

dr Grzegorz Pączka
Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami
Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska
Kolegium Nauk Przyrodniczych
Uniwersytet Rzeszowski

J. M. Rektor Uniwersytetu Rzeszowskiego
ul. Rejtana 16 C
35-959 Rzeszów

za pośrednictwem:

Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Wniosek

z dnia 15.12.2021

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w **Dziedzinie Nauk Rolniczych w Dyscyplinie Rolnictwo i Ogrodnictwo** na podstawie
jednotematycznego cyklu publikacji pod tytułem:

Produkcja i wykorzystanie wermikompostów z potencjalnie uciążliwych do zagospodarowania odpadów pochodzenia roślinnego

Wnioskuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym**¹

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa). Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu. Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html



.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

- Załącznik 1. Dyplom nadania stopnia doktora nauk rolniczych
- Załącznik 2. Dane wnioskodawcy
- Załącznik 3. Autoreferat
- Załącznik 3.A.1 – 3.A.5 – Publikacje wchodzące w skład dzieła naukowego
- Załącznik 3. B – Potwierdzenie współpracy
- Załącznik 3. C – Potwierdzenie staży naukowych
- Załącznik 3. D – Potwierdzenie działalności w ramach KOOB
- Załącznik 4. Wykaz osiągnięć naukowych
- Załącznik 5. Oświadczenia współautorów o wkładzie merytorycznym w publikacjach będących osiągnięciem naukowym
- Załącznik 6. Dokumentacja wniosku w wersji elektronicznej (nośniki pamięci pendrive – 2 sztuki)

¹ * Niepotrzebne skreślić.



UNIWERSYTET RZESZOWSKI

Załącznik 3

Autoreferat

dr Grzegorz Pączka

Uniwersytet Rzeszowski

Kolegium Nauk Przyrodniczych

Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska

Rzeszów 2021

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca, roku i tytuł rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.....	4
4.1. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji.....	4
4.2. Wprowadzenie.....	6
4.3. Główne cele badawcze.....	9
4.4. Obiekty badawcze i metodyka badań.....	9
4.4.1. Badania laboratoryjne.....	10
4.4.2. Badania szklarniowe (wazonowe).....	11
4.4.3. Badania polowe.....	12
4.4.4. Analiza chemiczno-rolnicza.....	13
4.4.5. Analiza statystyczna.....	13
4.5. Najistotniejsze wyniki badań.....	14
4.6. Wnioski.....	29
4.7. Bibliografia.....	33
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż na jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	38
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.....	41
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne.....	41
6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę.....	44
7. Inne informacje, nie wymienione w pkt. 1-6, ważne z punktu widzenia przebiegu kariery zawodowej.....	47
7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć publikacyjnych.....	47
7.2. Omówienie dalszych planów naukowo-badawczych.....	59

1. Imię i nazwisko:

Grzegorz Pączka

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca, roku i tytułu rozprawy doktorskiej:

1993-1997 V Liceum Ogólnokształcące im. K.K. Baczyńskiego w Rzeszowie, profil ekologiczno-informatyczny.

1997-2000 studia licencjackie na kierunku Biologia w zakresie nauczania biologii, Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Rzeszowie. Tytuł pracy licencjackiej: Motyle dzienne (Lepidoptera; Rhopalocera) Zalesia w Rzeszowie. Promotor: prof. dr hab. Zdzisław Bogucki.

2000-2002 studia magisterskie na kierunku Biologia w zakresie biologii środowiskowej, Uniwersytet Rzeszowski. Tytuł pracy magisterskiej: Struktura jakościowa i ilościowa motyli dziennych (Lepidoptera; Rhopalocera) rezerwatu Broduszurki. Promotor: dr Tomasz Baran.

Rozprawa doktorska pt: **Możliwości pozyskiwania i wykorzystania wermikompostu oraz biomasy dżdżownic (*Eisenia fetida* Savigny, 1862).**

Promotor: prof. dr hab. Joanna Kostecka

Recenzenci: prof. dr hab. Maria Rościszewska

prof. dr hab. Janina Kaniuczak

Stopień doktora nauk rolniczych w zakresie agronomii nadany 20 października 2011 roku uchwałą Rady Wydziału Biologiczno-Rolniczego, Uniwersytetu Rzeszowskiego.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

2002-2012 asystent z Zakładzie Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa, Wydział Biologiczno-Rolniczy, Uniwersytetu Rzeszowskiego.

2012- do obecnej chwili, adiunkt badawczo-dydaktyczny w Katedrze Biologicznych Podstaw Rolnictwa i Edukacji Środowiskowej (obecnie Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami), Wydział Biologiczno-Rolniczy (obecnie Kolegium Nauk

Przyrodniczych, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska), Uniwersytet Rzeszowski.

4. Omówienie osiągnięć o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Produkcja i wykorzystanie wermikompostów z potencjalnie uciążliwych do zagospodarowania odpadów pochodzenia roślinnego

4.1. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji

Osiągnięcie naukowe składa się z pięciu recenzowanych publikacji naukowych, które zostały opracowane i opublikowane po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, w czasopismach znajdujących się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz w bazie Web of Science i Scopus. Mój wkład w powstanie publikacji przedstawiony jest szczegółowo poniżej, a oświadczenia współautorów o ich wkładzie w przygotowanie niniejszych publikacji zestawiono w załączniku 5.

- A.1. **Pączka G.**, Garczyńska M., Mazur-Pączka A., Podolak A., Szura R., Skoczko I., Kostecka J. 2018. Vermicomposting of sugar beet pulps using *Eisenia fetida* (Sav.) earthworms. *Annual Set The Environment Protection*. 20. 588-601. **(15 pkt. MNiSW, IF=0,899)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń laboratoryjnych, udziale w opracowaniu statystycznym i interpretacji wyników badań oraz udziale w napisaniu wstępnej i ostatecznej wersji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- A.2. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Podolak A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2019. Using of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) for vermicomposting expansive littoral plants biomass. *Applied Sciences*. 9. 17. 3635. <https://doi.org/10.3390/app9173635>. **(70 pkt. MNiSW, IF=2,474)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń laboratoryjnych, udziale w opracowaniu statystycznym i interpretacji wyników badań oraz udziale w napisaniu wstępnej i ostatecznej wersji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- A.3. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2020. Effects of vermireactor modifications on the welfare of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) and

properties of vermicomposts. *Agriculture*. 10. 481. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100481>. (100 pkt. MNiSW, IF=2,925)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń laboratoryjnych, udziale w opracowaniu statystycznym i interpretacji wyników badań oraz udziale w napisaniu wstępnej i ostatecznej wersji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- A.4. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Hajduk E., Kostecka J., Bartkowska I., Butt K.R. 2021. Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*. 11. 919. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100919>. (100 pkt. MNiSW, IF=2,925)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń szklarniowych i laboratoryjnych, udziale w opracowaniu statystycznym i interpretacji wyników badań oraz udziale w napisaniu wstępnej i ostatecznej wersji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

- A.5. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using vermicompost-amended soil as an aspect of sustainable plant production. *Sustainability*. 13. 13557. <https://doi.org/10.3390/su132413557>. (100 pkt. MNiSW, IF=3,251)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń polowych i laboratoryjnych, udziale w opracowaniu statystycznym i interpretacji wyników badań oraz udziale w napisaniu wstępnej i ostatecznej wersji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

Nr.	Publikacje	% wkład jako współautor pracy	Udział wnioskującego w publikacjach zespołowych	Punktacja zgodna z rokiem publikacji w czasopiśmie z listy MNiSW
A.1.	Pączka G. , Garczyńska M., Mazur-Pączka A., Podolak A., Szura R., Skoczko I., Kostecka J. 2018. Vermicomposting of sugar beet pulps using <i>Eisenia fetida</i> (Sav.) earthworms. <i>Annual Set The Environment Protection</i> . 20. 588-601.	60	1,2,3,6,7,8	15
A.2.	Pączka G. , Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Podolak A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2019. Using of earthworms <i>Eisenia fetida</i> (Sav.) for vermicomposting expansive littoral plants biomass. <i>Applied Sciences</i> . 9. 17. 3635. https://doi.org/10.3390/app9173635 .	60	1,2,3,6,7,8	70
A.3.	Pączka G. , Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2020. Effects of vermireactor modifications on the welfare of earthworms <i>Eisenia fetida</i>	70	1,2,3,6,7,8	100

	(Sav.) and properties of vermicomposts. <i>Agriculture</i> . 10. 481. https://doi.org/10.3390/agriculture10100481 .			
A.4.	Pączka G. , Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Hajduk E., Kostecka J., Bartkowska I., Butt K.R. 2021. Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (<i>Pisum sativum</i> L.). <i>Agriculture</i> . 11. 919. https://doi.org/10.3390/agriculture11100919 .	65	1,2,3,5,6,7,8	100
A.5.	Pączka G. , Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2021. Garlic (<i>Allium sativum</i> L.) cultivation using vermicompost-amended soil as an aspect of sustainable plant production. <i>Sustainability</i> . 13. 13557. https://doi.org/10.3390/su132413557 .	70	1,2,3,4,6,7,8	100

Udział wnioskującego w publikacjach zespołowych: 1. pomysłodawca tematu, 2. opracowanie koncepcji badań i założeń metodycznych, 3. zaplanowanie i wykonanie doświadczeń laboratoryjnych, 4. zaplanowanie i organizacja prac polowych, 5. zaplanowanie i organizacja prac szklarniowych, 6. zestawienie i analiza wyników, 7. obliczenia statystyczne; 8. przygotowanie i udział w redakcji publikacji.

Łączna liczba punktów za cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, zgodnie z punktacją MNiSW obowiązującą w latach ich wydania, wynosi **385**. Sumaryczny współczynnik wpływu *Impact Factor* IF w/w publikacji wynosi **12,474**. Zakres udziału współautorów w powstanie prac **A.2.**, **A.3.**, **A.4.** i **A.5.** przedstawiony jest na końcu każdej z tych publikacji. Dodatkowo oświadczenia współautorów prac (**A.1.**, **A.2.**, **A.3.**, **A.4.** i **A.5.**) wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu pracy stanowi Załącznik 5.

4.2. Wprowadzenie

Gleby zaliczane są do głównych zasobów środowiskowych, które są podatne na degradację, na skutek działania licznych czynników naturalnych i antropogenicznych, a jednocześnie stanowią zasób potencjalnie odnawialny lub nieodnawialny w ludzkiej skali czasu (dziesiątki lat) [Abrahams 2002, Lal 2009]. W ciągu ostatnich dziesięcioleci nastąpiło znaczące nasilenie procesów prowadzących do degradacji gleb [Alam 2014]. Z powodu licznych usług ekosystemowych świadczonych przez glebę (obieg pierwiastków, produkcja żywności, filtracja i gromadzenie wody, łagodzenie klimatu i innych), gleby wymagają szczególnej ochrony oraz zabiegów rewitalizacyjnych, w celu zachowania pełnej sprawności w świadczonych usługach [Robinson i in. 2012, Singer, Warkentin 1996].

Pewne informacje sugerują, że duża część gleb w krajach Unii Europejskiej charakteryzuje się znacznym obniżeniem żyzności, poprzez ubytek w nich materii organicznej, zakwaszenie i pogorszenie zasobności w składniki pokarmowe, a to przekłada się bezpośrednio na ilość i jakość plonów roślin. Istnieją dowody na to, że jeżeli nie zostaną podjęte odpowiednie działania, niekorzystne procesy będą się nadal nasilać [Montanarella 2007]. W tym celu, jednym z zaleceń zrównoważonego rolnictwa jest zwiększenie wykorzystania nawozów organicznych w produkcji roślinnej (zwłaszcza na małą skalę) [Tilman i in. 2002]. Nawozy organiczne są relatywnie tanim i skutecznym źródłem składników pokarmowych dla roślin, natomiast ich wytworzenie i aplikacja mogą być stosunkowo pracochłonne, co w uprawach wielkoobszarowych może być problematyczne. Jednakże biorąc pod uwagę ciągły wzrost cen nawozów nieorganicznych (co stwierdzono już prawie dwie dekady temu) zwiększenie udziału nawożenia organicznego w produkcji roślinnej, może być uzasadnione nie tylko ze środowiskowego ale i ekonomicznego punktu widzenia [Rahman 2004]. Jedną z alternatyw dla stosowania wysokich dawek nawozów mineralnych, szczególnie na niewielkich obszarowo uprawach, mogą być produkowane na terenach wiejskich odpady organiczne, które zawierają znaczne ilości składników pokarmowych dla roślin. Jednak odpady te nieodpowiednio przetworzone i zastosowane, mogą także powodować pogorszenie żyzności gleby, a nawet wykazywać działanie fitotoksyczne. Zastosowanie niestabilizowanych odpadów organicznych może ograniczać rozwój określonych grup mikroorganizmów, a to może przyczynić się do znacznego spowolnienia rozkładu i mineralizacji odpadów [Senesi 1989]. Do metod coraz częściej i szerzej stosowanych w przekształcaniu odpadowej masy organicznej, zalicza się wermikompostowanie. Metoda ta należy do technologii gospodarowania odpadami i staje się coraz bardziej popularna ze względu na jej relatywnie niewielkie obciążenie dla środowiska [Ravindran i in. 2019]. Technologia ta jest również promowana ze względu na coraz większą świadomość faktu, że odpady organiczne są nie tylko źródłem składników pokarmowych dla roślin, lecz odgrywają również ważną rolę w poprawie jakości gleby, poprzez wzbogacenie w materię organiczną i stałe odtwarzanie jej bioróżnorodności [Mupambwa, Mnkeni 2018]. Prawidłowo prowadzone wermikompostowanie jest więc procesem przyjaznym dla środowiska i poprzez współdziałanie zagęszczonej populacji dżdżownic i mikroorganizmów umożliwia przyspieszoną przemianę odpadowej materii organicznej, w bogaty w składniki odżywcze dla roślin, wermikompost [Edwards 1998].

Na świecie prowadzi się badania nad przetwarzaniem różnych odpadów organicznych w procesie wermikompostowania. Dotyczy to np: odpadów warzyw [Huang i in. 2013],

odpadów z produkcji winorośli i oliwek [Castillo i in. 2013], odpadów domowych i kuchennych [Hanc, Dreslova 2016, Sonia i in. 2016] czy odchodów zwierzęcych [Xie i in. 2016, Molina i in. 2013]. Tego typu odpady, odpowiednio wyselekcjonowane i przygotowane, są zwykle bezpieczne dla dżdżownic, lecz w przypadku wysokiej zawartości w nich np. metali ciężkich, pestycydów czy innych ksenobiotyków, mogą mieć negatywne działanie dla tych bezkręgowców. Zwykle proces przekształcania odpadów organicznych w wermikulturze przebiega według podobnego schematu [Sharma, Garg 2018, 2019, Negi, Suthar 2018] i polega na umieszczaniu wybranej masy odpadów (jako wyłącznego podłoża życia dżdżownic) do różnej wielkości pojemników oraz aplikacji dżdżownic o zróżnicowanej strukturze jakościowej i ilościowej. Metoda ta jest w licznych przypadkach skuteczna, lecz przy zastosowaniu odpadów organicznych toksycznych dla dżdżownic, może doprowadzić do wyginięcia całych populacji Lumbricidae w hodowli. Dlatego istnieje potrzeba prowadzenia badań modyfikacji technologii procesu wermikompostowania w celu optymalizacji przetwarzania, często uciążliwych dla środowiska, a jednocześnie trudnych do zagospodarowania odpadów organicznych w wartościowe pod względem nawozowym wermikomposty, przy jednoczesnym odpowiednim zabezpieczeniu warunków życia populacji dżdżownic. Ma to duże znaczenie nie tylko z ekonomicznego punktu widzenia, bo decyduje o trwaniu tych bezkręgowców w siedliskach hodowlanych, zabezpieczając hodowcę przed utratą ich populacji, ale także ma znaczenie środowiskowe, bo przez zadbanie o ich dobrą kondycję wpływa na jakość wytwarzanych wermikompostów.

Wermikompost jest jednym z coraz częściej stosowanych nawozów organicznych, ponieważ charakteryzuje się powolnym uwalnianiem makro i mikroelementów do środowiska glebowego, a zawarte w nim pierwiastki takie jak azot, fosfor, potas, wapń, magnez i inne, są dostępne dla roślin w łatwo przyswajalnych formach [Talashilkar i in. 1999]. Wermikompost ma rozdrobnioną strukturę o dużej porowatości, co sprzyja dobremu napowietrzeniu i dużej zdolności zatrzymywania wody, a to ma wpływ na jakość systemów korzeniowych roślin oraz rozwój mikroflory glebowej i aktywność fauny, wpływających na zawartość makro i mikroelementów dostępnych dla roślin [Edwards, Burrows 1988]. Wermikomposty mają również duży potencjał w utrzymaniu płodności gleby, ponieważ są źródłem fitohormonów takich jak auksyny, gibereliny, cytokininy [Grapelli i in. 1985, Tomati i in. 1990].

Mimo stosunkowo licznych badań dotyczących możliwości wykorzystania różnych wermikompostów w uprawie roślin między innymi takich jak: truskawki [Arancon i in.

2004, Singh i in. 2008], pomidory [Atiyeh i in. 2000, Zaller 2007], papryka zielona oraz chaber i nagietek [Bachman, Metzger 2008], czy ryż [Reddy 1986]; z wielu powodów te i podobne doświadczenia wymagają kontynuacji. Uzasadnienie dalszych badań wynika między innymi z różnego składu chemicznego uzyskiwanych wermikompostów (a przez to zróżnicowany wpływ na plon roślin), czy dynamicznych zmian środowiska, w zatrzymaniu których i ochronie przed niekorzystnymi przekształceniami ekosystemów glebowych, wermikomposty mogą spełniać swoją rolę.

4.3. Główne cele badawcze

W badaniach przedstawionych w cyklu publikacji powiązanych tematycznie i stanowiących osiągnięcie naukowe, postawiono następujące cele badawcze:

- określenie możliwości produkcji wermikompostów z odpadowej masy wysłodków buraczanych i ekspansywnych roślin litoralnych oraz ocena ich składu chemicznego w zależności od zastosowanych technologii prowadzenia wermireaktorów [A.1., A.2., A.3.];
- ocena możliwości wykorzystania wytworzonych wermikompostów jako dodatku do gleby mineralnej w uprawie groszku (*Pisum sativum* L.) [A.4.];
- ocena możliwości wykorzystania wytworzonych wermikompostów jako dodatku do gleby mineralnej w uprawie czosnku (*Allium sativum* L.) [A.5.];
- określenie wpływu podłoża uprawowych z udziałem wermikompostów na zawartość makroelementów, wybranych mikroelementów i metali ciężkich w biomasie *P. sativum* i *A. sativum* [A.4., A.5.];
- określenie wpływu konstrukcji wermireaktorów na rozwój populacji dżdżownic *Eisenia fetida* (Sav.) z zachowaniem ich dobrostanu [A.1., A.2., A.3.].

4.4. Obiekty badawcze i metodyka badań

Badania przeprowadzono w laboratoriach oraz komorze klimatyzacyjnej Katedry Biologicznych Podstaw Rolnictwa i Edukacji Środowiskowej (obecnie Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami) oraz gospodarstwie indywidualnym w pobliżu miasta Tyczyn. Publikacje [A.1., A.2., A.3.] powstały w wyniku eksperymentów laboratoryjnych, publikacja [A.4.] na bazie doświadczenia szklarniowego (wazonowego), natomiast publikacja [A.5.] w oparciu o doświadczenie polowe. Użyte w doświadczeniach

dżdżownice *E. fetida*, pochodziły z wieloletniej linii hodowlanej, prowadzonej w/w Katedrze.

4.4.1. Badania laboratoryjne

Podjęte badania, w celu optymalnego i efektywnego przetwarzania masy odpadowej i produkcji wartościowego nawozu organicznego - wermikompostu, prowadzono w wermioreaktorach własnego pomysłu, skonstruowanych z plastikowych pojemników [A.1., A.2., A.3.].

Opisywane działania [A.1., A.2., A.3.] dotyczyły określenia wpływu użytej technologii prowadzenia wermioreaktorów, na możliwości przetwarzania odpadów i zawartość makro, mikroelementów i niektórych metali ciężkich w otrzymywanych wermikompostach. Badania te obejmowały także analizę rozwoju populacji dżdżownic opisywaną jako ostatni cel podejmowanego dzieła naukowego.

W doświadczeniu pierwszym i trzecim [A.1., A.3.] przetwarzanym materiałem odpadowym były wysłodki buraczane pozyskane z Zakładu Produkcyjnego Cukrownia Ropczyce. W doświadczeniu drugim [A.2.] przetwarzano masy ekspansywnych roślin litoralnych (pałka szerokolistna *Typha latifolia*, kosaciec żółty *Iris pseudacorus* oraz rogatek sztywny *Ceratophyllum demersum*).

