. Roślinność na opuszczonych liniach kolejowych nie jest jedynie wariantem otaczających łąk, lecz tworzy nowy typ ekosystemu, składający się głównie z gatunków związanych z uprawami, siedliskami ruderalnymi oraz leśnymi. Charakterystyczne warunki abiotyczne panujące na terenach torowisk sprzyjają kształtowaniu odrębnych zespołów roślinnych, które zwiększają różnorodność funkcjonalną i filogenetyczną roślin w krajobrazie rolniczym. Opuszczone linie kolejowe mogą pełnić funkcję korytarzy ekologicznych, wspierając dyspersję roślin i przyczyniając się do ochrony bioróżnorodności. Połączenie technik ekologicznej renaturyzacji oraz zrównoważonego zarządzania gruntami może dodatkowo wspierać ochronę roślinności na tych terenach, a co za tym idzie gatunków zwierząt korzystających z tego typu siedliska [IV.II.4.56].

3.2.2. Ekologia interakcji roślin z konsumentami ich nasion w kontekście inwazji biologicznych.

W przedstawionym osiągnięciu moja rola obejmowała między innymi na pomocy w opracowaniu koncepcji badań, pozyskanie finansowania (Konsumenci nasion jako ważny element hipotezy biotycznej odporności w ograniczaniu rozprzestrzeniania się obcych i inwazyjnych gatunków roślin, nr 2018/28/T/NZ8/00264, stypendium ETIUDA NCN), sformułowanie celów i hipotez badawczych, współprowadzenie badań terenowych, przeprowadzenie analiz statystycznych oraz wizualizację danych. Ponadto byłem odpowiedzialny za napisanie pierwszej wersji manuskryptu, prowadzenie korespondencji z czasopiśmie oraz przygotowanie odpowiedzi na recenzje w artykułach gdzie jestem pierwszym autorem.

W podjętej tematyce zbadano szereg interakcji pomiędzy roślinami a konsumentami ich nasion oraz możliwych konsekwencjach inwazji biologicznych na te relacje.

- Dowiedziono, że introdukowany dąb czerwony (*Quercus rubra*) ma przewagę nad rodzimym dębem szypułkowym (*Quercus robur*) w procesie kolonizacji nowych obszarów, pomimo mniejszej skłonności sójek (*Garrulus glandarius*) do jego rozsiewania. Stwierdzono, że sójki były około dwa razy bardziej skłonne do zbierania żołądździ rodzimego dębu niż dębu introdukowanego. Mimo to, dąb czerwony wykazywał znacznie większą zdolność do zasiedlania nowych terenów, co potwierdza większą

liczbę jego siewek w porównaniu do dębu szypułkowego, pomimo jego mniejszego udziału w warstwie koron drzew. Wyniki sugerują, że procesy dyspersji i sukcesji mogą sprzyjać dalszej ekspansji dębu czerwonego, co może prowadzić do zmian w składzie gatunkowym lasów oraz wpływać na długoterminową dynamikę ekosystemów leśnych [IV.II.4.1].

- Oceniono, że koncentracja żołądzi w jednym punkcie (np. przechowywanie w grupach) ma istotny wpływ na przeżywalność i wzrost siewek dębów. Eksperyment, w którym 1400 żołądzi dębu szypułkowego zostało posadzonych w trzech kombinacjach (pojedynczo, w parach i w czwórkach), wykazał, że śmiertelność siewek była znacznie wyższa w przypadku żołądzi posadzonych w grupach (prawie 90% w trzecim roku dla czwórek), podczas gdy siewki rosnące pojedynczo miały stabilną, niską śmiertelność (do 23%). Jednakże siewki rosnące w czwórkach miały wyższy przyrost wzrostu niż te rosnące osobno. Wyniki sugerują, że rozproszone przechowywanie żołądzi (ang. *scatter hoarding*) sprzyja ich przetrwaniu, ale mniej intensywnemu wzrostowi, podczas gdy przechowywanie w grupach (ang. *larder hoarding*) przyczynia się do większego wzrostu, ale wiąże się z wyższą śmiertelnością siewek [IV.II.4.11].
- Udowodniono, że introdukowany dąb czerwony może stanowić nowe źródło pokarmu dla lokalnych owadów żerujących na żołądziach. Ćma pachówka żołądzioweczka (*Cydia splendana*) zasiedlała oba gatunki dębów w podobnym stopniu, podczas gdy piśmica bukwioweczka (*Cydia fagiglandana*) znacznie rzadziej atakowała żołądzie dębu czerwonego. Chrzążce z rodzaju *Curculio* sp. niemal całkowicie unikały introdukowanego gatunku. Czas rozwoju larw *C. splendana* i *Curculio* sp. był dłuższy w żołądziach dębu czerwonego, co sugeruje adaptację do nowego gospodarza. Dąb czerwony może stabilizować dostępność pokarmu w latach o niskiej produkcji żołądzi przez dęby rodzime [IV.II.4.5].
- W kolejnym badaniu stwierdzono, że introdukowany dąb czerwony może korzystnie wpływać na rodzimą faunę. Mrówki z gatunku *Temnothorax crassispinus* częściej zakładały kolonie w jego żołądziach niż w żołądziach rodzimych dębów, a wskaźnik kondycji kolonii (tj. wielkość kolonii, liczba larw, liczba jaj) była istotnie wyższa dla gniazd zlokalizowanych w żołądziach dębu czerwonego. Eksperymenty laboratoryjne potwierdziły preferencję dla całych żołądzi dębu czerwonego. Wyniki wskazują, że *T. crassispinus* może adaptować się do zmian w środowisku spowodowanych obecnością dębu czerwonego [IV.II.4.14].

-
- Wykazano, że kolor nasion sosny zwyczajnej może wpływać na wybory żerowania ptaków, szczególnie ziarnojadów, takich jak zięba (*Fringilla coelebs*). Przeprowadzono eksperymenty terenowe, które wykazały, że ciemne nasiona były najbardziej narażone na drapieżnictwo, podczas gdy nasiona jasne i puste, miały niższy poziom konsumpcji. Zjawisko to sugeruje, że produkcja jasnych nasion pełnych, które przypominają puste nasiona, może chronić nasiona pełne przed konsumpcją. Wyniki te wskazują, że polimorfizm koloru nasion może zmniejszyć wskaźnik konsumpcji nasion przez ptaki, co stanowi nową wiedzę na temat mimikry nasion [IV.II.4.2].
 - Oceniano preferencje dzięcioła dużego (*Dendrocopos major*) względem określonych cech szyszek świerka pospolitego (*Picea abies*) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) podczas ich żerowania. Stwierdzono, że dzięciół duży woli żerować na średniej wielkości szyszkach świerka pospolitego. W przypadku sosny zwyczajnej, dzięciół unikał szyszek z dużymi apofizami. Wybiórczość dzięcioła względem cech morfologicznych szyszek prawdopodobnie związana jest z budową kuźni, czyli miejsca, w którym dzięciół wybiera nasiona z szyszek. Stwierdzono, że preferencje dzięcioła dużego w odniesieniu do cech morfologicznych szyszek mają kluczowe znaczenie dla konstrukcji kuźni, aby maksymalizować wykorzystanie tego narzędzia do obróbki szyszek zarówno świerka pospolitego, jak i sosny zwyczajnej [IV.II.4.10].
 - Badano także różne presje selekcyjne wywierane na szyszkach modrzewia europejskiego (*Larix decidua*) przez dzięcioła dużego i wiewiórkę rudą (*Sciurus vulgaris*). Badania wykazały, że dzięciół duży preferował szyszki z cieńszymi szypułkami, ze względu na możliwość ich łatwiejszego zrywania. Z kolei wiewiórki preferowały małe i średniej wielkości szyszki modrzewia. Różne typy zachowań żerowiskowych tych dwóch gatunków wpływają selekcyjnie wywieraną na cechy szyszek [IV.II.4.19].
 - Oceniano wpływ cech drzewostanu, takich jak odległość od krawędzi lasu, zamknięcie koron i pokrycie podszytu, na występowanie wiewiórki pospolitej w drzewostanach świerkowych. Wykorzystano również równania allometryczne dla świerka pospolitego w celu obliczenia potencjalnej biomasy szyszek, co pozwoliło oszacować zasoby pokarmowe w tych siedliskach. Wyniki naszego badania wykazały, że zarówno cechy drzewostanu (odległość od krawędzi lasu, zamknięcie koron), jak i obliczona potencjalna biomasa szyszek, miały istotny wpływ na obecność wiewiórki pospolitej w drzewostanach świerkowych. Zwiększona biomasa szyszek oraz odpowiednia struktura

drzewostanu były związane z wyższym poziomem aktywności wiewiórek w danym obszarze. Wyniki przeprowadzonych badań sugerują, że obliczanie potencjalnej biomasy szyszek w przypadku zwierząt żerujących na nasionach drzew iglastych może być użytecznym wskaźnikiem dostępności zasobów pokarmowych dla nich [IV.II.4.28].