W pierwszym doświadczeniu [A.1.] wermioreaktory podzielono na dwie grupy; przy czym w pierwszej grupie, jako podłoże ochronne dla dżdżownic zastosowano ziemię ogrodniczą aktywną biologicznie (grupa BAGS), natomiast w grupie drugiej umieszczono identyczne podłoże, lecz wyjałowione w temperaturze 105C° (wermioreaktory SGS). Doświadczenie obejmowało po 5 powtórzeń w każdej z dwóch grup wg schematu: BAGS (wysłodki 200 g + 20 dojrzałych osobników *E. fetida* 0,347±0,02 g/os. + ziemia ogrodnicza aktywna biologicznie), SGS (wysłodki 200 g + 20 dojrzałych osobników *E. fetida* 0,352±0,01 g/os. + ziemia ogrodnicza wyjałowiona). Zastosowanie wyjałowionego podłoża miało na celu symulację wykorzystania w wermikulturze (jako podłoża ochronnego) gleby zdegradowanej w wyniku antropopresji. Kontrole stanu populacji dżdżownic wykonywano co 10 dni (według schematu: ręczna segregacja podłoża i odpadu, w celu analizy liczebności i biomasy dżdżownic oraz kokonów).

Doświadczenie trzecie [A.3.] zaplanowano podobnie, po 5 powtórzeń wermikompostowania odpadowej masy wysłodków buraczanych w każdej grupie wermioreaktorów wg. kolejnego schematu: grupa PS (wysłodki buraczane 200 g + podłoże ochronne 4,5 dm³ + 20 osobników dojrzałych *E. fetida*); grupa NPS bez podłoża ochronnego

(wysładki buraczane 200 g + 20 osobników dojrzałych *E. fetida*). W celu oceny przydatności stosowania podłoża ochronnego w konstrukcji wermireaktorów, w doświadczeniu tym wykorzystano identyczne wermireaktory jak w grupie PS, ale dla wywołania warunków stresowych dla dżdżownic, wysładki buraczane wraz z dżdżownicami zalewano 200 ml ekstraktu z cebuli. Kontrolę stanu populacji dżdżownic wykonywano co 20 dni (wg schematu w doświadczeniu pierwszym).

Kolejne badania [A.2.] dotyczyły określenia możliwości wykorzystania dżdżownic *E. fetida* w przetwarzaniu w wermikompost odpadowej masy ekspansywnych roślin litoralnych. I tutaj używano wermireaktorów własnej konstrukcji opisanych wcześniej. Przetwarzanym odpadowym materiałem roślinnym były: pałka szerokolistna *T. latifolia* (T), kosaciec żółty *I. pseudacorus* (I) oraz rogatek sztywny *C. demersum* (C), pozyskane w trakcie wykaszania roślinności pasa strefy litoralnej śródmiejskiego zbiornika zaporowego w mieście Rzeszów, Płd.-wsch Polska (N 50°00'35.95", E 21°59'42.08"). Doświadczenie obejmowało po 5 powtórzeń wermikompostowania rozdrobnionych odpadów tych roślin wg schematu: T (*T. latifolia* 150 g + 14±0,5 g dojrzałych *E. fetida*); I (*I. pseudacorus* 150 g + 14±0,5 g dojrzałych *E. fetida*) oraz C (*C. demersum* 150 g + 14±0,5 g dojrzałych *E. fetida*). Kontrolę stanu populacji dżdżownic przeprowadzono przy okazji określania stopnia unieszkodliwienia odpadu: po 35 i 70 dniach od momentu rozpoczęcia doświadczenia. W przypadku *T. latifolia* czynności powtórzono po 140, 175 i 210 dniach, ponieważ w 70 dniu odpad ten nie został przetworzony przez dżdżownice. Stan populacji dżdżownic sprawdzano w tym samym schemacie działania.

Wermikomposty wytworzone z przedstawionych wyżej odpadów poddano dalszej ocenie pod kątem ich przydatności nawozowej.

4.4.2. Badania szklarniowe (wazonowe)

Badania dotyczące wpływu wykorzystania wermikompostu wytworzonego z odpadowej masy wysłodków buraczanych w uprawie groszku *P. sativum* L. przeprowadzono w doświadczeniu wazonowym w warunkach szklarniowych [A.4.]. Materiał roślinny do badań stanowiły kwalifikowane (stopień kwalifikacji WE) nasiona grochu odmiany „Hłowiecki” firmy W. Legutko (Przedsiębiorstwo Hodowlano-Nasienne Sp. zo.o.), zakupione w sprzedaży detalicznej. Założono 5 kombinacji doświadczenia, w których przyjęto: GS – podłoże ogrodnicze do uprawy warzyw na bazie torfu firmy Kronen; SL – gleba uprawna; V10 – 10% wermikompostu + 90% SL, V25 – 25% wermikompostu + 75% SL, V50 – 50% wermikompostu + 50% SL. Podłoże użyte w grupie

kontrolnej SL stanowiła gleba pobrana z terenu użytkowanego rolniczo, przeznaczonego do produkcji roślinnej, położonego w okolicy miasta Tyczyn (płd.-wsch. Polska). Gleba została sklasyfikowana jako ciężka gliniasta. Jako podłoże w grupie GS zastosowano zbilansowaną ziemię ogrodniczą na bazie torfu, przeznaczoną do uprawy warzyw firmy Kronen. Plastikowe wazony, o średnicy 30 cm i wysokości 40 cm, wypełniano podłożem przygotowanym zgodnie z przyjętymi założeniami, w kombinacjach, pozostawiając do przykrycia nasion podłoże na wysokość 3 cm. Następnie na wspomniane podłoże wysiewano punktowo nasiona grochu, po 8 sztuk i przykrywano je 3 cm warstwą tego samego opisanego podłoża. Rosnące rośliny podlewano w tym samym czasie, jednakowo w miarę potrzeb, utrzymując stałą wilgotność podłoża. Doświadczenie przeprowadzono w warunkach szklarniowych z dostępem światła słonecznego, w okresie 1 kwiecień – 20 czerwiec 2020 roku (80 dni). Średnia temperatura wewnątrz szklarni wynosiła (kwiecień $13\pm 2^{\circ}\text{C}$; maj $15\pm 2^{\circ}\text{C}$; czerwiec $20\pm 2^{\circ}\text{C}$). Doświadczenie przeprowadzono w 5 powtórzeniach dla każdej kombinacji.

4.4.3. Badania polowe

Badania dotyczyły wpływu wytworzonego wermikompostu z odpadowej masy roślin litoralnych na wybrane cechy czosnku *A. sativum*. Przeprowadzono je w warunkach polowych z wykorzystaniem podwyższonych grządek [A.5.]. Materiał roślinny do badań stanowił czosnek ozimy odmiany Harnaś, pochodzący z Zakładu Hodowlano-Nasiennego POLAN. Założono 4 kombinacje doświadczenia: SL – gleba uprawna; V10 – 10% wermikompostu + 90% SL; V25 – 25% wermikompostu + 75% SL; V50 – 50% wermikompostu + 50% SL. Podłoże użyte w grupie kontrolnej SL stanowiła gleba pobrana z terenu użytkowanego rolniczo, przeznaczonego do produkcji roślinnej, położonego w okolicy miasta Tyczyn (płd.-wsch. Polska). Gleba została sklasyfikowana jako ciężka gliniasta. Podwyższone grządki zostały skonstruowane z drewnianych desek. Miały postać kwadratowych ramek o wymiarach 100 x 100 x 30 cm (długość x szerokość x wysokość), które umieszczono na równym, niezacienionym terenie w odległości 1m od siebie. Rozmieszczone grządki wypełniano podłożem (na wysokość 27 cm) przygotowanym zgodnie z przyjętymi założeniami, w kombinacjach. Wybrano zdrowe i jednolite ząbki *A. sativum* o średniej masie $3,5\pm 0,1\text{g}$, które wysadzono na głębokość 6 cm. Ząbki posadzono w rozstawie 25 cm między rzędami i 10 cm w rzędzie - między roślinami, co w każdym powtórzeniu (każdej podwyższonej grządce) dało 3 rzędy, po 8 roślin w każdym. Rosnące rośliny podlewano jednakowo w miarę potrzeb, w tym samym czasie, utrzymując stałą

wilgotność podłoży. Podczas uprawy nie stosowano chemicznych środków ochrony roślin, stosowano odchwaszczanie ręczne. Doświadczenie przeprowadzono dwukrotnie: w okresie 25 wrzesień 2018 (sadzenie) – 04 lipiec 2019 (zbiór roślin) oraz 20 wrzesień 2019 (sadzenie) – 06 lipiec 2020 roku (zbiór roślin) w okolicach miasta Tyczyn (płd.-wsch. Polska; N49°57.323 E022°02.518). Doświadczenie przeprowadzono w 5 powtórzeniach dla każdej kombinacji.

4.4.4. Analiza chemiczno-rolnicza

W przeprowadzonych badaniach [A.1. – A.5.] analizy obejmowały oznaczenie zawartości makroelementów, wybranych mikroelementów i metali ciężkich (w rozumieniu toksycznych metali ciężkich) w odpadowych roślinnych biomasach inicjalnych, otrzymanych wermikompostach, podłożach uprawnych oraz biomasie *P. sativum* i *A. sativum*.

Ogólną zawartość makroelementów (N, P, K, Ca, Mg), mikroelementów (Cu, Mn, Zn) i metali ciężkich (Cd, Pb) oznaczano z wykorzystaniem niektórych procedur opisanych w pracy Ostrowskiej i in. [1991]. Azot oznaczono metodą Kjeldhala przy użyciu Kjeltrec 8100 i 2006 Foss Tecator Digestor. W celu oznaczenia pozostałych pierwiastków, organiczny materiał badawczy poddano mineralizacji na gorąco w temp. 210°C w systemie otwartym, w mieszaninie stężonych kwasów mineralnych $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{H}_2\text{SO}_4$ w stosunku 20:5:1 (glebę mineralizowano w czystym stężonym HClO_4). Fosfor oznaczono kolorymetrycznie metodą wanadowo-molibdenową, z użyciem spektrofotometru Shimadzu UV-2600, potas, magnez, wapń oraz mikroelementy i metale ciężkie, oznaczono techniką spektrofotometrii absorpcji atomowej z wykorzystaniem spektrofotometru firmy Hitachi Z-2000. Węgiel oznaczano przy użyciu analizatora elementarnego Vario EL-CUBE (firmy Elementar Analysensysteme GmbH). pH podłoży glebowych oznaczono metodą potencjometryczną, przy stosunku gleba:woda jak 1:2,5. Stężenie soli określono metodą konduktometryczną. Obliczono także stosunek C/N w analizowanych podłożach, biomasie roślin i wermikompostach.

4.4.5. Analiza statystyczna

Wyniki badań przedstawione we wszystkich publikacjach pokazano jako średnie arytmetyczne oraz odchylenia (SD). Wszystkie analizy statystyczne wyrażono jako średnią z pięciu powtórzeń i obliczono przy użyciu pakietu oprogramowania Statistica 10 i Statistica 13.1 (StatSoft). Różnice statystycznie istotne stwierdzano przy poziomie istotności $\alpha=0,05$. Test t Tukeya zastosowano jako analizę post hoc do porównania średnich. Do analizy istotnej różnicy między różnymi grupami badawczymi dla obserwowanych parametrów oraz istotnej różnicy między zawartością makro, mikroelementów i metali

ciężkich w grupach badawczych, wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA).

4.5. Najistotniejsze wyniki badań

- **określenie możliwości produkcji wermikompostów z odpadowej masy wysłodków buraczanych i ekspansywnych roślin litoralnych oraz ocena ich składu chemicznego w zależności od zastosowanych technologii prowadzenia wermireaktorów**

Wermikompostowanie wysłodków buraczanych przy użyciu wermireaktorów z podłożem ochronnym aktywnym biologicznie i wysterylizowanym

A.1. Pączka G., Garczyńska M., Mazur-Pączka A., Podolak A., Szura R., Skoczko I., Kostecka J. 2018. Vermicomposting of sugar beet pulps using *Eisenia fetida* (Sav.) earthworms. *Annual Set The Environment Protection*. 20. 588-601.

Jedna trzecia światowej produkcji cukru wytwarzana jest z buraków cukrowych [Roper 2002]. W Polsce w 2016 roku, wyprodukowano około 2,17 mln ton cukru, a związana z tym była pozostałość odpadowa w ilości ponad 3,6 mln ton wysłodków [www.stat.gov.pl]. Wysłodki mogą być stosowane jako pasza dla zwierząt gospodarskich [Dz. U. Nr 16, poz. 137], gdy spełnią wymagania jakościowe [Rozporządzenie WE 183/2005]. W przypadku nie spełnienia norm, zgodnie z rozporządzeniem ministra środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2014 r. poz. 1923), wysłodki buraczane są klasyfikowane jako odpady. Wzrastająca ilość tego odpadu generuje problem w jego zagospodarowaniu. Jedną z metod biologicznego przetwarzania odpadów organicznych jest wermikompostowanie [Edwards 1995, 1998].

W wyniku zastosowania różnych technologii wermikompostowania wysłodków z buraka cukrowego, nie stwierdzono istotnych różnic w pH wermikompostów z grup BAGS (wermireaktory z ziemią aktywną biologicznie) i SGS (wermireaktory z wyjałowioną ziemią ogrodniczą). Stwierdzono istotne ($p < 0,05$) zmiany wartości pH pomiędzy biomasą odpadową wysłodków, a otrzymanymi wermikompostami. Po zakończonym procesie wermikompostowania wystąpiło istotne obniżenie wartości stosunku C/N w otrzymanych wermikompostach, względem inicjalnej biomasy odpadowej (odpowiednio BAGS o 62,9%; $p < 0,05$ i SGS o 46,6%; $p < 0,05$). Zaobserwowano również istotne różnice w proporcji C/N pomiędzy wermikompostami uzyskanymi przy zastosowaniu odmiennych technologii (BAGS $19,72 \pm 0,35$, SGS $28,41 \pm 1,09$) ($p < 0,05$).

Przewodnictwo (EC) tych wermikompostów nie różniło się istotnie pomiędzy grupami, ale było istotnie wyższe ($p < 0,05$) w porównaniu do biomasy inicjalnej. W otrzymanych wermikompostach stwierdzono również zwiększoną zawartość makroelementów w stosunku do unieszkodliwianej biomasy odpadowej. Zanotowano zwiększenie zawartości azotu w wermikompostach otrzymanych w obu grupach wermireaktorów (BAGS o 26,3%; $p < 0,05$, SGS o 13,5% ($p < 0,05$). Podobną zależność stwierdzono w przypadku fosforu i potasu, których zawartość w otrzymanych wermikompostach była istotnie większa w stosunku do wyjściowego odpadu roślinnego (w grupie BAGS odpowiednio o 139,3%; $p < 0,05$ i 23,7%; $p < 0,05$, natomiast w grupie SGS odpowiednio o 90,5%; $p < 0,05$ i 16,4%; $p < 0,05$). Wykazano również istotne różnice w zawartości N, P, K w wermikompostach uzyskanych w obu technologiach prowadzenia wermireaktorów. Otrzymane wermikomposty różniły się także zawartością wapnia i magnezu (różnica między technologiami wynosiła odpowiednio: 12%; $p < 0,05$ i 24,2%; $p < 0,05$). Natomiast różnica pomiędzy biomasą inicjalną a nawozami, otrzymanymi w technologiach BAGS i SGS, wynosiła odpowiednio: dla Ca 24,9%; $p < 0,05$ i 12,9%; $p < 0,05$; dla Mg 46,6%; $p < 0,05$ i 18,1%; $p < 0,05$ (tabela 1).

W przeprowadzonych badaniach analizowano również średnie tempo przetwarzania biomasy odpadów. Stwierdzono, że w wermireaktorach z wyjałowioną ziemią ogrodniczą - SGS, proces ten przebiegał znacząco wolniej w porównaniu do grupy, w której zastosowano ziemię aktywną biologicznie - BAGS. Zarówno w 20, jak i 40 dniu doświadczenia dżdżownice z wermireaktorów SGS, przerobiły o 44% ($p < 0,05$) i o 27% ($p < 0,05$) mniej odpadu roślinnego (wykres 3).

Wermikompostowanie odpadowej masy ekspansywnych roślin litoralnych

A.2. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Podolak A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2019. Using of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) for vermicomposting expansive littoral plants biomass. *Applied Sciences*. 9. 17. 3635. DOI:10.3390/app9173635.

Proces eutrofizacji jest jednym z najpoważniejszych antropogenicznych zakłóceń funkcjonowania ekosystemów wodnych. Do głównych przyczyn procesu eutrofizacji na terenach wiejskich zalicza się spływy nawozów mineralnych z gruntów uprawnych oraz ścieki pochodzące z rolnictwa (produkcja zwierzęca). Roślinność strefy litoralnej przechwytyując nadmiar biogenów (głównie N i P), spełniając z jednej strony istotną funkcję jako bariera ochronna, lecz jej nadmierny rozwój w strefie brzegowej zbiorników wodnych i obumieranie sprawiają, że procesy biochemiczne, które wówczas zachodzą prowadzą do

pogarszania się warunków tlenowych w wodzie. Jest to zjawisko negatywne ograniczające m.in. różnorodność biologiczną zbiorników wodnych [Sinha i in. 2008, Graca i in. 2016, Zhou i in. 2018]. Zabiegiem najczęściej stosowanym w eliminacji nadmiaru roślinności litoralnej jest jej mechaniczne usuwanie. Problemem staje się wówczas odpowiednie zagospodarowanie, często dużej ilości tej biomasy roślinnej. W związku z powyższymi faktami, podjęto próbę przetworzenia odpadowej masy roślin litoralnych w wermireaktorach przy użyciu dżdżownic *E. fetida*, w wermikomposty.

Zastosowana w doświadczeniu technologia konstrukcji wermireaktorów zakładała, że dżdżownice przetwarzały w grupach wyłącznie odpady roślin litoralnych bez dodatku innych komponentów. Eksperyment wykazał, że odpady w postaci *I. pseudacorus* (grupa I) i *C. demersum* (grupa C), zostały przekształcone w bogate w składniki pokarmowe wermikomposty, charakteryzujące się jednorodną gruzełkową strukturą. Natomiast wermikompostowanie biomasy *T. latifolia* nie przyniosło zamierzonych efektów, a w otrzymanym produkcie końcowym obserwowano wyraźnie nie przekształcone fragmenty roślin.

W wyniku wermikompostowania stwierdzono zmiany wartości pH pomiędzy biomasą początkową, a otrzymanym nawozem we wszystkich grupach doświadczalnych. Wartości pH odpadów roślinnych zmniejszyły się z alkalicznych (7,71-7,79) do lekko kwaśnych (6,32-6,47) ($p < 0,05$). Przewodnictwo elektryczne (EC) wermikompostów było wyższe w porównaniu do biomasy inicjalnej. Istotne zmiany stwierdzono w wermireaktorach grup (I) oraz (C) ($p < 0,05$). W otrzymanych wermikompostach stwierdzono również istotnie większą zawartość makroelementów w stosunku do przekształcanej biomasy roślinnej. Po zakończeniu procesu wermikompostowania stwierdzono istotne obniżenie stosunku C/N w otrzymanych wermikompostach, względem inicjalnej biomasy odpadowej (w wermireaktorach (I) i (C) - odpowiednio o 55,7% ($p < 0,05$) i o 57,5% ($p < 0,05$). Istotnie zwiększyła się zawartość azotu i potasu w wermikompostach wszystkich grup, w porównaniu do początkowej biomasy roślinnej. Największy przyrost zawartości tych pierwiastków stwierdzono w grupie (C) (dla N o ponad 300%; $p < 0,05$, dla K o 590%; $p < 0,05$), w grupie (I) (dla N o 149%; $p < 0,05$, dla K o 260%; $p < 0,05$). Odwrotną tendencję stwierdzono w przypadku fosforu, którego zawartość w wermikompostach z grupy (T) i (C) była nieistotnie mniejsza w stosunku do inicjalnego odpadu roślinnego. Natomiast zawartość tego biogenu w wermikompoście z grupy (I) wzrosła o 137% ($p < 0,05$). Stwierdzono również istotne ($p < 0,05$) zwiększone zawartości wapnia i magnezu w otrzymanych wermikompostach (dla Ca 13-krotnie w grupie (T), 19-krotnie w grupie (I)

i 5-krotnie w grupie (C); dla magnezu 10-krotnie w grupie (T) oraz 12-krotnie i 7,5-krotnie (odpowiednio w grupach (I) i (C)). Eksperyment wykazał również zwiększenie zawartości większości mikroelementów, a także kadmu w wermikompoście, co jak stwierdzili Vig i in. [2011] oraz Hait i Tare [2012] może wynikać z redukcji masy i objętości produktu końcowego, w porównaniu do masy inicjalnej. Istotnie zwiększyła się zawartość cynku; w grupach (I, C, T), odpowiednio o 1700% ($p < 0,05$), 340% ($p < 0,05$) i 300% ($p < 0,05$). W wyniku badań wykazano również zwiększoną zawartość miedzi i kadmu w wermikompostach wszystkich grup doświadczalnych, w stosunku do zawartości tych pierwiastków w biomasach inicjalnych.

Pierwiastkami, których zawartość zmniejszyła się w wyniku procesu wermikompostowania były ołów (w grupach I i C o 50%; $p < 0,05$) oraz mangan (w grupach T i C odpowiednio o 31,8%; $p < 0,05$ i 40%; $p < 0,05$).

Należy zaznaczyć, że wykazane zawartości metali ciężkich w otrzymanych wermikompostach wszystkich grup badawczych nie dyskwalifikowały ich przydatności nawozowej, ponieważ nie zostały przekroczone dopuszczalne zawartości tych pierwiastków, jakie mogą być zawarte w kompostach stosowanych w celach nawozowych w krajach UE [Heavy metals...2004].

Wermikompostowanie wysłodków buraczanych przy użyciu wermireaktorów z podłożem ochronnym dla dżdżownic oraz pozbawionych tego podłoża

A.3. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2020. Effects of vermireactor modifications on the welfare of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) and properties of vermicomposts. *Agriculture*. 10. 481. DOI:10.3390/agriculture10100481.

Liczne badania pokazują, że w procesie wermikompostowania następuje modyfikacja właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych przetwarzanej przez dżdżownice odpadowej masy roślinnej [Huang i in. 2013, Pączka i in. 2019, Bhat i in. 2016]. Rodzaj i sposób przygotowania odpadu roślinnego oraz warunki w jakich przebiega proces wermikompostowania mają duży wpływ na wartość nawozową otrzymanego wermikompostu. Dlatego istotnym jest znajomość składu fizyko-chemicznego zarówno przetwarzanego odpadu inicjalnego, jak również otrzymanego wermikompostu w celu określenia jego przydatności nawozowej [Ndegwa, Thompson 2001].

W przedstawionych badaniach, w wyniku wermikompostowania stwierdzono istotne zmiany wartości pH pomiędzy biomasą inicjalną SBP (wysłodki buraka cukrowego), a otrzymanymi wermikompostami. Wartość pH odpadowej masy wysłodków buraczanych

zmniejszyła się z alkaicznej ($7,07 \pm 0,09$) do lekko kwaśnej (grupa PS; z podłożem ochronnym dla dżdżownic $6,29 \pm 0,17$ oraz grupa NPS; bez podłoża ochronnego $5,94 \pm 0,89$) ($p < 0,05$). Natomiast nie wykazano istotnych różnic w wartościach omawianej cechy pomiędzy wermikompostami otrzymanymi przy zastosowaniu odmiennych metod prowadzenia wermioreaktorów. Nie wykazano również istotnych różnic w przewodnictwie elektrycznym (EC) dla otrzymanych wermikompostów. Podobnie nie stwierdzono istotnych różnic stosunku C/N pomiędzy otrzymanymi wermikompostami w obu technologiach prowadzenia wermioreaktorów. Udział C/N w otrzymanych wermikompostach z grupy PS wyniósł $19,78 \pm 1,16$, w grupie NPS $21,56 \pm 1,09$, czyli według Sharma i Garg [2018], wartości te wskazują na dopuszczalną dojrzałość uzyskanych wermikompostów. Stosunek C/N jest najczęściej stosowanym wskaźnikiem dojrzałości wermikompostu i wskazuje na stopień mineralizacji i stabilizacji odpadowej masy roślinnej.

Zawartość azotu, fosforu i potasu w otrzymanych wermikompostach była na podobnym poziomie i nie różniła się istotnie. Wykazano natomiast istotną różnicę, polegającą na zwiększeniu zawartości tych pierwiastków w wermikompostach w porównaniu z biomasą początkową SBP, a wermikompostami (dla **N**; PS o 28,9%; $p < 0,05$, NPS o 19,7%; $p < 0,05$; dla **P**; PS o 151,9%; $p < 0,05$, NPS o 129,5%; $p < 0,05$; dla **K**; PS o 26,3%; $p < 0,05$, NPS o 25,6%; $p < 0,05$). Podobną zależność zaobserwowano również w przypadku wapnia i magnezu. Stwierdzono brak istotnych różnic w zawartości tych pierwiastków pomiędzy otrzymanymi wermikompostami. Istotny przyrost zawartości wapnia i magnezu odnotowano pomiędzy wermikompostami, a biomasą początkową (dla **Ca**; PS o 28,6%; $p < 0,05$, NPS o 26,7%; $p < 0,05$; dla **Mg**; PS o 62,8%; $p < 0,05$, NPS o 59,3%; $p < 0,05$).

Stwierdzono również, że zawartość większości analizowanych mikroelementów i metali ciężkich, w otrzymanych wermikompostach istotnie zwiększyła się ($p < 0,05$) w porównaniu do biomasy początkowej, ale nie dyskwalifikuje to ich przydatności nawozowej, ponieważ ich poziom nie przekraczał dopuszczalnych zawartości tych pierwiastków w kompostach w krajach UE [Heavy metals...2004]. Nie wykazano istotnych różnic w zawartości analizowanych pierwiastków pomiędzy otrzymanymi wermikompostami. Obniżenie zawartości pomiędzy biomasą początkową a wermikompostami, otrzymanymi w technologiach PS i NPS, odnotowano względem Pb (odpowiednio o 45,5% i 54,5%; $p < 0,05$) oraz Mn (odpowiednio o 15% i 20,6%; $p < 0,05$). Zmniejszenie stężenia tych pierwiastków w wermikompoście może być m.in. powodowane faktem, że niektóre frakcje

metali łatwo ulegają bioakumulacji w tkankach dżdżownic [Li i in. 2010]. Największy przyrost zawartości pomiędzy biomasa początkową, a wytworzonymi wermikompostami w obu technologiach prowadzenia wermireaktorów, stwierdzono względem Cu (PS o 105,8%; $p < 0,05$, NPS o 111,2%; $p < 0,05$) i Zn (PS o 165,1%; $p < 0,05$, NPS o 188,2%; $p < 0,05$). Stwierdzono również podwyższenie zawartości Cd w otrzymanych wermikompostach względem biomasy początkowej (w obu technologiach PS i NPS o 28,6%; $p < 0,05$).

- **ocena możliwości wykorzystania wytworzonych wermikompostów jako dodatku do gleby mineralnej w uprawie groszku (*Pisum sativum* L.)**

A.4. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Hajduk E., Kostecka J., Bartkowska I., Butt K.R. 2021. Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*. 11. 919. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100919>.

Zrównoważone rolnictwo zakłada wykorzystanie nawozów organicznych w produkcji roślinnej oraz stawia na zapobieganie degradacji ekosystemów glebowych poprzez zastosowanie praktyk, które chronią zasoby środowiskowe bez umniejszania ludzkich potrzeb [Tilman i in. 2002]. Dostępne informacje sugerują, że w ciągu ostatnich dziesięcioleci nastąpił znaczny wzrost procesów prowadzących do degradacji gleb [Alam 2014]. W celu poprawy właściwości niepełnowartościowych gleb, szczególnie w niewielkich gospodarstwach rolnych oraz praktyce ogrodniczej, do produkcji roślinnego materiału szkółkarskiego używa się podłoży, gdzie głównym składnikiem jest torf [Sarrka i in. 2004]. Należy jednak zwrócić uwagę, że torf jest jednym z nieodnawialnych zasobów środowiskowych, a jego zużywanie powoduje degradację zagrożonych ekosystemów, jakimi są torfowiska [Hewidy i in. 2014]. W prezentowanych badaniach podjęto próbę wykorzystania wermikompostu z odpadowej masy wysłodków buraka cukrowego, jako podłoża alternatywnego dla torfu (przy konstrukcji podłoża dla wzrostu i rozwoju roślin).

Jak wykazano w przedstawionych badaniach, dodatek wermikompostu do gleby uprawnej (SL) wpłynął pozytywnie na analizowane cechy groszku cukrowego *P. sativum*. Najlepsze efekty dotyczące dynamiki wschodów roślin, wykazano w grupie z 25% dodatkiem wermikompostu (V25), gdzie wartość omawianej cechy wyniosła 100%. Podobny wynik otrzymano w grupie GS, gdzie zastosowano zbilansowane, przeznaczone do uprawy roślin warzywnych podłoże ogrodnicze. Równie wysoką efektywność we wschodach roślin stwierdzono w grupach V10 i V50, natomiast istotne różnice w wartościach omawianej cechy wykazano pomiędzy grupą kontrolną SL (wschody roślin - 76%), a pozostałymi kombinacjami ($p < 0,05$). Jak podali Kalra i in. [1997] procesy

w początkowym okresie wzrostu roślin są bardzo ważne, ponieważ odgrywają główną rolę w ich dalszym wzroście i rozwoju oraz w dużej mierze decydują o potencjalnych plonach.

Większy udział wermikompostu w podłożach uprawnych wpłynął na średnią długość i masę łodyg. Największe wartości omawianych cech stwierdzono u roślin rosnących w podłożach V25 oraz V50 i były one zbliżone do tych, jakie uzyskano w grupie GS. Należy zaznaczyć, że różnice pomiędzy wartościami omawianych cech w wyżej wspomnianych grupach, nie były istotne statystycznie ($p > 0,05$). Istotne różnice ($p < 0,05$) w opisywanych cechach wykazano pomiędzy grupami V25, V50, GS, a grupami z 10% udziałem wermikompostu V10 oraz bez dodatku tego nawozu (SL). Analizując średnią długość i średnią masę korzeni *P. sativum* stwierdzono, że rośliny rosnące w podłożach z dodatkiem wermikompostu, charakteryzowały się największymi i jednocześnie zbliżonymi wartościami badanych cech. Podobnie rozwinięte systemy korzeniowe stwierdzono u roślin uprawianych w podłożu komercyjnym GS. Najmniejsze wartości omawianych cech zaobserwowano w grupie SL, gdzie średnia długość i masa korzeni była mniejsza od pozostałych grup (odpowiednio o 16,8-23,5% i 46,8-49,9%; $p < 0,05$). W grupie SL stwierdzono również istotnie mniejszą średnią liczbę brodawek korzeniowych, w porównaniu do innych grup, gdzie wartości omawianej cechy były zbliżone, lecz większe od SL średnio o 38% ($p < 0,05$). Bahadur i Manohar [2001] wykazali, że stosowanie bionawozów w uprawie grochu przyczynia się do wzrostu liczby brodawek korzeniowych. Dodatek wermikompostu do gleby ciężkiej wpłynął również pozytywnie na średnią liczbę kwiatów i strąków. Największe, zbliżone wartości ($p > 0,05$) badanych cech osiągnęły rośliny z grup V25 i V50, gdzie uzyskano średnio o 74% ($p < 0,05$) większą liczbę kwiatów i średnio o 91% ($p < 0,05$) większą średnią liczbę strąków, w porównaniu do grupy kontrolnej SL. Te uzyskane wyniki można było uznać za satysfakcjonujące, ponieważ wg. Wiatr [2001] minimalna liczba strąków z rośliny, która zapewniałaby zadowalający plon, nie powinna być mniejsza niż 10 (w grupach V25 i V50 uzyskano odpowiednio $10,4 \pm 0,55$ i $10,2 \pm 1,31$ strąków na roślinę). Z kolei różny dodatek wermikompostu do gleby nie miał wpływu na średnią masę strąków, średnią liczbę nasion w strąku i średnią sumę masy nasion w strąku, których wartości były zbliżone we wszystkich grupach ($p > 0,05$).

Różnice w rozwoju części nadziemnych i podziemnych roślin *P. sativum* rosnących w podłożu kontrolnym (SL) a pozostałymi grupami, mogły być podyktowane różnymi czynnikami. Jednym z nich może być istotnie mniejsza zawartość fosforu i potasu w grupie SL w porównaniu do pozostałych podłoży (dla P różnica 22,6-64,0%; $p < 0,05$), natomiast

zawartość potasu w grupie bez dodatku wermikompostu była o 4-16 razy mniejsza w stosunku do pozostałych kombinacji.

P. sativum należy do roślin strączkowych, które dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi mogą wiązać azot atmosferyczny. Bakterie te wymagają dużej ilości energii, nie tylko dla swojego wzrostu, ale również na konwersję N_2 do NH_3 . Jak podają Rotaru i Sinclair [2009], fosfor dostarcza dużej ilości energii bakteriom wiążącym N_2 . Według Saeed i in. [2004] większa zawartość fosforu w glebie, zwiększa dostępność azotu i potasu, które poprawiają wzrost roślin. Fosfor skutecznie przyczynia się do wzrostu nadziemnych części roślin, rozwoju systemu korzeniowego, inicjuje kwitnienie oraz rozwój nasion i owoców [Ali i in. 2014], dlatego produkcja roślinna na około 30% światowych gruntów użytkowanych rolniczo, jest ograniczona dostępnością fosforu [Tesfaye i in. 2007]. Z kolei potas jest bardzo istotny dla wzrostu komórek roślinnych [Hepler i in. 2001], przez co może odgrywać ważną rolę w poprawie jakości plonów [Oosterhuis i in. 2014]. Jak podali Tränkner i in. [2018], wysokie stężenie potasu w roztworze glebowym, może hamować pobieranie magnezu, a przez to wywoływać niedobór tego pierwiastka w roślinach. Jednak niedobór potasu może zaburzać niektóre procesy niezbędne dla prawidłowego rozwoju roślin [Hu i in. 2017].

Niższe wartości omawianych cech roślin w grupie bez dodatku wermikompostu (SL), mogą również wynikać z właściwości samej gleby. Gleby ciężkie gliniaste są trudne w uprawie, ponieważ posiadają liczne ograniczenia w użytkowaniu rolniczym, szczególnie na terenach suchych oraz o średnich i dużych opadach atmosferycznych [Mueller i in. 1990].

Większe wartości badanych cech *P. sativum*, rosnących na podłożach z 25 i 50% dodatkiem wermikompostu, można przypisać większej zawartości i dostępności składników pokarmowych, również na skutek dużej aktywności drobnoustrojów w wermikompostach. Jak podają Arancon i in. [2005] niektóre bakterie, grzyby i glony, podczas procesu wermikompostowania produkują fitohormony roślinne takie jak auksyny, gibereliny, cytokininy, które mogą mieć pozytywny wpływ na wzrost roślin.

- **ocena możliwości wykorzystania wytworzonych wermikompostów jako dodatku do gleby mineralnej w uprawie czosnku (*Allium sativum* L.)**

A.5. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using vermicompost-amended soil as an aspect of sustainable plant production. *Sustainability*. 13. 13557. <https://doi.org/10.3390/su132413557>.

W celu uzyskania maksymalnego wzrostu roślin gwarantującego wysokie plony, do gleb aplikowane są często duże dawki nawozów nieorganicznych [Stewart i in. 2005, Dauda i in. 2008]. Nawozy te, stosowane w wysokich dawkach bez dodatków organicznych (szczególnie na glebach o niskiej zawartości próchnicy), mogą wpływać niekorzystnie na jakość plonów roślin konsumpcyjnych i paszowych, a tym samym na zdrowie ludzi i zwierząt oraz prowadzić do degradacji zasobów środowiskowych [Arisha, Bardisi 1999]. Czosnek *A. sativum* jest jedną z roślin (spośród dwudziestu najważniejszych i często uprawianych warzyw na świecie), o dużym zapotrzebowaniu nawozowym [Kopeć i in. 2013]. W celu prawidłowego rozwoju roślin i uzyskania plonów o wysokiej jakości, w uprawie *A. sativum* niezbędne jest odpowiednie, zrównoważone zaopatrzenie w łatwo przyswajalne składniki odżywcze [Babatunde i in. 2009]. Według Sachin i in. [2017] powszechność uprawy czosnku na niewielką skalę spowodowała, że bardziej pożądaną opcją produkcji tych roślin jest maksymalizacja pod względem ilościowym i jakościowym plonu z jednostki powierzchni, niż zwiększanie powierzchni upraw. W związku z powyższym, podjęto próbę oceny możliwości wykorzystania wermikompostu wyprodukowanego z odpadowej masy ekspansywnych roślin litoralnych, jako zasobnego w składniki pokarmowe dla roślin dodatku do gleby w uprawie czosnku (*A. sativum* L.).

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zastosowanie wermikompostu jako nawozu organicznego w uprawie czosnku, wpłynęło pozytywnie na wybrane (pożądane pod względem gospodarczym) jego cechy: średnicę i masę główek, średnią liczbę i masę ząbków oraz średni plon. Natomiast największe wartości prezentowanych cech roślin (z wyjątkiem średniej masy ząbków), uzyskano w wyniku zastosowania podłoża z 50% dodatkiem wermikompostu (V50). Analizując średnice uzyskanych główek czosnku stwierdzono istotne różnice w wartościach omawianej cechy pomiędzy grupą kontrolną SL a kombinacjami z udziałem wermikompostu (przy największej 29,9% ($p < 0,05$) różnicy pomiędzy SL i V50). Podobne wyniki otrzymano względem średniej masy główek (SL < V50 różnica o 51,8%; $p < 0,05$) i średniej masy ząbków, lecz w tym przypadku w kombinacjach z dodatkiem wermikompostu, stwierdzono największą wartość w grupie V25 (SL < V25 różnica o 35,3%; $p < 0,05$).

Analizując średnią liczbę ząbków w główce, nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach omawianej cechy pomiędzy roślinami uprawianymi na podłożach SL, V10 i V25 (SL < V10 = V25 o 4,9%; $p > 0,05$) w porównaniu do grupy V50, gdzie otrzymano istotnie większą liczbą ząbków (V50 > SL o 20%; $p < 0,05$ i V50 > V10 = V25 o 16%; $p < 0,05$).

Istotne różnice pomiędzy grupą kontrolną SL, a kombinacjami z udziałem wermikompostu wykazano względem średniego plonu (przy największej różnicy $SL < V50$ o 140%; $p < 0,05$). Podobną tendencję wykazali Kenea i Gedamu [2019], badając wpływ wermikompostu wytworzonego z *Lantana camara* oraz *Partinium hystrophorous* z dodatkiem obornika na wybrane cechy czosnku. Autorzy ci podali, że przy podwyższonym udziale wermikompostu od 0 do $7,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, średnia świeża masa czosnku wzrosła o 9.5% w stosunku do kontroli, natomiast 3-krotny wzrost dawki wermikompostu (z $2,5$ do $7,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) spowodował 20% wzrost plonu *A. sativum*. W omawianych badaniach, przy zastosowaniu 50% dodatku wermikompostu (nawozu organicznego, potencjalnie przyjaznego środowisku) do gleby, otrzymano plon *A. sativum* w wysokości $1,24 \pm 0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, czyli w przybliżeniu $12,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy średniej masie główek $59,9 \pm 0,91 \text{ g}$. Podobny plon uzyskali Diriba-Shiferaw i in. [2015]; $14,87 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy średniej masie główek $18,55 \text{ g}$, lecz co należy zaznaczyć, uprawiając czosnek z wykorzystaniem nawożenia nieorganicznego. Ten fakt może stanowić ważny argument przemawiający za wykorzystywaniem odpowiednio przygotowanego nawozu organicznego - wermikompostu w uprawie czosnku, szczególnie na małą skalę.

W opisywanych badaniach nie wykazano istotnych różnic w przeżywalności roślin oraz średniej długości, liczby i masy liści pomiędzy grupami. Należy jednak zaznaczyć, że o ile różnice w przeżywalności roślin pomiędzy grupami nie były istotne, to w połączeniu z innymi cechami główek *A. sativum*, przejawiały się w istotnych różnicach w uzyskanym plonie.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań polowych, można przypuszczać, że warunki klimatyczne obu sezonów wegetacyjnych (w latach 2018/2019 i 2019/2020) nie miały wpływu na wybrane cechy *A. sativum*, ponieważ nie wykazano istotnych różnic w wartościach analizowanych parametrów czosnku pomiędzy sezonami badawczymi, we wszystkich kombinacjach podłoży.

- **określenie wpływu podłoży uprawowych z udziałem wermikompostów na zawartość makro, wybranych mikroelementów i metali ciężkich w biomasie *P. sativum* i *A. sativum***

A.4. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Hajduk E., Kostecka J., Bartkowska I., Butt K.R. 2021. Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*. 11. 919. DOI:10.3390/agriculture11100919.

A.5. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using vermicompost-amended soil as an aspect of sustainable plant production. *Sustainability*. 13. 13557. <https://doi.org/10.3390/su132413557>.

Prowadząc badania dotyczące wpływu wermikompostu wyprodukowanego z odpadowej masy wysłodków buraczanych na wybrane cechy *P. sativum* (A.4.), uznano za

zasadne poddać analizie nadziemne części roślin *P. sativum* w postaci pędów, pod kątem zawartości makro, wybranych mikroelementów i metali ciężkich. Zadanie to podjęto nie tylko w celu stwierdzenia czy rośliny uprawiane w podłożach z różnym dodatkiem wermikompostu będą wykazywały różnice w zawartości makro i mikroelementów, ale również czy mogą stanowić odpowiedni materiał inicjalny do produkcji kolejnych wermikompostów. Ponowny odzysk składników biogenych dla roślin z niezagospodarowanej biomasy organicznej szeroko wpisuje się w ideę koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym, tak ważnej w obecnej gospodarczo-społeczno-środowiskowej sytuacji światowej [Winkler 2011, Murray i in. 2015]. W aspekcie produkcji roślinnej, wspomniana koncepcja zakłada wykorzystanie innowacyjnych technologii w zakresie przyjaznego środowisku zagospodarowania odpadów produkowanych w sektorze rolniczym, jako cennych surowców zawierających np. bogactwo składników pokarmowych dla roślin uprawnych.