- Opisano nowy mechanizm ochrony nasion kolczurki klapowanej (*Echinocystis lobata*) w jej inwazyjnym zasięgu, polegający na produkcji dodatkowych nasion w centralnej części owocu, które nie mogą zostać uwolnione. Badania przeprowadzono w siedliskach nadrzecznych w centralnej Polsce. Wykazano, że 34% owoców kolczurki klapowanej zawiera dodatkowe nasiona, które nie mogą zostać uwolnione. Wyniki wykazały, że „uwięzione” nasiona mają taką samą zdolność kiełkowania jak normalnie uwolnione nasiona, ale różnią się od nich wagą i kształtem. Częstotliwość usuwania uwięzionych nasion w stelażu owocu przez gryzonie była znacząco niższa niż samych nasion. Mechanizm ten prawdopodobnie jest wynikiem adaptacji kolczurki klapowanej w celu ochrony części nasion przed ich konsumentami [IV.II.4.12].
- Przeprowadzono eksperymenty z oferowaniem nasion kolczurki klapowanej, aby ocenić, które z rodzimych gatunków ptaków i gryzoni korzystają z tych nowych zasobów. Stwierdzono, że rodzime gatunki konsumentów nasion, szczególnie myszarki polne (*Apodemus agrarius*) oraz ptaki, takie jak sikory bogatki (*Parus major*) i sójki, miały silny wpływ na usuwanie nasion z tacek, usuwając średnio 98% nasion (gryzonie) i 24% nasion (ptaki). Wykazano także, że sposób przechowywania nasion kolczurki klapowanej (pojedynczo oraz w grupie) wpływał na przeżywalność wyrosniętych wiosną siewek, a wyższą przeżywalność wykazywały nasiona umieszczone pojedynczo niż w grupie [IV.II.4.16].
- Przeprowadzono globalny przegląd literatury oraz meta-analizę, aby ocenić, czy rozmiar nasion, związany z fundamentalnymi kompromisami w inwestycji roślin w potomstwo, może przewidywać wpływ drapieżników nasion na usuwanie nasion i rekrutację roślin po ich rozsiewie. Zbadano, w jaki sposób rozmiar nasion wpływa na stopień ich usuwania przez małe ssaki oraz jego oddziaływanie na rekrutację roślin, zgodnie z teorią optymalnego żerowania. Wykazano, że nasiona o średnim rozmiarze były najbardziej podatne na usuwanie przez małe ssaki. Jednakże, różnice w rozkładzie rozmiarów nasion w różnych ekosystemach miały wpływ na wzorce drapieżnictwa, z gatunkami o dużych nasionach najbardziej narażonymi na łąkach (gdzie nasiona są

najmniejsze) i gatunkami o małych nasionach, które były najbardziej narażone w lasach tropikalnych (gdzie nasiona są największe). Zależne od rozmiaru drapieżnictwo nasion ma głębokie konsekwencje dla współistnienia roślin, ponieważ może ono wzmacniać lub osłabiać przeciwstawne kompromisy w strategiach życiowych w zależności od ekosystemu. Nasze wyniki sugerują, że rozmiar nasion może stanowić kluczową cechę życiową, która pozwala połączyć efekty konsumentów, co poprawia nasze zrozumienie współistnienia roślin [IV.II.4.23].

- W kolejnym artykule odpowiedziano na krytykę Chen i in. (2021), dotyczącą uzyskanych przez nas wyników, opisanych powyżej. Wskazano, że wyniki meta-analizy z eksperymentów klatkowych są zgodne z wcześniejszymi analizami i nie zostały zaburzone poprzez kontrolowanie czasu ekspozycji nasion. Podkreślono, że eksperymenty klatkowe lepiej odwzorowują naturalne warunki i są bardziej wiarygodne niż eksperymenty z oferowaniem nasion przez krótki czas ich ekspozycji w ocenie wpływu konsumentów nasion na wzrost roślin. Ponadto, wskazano że badania, w których oferuje się nasiona konsumentom i ich późniejsze liczenie, choć jest przydatne do oceny preferencji konsumentów, nie stanowi wystarczającej metody do określenia ich wpływu na populację roślin. Artykuł trafił na okładkę numeru czasopisma *Ecology Letters* [IV.II.4.30].
- Uzupełniając uzyskane we wcześniejszych pracach wyniki zbadano, jak wielkość nasion wpływa na alokację zasobów do obrony chemicznej i fizycznej nasion, a także na zawartość materiałów zapasowych, takich jak węglowodany. Na podstawie nasion 77 gatunków roślin drzewiastych zebranych w Arboretum Kórnickim przeanalizowaliśmy różne cechy fizyczne i chemiczne nasion: masę, zawartość fenoli, tanin, błonnika, ligniny oraz cukrów prostych. Wyniki pokazały, że większa masa nasion była związana z wyższą zawartością zasobów używanych do obrony chemicznej (fenole) i cukrów prostych, podczas gdy obrona fizyczna (zawartość błonnika) była niższa w większych nasionach. Stwierdzono, że kompromis między obroną fizyczną a chemiczną był związany z wielkością nasion [IV.II.4.54].

3.2.3. Wykorzystanie nauki obywatelskiej i danych cyfrowych w badaniach biologicznych.

W przedstawionym osiągnięciu moja rola obejmowała między innymi pomoc w opracowaniu koncepcji badań, sformułowanie celów i hipotez badawczych, współprowadzenie

badania, przygotowywanie baz danych do dalszych analiz, współ-wykonanie analiz statystycznych oraz wizualizacji danych. Ponadto byłem odpowiedzialny za napisanie pierwszej wersji manuskryptu, prowadzenie korespondencji z czasopiśmem oraz przygotowanie odpowiedzi na recenzje w artykułach gdzie widnieję jako pierwszy autor lub jako autor korespondencyjny. Warto zaznaczyć, że zainteresowanie tymi badaniami było szeroko omawiane w mediach. Portal *Science* (https://www.science.org/content/article/youtube-videos-reveal-asian-elephants-may-mourn-their-dead?utm_campaign=ScienceNow&utm_source=Social&utm_medium=Facebook)

oraz *Nature Portfolio* w sekcji Quote of the day (<https://www.nature.com/articles/d41586-024-00263-w>) zamieściły wpisy o tych badaniach, a dla BBC przeprowadziliśmy dwa wywiady, jeden dotyczący badania zachowań wiewiórek z wykorzystaniem mediów społecznościowych (<https://www.bbc.com/news/science-environment-61609679>), drugi o wpływie materiałów pochodzenia antropogenicznego na kraby pustelniki *Coenobita* sp. (<https://www.bbc.com/news/science-environment-68071695>).

- W jednych z pierwszych badań, w których wykorzystano dane cyfrowe wykazano, że liczba filmów o dziurkach Laniidae w popularnym serwisie YouTube (YT) jest silnie pozytywnie skorelowana z tradycyjnymi źródłami wiedzy na temat tych ptaków, takimi jak książki i artykuły naukowe. Ponadto wykazano, że w niektórych przypadkach filmy w serwisie YT mogą stanowić alternatywne źródło informacji o ekologii i zachowaniach dziur, oferując nowe spojrzenie na badania nad tymi gatunkami. Uzyskane wyniki sugerują, że YT może pomóc w identyfikowaniu luk w badaniach ekologicznych, zwłaszcza w odniesieniu do słabiej zbadanych gatunków [IV.II.4.6].
- W kolejnych badaniach wykazano, że zachowania wiewiórek (wiewiórki pospolitej *Sciurus vulgaris* oraz wiewiórki szarej *Sciurus carolinensis*), takie jak agresja, pielęgnacja i nawoływanie, są często rejestrowane na filmach w serwisie YouTube (YT) i różnią się w zależności od środowiska (las a parki miejskie). Zachowania najczęściej występujące u obu gatunków wiewiórek w obu typach siedlisk to żerowanie i przemieszczanie się. U wiewiórek pospolitych żerowanie stanowiło 35% a przemieszczanie się 15% wszystkich zaobserwowanych zachowań. Zaobserwowano, że zachowania takie jak składowanie zapasów, pielęgnacja i nawoływanie w przypadku wiewiórek pospolitych, były częściej rejestrowane w lasach, podczas gdy interakcje z ludźmi były częstsze w środowiskach miejskich. Dla wiewiórek szarych, pielęgnacja i nawoływanie były również częstsze w lasach, a interakcje z ludźmi występowały jedynie w miastach. Pomimo pewnych ograniczeń w naszym badaniu, takich jak

subiektywne wybory lokalizacji i wpływ obserwatora na próbkowanie, filmy w serwisie YT stanowią cenne źródło informacji o zachowaniach zwierząt, zwłaszcza w kontekście badania adaptacji do środowisk miejskich. Warto podkreślić, że dzięki YT możliwe jest zbieranie większych próbek z różnych lokalizacji oraz w dłuższym okresie czasowym, co jest często ograniczone w tradycyjnych badaniach terenowych. Wnioski płynące z analizy filmów YT mogą mieć również zastosowanie w zarządzaniu środowiskowym, ochronie przyrody i monitorowaniu gatunków inwazyjnych, takich jak wiewiórki szare [IV.II.4.18].

- Oceniano przydatność danych zebranych z platformy iNaturalist wykorzystującej naukę obywatelską (ang. *citizen science*) do badań fenologicznych na dużą skalę, koncentrując się na jednym z gatunków roślin występujących w lasach strefy umiarkowanej – zawilcu gajowym (*Anemone nemorosa*). Analizując 9804 zdjęcia z baz danych iNaturalist, znaleziono 177 rekordów dla siatki 15', w której zarejestrowano co najmniej 10 obserwacji fenologicznych tej rośliny. Dane te wykorzystano do estymacji dat rozpoczęcia i zakończenia kwitnienia dla różnych scenariuszy zmian klimatu. W przewidywaniach uwzględniono zmiany klimatyczne w perspektywie 2040–2060 i 2060–2080. Wyniki wskazują, że średni czas rozpoczęcia kwitnienia będzie wcześniejszy o 24–41 dni, a zakończenia o 19–34 dni w porównaniu do obecnych warunków klimatycznych. Chociaż długość okresu kwitnienia może wydłużyć się średnio o 7 dni, to nie zmieni to w znaczący sposób całkowitej długości tego okresu. W przyszłości oczekuje się natomiast przyspieszenia rozpoczęcia kwitnienia o około miesiąc. Badanie wykazało, że dane zebrane w ramach obywatelskiej nauki mogą stanowić cenne źródło informacji, które pozwala na tworzenie wiarygodnych modeli fenologii roślin. Dzięki dużej ilości zamieszczonych zdjęć, wynikającej z charakterystyki gatunku – kwitnienia w okresie, kiedy większa część społeczeństwa jest zainteresowana poszukiwaniem oznak wiosny – możliwe było opracowanie wiarygodnych prognoz dotyczących fenologii tego gatunku. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest ocenianie fenologii kwitnienia roślin w podszycie leśnym oraz lepsze zrozumienie konsekwencji zmiany klimatu dla bioróżnorodności i funkcjonowania ekosystemów strefy umiarkowanej [IV.II.4.39].
- W kolejnym badaniu oceniano wpływ zmian klimatycznych na zasięg występowania taszczyzna pszczelego (*Philanthus triangulum*), drapieżnika pszczoły miodnej. Użyliśmy do tego celu danych pochodzących z literatury naukowej oraz nauki

obywatelskiej (iNaturalist i GBIF). Używając modelu MaxEnt, stwierdzono, że zmiany klimatyczne w okresach 2040–2060 i 2060–2080 zwiększą dostępność potencjalnych nisz dla tego gatunku, szczególnie w północnej Europie. Zmiany te będą miały większy wpływ w scenariuszu pesymistycznym (RCP8.5). Większość przewidywanych zmian wystąpi już w latach 2040–2060. Wyniki sugerują, że należy monitorować występowanie i liczebność taszczyzna pszczelego w odpowiedzi na zmiany klimatyczne [IV.II.4.38].

- Oceniono jak zmiany klimatyczne wpłyną na zasięg czterech gatunków geofitów występujących w strefie umiarkowanej Europy: zawilca gajowego, zawilca żółtego (*Anemone ranunculoidesi*), konwalii majowej (*Convallaria majalis*) i konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*). Również w tym przypadku dane pochodziły zarówno z literatury naukowej jak i nauki obywatelskiej (iNaturalist i GBIF). Korzystając z modeli rozkładu gatunków MaxEnt oraz prognoz zmian klimatycznych, stwierdzono, że opady w najcieplejszym kwartale są kluczowym czynnikiem kształtującym ich zasięg. Wszystkie badane gatunki doświadczą większej utraty zasięgu w okresie 2061–2080 niż w latach 2041–2060, szczególnie w scenariuszach pesymistycznych. Konwalijka dwulistna będzie najbardziej zagrożona, a konwalia majowa najmniej. Różnice w reakcjach gatunków na zmiany klimatyczne mogą prowadzić do stopniowego rozchodzenia się ich zasięgów w przyszłości. W szczególności, ze względu na wysoką zależność od opadów latem, susze mogą stanowić poważne zagrożenie dla gatunków preferujących wilgotne gleby, co może prowadzić do spadku bioróżnorodności i zmian w ekosystemach leśnych Europy [IV.II.4.44].
- W kolejnym badaniu wykorzystano dane cyfrowe pochodzące m. in. platform Facebook, Flickr, Instagram, do analizy nowego zachowania zaobserwowanego u krabów pustelników polegającego na używaniu plastikowych lub innych materiałów antropogenicznych jako muszli ochronnych. Przeanalizowano zdjęcia opublikowane w mediach społecznościowych, identyfikując 386 osobników z sztucznymi muszlami, głównie plastikowymi nakrętkami (85%). Wykazano, że 10 z 16 gatunków krabów pustelników na świecie korzysta z takich muszli, a zachowanie to zostało zaobserwowane na wszystkich tropikalnych wybrzeżach. Możliwe mechanizmy, które mogą wpływać na wybór sztucznych muszli przez kraby, to: sygnalizacja płciowa, lekkość muszli, sygnały zapachowe oraz kamuflaż w zanieczyszczonym środowisku [IV.II.4.53].

-
- Przygotowano artykuł koncepcyjny w czasopiśmie Plos Biology dotyczący badań nad zachowaniem zwierząt korzystając z danych cyfrowych. W artykule wykazano, że dane cyfrowe w coraz większym stopniu wspierają badania nad zachowaniem zwierząt, umożliwiając przewyższenie wielu ograniczeń, takich jak brak czasu czy zasobów finansowych. Oceniono, że rozwój Internetu oraz nowych platform cyfrowych stwarzają coraz większe możliwości pozyskiwania danych, co umożliwia prowadzenie bardziej szczegółowych badań nad zachowaniem zwierząt. Ponadto, wskazano, że wykorzystując dane z mediów społecznościowych, zaobserwowano nowe możliwości angażowania społeczeństwa w badania oraz wspieranie ochrony przyrody. Zauważono również, że dane cyfrowe są cennym źródłem informacji, które mogą pomóc w ocenie wpływu zmian środowiskowych na zachowania zwierząt oraz w opracowywaniu dokładniejszych prognoz dotyczących przyszłych zagrożeń i rozmieszczenia gatunków [IV.II.4.52].

3.2.4. Ekologia bociana białego w zmieniającym się krajobrazie rolniczym

W przedstawionym osiągnięciu moja rola polegała między innymi na pomocy w opracowaniu koncepcji badań, pomocy w sformułowaniu celów i hipotez badawczych, współprowadzeniu badań terenowych, przygotowywaniu baz danych do dalszych analiz, wykonywaniu analiz statystycznych oraz wizualizacji danych, a także pomocy w przygotowywaniu pierwszej wersji manuskryptów.

Badania dotyczyły różnych aspektów ekologii bociana białego, przede wszystkim wobec zmian zachodzących w środowisku. Badania te prowadzone były w różnych regionach Polski oraz w Hiszpanii.