Jak wykazano w przedstawianych badaniach, największą zbliżoną ($p > 0,05$) zawartość makroelementów w pędach roślin groszku stwierdzono w grupach z 25 i 50% dodatkiem wermikompostu (V25 i V50) oraz w grupie z podłożem na bazie torfu (GS), natomiast najmniejszą w grupach V10 (10% dodatek wermikompostu) i SL (gleba bez dodatku wermikompostu). Największą różnicę (15%; $p < 0,05$) w zawartości azotu N stwierdzono pomiędzy roślinami z grupy V50, a rosnącymi w podłożu SL, co mogło wynikać nie tylko z różnic w zawartości tego pierwiastka w podłożach uprawowych, ale również z różnic w średniej liczbie wytworzonych brodawek korzeniowych u roślin w poszczególnych grupach (V25, V50 i GS średnio $6,4 \pm 0,1$ brodawek; SL $3,9 \pm 0,48$ brodawek; $p < 0,05$). Biorąc pod uwagę fakt, że rośliny czerpiące azot w wyniku symbiozy z bakteriami brodawkowymi posiadają mniejszą masę systemu korzeniowego, lecz więcej brodawek korzeniowych [Voisin i in. 2002a, Voisin i in. 2002b] oraz to, że rośliny z grupy SL posiadały istotnie krótsze korzenie (o istotnie mniejszej masie, przy jednoczesnej najmniejszej średniej liczbie wyprodukowanych brodawek korzeniowych), dlatego można przypuszczać, że w grupie SL mogło przeważać czerpanie azotu z gleby, w której zawartość tego pierwiastka była najmniejsza.

W omawianych badaniach wykazano również różnice w zawartości P, K, Ca, Mg pomiędzy grupami, gdzie największymi wartościami tych pierwiastków charakteryzowały się rośliny z grup, w których zastosowano 25 i 50% dodatek wermikompostu (V25 i V50) oraz grupa GS. Tekeli i in. [2003] podają, że odpowiednia zawartość K, Ca i Mg w pełnowartościowych roślinach pastewnych mieści się zwykle w zakresie (odpowiednio

1,4-2,5%, 0,8-3,0% i 0,2-1,2%). W niniejszych badaniach, w roślinach z wszystkich grup zawartość K oraz Ca mieściła się w wyżej przedstawionych przedziałach (wyjątkiem był Mg; w grupach SL i V10 zawartość tego pierwiastka była poniżej przedstawionego zakresu i wynosiła odpowiednio $(1654,4 \pm 16,5$ i $1714,7 \pm 17,2$ mg kg⁻¹). W prezentowanych badaniach największą zawartość magnezu w biomase grozku stwierdzono w komercyjnym podłożu do uprawy warzyw GS ($2471,1 \pm 18,6$ mg kg⁻¹), lecz 25 i 50% dodatek wermikompostu do gleby ciężkiej również przyczynił się do zwiększenia zawartości Mg ($2113,3 \pm 24,8$ mg kg⁻¹ dla V25 i $2201,1 \pm 19,7$ mg kg⁻¹ dla V50) w biomase *P. sativum* w porównaniu do grupy kontrolnej SL. Według Amarakoon i in. [2012], groch jest dobrym źródłem cynku i magnezu, ale gorszym źródłem wapnia (według tych badaczy 622-1219 mg kg⁻¹). W przeprowadzonych badaniach zawartość wapnia w biomase *P. sativum* była znacznie większa (dla V25 $23233,5 \pm 29,2$; dla V50 $24202,1 \pm 32,6$ mg kg⁻¹), w porównaniu do zakresu wartości opisywanej cechy przedstawionej przez wyżej wspomnianych autorów.

W prezentowanych badaniach, w biomase *P. sativum* wykazano również istotne różnice w zawartości miedzi i ołowiu pomiędzy grupami V25 i V50 a grupą kontrolną SL. Najmniejszą zawartość miedzi zaobserwowano u roślin uprawianych bez dodatku wermikompostu (SL < V25 i V50 średnio o 28,8% ($p < 0,05$)), co mogło być powiązane z najniższą zawartością tego pierwiastka w glebie (SL < V25 i V50 odpowiednio o 42% i 60% ($p < 0,05$)). Z kolei rośliny uprawiane w glebie bez dodatku wermikompostu (SL), charakteryzowały się większą zawartością ołowiu (SL > V25 i V50 odpowiednio o 27,8% i 34,4% ($p < 0,05$)); co mogło wynikać z większej zawartości tego pierwiastka w glebie ciężkiej SL.

W badaniach dotyczących wpływu wermikompostu wytworzonego z odpadowej masy roślin litoralnych na wybrane cechy czosnku *A. sativum* (A.5.), wykazano istotne różnice w zawartości analizowanych makro, mikroelementów i metali ciężkich w biomase roślin uprawianych w podłożu kontrolnym SL, a *A. sativum* uprawianym w kombinacjach z udziałem wermikompostu (wyjątek stanowiła zawartość kadmu, gdzie nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupami). Największą zawartość większości pierwiastków, wśród kombinacji z udziałem wermikompostu, stwierdzono w roślinach rosnących w podłożu z 50% jego dodatkiem (V50). Pod względem zawartości azotu, fosforu i potasu stwierdzono różnice w kombinacjach: V50 > V10 i V25 (średnio odpowiednio o 17%, 32% i 14%; $p < 0,05$) oraz V50 > SL (odpowiednio o 40%, 90% i 35%; $p < 0,05$). Stwierdzono zbliżoną zawartość wapnia i magnezu w roślinach uprawianych w podłożu z 25 i 50%

dodatkiem wermikompostu (V25 i V50), ale średnio istotnie większą względem grup SL i V10 (różnica odpowiednio o 131% i 22%; $p < 0,05$).

Nie zaobserwowano istotnych różnic w zawartości magnezu, miedzi, cynku i ołowiu w roślinach uprawianych w grupach podłoży z różnym udziałem wermikompostu. Wykazane różnice w zawartości makro i mikroelementów w biomacie czosnku, mogły być spowodowane większą zawartością składników pokarmowych, dostępnych dla roślin w podłożach z większym udziałem wermikompostu. Rizk i in. [2012] stwierdzili, że stosowanie nawożenia N i P w dawkach 90 i 45 kg·ha⁻¹ poskutkowało największą zawartością N, P i K w bulwach cebuli, w porównaniu do niższych dawek nawozowych. Jak podali Bull i in. [2004], ze względu na niską mobilność P w glebie, istotny wpływ na pobieranie tego pierwiastka przez rośliny, ma jego rozmieszczenie w glebie względem korzeni (szczególnie u roślin słabo korzeniących się). W omawianych badaniach, różny dodatek wermikompostu w grupach V10, V25 i V50, nie tylko dostarczył równomiernie rozłożonej zawartości fosforu do podłoża, ale także w różnym stopniu zmieniał strukturę gleby gliniastej. Bull i in. [2004], stwierdzili większą zawartość fosforu w liściach czosnku uprawianego na glebach piaszczystych w porównaniu do roślin rosnących na glebach gliniastych. Diriba-Shiferaw i in. [2014] stwierdzili, że stosowanie dodatkowego nawożenia może mieć istotny wpływ na skład chemiczny główek czosnku, lecz w prowadzonych przez nich badaniach stosowano wyłącznie nawozy nieorganiczne. Z kolei Yoldas i in. [2011] stwierdzili, że nawożenie organiczne w postaci obornika może mieć wpływ na cechy ilościowe i jakościowe *A. sativum*.

- **określenie wpływu konstrukcji wermireaktorów na rozwój populacji dżdżownic *Eisenia fetida* (Sav.) z zachowaniem ich dobrostanu**

A.1. Pączka G., Garczyńska M., Mazur-Pączka A., Podolak A., Szura R., Skoczko I., Kostecka J. 2018. Vermicomposting of sugar beet pulps using *Eisenia fetida* (Sav.) earthworms. *Annual Set The Environment Protection*. 20. 588-601.

A.2. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Podolak A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2019. Using of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) for vermicomposting expansive littoral plants biomass. *Applied Sciences*. 9. 17. 3635. DOI:10.3390/app9173635.

A.3. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2020. Effects of vermireactor modifications on the welfare of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) and properties of vermicomposts. *Agriculture*. 10. 481. DOI:10.3390/agriculture10100481.

Wermikompostowanie jako proces biotechnologiczny, wykorzystuje wybrane gatunki dżdżownic w celu usprawnienia procesu przetwarzania odpadów oraz uzyskania bogatego w składniki pokarmowe dla roślin wermikompostu. Proces ten może nie przebiegać

prawidłowo, jeżeli przetwarzane odpady będą stresogenne dla Lumbricidae i spowodują zanikanie ich populacji. Przeżywalność dżdżownic w wermikulturze, produkcja ich biomasy oraz rozmnażanie się, są najlepszym wskaźnikiem do oceny procesu wermikompostowania [Suthar 2006]. W związku z powyższym podjęto się oceny przydatności rodzaju zastosowanego podłoża ochronnego dla dżdżownic w konstrukcji wermioreaktorów. W doświadczeniu dotyczącym przetwarzania odpadowej masy wysłodków buraka cukrowego w wermioreaktorach, wyposażonych w podłoża ochronne dla dżdżownic (aktywne biologicznie BAGS oraz wysterylizowane SGS) (A.1.), w obu grupach doświadczalnych dżdżownice produkowały kokony. Wykazano jednak, że zastosowane technologie wermikompostowania miały wpływ na liczbę złożonych kokonów. Największe i istotne różnice ($p < 0,05$) pomiędzy grupami BAGS i SGS stwierdzono pomiędzy 10 a 30 dniem trwania doświadczenia. Nie stwierdzono różnic w średniej masie kokonów (wyjątkiem był 10 dzień badań, kiedy stwierdzono różnice istotne ($p < 0,05$) w wartościach omawianej cechy. Bhat i in. [2015] zaobserwowali, że większy udział wysłodków buraka cukrowego w podłożu z obornika bydlęcego, opóźnia dojrzałość płciową dżdżownic *E. fetida* i wpływa negatywnie na ich reprodukcję. Wyraźne różnice pomiędzy zastosowanymi technologiami prowadzenia wermioreaktorów (BAGS i SGS) zaobserwowano również w średniej masie osobników dojrzałych *E. fetida* (BAGS > SGS średnio o 14%). Największe różnice w wartości analizowanej cechy wykazano w 10 tym (18,2%; $p < 0,05$) i 40 tym dniu doświadczenia (17,6%; $p < 0,05$), a to mogło mieć w tym czasie wpływ na tempo przetwarzania wysłodków buraczanych. Suthar (2008) podał, że oprócz jakości odpadowej masy pokarmowej, na reprodukcję i kondycję dżdżownic może wpływać również biomasa drobnoustrojów w podłożu.

W badaniach dotyczących wermikompostowania odpadowej masy roślin litoralnych (A.2.), wykazano względnie ustabilizowane populacje dżdżownic we wszystkich grupach badawczych (grupa (T) – przetwarzany odpad *T. latifolia*, grupa (I) – odpad *I. pseudacorus*, grupa (C) – odpad *C. demersum*), przez okres 70 dni trwania eksperymentu. Po tym okresie jedyną grupą, w której odpad nie został przetworzony, były wermioreaktory z *T. latifolia*, gdzie (między 140 a 175 dniem doświadczenia) stwierdzono istotne obniżenie liczebności osobników dojrzałych *E. fetida* (o 56,9%; $p < 0,05$), osobników młodych (o 60,4%; $p < 0,05$) oraz kokonów (o 59,1%; $p < 0,05$). Analizując średnią sumę biomasy osobników dojrzałych, wykazano zmniejszenie wartości omawianej cechy we wszystkich grupach wermioreaktorów (T, I oraz C). W 70 dniu doświadczenia jej największy ubytek (49%, $p < 0,05$) zaobserwowano w grupie przekształcającej *T. latifolia* (T), w pozostałych grupach

wartość tej cechy obniżyła się również istotnie, lecz nieco mniej dla grupy (I) i (C) (odpowiednio o 40% i 30%; $p < 0.05$). Fakt ten był najprawdopodobniej spowodowany malejącym dostępem do pokarmu [Yadav i Garg 2009, Vig i in. 2011], co w pełni można odnieść do grup (I) i (C), w których po 70 dniach eksperymentu dżdżownice przetworzyły 100% odpadu roślinnego. Niekorzystne zmiany dotyczące wartości omawianej cechy dżdżownic, w wermireaktorach (T), nie były wynikiem braku pożywienia - w tej grupie badawczej doświadczenie przerwano w 210 dniu z powodu wyginięcia wszystkich dżdżownic, przy obecności nie w pełni zmienionego odpadu.

W trakcie procesu unieszkodliwiania odpadów roślin litoralnych, dżdżownice produkowały kokony, z których wykluwały się młode osobniki we wszystkich grupach badawczych. Największą średnią liczebność i sumę biomasy kokonów stwierdzono w 70 tym dniu eksperymentu w grupie (C), gdzie wartości te były większe odpowiednio o 32 i 38% ($p < 0,05$) od pozostałych grup (T) i (I). Największą średnią liczebność, sumę biomasy i biomasę osobników młodych stwierdzono w grupie (I), a najmniejsze ww. wartości cechowały grupę (T).

Jak podaje Suthar [2007] duży wpływ na produkcję kokonów ma zawartość azotu w substracie. Znajduje to odniesienie w niniejszych badaniach, ponieważ podobna liczebność kokonów w 70 dniu doświadczenia w grupach (T) i (I) (odpowiednio $76,25 \pm 17,73$ i $74,50 \pm 17,09$), współzależy ze zbliżoną zawartością azotu w biomacie *T. latifolia* i *I. pseudacorus* (odpowiednio $1334,2 \pm 23,1$ i $1344,7 \pm 13,7$ mg kg⁻¹).

W doświadczeniu (A.3.) podjęto się również oceny przydatności zastosowanego podłoża ochronnego dla dżdżownic w konstrukcji wermireaktorów. Jak pokazały otrzymane wyniki (A.3.), po zastosowaniu czynnika stresującego w postaci ekstraktu z cebuli na populację dżdżownic, średnio 96,2% osobników, w celu uniknięcia jego drażniącego oddziaływania, przemieszczała się do podłoża ochronnego PS. Stwierdzono również 100% przeżywalność dżdżownic (również tych, które nie opuściły przestrzeni oddziaływania ekstraktu z cebuli). W związku z powyższym, można twierdzić, że w przypadku zastosowania niewłaściwie dobranych lub przygotowanych odpadów organicznych w wermikulturze, podłoże ochronne może przyczynić się do ochrony populacji dżdżownic przed wyginięciem.

Analizując kondycję populacji *E. fetida*, w doświadczeniu (A.3.) dotyczącym wermikompostowania odpadowej masy wysłodków buraczanych, populacje dżdżownic rozwijały się w obu grupach wermireaktorów PS (z podłożem ochronnym dla dżdżownic) i NPS (bez podłoża ochronnego). Jednakże zaobserwowano istotne różnice w liczbie

składanych kokonów i liczbie osobników niedojrzałych, pomiędzy zastosowanymi metodami prowadzenia wermireaktorów, przy jednoczesnym braku istotnych różnic w biomase dżdżownic. Największy przyrost liczby produkowanych kokonów, w obu technologiach prowadzenia wermireaktorów, nastąpił pomiędzy 10 a 20 dniem (PS o 81%; $p < 0,05$, NPS o 87%; $p < 0,05$), natomiast największe różnice pomiędzy grupami PS i NPS w wartościach omawianej cechy, stwierdzono od 40 do 60 dnia procesu wermikompostowania (różnica średnio o 31,6%; $p < 0,05$). Średnia produkcja kokonów przez dżdżownice w trakcie prowadzenia doświadczenia wyniosła w grupie PS $2,19 \pm 0,83$, w grupie NPS $1,59 \pm 0,51$ kokon/dżdżownica. Flack i Hartenstein [1984] wykazali, że na produkcję kokonów przez dżdżownice duży wpływ może mieć skład biochemiczny przetwarzanego przez nie odpadu. Analizując cechy ilościowe osobników dojrzałych *E. fetida*, stwierdzono tendencję w kierunku obniżania się ich liczebności (średnio w grupach PS i NPS o 2%; $p > 0,05$), lecz zmiany te nie były istotne i w efekcie prawdopodobnie nie miały wpływu na rozwój populacji Lumbricidae oraz przebieg procesu wermikompostowania. Wykazano również, że w wermireaktorach zawierających podłoże ochronne dla dżdżownic (PS), średnio 72,1% osobników dojrzałych oraz średnio 77,5% młodych przebywa w masie odpadowej wysłodków buraczanych. Natomiast najwięcej kokonów odnajdywano w podłożu ochronnym (średnio 76,7%), co może świadczyć, że zastosowane podłoże ochronne stanowiło odpowiednie miejsce do rozrodu pierścienic.

4.6. Wnioski

1. Konstrukcje wermireaktorów, zastosowane w badaniach nad wermikulturą dżdżownic *Eisenia fetida*, pozwoliły na efektywne przetworzenie większości badanych odpadów roślinnych w nawozy koprolirowe (wermikomposty).
2. Zastosowane odmienne technologie konstrukcji wermireaktorów dla *E. fetida* (z podłożem aktywnym biologicznie / z podłożem wysterylizowanym oraz z podłożem ochronnym / bez podłoża ochronnego), umożliwiły przekształcenie odpadowej masy wysłodków buraka cukrowego w wartościowe pod względem nawozowym wermikomposty.
3. Wykorzystanie wermikultury z użyciem dżdżownic *E. fetida* dało pozytywne efekty w przetwarzaniu odpadowej masy ekspansywnych gatunków roślin litoralnych (*I. pseudacorus* i *C. demersum*) w wartościowe wermikomposty. Proces wermikompostowania *T. latifolia* wymaga kontynuacji badań w celu modyfikacji

sposobu prowadzenia wermikultury dla zwiększenia efektywności i tempa przetwarzania tej masy roślinnej.

4. Wermikomposty wyprodukowane z odpadowej masy wysłodków buraka cukrowego, z zastosowaniem wermireaktorów z różnymi podłożami ochronnymi dla *E. fetida*, charakteryzowały się większą zawartością makroelementów (N, P, K, Ca i Mg) w porównaniu z inicjalną biomasą odpadową.
 - zawartość makroelementów była także istotnie zróżnicowana pomiędzy wermikompostami otrzymanymi w wermireaktorach z podłożem aktywnym biologicznie i z podłożem wysterylizowanym. Wermikomposty wyprodukowane w wermireaktorach z podłożem aktywnym biologicznie zawierały więcej makroelementów w porównaniu z podłożem wyjałowionym.
 - średnie tempo przetwarzania odpadów z wysłodków buraka cukrowego w wermireaktorach z podłożem ochronnym aktywnym biologicznie było znacznie szybsze w porównaniu do podłoża wyjałowionego.
5. Wermikomposty, uzyskane z odpadowej masy wysłodków buraka cukrowego, w wermireaktorach z podłożem ochronnym oraz pozbawionych podłoża ochronnego dla dżdżownic, nie różniły się istotnie pod względem zawartości makro, mikroelementów i metali ciężkich. Zawartość makroelementów (N, P, K, Ca i Mg), mikroelementów (Cu, Zn) i kadmu zwiększyła się w tych wermikompostach w stosunku do inicjalnej masy odpadowej, a odwrotnie kształtowała się zawartość manganu i ołowiu w wermikompostach otrzymanych w wermireaktorach, tak z podłożem ochronnym jak i bez niego.
6. Stwierdzono istotne różnice w zawartości makro, mikroelementów i metali ciężkich pomiędzy biomasą inicjalną, a wermikompostami wyprodukowanymi z ekspansywnych gatunków roślin litoralnych *I. pseudacorus* i *C. demersum* (za wyjątkiem fosforu - *C. demersum*).
 - wykazano zwiększenie zawartości N, K, Ca, Mg, Cu, Zn i Cd, a zmniejszenie zawartości P, Mn i Pb w wermikompostach w stosunku do biomasy inicjalnej roślin litoralnych.
 - wermikomposty uzyskane z tych ekspansywnych roślin (*I. pseudacorus* i *C. demersum*), charakteryzowały się wysoką zawartością składników pokarmowych, przy niskiej zawartości metali ciężkich, co umożliwia ich wykorzystanie w nawożeniu roślin nie tylko ozdobnych, ale także konsumpcyjnych.