- Zbadano wykorzystywanie materiałów antropogenicznych w budowie gniazd przez bociana białego w zachodniej Polsce. Odpady znaleziono w 50% gniazd na etapie składania jaj i w 42% na etapie piskląt, a ich liczba była wyższa w miejscach o większej dostępności takich materiałów. Wykazano związek między wiekiem samic, liczbą odpadów w otoczeniu gniazda i liczbą odpadów w gnieździe. Nie stwierdzono jednak istotnego wpływu obecności odpadów na wielkość lęgu, liczbę podlotów ani sukces lęgowy [IV.II.4.15].
- Porównano wykorzystanie materiałów antropogenicznych w gniazdach bociana białego w dwóch populacjach – w Polsce i Hiszpanii (łącznie 303 gniazd). Stwierdzono istotne różnice w rodzaju, częstotliwości i liczbie odpadów w gniazdach między populacjami. W

Hiszpanii odsetek gniazd z materiałami antropogenicznymi był dwukrotnie wyższy niż w Polsce. W Hiszpanii ich obecność była pozytywnie związana z powierzchnią terenów zurbanizowanych, a w Polsce nie wykazano istotnej zależności. Uzyskane wyniki wskazują, że skala i uwarunkowania wykorzystania odpadów w budowie gniazd mogą różnić się w obrębie różnych populacji tego gatunku [IV.II.4.51].

- Zbadano wpływ działalności człowieka na włączanie materiałów antropogenicznych do gniazd bociana białego w centralnej Hiszpanii. Analizując 49 gniazd wzdłuż gradientu urbanizacji, stwierdzono, że obecność odpadów w gniazdach była skorelowana ze wskaźnikiem wpływu człowieka (ang. Human Footprint Index - HFI) oraz odległością do wysypisk. Wyniki wskazują, że zachowania związane z budową gniazd u bocianów są kształtowane przez działalność człowieka i zanieczyszczenie środowiska [IV.II.4.25].
- Oceniono wpływ warunków panujących na zimowiskach w Afryce na zdolności reprodukcyjne bociana białego gniazdującego w Europie. Analizując dane z 12 lat, wykazano, że samice składały więcej i większe jaja w sezonach poprzedzonych bardziej deszczowymi zimami w Afryce. Natomiast warunki na zimowiskach nie miały wpływu na daty przylotu, które były determinowane pogodą w marcu na terenach lęgowych. Sukces lęgowy zależał jedynie od warunków pogodowych w trakcie sezonu lęgowego [IV.II.4.13].
- Zbadano czynniki wpływające na zajmowanie gniazd i sukces lęgowy bociana białego w zachodniej Polsce. Wykazaliśmy, że kluczowe znaczenie mają jakość siedliska i rodzaj konstrukcji wspierającej gniazdo. W ostatnich latach bociany coraz częściej wybierają gniazda położone bliżej składowisk odpadów, co może mieć istotne konsekwencje dla populacji tego gatunku [IV.II.4.22].
- Zbadano wykorzystanie alternatywnych źródeł pokarmu pochodzącego ze składowisk odpadów przez bociana białego w różnych regionach Polski oraz jego wpływ na zajmowanie gniazd i sukces lęgowy. Choć kluczowe pozostają takie czynniki jak jakość siedliska i warunki pogodowe, odległość od składowisk wpływa na wybór miejsc gniazdowych. Wykazano, że bociany najintensywniej korzystają z wysypisk pod koniec sezonu lęgowego, jednak zjawisko to nie jest jeszcze kluczowe dla populacji w Europie Środkowo-Wschodniej i wymaga dalszego monitorowania [IV.II.4.31].
- Zbadano wierność miejscu gniazdowania u bociana białego na podstawie danych z 31 lat monitoringu w trzech regionach Polski. Stwierdzono, że starsze osobniki oraz te,

które wcześniej odniosły sukces lęgowy, częściej ponownie zajmowały to samo gniazdo. Potwierdzono hipotezę „win-stay:lose-switch” – bociany pozostają wiernie gniazdom po udanych lęgach, a zmieniają je po niepowodzeniach. Jednak w najstarszych grupach wiekowych zarówno wierność gniazdowa, jak i sukces lęgowy spadały, co wskazuje na efekt starzenia się osobników [IV.II.4.48].

- Zbadano reakcje bocianów białych na drony w północno-wschodniej Polsce. Dorosłe bociany reagowały na przelot drona inicjacją lotu w zakresie 1–20 m, choć 14% osobników nie reagowało wcale. Dystans ucieczki (FID) zależał głównie od etapu lęgu, a bociany spłoszone na etapie jaj wracały do gniazda średnio po 23 sekundach. Młode bociany najczęściej reagowały strachem (42%) lub bezruchem (34%). Szybki powrót dorosłych do gniazda po inspekcji gniazda dronem wskazuje, że metoda ta jest mało inwazyjnym narzędziem do badań lęgów i oceny innych zagrożeń [IV.II.4.29].
- Porównano dwie metody monitoringu bociana białego – tradycyjną obserwację z ziemi i z wykorzystaniem drona – w populacjach w Polsce i Hiszpanii. Dane te były istotnie różniły się od dokonanych przez obserwatorów klasyczną metodologią (2,60 vs. 2,21 w Polsce; 1,55 vs. 1,35 w Hiszpanii). Różnice były większe dla pojedynczych gniazd niż tych w koloniach. Liczba gniazd wykrytych w koloniach była wyższa dla obserwacji z ziemi niż wykonanych dronem (13,1 vs. 7,4). Wprowadzanie dronów do długoterminowych badań wymaga ostrożności, by uniknąć błędów porównawczych [IV.II.4.49].
- W kolejnych badaniach nad bocianem białym, zważono 145 zajętych gniazd i opracowaliśmy modele predykcyjne, które pozwalają na oszacowanie masy gniazda na podstawie jego wymiarów. Gniazda wykazywały dużą zmienność pod względem rozmiaru (średnia \pm SD = 140,9 \pm 23,7 cm średnicy, 59,7 \pm 27,8 cm wysokości) oraz masy (od 70 do 1348 kg, średnia \pm SD: 378 \pm 251 kg). Na podstawie uzyskanych wyników stworzono darmowy kalkulator online, który umożliwi szybkie oszacowanie masy gniazda na podstawie jego wymiarów. Narzędzie to może być użyteczne nie tylko w monitorowaniu bezpieczeństwa związanego z ciężkością gniazd i szybkim reagowaniem przez odpowiednie służby, ale także w badaniach ekologicznych, takich jak monitorowanie wielkości gniazd w kolejnych sezonach [IV.II.4.33].

3.2.5. Ekologia zwierząt w krajobrazie miejskim

W przedstawionym osiągnięciu moja rola obejmowała między innymi pomoc w opracowaniu koncepcji badań, pomoc w sformułowaniu celów i hipotez badawczych, współprowadzenie badań, przygotowywanie baz danych do dalszych analiz, wykonywanie analiz statystycznych oraz wizualizacji danych, a także pomoc w przygotowywaniu pierwszej wersji manuskryptów i odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Badania obejmowały szeroki wachlarz zagadnień związanych z ekologią różnych grup zwierząt zamieszkujących krajobraz miejski.

- Wykazano, że odległość od dużych terenów zielonych z bezpośrednim połączeniem z obszarami podmiejskimi jest kluczowym czynnikiem wpływającym na bogactwo gatunkowe dzikich pszczół w miastach. Stwierdzono również, że bliskość takich obszarów zwiększa różnorodność gatunków pszczół w ekosystemach miejskich. Ponadto, wykazano, że liczebność pszczół była w dużej mierze determinowana pokryciem roślin zielnych. Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie praktyczne i mogą być wykorzystywane przy planowaniu przyszłych terenów zielonych w miastach [IV.II.4.3].
- Zaobserwowano, że różnorodność gatunkowa pszczół maleje wraz z intensyfikacją urbanizacji, co było zgodne z oczekiwaniami. Jednakże, wskaźniki różnorodności funkcjonalnej wykazały różnice między środowiskami miejskimi a podmiejskimi. Dyspersja funkcjonalna była znacząco wyższa w obszarach podmiejskich w porównaniu do terenów miejskich, podczas gdy zróżnicowanie funkcjonalne oraz redundancja funkcjonalna (Fred) były wyższe w miastach. Bogactwo funkcjonalne oraz równość nie były zależne od stopnia urbanizacji. Ponadto, w środowiskach o wysokim stopniu urbanizacji zaobserwowano wyraźnie inny skład dzikich pszczół w powiązaniu z ich cechami funkcjonalnych. Gatunki dzikich pszczół samotnych, kleptopasożyty, pszczoły gniazdujące w glebie, gatunki z wyspecjalizowaną dietą oraz te o krótkim okresie lotu były bardziej wrażliwe na zmiany związane z urbanizacją. Uzyskane wyniki podkreślają znaczenie analizy różnorodności funkcjonalnej w ocenie utraty bioróżnorodności spowodowanej działalnością człowieka i jej wpływu na funkcjonowanie ekosystemu w obszarach zurbanizowanych [IV.II.4.34].
- W kolejnych badaniach stwierdzono, brak różnic w liczebności i liczbie gatunków oraz różnorodności gatunkowej owadów zapylających pomiędzy naturalnymi łąkami a łąkami kwietnymi. Wyjątek stanowiły motyle, bowiem ich liczba była dwukrotnie wyższa na łąkach naturalnych niż na wysianych łąkach kwiatowych, podczas gdy w

przypadku dzikich pszczół i bzygów nie stwierdzono takich różnic. Badanie potwierdziło, że obszary obsiewane kwiatami, zazwyczaj o małej powierzchni, koncentrują owady zapylające i mają podobną wartość dla zapylaczy jak większe obszary naturalnych łąk [IV.II.4.57].