7. Vermikomposty wyprodukowane na bazie badanych odpadów roślinnych nie przekraczały dopuszczalnych norm zawartości Cu, Mn, Zn, Cd i Pb, co nie eliminowało ich zastosowania nawozowego w uprawie roślin.
8. Zastosowanie wermikompostu wytworzonego z odpadowej masy wysłodków buraczanych, jako dodatku do gleby ciężkiej, wpłynęło korzystnie na wybrane cechy groszku *P. sativum* (długość i masa łodyg, długość i masa korzeni, liczba brodawek korzeniowych, liczba kwiatów i strąków). Vermikompost ten wpłynął także na większą zawartość makroelementów (N, P, K, Ca, Mg) i miedzi oraz na mniejszą zawartość ołowiu, a nie miał wpływu na zawartość manganu, cynku i kadmu w biomasie groszku.
 - najbardziej optymalną dawką wermikompostu (wyprodukowanego na bazie wysłodków buraka cukrowego) zaaplikowanego do gleby ciężkiej, okazał się dodatek 25%. Taka domieszka wermikompostu pozwoliła na osiągnięcie wartości analizowanych cech *P. sativum*, zbliżonych (o nieistotnej różnicy $p > 0.05$) do cech osiągniętych w grupie roślin, gdzie zastosowano 50% dodatek tego nawozu.
 - wykazano, że 25% dodatek tego wermikompostu do gleby przyczynił się do produkcji roślin *P. sativum* o zbliżonych analizowanych parametrach, jakie otrzymano na podłożu ogrodniczym na bazie torfu (stosowanym zwykle w uprawie warzyw).
 - większa zawartość makroelementów, a zbliżona zawartość mikroelementów i metali ciężkich w pędach groszku uprawianego w podłożach z 25 i 50% dodatkiem wermikompostu, oraz na zbilansowanym podłożu ogrodniczym na bazie torfu, w porównaniu do roślin z pozostałych podłoży, może czynić ich biomasę wartościowym materiałem inicjalnym do produkcji kolejnych wermikompostów (w aspekcie promowania gospodarki o obiegu zamkniętym).
9. Vermikompost wyprodukowany z wysłodków buraka cukrowego może być substytutem dla innych podłoży stosowanych w ogrodnictwie lub rolnictwie w uprawie roślin, w aspekcie dostarczania im składników pokarmowych oraz poprawy struktury i innych właściwości lokalnych gleb mineralnych.
 - odpowiedni dodatek tego wermikompostu do podłoży stosowanych w uprawie roślin, może nie tylko zminimalizować zużycie nawozów nieorganicznych, ale stanowić alternatywę dla dotąd używanego torfu w tworzeniu podłoży uprawowych, przyczyniając się do zmniejszenia eksploatacji torfu, jako cennego zasobu środowiskowego.

10. Dodatek wermikompostu wyprodukowanego z odpadowej masy roślin litoralnych do gleby mineralnej, sklasyfikowanej jako ciężka gliniasta, miał pozytywny wpływ na wybrane cechy czosnku *A. sativum*.
- najkorzystniej wpłynął 50% dodatek wermikompostu na wybrane (ważne z użytkowego punktu widzenia) cechy roślin (średnicę i średnią masę główek, średnią liczbę ząbków w główce i średnią masę ząbków oraz średni plon), a także na zawartość makroelementów (N, P, K, Ca, Mg) mikroelementów (Cu, Mn, Zn) i metali ciężkich (Cd, Pb) w ząbkach czosnku.
 - wykazano, że 50% dodatek wermikompostu wytworzonego z masy roślin litoralnych do gleby, wpłynął istotnie ($p < 0,05$) na większą zawartość makroelementów (N, P, K, Ca i Mg), mikroelementów (Cu, Mn, Zn) i mniejszą zawartość Pb oraz na tendencję do obniżenia Cd, w ząbkach główek czosnku *A. sativum*.
 - nie stwierdzono istotnych różnic względem analizowanych cech w nadziemnych częściach roślin we wszystkich zastosowanych podłożach.
11. Wermikompost wytworzony z odpadowej masy roślin litoralnych, może być wykorzystywany w ogrodnictwie lub rolnictwie do uprawy roślin, w aspekcie dostarczania im składników pokarmowych, jak i w celu poprawy struktury i właściwości gleb ciężkich.
12. Podczas przetwarzania odpadu w wermioreaktorach zawierających podłoża ochronne dla dżdżownic (aktywne biologicznie i wysterylizowane), stwierdzono tendencję do zmniejszenia liczebności ($p > 0,05$) dżdżownic oraz istotne ($p < 0,05$) różnice w średniej masie osobników stosowanych w odmiennych technologiach.
- dżdżownice rozmnażały się, o czym świadczy średnia liczba składanych kokonów, która zwiększała się istotnie w trakcie trwania doświadczenia w obu technologiach (podłoże aktywne biologicznie i wysterylizowane).
13. Podczas wermikompostowania ekspansywnych roślin litoralnych, do 70 dnia doświadczenia stwierdzono utrzymywanie się populacji dżdżownic, przy niewielkich ubytkach ich liczebności (średnio 6%, $p > 0,05$), a od 35 dnia dżdżownice istotnie traciły biomasa. Największy ubytek średniej sumy biomasy (o 49%, $p < 0,05$) zaobserwowano w grupie dżdżownic przekształcających odpadową masę *T. latifolia*.
- wykazano, że populacje dżdżownic *E. fetida* rozmnażały się we wszystkich typach wermioreaktorów. Największą średnią liczbę i sumę biomasy kokonów stwierdzono w grupie dżdżownic przetwarzających *C. demersum* (wartości te były większe

odpowiednio o 32 i 38%; $p < 0,05$, od wartości analizowanych cech kokonów w pozostałych grupach badawczych).

- populacje dżdżownic *E. fetida* rozwijały się zarówno w wermireaktorach z podłożem ochronnym dla dżdżownic i w wermireaktorach bez podłoża ochronnego.
14. Zastosowanie wermireaktorów z podłożami ochronnymi w wermikompostowaniu badanej odpadowej biomasy roślinnej, wpłynęło na stabilizację rozwoju populacji dżdżownic *E. fetida*.
- wykazano, że zastosowanie technologii z podłożem ochronnym może zapobiec zanikaniu populacji dżdżownic, a także korzystnie wpłynąć na ich reprodukcję, a tym samym na rozwój ich populacji.
15. Największe różnice pomiędzy populacjami *E. fetida* w wermireaktorach z podłożem ochronnym i bez podłoża ochronnego wykazano w 40 i 50 dniu procesu przetwarzania biomasy odpadowej, względem liczebności osobników młodych oraz kokonów. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy grupami w biomasie osobników młodych i kokonów *E. fetida*.

4.7. Bibliografia

1. Alam A. 2014. Soil degradation: a challenge to sustainable agriculture. International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences. 1. 50-55. doi: 10.12983/ijrsas-2014-p0050-0055
2. Abrahams P. 2002. Soils: Their implications to human health. Science of the Total Environment. 291. 1-32.
3. Ali M.A., Ali A., Ahmad M.I., Hassan S.W., Khan S.R., Abid A.A. 2014. Phosphorus effects on growth and yield parameters of mungbean. Science International. 26. 4. 1821-1824.
4. Amarakoon D., Thavarajah D., Mcphee K., Thavarajah P. 2012. Iron-, zinc-, and magnesium -rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. Journal of Food Composition and Analysis. 27. 1. 8-13. doi:10.1016/j.jfca.2012.05.007
5. Arancon N.Q., Edwards C.A., Bierman P., Metzger J.D., Lucht Ch. 2005. Effect of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia. 49. 297-306. doi:10.1016/j.pedobi.2005.02.001
6. Arancon N.Q., Edwards C.A., Bierman P., Welch C., Metzger J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology. 93. 2. 145-153. doi:10.1016/j.biortech.2003.10.014
7. Arisha H.M., Bradisi A. 1999. Effect of mineral fertilizers and organic fertilizers on growth, yield and quality of potato under sandy soil conditions. Zagazig Journal of Agricultural Research. 26. 391-405.

8. Atiyeh R.M., Arancon N., Edwards C.A., Metzger J.D. 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*. 75. 3. 175-180. doi:10.1016/S0960-8524(00)00064-X
9. Babatunde F.E., Mofoke A.L.E., Udom G.N., Mohammed G.U. 2009. Influence of nutrient source on the elemental composition of irrigated garlic. *Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension*. 8. 1. 45-50. doi: 10.4314/as.v8i1.44113
10. Bachman G.R., Metzger J.D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*. 99. 3155-3161. doi:10.1016/j.biortech.2007.05.069
11. Bahadur A., Manohar R.K. 2001. Response of okra to biofertilizers. *Journal of Vegetation Science*. 28. 197-198.
12. Bhat S.A., Singh J., Vig A.P. 2015. Vermistabilization of sugar beet (*Beta vulgaris* L) waste produced from sugar factory using earthworm *Eisenia fetida*: genotoxic assessment by *Allium cepa* test. *Environmental Science and Pollution Research*. 22. 15. 11236-11254. doi: 10.1007/s11356-015- 4302-4
13. Bhat S.A., Singh J., Vig A.P. 2016. Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of pressmud sludge mixed with cattle dung mixture. *Procedia Environmental Sciences*. 35. 425-434. doi:10.1016/j.proenv.2016.07.025.
14. Bull L.T., Costa M.C.G., Novello A., Fernandes D.M., Boas R.L.V. 2004. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Scientia Agricola*. 61. 5. 516-521. doi:10.1590/S0103-90162004000500009
15. Castillo J. M., Romero E., Nogales R. 2013. Dynamics of microbial communities related to biochemical parameters during vermicomposting and maturation of agroindustrial lignocellulose wastes. *Bioresource Technology*. 146. 345-354. doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.093
16. Dauda S.N., Ajayi F.A., Ndor E. 2008. Growth and yield of water melon (*Citrullus lanatus*) as affected by poultry manure application. *Journal of Agriculture and Social Sciences*. 4. 121-124.
17. Diriba-Shiferaw G., Nigussie-Dechassa R., Woldetsadik K., Tabor G., Sharma J.J. 2014. Bulb quality of Garlic (*Allium sativum* L.) as influenced by the application of inorganic fertilizers. *African Journal of Agricultural Research*. 9. 778-790. doi:10.5897/AJAR2013.7723
18. Diriba-Shiferaw G., Nigussie-Dechassa R., Woldetsadik K., Tabor G., Sharma J.J. 2015. Effect of nitrogen, phosphorus, and sulphur fertilizers on growth yield, and economic returns of garlic (*Allium sativum* L.). *Science, Technology and Arts Research Journal*. 4. 2. 10-22. doi:10.4314/star.v4i2.2
19. Edwards C.A. 1998. The use of earthworms in the break down and management of organic waste. In: *Earthworm ecology*. Edwards, C.A., Eds. CRC Press LLC: Florida. USA. pp. 327-354.
20. Edwards C.A., Burrows I. 1988. The potential of earthworms composts as plant growth media. In: *Earthworms in Waste and Environmental Management*; Edwards C.A., Neuhauser E.F., Eds. SPB Academic Publishing: The Hague. The Netherlands. pp. 21-32.
21. Flack F.M., Hartenstein R. 1984. Growth of the earthworm *Eisenia fetida* on microorganisms and cellulose. *Soil Biology and Biochemistry*. 16. 491-495.
22. Graca M.A.S., Hyde K., Chauvet E. 2016. Aquatic hyphomycetes and litter decomposition in tropical-subtropical low order streams. *Fungal Ecology*. 19. 182-189. doi:10.1016/j.funeco.2015.08.001

23. Grapelli A., Tomati U., Galli E., Vergari B. 1985. Earthworm casting in plant propagation. *HortScience*. 20, 874-876.
24. Hait S., Tare V. 2012. Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting-vermicomposting of sewage sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 79. 214-224, doi:10.1016/j.ecoenv.2012.01.004.
25. Hanc A., Dreslova M. 2016. Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions. *Bioresource Technology*. 217. 186-189. doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.058
26. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilizers. Annex 2 Compost quality definition – legislation and standards. *Env.a.2./etu/2001/0024*. [Online http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_annex2.pdf] (accessed 07.08.2020).
27. Hepler P.K., Vidali L., Cheung A.Y. 2001. Polarized cell growth in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 17. 159-187. doi:10.1146/annurev.cellbio.17.1.159.
28. Hewidy M., Sultan W., Elsayed M., Abdrabbo M. 2014. Conventional basil production in different growing media of compost, vermicompost or peat-moss with loamy soil. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 6. 2. 82-89. doi:10.5829/idosi.jhsop.2014.6.2.1141
29. Hu W., Coomer T.D., Loka D.A., Oosterhuis D.M., Zhou Z. 2017. Potassium deficiency affects the carbon-nitrogen balance in cotton leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*. 115. 408-417. doi:10.1016/j.plaphy.2017.04.005
30. Huang K., Li F., Wei Y., Chen X., Fu X. 2013. Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 150. 235-241. doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.006
31. Kalra N., Joshi H.C., Chaudhary A., Choudhary R., Sharma S.K. 1997. Impact of flyash incorporation in soil on germination of crops. *Bioresource Technology*. 61. 39-41. doi:10.1016/S0960-8524(97)84696-2
32. Kenea F.T., Gedamu F. 2019. Effect of vermicompost on growth, quality and economic return of garlic (*Allium sativum* L.) at Haramaya District, Eastern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 14. 35. 2159-2167. doi:10.5897/AJAR2017.12760
33. Kopeć A., Piątkowska E., Leszczyńska T., Sikora E. 2013. Healthy properties of Garlic. *Current Nutrition and Food Science*. 9. 1. 59-64.
34. Lal R. 2009. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*. 1. 45-57.
35. Li L., Xu Z., Wu J., Tian G. 2010. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. *Bioresource Technology*. 101. 3430-3436. doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.085
36. Molina M. J., Soriano M.D., Ingelmo F., Llinares J. 2013. Stabilisation of sewage sludge and vinasse bio-wastes by vermicomposting with rabbit manure using *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*. 137. 88-97. doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.029
37. Montanarella L. 2007. Trends in land degradation in Europe. In: *Climate and Land Degradation*. Sivakumar, M.V.K., Ndiangui N., Eds. Environmental Science and Engineering. Springer: Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-540-72438-4_5
38. Mueller L., Tille P., Kretschmer H. 1990. Trafficability and workability of alluvial clay soils in response to drainage status. *Soil and Tillage Research*. 16. 3. 273-287. doi:10.1016/0167-1987(90)90101-I
39. Mupambwa H.A., Mnkeni P.N.S. 2018. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic

- fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 25. 10577-10595. doi:10.1007/s11356-018-1328-4
40. Murray M., Skene K., Haynes K. 2015. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*. 140. 3. 369-380. doi:10.1007/s10551-015-2693-2
 41. Ndegwa P.M., Thompson S.S. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*. 76. 107-112. doi:10.1016/S0960-8524(00)00104-8
 42. Negi R., Suthar S. 2018. Degradation of paper mill wastewater sludge and cow dung by brown-rot fungi *Oligoporus placenta* and earthworm (*Eisenia fetida*) during vermicomposting. *Journal of Cleaner Production*. 201. 842-852. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.068
 43. Oosterhuis D., Loka D., Kawakami E., Pettigrew W. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Advances in Agronomy*. 126. 203-234. doi:10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1
 44. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. The soil and plants method of analysis and evaluation; IOS Publishing: Warsaw, Poland. 1991. p. 334.
 45. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Podolak A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2019. Using of earthworms *Eisenia fetida* (Sav.) for vermicomposting expansive littoral plants biomass. *Applied Sciences*. 9. 17. 3635. doi.org/10.3390/app9173635.
 46. Rahman S.A. 2004. The place of organic manure in sustaining agricultural development in Nigeria. Paper presented at Science Technology and Society National Workshop in Lafia, Nasarawa State. 11th July 2004.
 47. Ravindran B., Sang R., Soon Woong C., Dinh N., Woo J.C., Balamuralikrishnan B., Mupambwa H.A., Mariadhas V.A., Naif A., Ganesan S. 2019. Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. *Journal of Environmental Management*. 234. 154-158. doi:10.1016/j.jenvman.2018.12.100
 48. Reddy M.V. 1986. The effect of casts of *Pheretima alexandri* (Beddard) on the growth of *Vinca rosea* and *Oryza sativa* L. In: *Earthworms in Waste and Environmental Management* SPB. Edwards C.A., Neuhauser E. Eds. Academic Press: The Hague. The Netherlands. pp. 241-248.
 49. Rizk F.A., Shaheen A.M., El-Samad E.H.A., Sawan O.M. 2012. Effect of different nitrogen plus phosphorus and sulphur fertilizer levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Applied Sciences Research*. 8. 7. 3353-3361.
 50. Robinson D., Emmett B., Reynolds B., Rowe E., Spurgeon D., Keith A., Lebron I., Hockley N., Hester R., Harrison R. 2012. Soil natural capital and ecosystem service delivery in a world of global soil change. *Soils Food Security*. 35. 41-68.
 51. Roper H. 2002. Renewable raw materials in Europe-industrial utilisation of starch and sugar. *Starch/Starke*. 54. 89-99. doi: 10.1002/1521-379X(200204)54:3/4<89::AID-STAR89>3.0.CO;2-I
 52. Rotaru V., Sinclair T.R. 2009. Interactive influence of phosphorus and iron on nitrogen fixation by soybean. *Environmental and Experimental Botany*. 66. 94-99. doi:10.1016/j.envexpbot.2008.12.001
 53. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 19 stycznia 2005 w sprawie materiałów paszowych przeznaczonych do obrotu (Dz. U. Nr 16, poz. 137).
 54. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2014 r. poz. 1923)
 55. Rozporządzenie WE 183/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 stycznia 2005 r. ustanawiające wymagania dotyczące higieny pasz.

56. Sachin A.J., Bhalerao P.P., Patil S.J. 2017. Effect of organic and inorganic sources of nitrogen on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) var. GG-4. International Journal of Chemical Studies. 5. 4. 559-562.
57. Saeed M., Akram H.M., Iqbal M.S., Yar A., Ali A. 2004. Impact of fertilizer on the seed yield of chick pea genotypes. International Journal of Agriculture and Biology. 6. 1. 108-109.
58. Sarkka L., Makila J., Thvonon R., Reinikainen O., Herrnanen M. 2004. Different peat types as grown media for greenhouse cut rose and tomato- preliminary trials. Acta Horticulturae. 644. 189-92. doi:10.17660/ActaHortic.2004.644.24
59. Senesi N. 1989. Composted materials as organic fertilizers. Science of the Total Environment. 81. 82. 521-524.
60. Sharma K., Garg V.K. 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). Bioresource Technology. 250. 708-715. doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101
61. Sharma K., Garg V.K. 2019. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. Environmental Science and Pollution Research. 26. 14024-14035. doi.org/10.1007/s11356-019-04639-8
62. Singer M.J., Warkentin B.P. 1996. Soil in an environmental context: An American perspective. Catena. 27. 179-189.
63. Singh R.D., Sharma R.R., Kumar S., Gupta R.K., Patil R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Bioresource Technology. 99. 17. 8507-8511. doi:10.1016/j.biortech.2008.03.034
64. Sinha R.K., Bharambe G., Chaudhari U. 2008. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: A low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. Environmentalist. 28. 409-420. doi:10.1007/s10669-008-9162-8
65. Sonia V., Felix S., Antony C. 2016. Comparative study of growth and reproduction of earthworm *Eudrilus eugeniae* in different organic substrate. International Journal of Applied Science and Research. 4. 1. 2455-4499. doi.org/10.21013/jas.v4.n1.p7
66. Stewart M.W., Dibb W.D., Johnston E.A., Smyth J.T. 2005. The contribution of commercial fertilizernutrients to food production. Agronomy Journal. 97. 1-6. doi:10.2134/agronj2005.0001
67. Suthar S. 2008. Bioconversion of post-harvest residues and cattle shed manure into value added products using earthworm *Eudrilus eugeniae*. Ecological Engineering. 32. 206-214. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.11.002
68. Suthar S. 2007. Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials. Bioresource Technology. 98. 1231-1237.
69. Suthar S. 2006. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. Bioresource Technology. 97. 2474-2477. doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.018
70. Talashilkar S.C., Bhangarath P.P., Mehta V.B. 1999. Changes in chemical properties during composting of organic residues as influenced by earthworm activity. Journal of the Indian Society of Soil Science. 47. 50-53.
71. Tekeli A.S., Avcioglu R., Ates E. 2003. Changes in some morphological and chemical properties of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) in relation to time and aboveground biomass. Journal of Agricultural Sciences. 9. 352-360.
72. Tesfaye M., Liu J., Allan D.L., Vance C.P. 2007. Genomic and genetic control of phosphate stress in legumes. Plant Physiology. 144. 594-603. doi:10.1104/pp.107.097386

73. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418. 671-677. doi.org/10.1038/nature01014
74. Tomati U., Galli E., Grappelli A., Dihena G. 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings. *Biology and Fertility of Soils*. 9. 288-289.
75. Tränkner M., Tavakol E., Jákli B. 2018. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Plant Physiology*. 163. 414-431. doi: 10.1111/pp1.12747
76. Vig A.P., Singh J., Wani S.H., Dhaliwal S.S. 2011. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bioresource Technology*. 102. 7941-7945. doi:10.1016/j.biortech.2011.05.056
77. Voisin A.S., Salon C., Munier-Jolain N.G., Ney B. 2002. Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil*. 242. 251-262. doi:10.1023/A:1016214223900
78. Voisin A.S., Salon C., Munier-Jolain N.G., Ney B. 2002. Quantitative effect of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil*. 243. 31-42. doi:10.1023/A:1019966207970
79. Wiatr K. 2001. Rośliny strączkowe 2001-2003. Synteza wyników doświadczeń odmianowych rejestru. COBORU Słupia Wielka.
80. Winkler H. 2011. Closed-loop production systems - A sustainable supply chain approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 4. 3. 243-246. doi:10.1016/j.cirpj.2011.05.001
81. Xie D., Wu W., Hao X., Jiang D., Li X., Bai L. 2016. Vermicomposting of sludge from animal wastewater treatment plant mixed with cow dung or swine manure using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*. 23. 8. 7767-7775. doi.org/10.1007/s11356-015-5928-y
82. Yadav A., Garg V.K. 2009. Feasibility of nutrient recovery from industrial sludge by vermicomposting technology. *Journal of Hazardous Materials*. 168. 262-268.
83. Yoldas F., Ceylan S., Mordogan N., Esetlili B.C. 2011. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Biotechnology*. 10. 55. 11488-11492. doi:10.5897/AJB10.2535
84. Zaller J.G. 2007. Vermicompost In seedling potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *European Journal of Soil Biology*. 43. Suppl. 1. 332-336. doi:10.1016/j.ejsobi.2007.08.020
85. Zhou X.H., He Z.L., Ding F.H., Li L.G., Stoffella P.J. 2018. Biomass decaying and elemental release of aquatic macrophyte detritus in waterways of the Indian River Lagoon basin, South Florida, USA. *Science of the Total Environment*. 635. 878-891. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.047.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, a w szczególności zagranicznej

W trakcie pracy zawodowej na Uniwersytecie Rzeszowskim, podjąłem współpracę zewnętrzną zagraniczną z dr. Kevin R. Butt reprezentującym brytyjską Earthworm Research Group (ERG) oraz School of Forensic and Applied Sciences University of Central Lancashire w Preston, Anglia. Owa współpraca została podjęta na bazie wieloletnich

(zapoczątkowanych w latach 90-tych ubiegłego wieku) kontaktów badawczych pomiędzy ośrodkami, których inicjatorką ze strony polskiej była Pani prof. dr hab. Joanna Kostecka (obecnie koordynatorka działań po stronie UR). Natomiast ścisłą kooperację naukową (związaną z technologią prowadzenia wermikultury oraz optymalizacją produkcji i wykorzystania nawozowego wermikompostów) z dr. K.R. Butt, rozpocząłem od odbycia trzymiesięcznego stażu naukowego (28 czerwiec 2018 – 30 wrzesień 2018) w School of Forensic and Applied Sciences University of Central Lancashire w Preston (załącznik 3.C.). W trakcie wspomnianego stażu zapoznałem się z technikami badawczymi związanymi z hodowlą dżdżownic oraz pobieraniem prób polowych, stosowanymi przez ERG. W szczególności byłem zaangażowany (zgodnie z własną tematyką badawczą) w:

- poszukiwanie metod optymalizacji procesu wermikompostowania wybranych odpadów organicznych;
- pogłębienie wiedzy na temat biologii i ekologii wybranych gatunków Lumbricidae wykorzystywanych w wermikulturze,
- uczestnictwo w badaniach terenowych dotyczących zgrupowań Lumbricidae jako bioindykatorów ekosystemów glebowych.