- W kolejnych badaniach określono, że występowanie ptaków krukowatych Corvidae w Poznaniu, w okresie zimowym jest uzależnione od cech siedliskowych. Analiza wykazała, że liczebność wron siwych (*Corvus corone*) była pozytywnie związana z powierzchnią parków, obecnością wody oraz długością torów tramwajowych. Liczba gawronów (*Corvus frugilegus*) zależała od liczby osobników drzew orzecha włoskiego (*Juglans regia*), liczby koszy na śmieci, a negatywnie od długości cieków wodnych. Liczba kawki (*Corvus monedula*) była pozytywnie związana z liczbą koszy na śmieci i obecnością wody, a negatywnie z pokryciem terenu drzewami. Liczba srok (*Pica pica*) związana była z liczbą drzew orzecha włoskiego, koszy na śmieci, a negatywnie z pokryciem terenu drzewami. Żadne z badanych zmiennych siedliskowych nie miały istotnego wpływu na liczebność sójki (*Garrulus glandarius*). Stwierdzono również pozytywną korelację między liczebnością wron siwych, gawronów, kawek i srok [IV.II.4.24].
- Potwierdzono obecność 10 gatunków płazów na terenie Wrocławia: kumaka nizinnego *Bombina bombina*, ropuchy szarej *Bufo bufo*, ropuchy zielonej *Bufo viridis*, rzekotki drzewnej *Hyla arborea*, grzebiuszki ziemnej *Pelobates fuscus*, żab zielonych *Pelophylax esculentus complex*, żaby moczarowej *Rana arvalis*, żaby trawnej *Rana temporaria*, traszki zwyczajnej *Lissotriton vulgaris* oraz traszki grzebieniastej *Triturus cristatus*. Najczęściej występującymi gatunkami były żaby zielone (63,2% stanowisk) oraz ropucha szara (51,5% stanowisk), natomiast najrzadziej występowała grzebiuszka ziemna (3,5% stanowisk). Oceniono, że liczba gatunków płazów na poszczególnych stanowiskach wynosiła od 0 do 9, a średnia liczba gatunków wyniosła $2,7 \pm 1,9$. Zauważyliśmy również, że skład gatunkowy płazów nie zmienił się w porównaniu do wcześniejszych badań z lat 1997–2009, jednak zaobserwowaliśmy spadek liczebności pięciu gatunków płazów: kumaka nizinnego, ropuchy zielonej, rzekotki drzewnej, żab zielonych oraz grzebiuszki ziemnej. Wyniki unaocznily, że na różnorodność gatunkową płazów w mieście pozytywnie wpływają trwałość stawów, ich występowanie w pobliżu dolin rzecznych oraz wysoki stosunek długości cieków wodnych do powierzchni terenów zielonych wokół stawów. W związku z tym, czynniki te powinny być

uwzględniane w procesie planowania przestrzennego miast, aby uniknąć potencjalnych konfliktów między ochroną przyrody a rozwojem urbanistycznym [IV.II.4.21].

- W przeprowadzonym badaniu skupiono się na wpływie nasłonecznienia na tempo wzrostu młodych ropuch zielonych w warunkach manipulacji pokryciem korony drzew i obecnością owoców w różnych wariantach w krajobrazie miejskim. Badano różnice między wariantami nasłonecznienia, tj. miejscami nasłonecznionymi (otwarte tereny z bezpośrednią ekspozycją na słońce) oraz zacienionymi (obszary zacienione przez koronę drzewa). Wyniki dowiodły pozytywny wpływ cienia drzewa, niezależnie od obecności owoców na ziemi. Ropuchy lepiej rozwijają się w miejscach o ograniczonej ekspozycji na słońce, co skutkuje intensywniejszym wzrostem oraz wyższą przeżywalnością. Dzięki tym wynikom, istnieje możliwość zarządzania siedliskami w miastach na potrzeby ochrony płazów poprzez tworzenie zacienionych stref, nawet dla gatunków związanych z otwartymi przestrzeniami, zwłaszcza w obszarach przekształconych [IV.II.4.47].

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

Wybór uczelni i kierunku studiów po ukończeniu liceum nie był przypadkowy. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, a w szczególności Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach (wówczas Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt), oferował naukę pod opieką wybitnej kadry profesorskiej i doktorskiej oraz zajmował wysokie pozycje w rankingach uczelni rolniczych. Rozpoczynając studia na kierunku Biologia, od pierwszego roku aktywnie uczestniczyłem w działalności naukowej, dołączając do dwóch kół naukowych: Koła Naukowego Botaników oraz Koła Naukowego Zootechników i Biologów, w Sekcji Zwierząt Przeżuwających i Mikrobiologii Przewodu Pokarmowego. Od trzeciego roku studiów zostałem także członkiem Sekcji Teriologicznej. Praca w kołach naukowych pozwoliła mi rozwijać zainteresowania, poszerzać wiedzę oraz zdobyć umiejętności pracy indywidualnej i zespołowej. W ostatnich dwóch latach studiów kierowałem zespołem w Sekcji Teriologicznej, ucząc studentów pracy terenowej oraz metod badawczych dotyczących ssaków. Podczas pięciu lat studiów wygłosiłem lub współtworzyłem 46 referatów, z czego 25 zostało zaprezentowanych na Wydziałowych Sympozjach Koła Naukowego Zootechników i Biologów oraz Sesji Kół Naukowych Uniwersytetu Przyrodniczego, natomiast 21 przedstawiono na krajowych i międzynarodowych konferencjach. Część z tych wystąpień została nagrodzona lub wyróżniona na sympozjach krajowych i międzynarodowych. Poza działalnością w kołach naukowych, w latach 2011–2015 odbyłem staż w Instytucie Zoologii UPP, specjalizując się w badaniach ekologiczno-ewolucyjnych. Podczas stażu zdobyłem doświadczenie w samodzielnej pracy terenowej, wyznaczaniu obszarów badawczych, inwentaryzacji i waloryzacji przyrody (ze szczególnym uwzględnieniem ptaków) oraz metodach ich łapania i znakowania. Jako członek zespołu badawczego Zakładu Zoologii Instytutu Zoologii UPP uczestniczyłem w licznych projektach badawczych, z których wyniki w większości zostały opublikowane w czasopiśmie naukowych.

Umiejętności zdobyte podczas studiów umożliwiły mi kontynuowanie kariery naukowej na studiach doktoranckich, które rozpocząłem w 2015 roku w Instytucie Zoologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, pod opieką naukową dr. hab. Janusza Kloskowskiego, prof. UPP i dr. hab. Łukasza Myczko. Moja praca doktorska dotyczyła wpływu konsumentów nasion na ograniczanie populacji inwazyjnego gatunku kolczurki kłapowanej (*Echinocystis lobata*). Wyniki badań teoretycznych wykazały globalne znaczenie cech funkcjonalnych nasion preferowanych przez gryzonia w regulowaniu populacji roślin w

różnych ekosystemach, obejmujących zarówno rośliny obcego pochodzenia, jak i gatunki rodzime. Wyniki tej części pracy zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie *Ecology Letters*, a rok później zamieściliśmy tam komentarz do naszych badań. Zainteresowanie redaktorów czasopisma sprawiło, że ilustracja do naszego komentarza znalazła się na okładce numeru. Wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że naturalni konsumenci nasion przystosowali się do żerowania na nasionach tego inwazyjnego gatunku, co zaprzecza hipotezie uwolnienia się od wrogów (ang. *enemy release hypothesis*) i potwierdza hipotezę biotycznej odporności (ang. *biotic resistance hypothesis*). Podczas prowadzenia badań odkryłem nową adaptację kolczurki klapowanej chroniącą część nasion przed konsumentami. Gryzonie, w przeciwieństwie do ptaków, częściej zabierały nasiona oferowane im na tackach i gromadziły je w skrytkach pokarmowych. W warunkach kontrolnych gryzonie chętniej spożywały nasiona roślin obcych niż roślin rodzimych. Wyniki tych badań mogą mieć istotne znaczenie w walce z inwazyjnymi gatunkami roślin zajmującymi nowe obszary, zwłaszcza tereny objęte ochroną prawną, takie jak rezerваты, parki narodowe, parki krajobrazowe czy użytki ekologiczne. Badania pozwoliły na dogłębne poznanie ekologii kolczurki klapowanej oraz nowo powstałych interakcji między tym gatunkiem a rodzimymi zwierzętami.

4.1. University of Montana, Division of Biological Sciences, Montana, USA

W ramach otrzymanego w 2018 roku stypendium programu NCN ETIUDA odbyłem półroczny staż zagraniczny (od października 2018 do maja 2019) na Uniwersytecie w Montanie, w Katedrze Badań Biologicznych w Stanach Zjednoczonych, pod opieką naukową Dr. Dean'a Pearson'a. Podczas tego pobytu nawiązałem współpracę z trzema ośrodkami badawczymi w Stanach Zjednoczonych oraz Kanadzie, w ramach której realizujemy wspólny projekt dotyczący weryfikacji założeń hipotezy uwolnienia się od wrogów). W ramach projektu prowadzimy szeroko zakrojone badania terenowe i eksperymentalne, które obejmują trzy główne aspekty. Pierwszy z nich dotyczy porównania liczebności oraz procentowego pokrycia kolczurki klapowanej, a także analizy cech biometrycznych owoców i nasion w pierwotnym oraz wtórnym zasięgu jej występowania. Druga część badań koncentruje się na porównaniu wpływu roślinożerców oraz patogenów na populacje tego gatunku. Trzecia część obejmuje analizę oddziaływań konsumentów nasion pomiędzy populacjami w obydwu zasięgach występowania. Podczas stażu zdobyłem cenne doświadczenie w zakresie prowadzenia międzynarodowych projektów badawczych, analizy statystycznej dużych zbiorów danych, zaawansowanych metod modelowania ekologicznego oraz zastosowania nowoczesnych technik genetycznych w badaniach nad interakcjami roślin i zwierząt. Rozwijałem także umiejętności organizacyjne i komunikacyjne, koordynując prace zespołowe w ramach projektu

oraz współpracując z międzynarodowymi badaczami. Obecnie przygotowywana jest publikacja z wynikami wyżej opisanych badań, która stanowi istotny wkład w zrozumienie mechanizmów regulujących dynamikę populacji inwazyjnych gatunków roślin w różnych ekosystemach.

4.2. Rocky Mountain Research Station, Montana, USA

W sierpniu 2019 roku otrzymałem możliwość ponownego wyjazdu na miesięczny staż do jednostki badawczej Rocky Mountain Research Station US Forest Service w Stanach Zjednoczonych w ramach programu NAWA PROM. Wyjazd odbył się na przełomie stycznia i lutego 2020 roku. Podczas stażu w jednostce Rocky Mountain Research Station US Forest Service udoskonaliłem swój warsztat pisarski oraz poznałem nowe metody statystyczne, w tym zaawansowane techniki analizy danych ekologicznych i modelowania przestrzennego. Ponadto zdobyłem praktyczne doświadczenie w analizie długoterminowych zbiorów danych dotyczących dynamiki ekosystemów. Dodatkowo odbyłem kilka wyjazdów na powierzchnie doświadczalne stacji w stanie Montana, gdzie zapoznałem się z wielkoskalowymi eksperymentami terenowymi oraz metodami zarządzania i prowadzenia badań na takich obszarach. W trakcie tych wizyt rozwinąłem umiejętności związane z projektowaniem badań terenowych, stosowaniem nowoczesnych technologii monitoringu środowiska oraz interpretacją wyników w kontekście ekologii stosowanej. Owocem tych wyjazdów są trzy opublikowane artykuły naukowe, z których dwa ukazały się w prestiżowym czasopiśmie *Ecology Letters*. Publikacje te wniosły istotny wkład w zrozumienie procesów ekologicznych zachodzących pomiędzy roślinami a konsumentami ich nasion oraz mechanizmów regulujących populację inwazyjnych gatunków roślin.

4.3. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku

W Instytucie Dendrologii PAN byłem zatrudniony na stanowisku asystenta od października 2019 do sierpnia 2021 roku. Praca w tej jednostce umożliwiła mi zdobycie wszechstronnej wiedzy z zakresu biologii i ekologii roślin drzewiastych, podstaw leśnictwa oraz metod prowadzenia badań naukowych w ekosystemach leśnych. Tematyka badawcza podjęta przeze mnie w Instytucie Dendrologii była zróżnicowana. Zajmowałem się m. in. modelowaniem zasięgów gatunków rodzimych i obcych w obliczu zachodzących zmian klimatycznych, wpływem stresu środowiskowego na żywotność nasion, a także badaniem kompromisu obrony fizycznej i chemicznej u nasion gatunków roślin drzewiastych. Dodatkowo kontynuowałem opracowywanie zebranych danych w trakcie studiów doktoranckich. Szczególnie cenię sobie możliwość poznania zaawansowanej metodologii badań prowadzonych w Pracowni Ekologii, co pozwoliło mi na dalszy rozwój kariery zawodowej. Od

momentu zatrudnienia w ID PAN opublikowałem 16 indeksowanych prac naukowych oraz 5 prac popularno-naukowych. Jako nowy pracownik zostałem zaangażowany do wsparcia projektu dotyczącego biomasy oraz zawartości węgla w drzewostanach sosnowych, co pozwoliło mi na zdobycie umiejętności w zakresie analizy składu biochemicznego roślin oraz oceny ich wpływu na obieg węgla w ekosystemach. Brałem także czynny udział w opracowywaniu monografii dotyczącej dębu czerwonego, która ukazała się w czasopiśmie *Journal of Ecology* w serii *Biological Flora of Britain and Ireland*. Dodatkowo współtworzyłem rozdziały dotyczące ekologicznych aspektów inwazyjności tego gatunku, co pozwoliło mi na poszerzenie wiedzy w zakresie ekologii inwazyjnych roślin drzewiastych. Byłem także zaangażowany w badania nad wpływem zmian klimatycznych na rozmieszczenie roślin, w szczególności przy użyciu modeli rozmieszczenia gatunków. Analizowałem rozmieszczenie kilkudziesięciu gatunków roślin na podstawie prognoz klimatycznych, co pozwoliło na określenie potencjalnych zmian w ich zasięgach. Badaniami kierował dr hab. Marcin Dyderski, prof. ID PAN. Obecnie przygotowywane są publikacje z wynikami wyżej opisanych badań, które mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia dynamiki zmian ekosystemów w obliczu globalnego ocieplenia. Ponadto byłem zaangażowany w przygotowanie propozycji projektu grantowego dotyczącego procesu sukcesji na terenach pokopalnianych, a moja praca koncentrowała się na badaniu różnorodności ptaków oraz owadów na tych obszarach. Projekt ten uzyskał w 2020 roku finansowanie z Narodowego Centrum Nauki w ramach konsorcjum z Uniwersytetem Śląskim, a jego kierownikiem został prof. dr hab. inż. Andrzej M. Jagodziński. Aktualnie przygotowuję dwa manuskrypty z wynikami moich badań w ramach tego projektu, pozyskanych z prac terenowych. Praca w Instytucie Dendrologii umożliwiła mi również zapoznanie się z metodami oznaczania związków chemicznych w tkankach roślinnych, w szczególności metabolitów wtórnych, tanin i fenoli. Współpracowałem z Pracownią Biochemii Nasion ID PAN, gdzie przeprowadziliśmy meta-analizę danych dotyczącą wpływu suszy (czynnik stresowy) na zawartość proliny u siewek roślin drzewiastych w kontekście postępujących zmian klimatycznych. W ramach tej współpracy nauczyłem się zaawansowanych metod analizy statystycznej oraz interpretacji wyników w kontekście adaptacyjnych strategii roślin. Podczas mojej pracy w Instytucie złożyłem dwa wnioski grantowe OPUS do Narodowego Centrum Nauki. Chociaż żaden z nich nie uzyskał finansowania, jeden przeszedł do drugiego etapu oceny, co pozwoliło mi zdobyć cenne doświadczenie w przygotowywaniu aplikacji grantowych oraz doskonalić umiejętności pisania wniosków badawczych. Współpraca z zespołami badawczymi w Instytucie Dendrologii

pozwołała mi nie tylko poszerzyć zakres moich kompetencji naukowych, ale także zdobyć cenne doświadczenie w pracy zespołowej, kierowaniu badaniami terenowymi oraz współpracy interdyscyplinarnej.