Efektom współpracy obu grup naukowych jest opublikowanie w latach 2019-2021 ośmiu publikacji z listy *Journal Citation Reports* (JCR). Publikacje te zostały wyszczególnione w **załącznikach 3 i 4**. Cztery z tych manuskryptów wchodzi w skład mojego jednotematycznego cyklu publikacji (załącznik 3; **A.2.**, **A.3.**, **A.4.**, **A.5.**). Natomiast kolejne opracowania naukowe są na zaawansowanych etapach.

W ramach współpracy naukowo-organizacyjnej (polsko-brytyjskiej) brałem udział w organizacji dwóch konferencji naukowych:

1. Isle of Rum Earthworm Conference, 26th - 28th May 2014, Scotland, gdzie przedstawiałem referat nt. „Chosen aspects of vermicomposting of littoral plant biomass”.
2. Bieszczady Earthworm Conference, 2-4 wrzesień 2018, Ustrzyki Górne, Poland, przedstawiany przeze mnie referat: „Effect of vermireactor’s modifications on the welfare of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) and the efficiency of vermicomposting of selected organic waste”.

Kolejną zewnętrzną współpracę naukową podjąłem z Politechniką Białostocką; Katedrą Wodociągów i Kanalizacji na Wydziale Budownictwa i Nauk o Środowisku (wcześniej Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska) (załącznik 3.B.). W latach 2017-2018 odbyłem kilka krótkoterminowych pobytów w tej Jednostce, podczas których,

prezentowałem studentom praktyczne założenia przetwarzania wybranych odpadów organicznych w vermikulturze oraz obserwowałem realizację lokalnie prowadzonych eksperymentów z zakresu inżynierii środowiska. Wymiana doświadczeń i udział w roboczych spotkaniach dotyczących interpretacji uzyskiwanych wyników, zaowocowały moim udziałem w konferencji organizowanej przez Politechnikę Białostocką – I International and XIX National Conference of the cycle: Problems of the Environmental Engineering in Agricultural and Industrial Regions, która odbyła się w dniach 24-27 czerwca 2018 r. w Białowieży, gdzie prezentowałem poster nt. „Vermicomposting of sugar beet pulps using *Eisenia fetida* (Sav.) earthworms”. Rezultatem naszych wspólnych działań naukowych stało się wydanie dwóch manuskryptów wchodzących w skład mojego jednotematycznego cyklu publikacji (załącznik 3; A.1., A.4.). W publikacji A.4. afiliuję dwie jednostki uczelniane: Uniwersytet Rzeszowski oraz Politechnikę Białostocką.

Współpraca między naszymi ośrodkami jest stale kontynuowana, między innymi poprzez udział przedstawicieli Politechniki Białostockiej w cyklicznych konferencjach naukowych organizowanych na Uniwersytecie Rzeszowskim pt: „Retardacja przekształcania zasobów środowiska. Osiągnięcia, problemy, perspektywy”, czy poprzez współpracę w ramach działań Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej. Prowadzone są również prace nad wspólnym projektem badawczym dotyczącym wypracowania optymalnych metod przetwarzania osadów ściekowych w możliwy do gospodarczego wykorzystania wermikompost.

Istotnym elementem w rozwoju mojego warsztatu badawczego dotyczącego technologii prowadzenia vermikultury oraz produkcji i nawozowego wykorzystania wermikompostów, była odbyta przeze mnie w 2014 roku (wraz z członkami naszej grupy badawczej z UR) wizyta studyjna w Guru Jambheshwar University of Science and Technology w Indiach (osoba przyjmująca prof. Vinod Kumar Garg). W trakcie wizyty prezentowałem wstępne, pionierskie wyniki badań nad możliwością przetwarzania wybranych gatunków ekspansywnej flory strefy litoralnej zbiorników wodnych w wermikompost o znaczeniu nawozowym w uprawie roślin. Podczas wizyty zapoznałem się również z aktualnymi metodami przetwarzania wybranych odpadów organicznych stosowanymi na skalę przemysłową, w specyficznych warunkach indyjskich. Uczestniczyłem również w wizytacjach gospodarstw rolnych, dla których specyfiką była uprawa roślinna oparta na wyłącznym nawożeniu wermikompostami.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

W ramach działalności dydaktycznej prowadzę wykłady i ćwiczenia na studiach I stopnia na kierunkach: Rolnictwo, Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami , Architektura krajobrazu, Ochrona środowiska oraz Agroleśnictwo

Kolegium Nauk Przyrodniczych; Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska (wcześniej Wydział Biologiczno-Rolniczy)

Wykłady:

Kierunek: Rolnictwo

- Ochrona środowiska
- Przyrodnicze podstawy rolnictwa

Kierunek: Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami

- Podstawy sozologii
- Ocena oddziaływania OZEiGO na środowisko

Kierunek: Ochrona środowiska

- Problemy ekonomiczne w ochronie środowiska

Kierunek: Architektura krajobrazu

- Podstawy ekologii
- Parki krajobrazowe
- Szata roślinna i fauna

Kierunek: Agroleśnictwo

- Flora lasu

Ćwiczenia laboratoryjne:

Kierunek: Rolnictwo

- Ochrona środowiska
- Przyrodnicze podstawy rolnictwa

Kierunek: Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami

- Podstawy sozologii

- Gospodarka odpadami
- Ocena oddziaływania OZEiGO na środowisko
- Zrównoważony rozwój

Kierunek: Architektura krajobrazu

- Podstawy ekologii
- Parki krajobrazowe
- Szata roślinna i fauna
- Seminarium inżynierskie

Kierunek: Agroleśnictwo

- Flora lasu

Promotorstwo i recenzje prac magisterskich

W latach 2013-2021 byłem promotorem **10 prac magisterskich** oraz recenzentem **9** prac realizowanych przez studentów Wydziału Biologiczno-Rolniczego (obecnie Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska) na kierunkach:

- Rolnictwo
- Ochrona środowiska
- Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami

Prace magisterskie zrealizowane pod moją opieką na kierunku **Rolnictwo**:

1. Problemy gospodarki odpadami organicznymi na terenach użytkowanych rolniczo (2013)
2. Problemy gospodarki odpadami w obszarze zbiorników wodnych (2013)

Prace magisterskie zrealizowane pod moją opieką na kierunku **Ochrona środowiska**:

1. Wpływ formalinowej metody wypłaszania dżdżownic na wybrane cechy *Eisenia fetida* i *Dendrobaena veneta* w warunkach laboratoryjnych (2014)
2. Wpływ próśrodowiskowej metody wypłaszania dżdżownic na wybrane cechy *Eisenia fetida* i *Dendrobaena veneta* w warunkach laboratoryjnych (2014)
3. Wpływ wybranego stresora środowiskowego na dżdżownice *Eisenia fetida* (Sav.) w warunkach laboratoryjnych (2016)
4. Badania laboratoryjne nad oddziaływaniem wybranego ekstraktu roślinnego na dżdżownice *Eisenia fetida* (Sav. 1826) (2016)
5. Wpływ stresora środowiskowego na wybrane cechy dżdżownic *Eisenia fetida* (Sav.) w warunkach laboratoryjnych (2017)
6. Wpływ próśrodowiskowej metody wypłaszania dżdżownic na wybrane cechy *Eisenia fetida* (Sav.) w warunkach laboratoryjnych (2017)

Prace magisterskie zrealizowane pod moją opieką na kierunku **Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami:**

1. Możliwości unieszkodliwiania wybranej frakcji odpadów komunalnych przy użyciu wermikultury (2021)
2. Możliwości wykorzystania technologii wermikompostowania w prośrodowiskowym zagospodarowaniu wybranych odpadów organicznych (2021)

Recenzje prac magisterskich zrealizowanych na kierunku **Rolnictwo:**

1. Rozmnażanie dżdżownic *Dendrobaena veneta* (Rosa 1886) w kontakcie z insektycydami (2012)
2. Wpływ ksenobiotyków na dżdżownice. Reakcja dżdżownic na ochronę chemiczną przeciwko ziemiorkom (2012)
3. Ogród naturalistyczny a zachowanie bioróżnorodności (2013)
4. Mała architektura ogrodowa a zrównoważony rozwój – wybrane zagadnienia (2013)
5. Chów dżdżownic z gatunku *Dendrobaena veneta* Rosa – modyfikacje warunków (2015)

Recenzje prac magisterskich zrealizowanych na kierunku **Ochrona środowiska:**

1. Praktyczne aspekty stosowania retardacji przekształcania zasobów przyrody (2013)
2. Wybrane aspekty funkcjonowania systemu gospodarki odpadami komunalnymi (2013)
3. Elementy wstępnej oceny porównania unieszkodliwiania frakcji podsitowej odpadów komunalnych metodą kompostowania i wermikompostowania (2013)
4. Zrównoważony rozwój – badanie wybranych problemów (2017)

Promotorstwo i recenzje prac inżynierskich

W latach 2014-2021 byłem promotorem **9 prac inżynierskich** oraz recenzentem **10** prac realizowanych przez studentów Wydziału Biologiczno-Rolniczego (obecnie Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska) na kierunkach:

- Rolnictwo
- Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami

Prace inżynierskie zrealizowane pod moją opieką na kierunku **Rolnictwo:**

1. Problemy eutrofizacji zbiorników wodnych (2014)
2. Odpady organiczne w obszarach wiejskich, możliwości ich prośrodowiskowego unieszkodliwiania (2014)
3. Straty w rolniczej przestrzeni produkcyjnej powodowane przez wybrane gatunki zwierząt dziko żyjących (2019)
4. Możliwości zagospodarowania wybranych odpadów organicznych na terenach użytkowanych rolniczo (2021)
5. Możliwości wykorzystania wermikultury do przetwarzania wybranych odpadów organicznych na terenach wiejskich (2021)

Prace inżynierskie zrealizowane pod moją opieką na kierunku **Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami:**

1. Unieszkodliwianie wybranych odpadów organicznych przy użyciu wermireaktorów (2020)
2. Struktura ilościowa wybranych odpadów organicznych a proces ich przetwarzania w wermikulturze (2020)
3. Wpływ struktury ilościowej wybranych odpadów organicznych na proces ich przetwarzania w wermireaktorach (2021)
4. Przetwarzanie wybranych odpadów organicznych w wermikulturze (2021)

Recenzje prac inżynierskich zrealizowanych na kierunku **Rolnictwo:**

1. Zrównoważony rozwój – wybrane aspekty świadomości ekologicznej mieszkańców obszarów wiejskich (2012)
2. Analiza wybranych form antropopresji i ich ograniczania (2012)
3. Odpady niebezpieczne w obszarach wiejskich (2014)
4. Odpady organiczne w obszarach wiejskich (2014)
5. Wybrane aspekty gospodarowania ZSEE (2014)
6. *Eisenia fetida* Sav. (1826) w wermikompostowaniu niekonwencjonalnych odpadów biodegradowalnych (2021)
7. *Dendrobaena veneta* (Rosa 1893) w wermikompostowaniu niekonwencjonalnych odpadów biodegradowalnych (2021)

Recenzje prac inżynierskich zrealizowanych na kierunku **Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami:**

1. Wermikompostowanie jako prośrodowiskowa metoda unieszkodliwiania wybranego materiału roślinnego (2020)
2. Prośrodowiskowe zagospodarowanie odpadów pochodzenia roślinnego (2020)
3. Charakterystyka Lumbricidae w uprawie rzepaku (*Brassica napus* L.) na cele energetyczne (2021)

Promotorstwo prac licencjackich

W 2015 roku byłem promotorem **2 prac licencjackich** realizowanych przez studentów Wydziału Biologiczno-Rolniczego (obecnie Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska) na kierunku **Ochrona środowiska:**

1. Możliwości zagospodarowywania odpadów organicznych z obszarów wiejskich
2. Możliwości prośrodowiskowego unieszkodliwiania odpadów organicznych z produkcji rolnej

6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę

- Członek komisji rekrutacyjnej; Kolegium Nauk Przyrodniczych; Kolegialny Zespół Rekrutacyjny do przetwarzania danych osobowych w zakresie niezbędnym do prawidłowego przebiegu procesu rekrutacji w roku akademickim 2019/2020
- Członek Rady Instytutu Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska (w kadencji 2020-2024)

- Współprowadzenie sesji referatowej i posterowej w ramach studenckich konferencji naukowych:
 - III Konferencja Naukowa pt. „Dekada różnorodności biologicznej” 05.12.2017, Wydział Biologiczno-Rolniczy, Uniwersytet Rzeszowski (dodatkowo publikacja ze studentami: Krempa M., Miazga N., Garczyńska M., **Pączka G.** 2018. Gospodarowanie odpadami a różnorodność biologiczna. Polish Journal for Sustainable Development. 22. 1. 47-54)
 - I Konferencja Naukowa pt. „Perspektywy dla odnawialnych źródeł energii i gospodarki odpadami” 21.11.2018, Wydział Biologiczno-Rolniczy, Uniwersytet Rzeszowski (dodatkowo publikacja ze studentami: Janora K.J., Garczyńska M., **Pączka G.** 2018. Badanie świadomości prośrodowiskowej studentów na podstawie wybranych elementów gospodarki odpadami. Polish Journal for Sustainable Development. 22. 2. 77-34)
 - II Konferencja Naukowa pt. „Perspektywy dla odnawialnych źródeł energii i gospodarki odpadami” 19.11.2021, Kolegium Nauk Przyrodniczych; Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rzeszowski
- Udział w tworzeniu nowego kierunku studiów – Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami; Wydział Biologiczno-Rolniczy, Uniwersytet Rzeszowski.
- Udział w działalności **Komitetu Okręgowego Olimpiady Biologicznej w Rzeszowie** (załącznik 3.D.) – w latach 2003-2016 współorganizowałem i współprowadziłem na Wydziale Biologiczno-Rolniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego coroczne eliminacje okręgowe Olimpiady Biologicznej dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych Podkarpacia. Natomiast w latach 2004-2016 współorganizowałem i aktywnie uczestniczyłem w warsztatach metodycznych skierowanych do nauczycieli szkół ponadgimnazjalnych Podkarpacia.
- W ramach działalności Komitetu Okręgowego Olimpiady Biologicznej w Rzeszowie, w latach 2004-2005 współorganizowałem, a w latach 2006-2016 współorganizowałem i aktywnie uczestniczyłem w corocznych Konferencjach i Warsztatach skierowanych dla uczniów i nauczycieli szkół ponadgimnazjalnych Podkarpacia:
 - IV Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 21-23 marca 2006, Rzeszów-Krosno-Przemyśl, **referat:** Wskaźniki biocenotyczne. Jak opracowywać i prezentować wyniki badań (**G. Pączka**)
 - V Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 20 marca 2007, Uniwersytet Rzeszowski, **referat:** Fauna miasta. Przegląd metodyki stosowanej w badaniach zoocenologicznych (**G. Pączka**)

- VI Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 20 marca 2008, Uniwersytet Rzeszowski, **referat**: Niewidzialne zwierzęta wokół nas. Znaczenie mimikry i mimetyzmu (**G. Pączka**)
- VII Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 23 marca 2009, Uniwersytet Rzeszowski, **referat**: Praca badawcza olimpijczyka. Badania laboratoryjne i terenowe w oparciu o metody zoocenologiczne (**G. Pączka**)
- VIII Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 21 kwiecień 2010, Uniwersytet Rzeszowski, **referat**: Zastosowanie wskaźników biocenotycznych w pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- IX Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 26 marca 2011, Uniwersytet Rzeszowski, **warsztaty**: Prawidłowe przygotowanie pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- X Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 14 marca 2012, Uniwersytet Rzeszowski, **warsztaty**: Prawidłowe przygotowanie pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- XI Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 26 marca 2013, Uniwersytet Rzeszowski, **warsztaty**: Prawidłowe przygotowanie pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- XII Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 27 marca 2014, Uniwersytet Rzeszowski, **warsztaty**: Prawidłowe przygotowanie pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- XIII Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 15 kwietnia 2015, Uniwersytet Rzeszowski, **warsztaty**: Prawidłowe przygotowanie pracy badawczej olimpijczyka (**G. Pączka**)
- XIV Podkarpacka Konferencja Edukacyjna i Warsztaty na rzecz zrównoważonego rozwoju, 5 kwietnia 2016, Uniwersytet Rzeszowski, **referat**: O pracy badawczej olimpijczyka i przygotowaniu dobrego posteru (**G. Pączka**)
- Współorganizacja seminarium i warsztatów pt. „Zrównoważeni I”, Uniwersytet Rzeszowski, Iwonicz, 9-11 stycznia 2015
- Współorganizacja seminarium i warsztatów pt. „Zrównoważeni II”, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy, 13 kwietnia 2016
- Współorganizacja i współprowadzenie seminarium i warsztatów pt. „Zrównoważeni III”, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy, 18 maja 2017
- Współprowadzenie warsztatów pt. „Różnorodność biotyczna ekosystemów glebowych” skierowanych do uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych Podkarpacia – Dni Wydziału Biologiczno-Rolniczego, Uniwersytet Rzeszowski, 20 kwietnia 2018
- Współprowadzenie warsztatów pt. „Podstawy wermikompostowania” skierowanych do uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych Podkarpacia – Dni Wydziału Biologiczno-Rolniczego, Uniwersytet Rzeszowski, 20 kwietnia 2018

7. Inne informacje, nie wymienione w pkt. 1-6, ważne z punktu widzenia przebiegu kariery zawodowej

7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć publikacyjnych

Poza pracami, które składają się na cykl publikacji i stanowią osiągnięcie naukowe pt. „**Produkcja i wykorzystanie wermikompostów z potencjalnie uciążliwych do zagospodarowania odpadów pochodzenia roślinnego**” moja aktywność badawcza skupiała się w następujących obszarach tematycznych:

Badania zgrupowań Lumbricidae w ekosystemach półnaturalnych i antropogenicznych

Część badań w których uczestniczyłem dotyczyła zgrupowań Lumbricidae i ich roli w różnych typach ekosystemów. W publikacji przeglądowej [2] podjęto analizę udziału Lumbricidae w świadczeniach ekosystemów, ponieważ organizmy te, ze względu na specyficzny tryb życia nazywane bywają „inżynierami ekosystemów”. Wpływają korzystnie na właściwości gleb, poprawiają ich wilgotność, aerację oraz strukturę, a także polepszają właściwości chemiczne i biologiczne. Zwiększają żyzność gleb, przez co wpływają korzystnie na ilość i jakość plonów. Odgrywają rolę w regulacji klimatu i ograniczaniu skażenia gleby. Są także źródłem pożywienia dla wielu zwierząt, a w niektórych kulturach także dla ludzi. Skupiono się na badaniach charakteryzujących jakościową i ilościową strukturę tej bardzo istotnej grupy mieszkańców gleb na świecie i w Polsce. Jest to ważne z punktu widzenia działań mających na celu ocenę jakości i ochronę bioróżnorodności gleby – składnika środowiska przyrodniczego.