4.4. Missouri Department of Conservation, Missouri, Stany Zjednoczone

W ramach badań statutowych Katedry Zoologii w 2023 roku odbyłem miesięczny staż naukowy w jednostce zajmującej się ochroną zwierząt w stanie Missouri w Stanach Zjednoczonych. Celem pobytu było poznanie metod zarządzania różnymi siedliskami w tym regionie oraz zdobycie doświadczenia w pracy w jednostce rządowej zajmującej się ochroną przyrody. Podczas tego stażu udoskonaliłem wiedzę z zakresu metod znakowania i śledzenia dużych ssaków. Brałem czynny udział w badaniach nad monitoringiem populacji niedźwiedzia czarnego (*Ursus americanus*), uczestnicząc w zakładaniu nadajników telemetrycznych oraz ich detekcji w terenie. Ponadto uczestniczyłem w monitoringu wydry kanadyjskiej (*Lontra canadensis*) i zajmowałem się wyszukiwaniem śladów żerowania, zakładaniem pułapek, odłowem osobników oraz zakładaniem nadajników. Dodatkowo zdobyłem praktyczne doświadczenie w pracach laboratoryjnych, poznając metody zarządzania populacjami dużych ssaków oraz zaawansowane techniki badań nad eDNA w monitoringach przyrodniczych. Nauczyłem się metod rozpoznawania ofiar zwierząt oraz klasyfikowania drapieżników na podstawie pozostawionych śladów żerowania. Brałem również czynny udział w spotkaniach zespołów badawczych, gdzie prezentowałem aktualne wyniki moich badań oraz wymieniałem się doświadczeniami z międzynarodowymi specjalistami. Staż ten pozwolił mi nie tylko na poszerzenie umiejętności terenowych i analitycznych, ale także na rozwój kompetencji współpracy w interdyscyplinarnych zespołach badawczych. Wiedzę i umiejętności zdobyte podczas tego stażu wykorzystuję podczas zajęć dydaktycznych w szczególności na przedmiocie Metody znakowania i śledzenia zwierząt, którego jestem kierownikiem.

4.5. Conservation Culturomics and iEcology International Group

Do międzynarodowej grupy naukowców zajmujących się danymi cyfrowymi w badaniach ekologicznych zostałem zaproszony przez jednego z założycieli tej grupy, Ivana Jarića, w 2021 roku. W skład grupy wchodzi 35 naukowców z 30 krajów. Pragnę podkreślić, że w grupie znajdują się jedni z najlepszych naukowców na świecie w dziedzinie ekologii, m.in. Petr Pyšek. W przeciągu czterech lat członkostwa uczestniczyłem w trzech tygodniowych warsztatach odbywających się w Pradze (wrzesień 2022), Paryżu (listopad 2023) oraz Pruhovicach (luty 2025). Grupa spotyka się raz do roku, aby omówić postępy nad badanymi problemami, podzielić się wynikami i ustalić kierunki dalszych badań, a kolejne spotkanie odbędzie się w listopadzie 2025 roku w Czeskich Budziejowicach. Celem warsztatów jest międzynarodowa

dyskusja nad potencjałem danych cyfrowych w badaniach ekologicznych, które dotyczą różnych zagadnień, takich jak biologia inwazji, ochrona przyrody czy relacje człowieka z naturą. Podczas warsztatów pracujemy w różnych grupach, gdzie po wymianie myśli i spostrzeżeń przygotowywane są pierwsze wersje manuskryptów. Prezentujemy także różne koncepcje z danej dziedziny, które są następnie szeroko dyskutowane. Jednym z kluczowych obszarów badań w tej grupie jest *iEcology* – nowa dziedzina ekologii, która wykorzystuje dane cyfrowe, takie jak media społecznościowe, archiwa internetowe czy dane z aplikacji mobilnych, do analizy procesów ekologicznych i środowiskowych. Drugim istotnym podejściem jest kulturomika w ochronie przyrody (ang. *conservation culturomics*), która analizuje ogromne zasoby danych cyfrowych w celu zrozumienia społecznych i kulturowych aspektów ochrony przyrody, np. postrzegania gatunków zagrożonych przez społeczeństwo czy skuteczności kampanii ochronnych. Obecnie pracuję jako lider nad obszernym artykułem dotyczącym metodologii badań nad danymi cyfrowymi, do którego otrzymaliśmy zaproszenie od edytora *Methods in Ecology and Evolution*. Jednym z kluczowych zagadnień, nad którym pracuję, jest manuskrypt pt. "*Developing management strategies for invasive species based on citizen science and social media data: A systematic review*". Celem tej publikacji jest przegląd literatury o możliwości wykorzystania nauki obywatelskiej i danych z mediów społecznościowych w strategiach zarządzania gatunkami inwazyjnymi. Przegląd obejmuje badania z całego świata, oceniając skuteczność wykorzystania tych źródeł informacji w monitorowaniu rozprzestrzeniania się inwazyjnych organizmów oraz w opracowywaniu strategii ich kontroli. Wyniki pracy wskazują na rosnący potencjał danych cyfrowych w identyfikowaniu nowych obszarów inwazji, angażowaniu społeczeństwa w działania ochronne oraz w szybszym reagowaniu na zagrożenia związane z inwazyjnymi gatunkami obcymi. W 2024 roku złożyliśmy europejski projekt COST Action, którego celem jest dalszy rozwój tej dziedziny badań. Projekt spotkał się z dużym zainteresowaniem – zgłosiło się do niego 55 przedstawicieli z różnych krajów świata, reprezentujących szerokie spektrum instytucji badawczych oraz organizacji zajmujących się ochroną przyrody. Projekt ten zakłada międzynarodową współpracę w zakresie wykorzystania danych cyfrowych do analiz ekologicznych, integrację metod i narzędzi cyfrowych w badaniach środowiskowych oraz promowanie interdyscyplinarnego podejścia do ochrony przyrody.

4.6. Instytut Biologii Ewolucyjnej, Uniwersytet Warszawski

Współpracę z Panią prof. dr hab. Martą Szulkin oraz dr Zuzanną Jagiełło (aktualnie na stażu podoktorskim na Uniwersytecie Warszawskim) rozpocząłem w 2021 roku. W ramach tej współpracy jestem odpowiedzialny za analizy statystyczne, opracowywanie nowych koncepcji

badawczych oraz pomoc w przygotowywaniu maszynopisów. Nasza współpraca koncentruje się na badaniu wpływu urbanizacji oraz zanieczyszczenia środowiska na różne gatunki zwierząt. Jeden ze zrealizowanych projektów dotyczył wpływu odpadów stałych na ptaki miejskie. Projekt ten badał, w jaki sposób materiały antropogeniczne, takie jak plastik, papier, metal czy tkaniny, wpływają na konstrukcję gniazd sikor: bogatki (*Parus major*) i modraszki (*Cyanistes caeruleus*). W ramach badań przeprowadziliśmy szeroko zakrojone badania terenowe, obejmujące monitoring budek lęgowych w ośmiu lokalizacjach na terenie Warszawy i jej okolic, rozmieszczonych w gradiencie urbanizacyjnym. Wyniki badań wykazały, że obecność człowieka oraz intensywność urbanizacji były silnie skorelowane z ilością odpadów w środowisku, co z kolei miało wpływ na skład materiałów gniazdowych. Szczególną uwagę zwrócił fakt, że większa ilość odpadów w gniazdach sikor negatywnie wpłynęła na sukces lęgowy modraszków, co sugeruje potencjalne konsekwencje ekologiczne związane z zanieczyszczeniem środowiska. Kolejny projekt dotyczył wpływu zanieczyszczenia plastikiem na zachowanie i ekologię krabów pustelników. W tym badaniu zastosowaliśmy podejście *iEcology*, czyli analizę danych cyfrowych z mediów społecznościowych oraz ogólnodostępnych zasobów internetowych w celu oceny globalnego zasięgu oraz mechanizmów wyboru sztucznych muszli przez kraby pustelniki (*Coenobita* sp.). Analiza obrazów z platform takich jak Flickr, iNaturalist, Google Images czy YouTube pozwoliła zidentyfikować 386 osobników krabów pustelników korzystających z antropogenicznych osłon, głównie plastikowych nakrętek. Badania potwierdziły, że co najmniej 10 z 16 znanych gatunków krabów pustelników lądowych wykazuje to nietypowe zachowanie na wszystkich tropikalnych wybrzeżach na świecie. Współpraca umożliwiła nie tylko przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań terenowych i analizę literatury, ale także opracowanie nowego modelu badawczego, który pozwala na integrację danych cyfrowych z badaniami terenowymi. Wyniki naszych badań spotkały się z dużym zainteresowaniem mediów, także międzynarodowych jak CNN, BBC i ABC Network. Obecnie pracujemy nad artykułem dotyczącym zagrożeń dla populacji krabów pustelników na świecie.