W kolejnych badaniach prowadzonych w obszarach o charakterze naturalnym, w obrębie Bieszczadzkiego Parku Narodowego w latach 2009-2010 na czterech zróżnicowanych stanowiskach w obrębie buczyny karpackiej *Fagetum carpaticum* analizowano strukturę jakościową i ilościową Lumbricidae. W wyniku przeprowadzonych obserwacji stwierdzono występowanie jedenastu gatunków dżdżownic. W latach 1986-1987 na tych samych stanowiskach stwierdzono 13 gatunków dżdżownic. Dla wszystkich gatunków zbadano również dynamikę rozmieszczenia pionowego w cyklu rocznym oraz preferowaną warstwę gleby, pod względem budowy profilu glebowego. Cechy określonych gatunków dżdżownic i preferowane przez nie poziomy gleby pozwoliły na rozważenie lub określenie ich przynależności do grup ekologicznych. Z przeprowadzonych analiz można sądzić o rosnącej antropopresji i zmniejszaniu się różnorodności biologicznej.

W opisywanych po upływie 25 lat badaniach nie stwierdzono dwóch gatunków; głębokokopiącego *Octodrilus transpadanus* i żyjącego w ściółce *Dendrobaena octaedra*. Zaobserwowano natomiast niepokojący fakt, że w obrębie stanowiska u podnóży Rozsypańca znaleziono gatunek, inwazyjny *Lumbricus terrestris*, który nie występował tam wcześniej. Wzorem innych krajów, zaproponowano wprowadzenie endemicznego gatunku *O. transpadanus* na czerwone listy gatunków zagrożonych [4,5,9].

Badania nad zgrupowaniami Lumbricidae prowadzone były również w terenach użytkowanych rolniczo. Podjęto próbę scharakteryzowania struktury zbiorowiskowej dżdżownic na trwałych użytkach zielonych i gruntach ornych Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej Uniwersytetu Rzeszowskiego w Krasnem koło Rzeszowa. W badaniach stwierdzono występowanie siedmiu gatunków dżdżownic na trwałych użytkach zielonych oraz sześciu przedstawicieli Lumbricidae na gruntach ornych. Zidentyfikowane dżdżownice reprezentowały wszystkie trzy grupy ekomorfologiczne. Wykazano większe zagęszczenie i biomasa epiendogenicznej dżdżownicy *L. rubellus* i anecic *L. terrestris* na użytkach zielonych w porównaniu z gruntami ornymi. Zaproponowano również, że w celu ochrony Lumbricidae i podtrzymania korzystnej roli dżdżownic w tych typach ekosystemów, konieczne jest monitorowanie negatywnych zmian w populacjach gatunków dżdżownic przypisywanych różnym praktykom rolniczym [7].

Kolejne badania, w których brałem udział, koncentrowały się na ocenie stanu procesu rekultywacji terenów po Kopalni Siarki w Jeziórku (województwo podkarpackie) na podstawie oceny zgrupowań fauny dżdżownic. Wykazano dużą rolę pierwotnych zgrupowań fauny i flory w rekultywowanym obszarze. Pozostawienie takich pierwotnych fragmentów fito i zoocenozy stanowi istotny element, z którego organizmy (w tym dżdżownice) mogą migrować i stopniowo zasiedlać zdegradowane tereny, co przyspieszy ich rekultywację [1,3].

Uczestniczyłem też w badaniach terenowych dotyczących efektywności wypłaszania z gleby Lumbricidae przy użyciu prośrodkowej metody z zastosowaniem prądu elektrycznego o słabym natężeniu (octet). Struktura jakościowa odnalezionych gatunków dżdżownic tą metodą pokrywała się z metodą zalecaną przez ISO (segregacja ręczna oraz wypłaszanie 0,4% roztworem formaldehydu). Zastosowanie octetu ze względu na jego mało inwazyjny charakter jest przydatne w badaniach Lumbricidae, głównie w obszarach objętych ochroną, na stokach wzniesień lub glebach o dużej wilgotności [8].

Ciekawy wątek kolejnych badań opierał się na poznaniu sezonowej dynamiki gatunku Lumbricidae o wąskim zasięgu występowania *Eisenia lucens*. Gatunek ten zamieszkuje

siedliska lasów górskich Karpat, może powszechnie znajdować się w glebie oraz nad jej powierzchnią pod korą drzew oraz w wilgotnym rozkładającym się drewnie powalonych drzew i pniaków. Ze względu na duże rozmiary ciała w porównaniu z innymi gatunkami dżdżownic żyjących w ściółce i gnijących pniach drzew w lasach górskich odgrywa ważną rolę w redystrybucji zasobów drzewnych w tych ekosystemach. W opisywanych badaniach analizowano wyniki uzyskane z badań terenowych *E. lucens* oraz z hodowli laboratoryjnych. Jak wykazały obserwacje w naturalnych siedliskach występowania tego gatunku, dorosłe osobniki różniły się istotnie pod względem zagęszczenia (średnio $4,14 \pm 3,53 \text{ m}^{-2}$) i biomasy (średnio $2,21 \pm 1,93 \text{ g m}^{-2}$), pomiędzy stanowiskami badawczymi. Wartości te różniły się również pomiędzy okresami pobierania próbek, co sugeruje, że jeżeli pozwalają na to warunki, gatunek ten przenosi się z gleby mineralnej do bogatego w materię organiczną martwego drewna. W miesiącach letnich wszystkie stadia życiowe tego gatunku stwierdzano w gnijącym drewnie nad glebą mineralną. Natomiast pobierając próbki zimą, znaleziono kokony w gnijącym drewnie pod śniegiem. Te wykłuły się szybko (w ciągu 2 tygodni) po zabraniu do laboratorium. Hodowla laboratoryjna pozwoliła na utrzymanie populacji przez 2 lata. Średnia masa kokonu wynosiła 50,6 mg ze średnią 2,9 wykłutych dżdżownic na kokon, a masa młodych *E. lucens* była odwrotnie proporcjonalna do liczby wykłutych młodych na kokon. Wykazano również, że 50% dodatek obornika końskiego wpłynął istotnie na wzrost tych bezkręgowców w porównaniu do grupy utrzymywanej wyłącznie w próchniejącym drewnie. Podwyższenie temperatury z 10 do 15°C przyczyniło się natomiast do stymulacji wzrostu osobników *E. lucens* [6].

1. Kostecka J., **Pączka G.**, Mastalerczyk M. 2004. Ocena procesu rekultywacji terenów po kopalni siarki w Jeziórku, na podstawie stanu fauny dżdżownic. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 498. 135-145.
2. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Kostecka J. 2015. Soil fauna research in Poland: earthworms (Lumbricidae). Soil Science Annual. 66.2. 47-51. <https://doi.org/10.1515/ssa-2015-0018>
3. Mazur-Pączka A., **Pączka G.**, Kostecka J. 2017. Lumbricidae in the process of monitoring of the state of land reclamation after sulfur mine in Jeziórko. Journal of Ecological Engineering. 18. 6. 53-58. <https://doi.org/10.12911/22998993/76835>
4. Kostecka J., Mazur-Pączka A., **Pączka G.**, Garczyńska M. 2018. Lumbricidae biodiversity at the sites in Bieszczady Mountains (Poland) after 25 years. Journal of Ecological Engineering. 19.2. 125-130. <https://doi.org/10.12911/22998993/81786>
5. Kostecka J., Mazur-Pączka A., Podolak A., **Pączka G.**, Garczyńska M. 2018. Ecomorphological groups of earthworms found in a beech wood in the Bieszczady National Park (south-eastern Poland). Journal of Ecological Engineering. 19. 4. 153-158. <https://doi.org/10.12911/22998993/89649>
6. Kostecka J., Butt K.R., Mazur-Pączka A., **Pączka G.**, Garczyńska M., Podolak A. 2019. Aspect of the ecology of the earthworm *Eisenia lucens* (Waga 1857) studied in the field and in laboratory culture. Environmental Science and Pollution Research. 27. 33486-33492. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06187-7>.

7. Mazur-Pączka A., Pączka G., Kostecka J., Garczyńska M., Podolak A., Szura R. 2019. Community structure of Lumbricidae in permanent grassland and arable land. *Journal of Ecological Engineering*. 20. 5. 1-6. <https://doi.org/10.12911/22998993/102965>
8. Mazur-Pączka A., Pączka G., Kostecka J., Podolak A., Garczyńska M. 2020. Effectiveness of Lumbricidae extracting with an environmentally friendly method. *Journal of Ecological Engineering*. 21. 5. 114-119. <https://doi.org/10.12911/22998993/122237>
9. Mazur-Pączka A., Pączka G., Kostecka J., Butt K.R., Jaromin M., Garczyńska M., Podolak A. 2021. Community structure of Lumbricidae in beech woodland of the Bieszczady National Park (Carpathian mountains, SE Poland). *Pedosphere*. 31. 3. 391-397. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60090-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60090-X)

Badania nad wermikulturą i produktami technologii wermikompostowania

Ważnym wątkiem w moich badaniach, powiązany z głównym nurtem badawczym jest szeroko pojęta analiza funkcjonowania wermikultury oraz możliwości wykorzystania jej produktów (wermikompostów oraz biomasy dżdżownic). Na świecie, proces wermikompostowania różnych odpadów organicznych [16] jest popularyzowany od dawna. W Polsce, biotechnologia wermikultury jest tymczasem znana i spopularyzowana w niewielkim stopniu. W innych krajach; m.in. Francji, Hiszpanii, Kanadzie, Chinach, Indiach czy USA, proces jest znacznie bardziej rozpowszechniony. Technologia ta, daje tymczasem możliwość uczestniczenia w gospodarce odpadami organicznymi zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju i pomaga minimalizować ilość tych odpadów na składowiskach. W celu prawidłowo prowadzonego procesu wermikompostowania, trzeba mieć jednak świadomość jego krytycznych punktów [14,24]. Ze względu na fakt, że jest to technologia stosunkowo niskonakładowa (głównie na małą, przydomową skalę), w wermikulturze podejmowano próby unieszkodliwiania różnych odpadów organicznych.

W badaniach, w których również byłem współwykonawcą, podejmowano przetwarzanie odpadowej masy rzęsy wodnej [11] oraz wybranych domowych i kuchennych resztek organicznych [15,18,20]. Stwierdzono w nich, że odpowiednio wyselekcjonowane odpady organiczne mogą być wermikompostowane zarówno przez dżdżownice gatunku *E. fetida*, jak i *D. veneta*. Wermikompostowanie kuchennych odpadów organicznych na miejscu ich powstawania może dostarczać bogatego w składniki pokarmowe dla roślin nawozu oraz umożliwia intensywną produkcję biomasy dżdżownic o szerokim zastosowaniu. Podejmowano również próbę przekształcania poprzez wermikompostowanie pożywnych odpadów kukurydzy [21] gdzie stwierdzono, że łodygi kukurydzy mogą być przetwarzane zarówno przez dżdżownice *E. fetida* jak i *D. veneta*. Różnice we wzroście biomasy obu gatunków dżdżownic i liczba złożonych przez nie kokonów wskazywały, że *E. fetida* preferowały odpady kukurydzy z domieszką obornika

końskiego, natomiast *D. veneta* najefektywniej przetwarzały czysty odpad kukurydziany. Otrzymano wermikomposty bogate w składniki pokarmowe dla roślin. W badaniach dotyczących wermikompostowania odchodów owiec [26] wykazano, że odchody owiec kameruńskich, w czystej postaci i zmieszane z sianem w proporcji 1:1, mogą być przetwarzane w wermikompost o strukturze fizykochemicznej pozwalającej na stosowanie go w celach nawozowych w uprawie roślin. Badania te wykazały również, że prawidłowo prowadzony proces wermikompostowania prowadzi do koncentracji makro i mikroelementów oraz obniża stosunek C:N.

W trakcie procesu wermikompostowania wybranych odpadów organicznych testowano wpływ preparatów owadobójczych [19,23,25] oraz anestetyków [22] na populacje dżdżownic. Badania wykazały, że środek owadobójczy Actara 25WG [19] zastosowany zgodnie z dawką zalecaną przez producenta, wywołał zróżnicowane reakcje w populacjach obu badanych gatunków dżdżownic *E. fetida* i *D. veneta*. Insektycyd wpłynął pozytywnie na liczebność i biomasę osobników dojrzałych dżdżownic *E. fetida*, natomiast doprowadził do zmniejszenia ich potencjału reprodukcyjnego. W stosunku do *D. veneta* niska dawka Actara 25WG stymulowała rozwój osobników dojrzałych, nie wpływając na pozostałe cechy. Preparat Owinema natomiast [25] skutecznie redukował liczebność i biomasę larw Scaridae co skutkowało większą dostępnością pokarmu dla *E. fetida*. Miało to pozytywny wpływ na efektywność wermikompostowania odpadów organicznych w grupie badawczej z insektycydem. Wykazano również, że wspomniany preparat miał pozytywny wpływ na liczebność i biomasę całej populacji *E. fetida* oraz wpływał stymulująco na reprodukcję dżdżownic. Wyniki przeprowadzonych badań z wykorzystaniem preparatu Nuprid 200SC [23] wskazały na jego wysoką toksyczność w stosunku do dżdżownic *D. veneta*. Stwierdzono obniżenie liczebności i biomasy zarówno osobników dojrzałych jak i niedojrzałych. Wykazano również obniżenie potencjału reprodukcyjnego, przejawiające się mniejszą liczbą produkowanych kokonów. W badaniach dotyczących wpływu anestetyków [22] na populacje *E. fetida* i *D. veneta* stwierdzono, że reakcje dżdżownic w kontakcie ze środkami znieczulającymi były różne. Wykazano, iż śmiertelność dżdżownic rosła wraz z upływem czasu i stężeniami prokainy i lidokainy. Stwierdzono możliwość zastosowania wyższego stężenia prokainy i lidokainy w stosunku *E. fetida* w porównaniu *D. veneta*, ponieważ osobniki *E. fetida* charakteryzowały się większą tolerancją na stres powodowany przez działanie tych substancji chemicznych.

Prowadzenie wermikultury, to z jednej strony możliwość zagospodarowania wybranych odpadów organicznych w miejscu ich powstawania, a z drugiej, produkcja

surowców (wermikompostów i biomasy dżdżownic) o potencjalnie szerokim spektrum zastosowań. Wykazano w badaniach, że otrzymany wermikompost z wyselekcjonowanych organicznych odpadów kuchennych można wykorzystać w uprawie roślin [17], natomiast biomasa dżdżownic *E. fetida*, może stanowić wartościowe źródło pokarmu w hodowli ryb ozdobnych [13]. Zaobserwowano również, że złożoność procesów, które zachodzą podczas wermikompostowania odpadów organicznych oraz złożona struktura jakościowa i ilościowa organizmów zasiedlających wermikompost, może stanowić wartościowe narzędzie edukacyjne w poznawaniu bioróżnorodności fauny glebowej, rozbudowanych powiązań pomiędzy organizmami a ich środowiskiem życia oraz może być interesującym instrumentem działań (szczególnie młodzieży) na rzecz poznawania i wdrażania idei zrównoważonego rozwoju [10, 12].

10. Kostecka J., **Pączka G.** 2004. Skrzynki ekologiczne jako narzędzie poznawania bioróżnorodności fauny glebowej. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 4. 13-20.
11. Kaniuczak J., Kostecka J., Nowak M., **Pączka G.** 2004. Zmiany wybranych właściwości i zawartości makroelementów w podłożach z rzęsą wodną pod wpływem wermikompostowania. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 498. 95-102.
12. Kostecka J., **Pączka G.** 2005. Badania bioróżnorodności skrzynek ekologicznych jako narzędzie w pracy nauczyciela na rzecz rozwoju zrównoważonego. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 6. 49-56.
13. Kostecka J., **Pączka G.** 2006. Possible use of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) biomass for breeding aquarium fish. European Journal of Soil Biology. 42. 231-233. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.029>
14. Kostecka J., Garczyńska M., **Pączka G.**, Mroczek. J. 2011. Modelling the processes of vermicomposting in an ecological box – recognized critical points. Contemporary Problems of Management and Environmental Protection. No. 9. (eds.) K.A. Skibniewska. Some aspects of environmental impact of waste dumps. Olsztyn. 143- 156.
15. Kostecka J., **Pączka G.** 2011. Kitchen wastes as a source of nitrogen and other macroelements according to technology of vermiculture. Ecological Chemistry and Engineering A. 18. 12. 1683-1689.
16. **Pączka G.**, Kostecka J. 2012. Trends in organic waste vermicomposting. (In:) Practical Applications of Environmental Research. Nauka dla Gospodarki. nr 3/2012. (eds.) J. Kostecka, J. Kaniuczak. 267-281.
17. **Pączka G.**, Kostecka J. 2013. The influence of vermicompost from kitchen waste on the yield-enhancing characteristics of peas *Pisum sativum* L. var *saccharatum* ser. Bajka variety. Journal of Ecological Engineering. 14. 2. 46–50.
18. Kostecka J., **Pączka G.**, Garczyńska M., Podolak-Machowska A., Dunin-Mugler C., Szura R. 2014. Wykorzystanie wermikompostowania do zagospodarowania odpadów organicznych w gospodarstwach domowych. Inżynieria i Ochrona Środowiska. 17. 1. 21-33.
19. Garczyńska M., **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Kostecka J. 2018. Earthworms In short-term contact with a low dose of neonicotinoid Actara 25WG. Journal of Ecological Engineering. 19. 3. 93-101. <https://doi.org/10.12911/22998993/86254>
20. Kostecka J., Garczyńska M., Podolak A., **Pączka G.**, Kaniuczak J. 2018. Kitchen organic waste as material for vermiculture and source of nutrients for plants. Journal of Ecological Engineering. 19. 6. 267-274. <https://doi.org/10.12911/22998993/99691>

21. Garczyńska M., **Pączka G.**, Wirkus K., Podolak A., Mazur-Pączka A., Szura R., Bartkowska I., Kostecka J. 2018. Vermicomposting of post-harvest maize waste. *Annual Set The Environment Protection*. 20. 358-374.
22. Podolak A., Kostecka J., Rożen A., Garczyńska M., **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Szura R. 2019. New perspectives for the use of earthworms – testing of anesthetics. *Journal of Ecological Engineering*. 20. 3. 253-261. <https://doi.org/10.12911/22998993/100560>
23. Garczyńska M., **Pączka G.**, Kostecka J. 2019. Influence of neonicotinoids on selected characteristics of the earthworm *Dendrobaena veneta* (Rosa) in laboratory conditions. *Journal of Ecological Engineering*. 20. 4. 217-224. <https://doi.org/10.12911/22998993/103015>
24. Podolak A., Kostecka J., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., **Pączka G.**, Szura R. 2020. Life cycle of the *Eisenia fetida* and *Dendrobaena veneta* earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae). *Journal of Ecological Engineering*. 21. 1. 40-45. <https://doi.org/10.12911/22998993/113410>
25. Garczyńska M., **Pączka G.**, Podolak A., Mazur-Pączka A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2020. Effects of Owinema bio-preparation on vermicomposting in earthworm ecological boxes. *Applied Sciences*. 10. 2. 456. <https://doi.org/10.3390/app10020456>
26. Garczyńska M., Kostecka J., **Pączka G.**, Hajduk E., Mazur-Pączka A., Butt K.R. 2020. Properties of vermicomposts derived from Cameroon cheep dung. *Applied Sciences*. 10. 15. 5048. <https://doi.org/10.3390/app10155048>

Badania wybranych aspektów bioróżnorodności terenów Podkarpacia ze szczególnym uwzględnieniem ekosystemów rolno-leśnych

Badania dotyczące wybranych aspektów bioróżnorodności terenów Podkarpacia, rozpocząłem na pierwszym roku studiów biologicznych i początkowo koncentrowały się one na poznaniu struktury ilościowej i jakościowej motyli dziennych (*Rhopalocera*) okolic Rzeszowa [27,28], a w dalszej kolejności na rozmieszczeniu populacji bobra europejskiego *Castor fiber* (L.) na rzece Wisłok i jego dopływach [29]. W badaniach entomologicznych, wykazano występowanie 36 gatunków motyli dziennych, o stosunkowo dużych fluktuacjach liczebności w trakcie prowadzonych obserwacji. Wykazano również zmniejszanie się liczebności określonych gatunków oraz przedstawiono potencjalne przyczyny tego zjawiska, gdzie za najbardziej prawdopodobne uznano: konkurencję międzygatunkową, zanikanie roślin żywicielskich oraz chemizację środowiska (głównie agroekosystemów). W kolejnych publikacjach dotyczących entomofauny, przedstawiono podstawowe wskazówki do badań nad strukturą zgrupowań *Rhopalocera* [30], scharakteryzowano faunę motyli dziennych w mieście Rzeszów [31] oraz przedstawiono ogólną charakterystykę występowania modliszki zwyczajnej (*Mantis religiosa* L.) w Rzeszowie oraz na wybranych terenach przyległych [34]. Wykazano, że poczynione obserwacje *M. religiosa* nie mogą być dowodem na twierdzenie o występowaniu lokalnej populacji tego gatunku w Rzeszowie, czy nawet o występowaniu osobników inicjujących powstawanie takowej, ze względu na brak wystarczającej liczby siedlisk preferowanych przez *M. religiosa*. Wyciągnięto wniosek, że zaobserwowane osobniki najprawdopodobniej

pochodziły z hodowli terraryjnych, bądź, co jest również prawdopodobne, zostały zawleczone z miejsc ich naturalnego występowania. Zarejestrowano natomiast i stwierdzono stałą lokalną populację modliszki zwyczajnej zasiedlającej suche śródleśne łąki, polany i brzegi lasów o charakterze ekotonowym w okolicach miasta Rzeszów.