4.7. Department of Biology, University of Dayton, Stany Zjednoczone

W 2025 roku, w ramach badań statutowych Katedry Zoologii, odbyłem miesięczny staż naukowy w Katedrze Biologii na Uniwersytecie w Dayton (Ohio, USA). Staż realizowany był w jednostce badawczej specjalizującej się w ekologii krajobrazu, biologii środowiskowej oraz zastosowaniu technologii teledetekcyjnych (*remote sensing*) w badaniach przyrodniczych. Głównym celem mojego pobytu było zapoznanie się z metodami analizy przestrzennej oraz

udział w badaniach dotyczących wpływu farm fotowoltaicznych na przemieszczanie się oraz zachowania przestrzenne dzikich ssaków. W ramach stażu brałem udział w projekcie, który analizował, w jaki sposób obecność dużych instalacji słonecznych zmienia dostępność siedlisk, tworzy bariery ekologiczne oraz wpływa na korytarze migracyjne wybranych gatunków ssaków. Do analizy wykorzystywano dane satelitarne i lotnicze (np. z dronów) oraz zaawansowane techniki teledetekcyjne, takie jak klasyfikacja pokrycia terenu, analiza NDVI (tj. Znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji) i modelowanie zmian krajobrazowych w oparciu o dane przestrzenne GIS. Dzięki integracji danych z teledetekcji z informacjami pochodzącymi z nadajników GPS założonych na zwierzętach, możliwe było prześledzenie zmian w ich trasach migracji oraz identyfikacja potencjalnych zagrożeń wynikających z antropogenicznej przekształcenia środowiska. Staż umożliwił mi praktyczne zastosowanie zdobytej wiedzy z zakresu ekologii krajobrazu, GIS i biologii ssaków oraz pogłębienie kompetencji w pracy z dużymi zbiorami danych przestrzennych. Współpraca z międzynarodowym zespołem badawczym pozwoliła na wymianę doświadczeń i rozwój warsztatu naukowego w nowoczesnych, interdyscyplinarnych badaniach środowiskowych.

5. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych

W trakcie studiów doktoranckich prowadziłem następujące zajęcia dydaktyczne: Zoologię ogólną dla kierunku Biologia stosowana (studia I stopnia), Interakcje roślin i zwierząt dla kierunków Zootechnika i Biologia stosowana (studia I stopnia), Biostatystykę dla kierunku Weterynaria (studia jednolite magisterskie) oraz zajęcia terenowe z Zoologii dla kierunku biologia stosowana (studia I stopnia). Każde z tych zajęć wymagało ode mnie przygotowania materiałów ćwiczeniowych oraz pomocy dydaktycznych dla studentów. W ramach przedmiotu zoologia ogólna przeprowadzałem sekcje zwierząt bezkręgowych oraz przygotowywałem różnorodne preparaty mikroskopowe i makroskopowe. Podczas zajęć terenowych zapoznawałem studentów z metodami stosowanymi w badaniach wybranych grup systematycznych zwierząt. Dodatkowo, w ramach wolontariatu dwukrotnie prowadziłem kursy statystyczne dla dyplomantów kierunków Biologia, Zootechnika i Weterynaria w wymiarze 40 godzin. Studenci zdobywali umiejętności obsługi środowiska programistycznego R oraz poznawali podstawowe metody statystyczne (testy parametryczne, testy nieparametryczne, analiza wariancji, analiza kowariancji), jak i zaawansowane techniki analizy danych (uogólnione modele liniowe, uogólnione modele liniowe z efektami losowymi, analizy wielowymiarowe). Podczas zatrudnienia w Instytucie Dendrologii przeprowadziłem wykład w języku angielskim pt. „Ekologia interakcji roślin z konsumentami ich nasion” dla doktorantów Instytutu Dendrologii należących do Szkoły Doktorskiej Polskiej Akademii Nauk Wydziału II Nauk Biologicznych i Rolniczych. W obecnym miejscu zatrudnienia prowadzę zajęcia dydaktyczne obejmujące: Zoologię ogólną (ćwiczenia) dla kierunku Biologia stosowana (studia I stopnia), Zoologię z ekologią (ćwiczenia) dla kierunku Zootechnika (studia I stopnia), Metody znakowania i śledzenia zwierząt (wykłady, ćwiczenia) dla kierunku Biologia stosowana (studia I stopnia), Obliczenia biologiczne dla kierunku Informatyka (studia I stopnia), Interakcje roślin i zwierząt (ćwiczenia) dla kierunków Biologia stosowana oraz Zootechnika (studia I stopnia) a także zajęcia terenowe w ramach przedmiotu Bioróżnorodność w krajobrazie miejskim dla kierunku biologia stosowana (studia I stopnia). W latach 2023–2025 byłem promotorem czterech prac magisterskich oraz dwóch prac inżynierskich.

W zakresie działalności organizacyjnej podczas studiów i studium doktoranckiego wielokrotnie brałem aktywny udział w Festiwalach Nauki i Sztuki oraz Nocy Naukowców, a także aktywnie przygotowywałem i prowadziłem zajęcia dydaktyczne dla uczniów Gimnazjum im. Mikołaja Kopernika w Golinie. Byłem współorganizatorem zjazdów Grupy Badawczej Bociana Białego oraz III Ogólnopolskiej Studenckiej Konferencji Teriologicznej. Ponadto brałem aktywny udział w Wystawie Zwierząt Egzotycznych odbywającej się w ramach IV

Edycji Poznańskich Dni Zwierząt Egzotycznych, promując działalność Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu oraz Wydziału Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach. W 2020 roku zostałem zaproszony do grona edytorów pomocniczych w czasopiśmie *Dendrobiology*. W trakcie zatrudnienia na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu zostałem powołany jako członek zespołu ds. przygotowania raportu dla Polskiej Komisji Akredytacyjnej na kierunku Biologia. W 2024 roku zostałem powołany do zespołu I kategorii Ewaluacji Dyscypliny Nauki Biologiczne. Ponadto jestem członkiem Rady Programowej kierunku Biologia stosowana. W latach 2023–2024 pełniłem funkcję egzaminatora na egzaminie licencjackim dla studentów kierunku Biologia Stosowana.

6. Podsumowanie dotychczasowej działalności naukowej

Rozpatrując łącznie dotychczasową pracę naukową opublikowałem lub byłem współautorem 63 publikacji naukowych w recenzowanych czasopismach oraz trzy rozdziały w monografiach naukowych wydawnictwa Springer, spośród tych prac 35 opublikowanych zostało po uzyskaniu stopnia doktora. Wszystkie moje publikacje zostały opublikowane w czasopismach indeksowanych przez Journal Citation Report. Większość moich prac została opublikowana w czasopismach z zakresu szeroko pojętych nauk biologicznych (głównie ekologii, biologii środowiskowej) indeksowanych w pierwszym (Q1) i drugim (Q2) kwartylu. Sumaryczny współczynnik wpływu (Impact Factor) opublikowanych prac w roku opublikowania wynosi IF2-letni = 246,70, IF5-letni = 261,38. Suma punktów za publikacje opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora wynosi 1520, natomiast po uzyskaniu stopnia doktora wynosi 4930. Indeks Hirscha wg bazy Google Scholar wynosi $H = 21$, a sumaryczna liczba cytowań wynosi 1390, natomiast wg bazy Web of Science wynosi $H = 18$, a sumaryczna liczba cytowań wynosi 885 w tym 805 bez cytowań własnych. W czasie mojej pracy naukowej odbyłem 4 zagraniczne staże naukowe w różnych jednostkach w Stanach Zjednoczonych (University of Montana, Rocky Mountain Research Station, Missouri Department of Conservation i University of Dayton), oraz zrealizowałem część swojej pracy naukowej w innej jednostce badawczej (Instytut Dendrologii PAN w Kórniku; łącznie 2,5 lat). Dzięki zdobytemu doświadczeniu nawiązałem współpracę z naukowcami z różnych krajowych ośrodków badawczych, co zaowocowało udziałem w licznych publikacjach współautorskich oraz kilku projektach badawczych, w tym finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki. Skutecznie aplikowałem o granty NCN (Preludium oraz Etiuda) na realizację projektów, które stały się częścią dorobku naukowego będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Szczegółowe informacje dotyczące mojej działalności naukowej znajdują się w Załączniku 4 („Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących istotny wkład w rozwój danej dyscypliny”).