W badaniach dotyczących *C. fiber* przedstawiono charakterystykę reintrodukcji tego gatunku w okolicach Rzeszowa, jak również zaprezentowano wyniki inwentaryzacji stanowisk tych gryzoni, na środkowym odcinku Wisłoka i jego głównych dopływach [29]. Kolejne badania nad *C. fiber* [33,37] wykazały stały wzrost liczebności populacji tego gatunku na terenie Pogórza Dynowskiego, a co z tym związane, wzrost bioróżnorodności na terenach przez niego zajmowanych oraz szkody powodowane zarówno w gospodarce rolnej jak i leśnej. Wykazano, że na terenie prowadzonych badań, większość niewielkich strat powodowanych przez te zwierzęta, nie było zgłaszanych w celu wypłaty odszkodowań, natomiast środki zapobiegawcze stosowano głównie w przypadku szkód na większą skalę. Stwierdzono również, że wyrządzane przez bobry szkody nie były wynikiem braku ich naturalnego pokarmu. Bóbr europejski ze względu na specyficzną biologię i ekologię gatunku, może stanowić również atrakcyjny obiekt badawczy dla młodzieży szkolnej, chcącej poszerzać swoje pasje przyrodnicze. Podczas prowadzenia obserwacji obecności bobrów na danym terenie, można zebrać ciekawe dane, które odpowiednio opracowane mogą stanowić cenny materiał przydatny w długoterminowych obserwacjach rozwoju populacji tego gatunku na określonym terenie [32].

Kolejna część moich badań koncentrowała się na analizie elementów struktury jakościowej i ilościowej wybranych gatunków zwierząt dziko żyjących ekosystemów leśnych i agroekosystemów oraz wpływie ich oddziaływania na te tereny [35,38]. Stwierdzono, że najbardziej odczuwalne dla człowieka i w największym stopniu zmieniające środowisko są przekształcenia powodowane przez bobry w gruntach użytkowanych rolniczo. Zwierzęta te oddziaływały głównie na położone w pobliżu cieków wodnych sady, a w wyniku prowadzonej przez siebie hydroinżynierii, doprowadzały do podtopienia upraw rolnych i leśnych. Badano także zmiany w agroekosystemach powodowane przez dziki i jelenie, a jako jedną z głównych przyczyn tych oddziaływań wskazano zwiększenie populacji tych zwierząt. Największe przekształcenia na terenach wykorzystywanych rolniczo powodowały dziki, które łatwo dostosowują się do współczesnej gospodarki rolnej. Zmiany wyrządzane przez te zwierzęta występowały w ciągu roku w różnym nasileniu w poszczególnych uprawach. Największe ich nasilenie miało miejsce wiosną i jesienią w roślinach okopowych i kukurydzy oraz wczesną wiosną

i zimą na łąkach i pastwiskach. W trakcie prowadzonych badań zaznaczano, że omawiane gatunki zwierząt pełnią również ważne funkcje ekologiczne i przyczyniają się do funkcjonowania złożonych zależności w przyrodzie, stanowiących element świadczeń ekosystemowych. Ponieważ wspomniane zwierzęta stanowią nowe gatunki synantropijne, a antropopresja powoduje zmiany ich arealów osobniczych, stają się konkurentami człowieka o przestrzeń i zasoby [38].

W kolejnych badaniach wykazano, że zwiększenie liczebności lisa przyczyniło się do znacznego spadku liczebności zająca, bażanta i kuropatwy. Tendencję spadkową wykazano również w przypadku sarny, co mogło wynikać z dynamicznego rozwoju środowisk antropogenicznych, w większym lub mniejszym stopniu przekształconych na skutek działalności człowieka. Dynamiczny wzrost populacji dzika mógł wynikać z dużej łatwości w dostosowaniu się tego gatunku do nowych warunków panujących na obszarach leśno-polnych spowodowanych działalnością człowieka [35].

Obserwacje dotyczące wybranych elementów bioróżnorodności prowadzono również w okolicach ścieżki dydaktycznej wytyczonej w rezerwacie torfowiskowym (w poł.-wsch. Polsce). Analizowano m.in. wpływ ruchu turystycznego związanego z funkcjonowaniem wspomnianej ścieżki dydaktycznej na różnorodność biotyczną rezerwatu (z uwzględnieniem głównych zagrożeń dla wybranych elementów fauny i flory) [36].

27. Leniart P., **Pączka G.** 2000. Fauna motyli dziennych *Lepidoptera*; *Rhopalocera* okolic Rzeszowa. (w:) Materiały IV Przeglądu Działalności Kół Naukowych Przyrodników. (red:) Sobisz Z. Słupsk. 119-122.
28. **Pączka G.**, Leniart P. 2001. Zmiany w liczebności motyli dziennych (*Lepidoptera*; *Rhopalocera*) na terenie Rzeszowa i w jego okolicach. (w:) Materiały V Przeglądu Działalności Kół Naukowych Przyrodników. (red:) Wiszniowska T., Borczyk B. Wrocław. 113-118.
29. Leniart P., **Pączka G.** 2001. Bóbr (*Castor fiber*) na środkowym Wiśloku i jego dopływach. (w:) Materiały V Przeglądu Działalności Kół Naukowych Przyrodników. (red:) Wiszniowska T., Borczyk B. Wrocław. 99-103.
30. **Pączka G.** 2003. Wskazówki do badań nad strukturą zgrupowań motyli dziennych *Rhopalocera*. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 3. 69-73.
31. Olbrycht T., **Pączka G.** 2004. Motyle dzienne (*Rhopalocera*) Rzeszowa. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 4. 21-26.
32. Kostecka J., **Pączka G.**, Mucha J. 2005. Bóbr (*Castor fiber* L.) w rejonie Rzeszowa i możliwości włączenia młodzieży w obserwacje na rzecz zrównoważonego rozwoju. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 6. 57-64.
33. **Pączka G.**, Kostecka J. 2005. Wpływ inżynierskiej działalności bobra *Castor fiber* L. na środowisko na Pogórzu Dynowskim, w województwie podkarpackim. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 507. 399-406.
34. **Pączka G.** 2008. Występowanie modliszki zwyczajnej (*Mantis religiosa* L.) w Rzeszowie i okolicach. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 10. 101-104.
35. Mroczek J.R., **Pączka G.** 2009. Analiza zmian w liczebności wybranych gatunków zwierząt łownych ekosystemów leśno-rolnych. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTiE i PTG w Rzeszowie. 11. 183-188.

36. Kostecka J., **Pączka G.** 2009. Wybrane aspekty bioróżnorodności i funkcjonowania ścieżki dydaktycznej w rezerwacie „Broduszurki”. (w:) Turystyka w parkach krajobrazowych. (red:) Wnuk Z., Ziaja M. Wydawnictwo Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów. 81-90.
37. **Pączka G.**, Kostecka J., Rejman M. 2010. Skutki obecności bobra europejskiego (*Castor fiber* L.) na Podkarpaciu ze szczególnym uwzględnieniem Gminy Błażowa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 547. 295-302.
38. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Kostecka J., Garczyńska M. 2016. Wybrane gatunki zwierząt w krajobrazie użytkowanym rolniczo i strategia ochrony dziedzictwa przyrodniczego. Biuletyn Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN. 99-113.

Analiza wybranych przyrodniczo-społecznych aspektów zrównoważonego rozwoju

Zrównoważony rozwój to praktyczna koncepcja polegająca na znajdowaniu takich rozwiązań gwarantujących wzrost gospodarczy, które pozwalają na aktywne włączenie w procesy rozwojowe wszystkich grup społecznych, dając im możliwość czerpania korzyści, przy jednoczesnej minimalizacji negatywnego oddziaływania gospodarki na środowisko przyrodnicze. Rozwój gospodarczy jest nierozdzielnie związany z rozprzestrzenianiem się miast, co jest procesem złożonym, który należy postrzegać nie tylko w kategoriach społecznych i ekonomicznych, ale także w szeroko rozumianych aspektach środowiskowych. W związku z powyższym, prowadzono badania, w których wykazano główne zagrożenia i szanse dla rozwoju miast na przykładzie Rzeszowa [41,43]. Stwierdzono, że głównymi zagrożeniami będą m.in.: zmniejszanie obszaru terenów użytkowanych rolniczo, co spowoduje straty dla budżetu gmin z tytułu podatku rolnego, zanik krajobrazu rolniczego, rozerwanie naturalnych zasięgów występowania fauny i flory, zagrożenie życia zwierząt w wyniku porażeń elektrycznych oraz w kolizjach z pojazdami i budynkami, ułatwienie migracji zwierząt synantropijnych i wypieranie gatunków mizantropijnych. Za szanse wynikające z rozwoju miast i poszerzania ich granic uznano: odpowiednio urządzoną zieleń miejską, zapewniającą nie tylko korytarze ekologiczne dla prawidłowego funkcjonowania populacji roślin i zwierząt, ale również zaspakajającą wypoczynkowe i zdrowotne potrzeby człowieka. Współpraca miast z gminami wiejskimi w zakresie ochrony środowiska, gospodarki komunalnej i oczyszczania ścieków może doprowadzić do stałej poprawy stanu sanitarnego i bioróżnorodności środowiska. Poza tym odpowiednio zagospodarowana zieleń miejska może wykazywać właściwości ochronne, poprzez wiatrochronny wpływ drzew, które przez osłanianie, mogą zmniejszyć zużycie opału w otaczających domach o 10-25%. Drzewa ograniczają także rozprzestrzenianie się hałasu, są też, ze względu na swój pokrój, elementem architektonicznym współgrającym z każdą zabudową. Są też siedliskiem wielu gatunków i sprzyjają bioróżnorodności w mieście [42,50]. Obecność starych drzew w otoczeniu budynków mieszkalnych

powoduje także wzrost wartości tych terenów. Drzewa mogą też „przejąć” część zadań infrastruktury technicznej, wpływając na odnawianie zasobów wody gruntowej i zmniejszanie niebezpieczeństwa powodzi. W celu ochrony drzew i krzewów oraz pełnionych przez nie świadczeń, jedną z ważniejszych rzeczy jest upowszechnianie i egzekwowanie wiedzy przyrodniczej i prawnej. Znajdzie to odzwierciedlenie w zminimalizowaniu nieprawidłowości w przeprowadzaniu wyceny zasobów drzewostanu podczas prowadzenia prac budowlanych i inwestycyjnych [50].

W aspekcie zakresu świadczonych usług przez rośliny drzewiaste, podjęto się również scharakteryzowania znaczenia roślin zielarskich na przykładzie dwóch gatunków lipy oraz jarzębu pospolitego. W trakcie analizy przedmiotu badań przypomniano tradycyjne zasady ich zbioru, a także perspektywę sprzedaży oraz możliwy dochód wynikający ze sprzedaży uzyskiwanych surowców. Podkreślono znaczenie powrotu do tradycyjnej aktywności mieszkańców obszarów wiejskich i zwrócono uwagę na rolę takich działań dla zachowania i utrzymywania trwałości zasobów bioróżnorodności [51].

Środowisko przyrodnicze jest źródłem licznych rozwiązań możliwych do adaptacji w organizacji życia człowieka, natomiast utrzymanie trwałości istniejących ekosystemów przyjaznych dla niego, wymaga na wzór przyrody, ekonomicznego gospodarowania - ograniczania marnowania zasobów i energii oraz dodatkowo powszechnego zaakceptowania nadchodzącej ery oszczędności. Odpowiednie projektowanie obiektów architektury w istniejących zasobach przestrzeni przyrodniczej stanowi podstawową wartość dla budowania zrównoważonego rozwoju terenów miejskich [49].

W badaniach, w których współuczestniczyłem, podejmowano również tematykę różnych aspektów funkcjonowania miejskich zbiorników wodnych [44] oraz wpływu turystyki wędkarskiej na ekosystemy cenne przyrodniczo [45,46]. Wykazano, że miejskie zbiorniki wodne mogą być źródłem wielu wymiernych korzyści dla mieszkańców miast, ponieważ przyczyniają się do redukcji zagrożeń powodziowych, poprawy czystości i dostępności zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, a także podnoszenia jakości przestrzeni miejskiej i warunków życia na terenach zurbanizowanych. Pełne wykorzystanie usług ekosystemów wodnych pozwala na uzyskanie efektu synergii w wielofunkcyjnym zagospodarowaniu przestrzeni miasta. Z kolei odpowiednio zorganizowana turystyka wędkarska, odpowiednia edukacja szczególnie młodych adeptów wędkarstwa w zakresie rozumienia potrzeby retardacji przekształcania zasobów terenów cennych, w tym również zasobów ichtiofauny, może przyczynić się do zminimalizowania negatywnego oddziaływania tego hobby na ekosystemy wodne i im przyległe [44,45].

Wraz ze wzrostem rozwoju gospodarczego, wzrasta również ilość produkowanych odpadów [53]. Oprócz kształtowania kompetencji właściwego udziału przedsiębiorców i inwestorów prywatnych w systemie gospodarki odpadami, w budowaniu zrównoważonego rozwoju równie ważne są kompetencje i standardy postępowania każdego obywatela – indywidualnego konsumenta. Zmniejszenie masy wytwarzanych odpadów i ich selektywna zbiórka musi dotyczyć również odpadów organicznych, zwłaszcza resztek żywności [54]. Jak najszybciej każdy obywatel powinien zostać poinformowany i przekonany o korzyściach płynących z obowiązku segregacji odpadów organicznych oraz o zagrożeniach środowiskowych [52,53], społecznych i ekonomicznych wynikających z nieprzestrzegania tego obowiązku [54].

Dbłość o zasoby środowiskowe, również poprzez prośrodowiskowe metody gospodarowania odpadami może przyczynić się do zachowania w pełni wydajnych usług ekosystemowych. Natomiast usługi świadczone przez ekosystemy stanowią podstawę dobrostanu człowieka oraz warunkują zachowanie życia na Ziemi. Jak wykazały badania [47], nawet w grupie edukowanych w tym zakresie, konieczne jest pogłębianie wiedzy o organizmach żywych, ich roli oraz zależnościach zachodzących w ekosystemach. Podniesienie świadomości ekologicznej oraz wzrost zaangażowania społeczeństwa w rozwiązywanie problemów środowiskowych stanowi szansę na poprawę stanu środowiska, a co za tym idzie podniesienie jakości życia człowieka.

Kolejne badania poświęcono charakterystyce wybranych elementów biotycznych (mikro i makroorganizmów) w glebie, warunkujących zachowanie sprawnie działających procesów homeostatycznych oraz możliwość zrównoważonego gospodarowania tym zasobem środowiskowym. Zaznaczono, że organizmy glebowe spełniają w glebowych sieciach troficznych nieproporcjonalnie dużą rolę w stosunku do ich biomasy, a liczni przedstawiciele zooedafonu glebowego stanowią niezbędny element w krążeniu materii oraz w przepływie energii w środowisku. Odpowiednio duża bioróżnorodność ekosystemów glebowych jest podstawą dla zrównoważonego gospodarowania w agroekosystemach [39, 40].

Ponieważ zaobserwowano duże rozbieżności pomiędzy teorią tworzenia rzeczywistości zrównoważonego rozwoju a działaniami praktycznymi w tej dziedzinie, jedną z publikacji, której jestem współautorem, poświęcono rozważaniom na temat prośrodowiskowych zasad organizacji konferencji naukowych [48].

39. Kostecka J., Zamorska J., **Pączka G.** 2005. Życie biologiczne odłogu piaszczystego przed agromelioracją odpadami ściekowymi. Cz. I. Makro- i mezofauna glebowa. (w:) Wybrane

- aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej. (red:) Kaniuczak J., Kostecka J., Niemiec W. Rzeszów. 101-109.
40. Kostecka J., Zamorska J., **Pączka G.** 2005. Życie biologiczne odłogu piaszczystego przed agromelioracją odpadami ściekowymi. Cz. II. Mikroorganizmy glebowe. (w:) Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej. (red:) Kaniuczak J., Kostecka J., Niemiec W. Rzeszów. 111-119.
 41. Kostecka J., Mroczek J.R., **Pączka G.** 2006. Rozszerzanie granic miasta Rzeszowa. Wybrane aspekty zagrożeń i szans w świetle rozwoju zrównoważonego. (w:) Żywiolowe rozprzestrzenianie się miast. Narastający problem aglomeracji miejskich w Polsce. (red:) Kozłowski S. Studia nad zrównoważonym rozwojem, tom II. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. 265-282.
 42. Kostecka J., Jasińska T., Noga T., **Pączka G.** 2007. Monitoring różnorodności flory i fauny miasta z udziałem olimpijczyków. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTIE i PTG w Rzeszowie. 9. 61-70.
 43. Kostecka J., **Pączka G.**, Mroczek J.R. 2007. Zieleń miejska jako element zrównoważonego rozwoju miasta. (w:) Planowanie przestrzenne – szanse i zagrożenia społeczno środowiskowe. (red:) Kozłowski S., Legutko-Kobus P. Wydawnictwo KUL, Lublin. 342-351.
 44. Jurczyk Ł., Kostecka J., **Pączka G.**, Soczek P. 2007. Wybrane aspekty funkcjonowania Zalewu Rzeszowskiego. (w:) Planowanie przestrzenne – szanse i zagrożenia społeczno środowiskowe. (red:) Kozłowski S., Legutko-Kobus P. Wydawnictwo KUL, Lublin. 467-475.
 45. Jurczyk Ł., Kostecka J., **Pączka G.** 2007. Za i przeciw wędkarstwu na terenach chronionych. (w:) Turystyka w obszarach Natura 2000. (red:) Wnuk Z., Ziaja M. Wydawnictwo Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów. 289-300.
 46. Jurczyk Ł., **Pączka G.** 2013. Zasady C&R w opinii wędkujących w wodach regionu podkarpackiego. Inżynieria Ekologiczna. 34. 129-139.
 47. **Pączka G.**, Mazur-Pączka A., Kostecka J. 2013. Świadczenia ekosystemów z udziałem dżdżownic. Zesz. Nauk. Poł.-Wsch. Oddziału PTIE i PTG w Rzeszowie. 16. 81-88.
 48. Kostecka J., **Pączka G.**, Piękoś P. 2013. Prośrodowiskowe zasady organizacji konferencji. Inżynieria i Ochrona Środowiska. 16. 4. 499-510.
 49. Kostecka J., **Pączka G.** 2016. Jak bionika może zainspirować architekta krajobrazu? Polish Journal for Sustainable Development. 20. 119-130.
 50. Garczyńska M., Mazur-Pączka A., **Pączka G.**, Kostecka J. 2017. Botanika Stosowana I. Ochrona drzew i krzewów w procesach inwestycyjnych w mieście. Inżynieria Ekologiczna. 18. 3. 139-149.
 51. Mazur-Pączka A., Garczyńska M., **Pączka G.**, Kostecka J. 2017. Botanika Stosowana II. Pozyskiwanie wybranych surowców zielarskich. Inżynieria Ekologiczna. 18. 4. 184-189.
 52. Krempa M., Miazga N., Garczyńska M., **Pączka G.** 2018. Gospodarowanie odpadami a różnorodność biologiczna. Polish Journal for Sustainable Development. 22. 1. 47-54.
 53. Janora K., Garczyńska M., **Pączka G.** 2018. Badanie świadomości prośrodowiskowej studentów w zakresie wybranych elementów gospodarki odpadami. Polish Journal for Sustainable Development. 22. 2. 27-34.
 54. Kostecka J., Garczyńska M., **Pączka G.** 2018. Food waste in the organic recycling system and sustainable development. Problems of Sustainable Development. 13. 2. 159-166.

7.2. Omówienie dalszych planów naukowo-badawczych

Wermikompostowanie odpadów pochodzenia roślinnego w celu otrzymania wartościowych nawozów organicznych – wermikompostów, to technologia złożona, na efektywność której, mogą wpływać liczne abiotyczne i biotyczne czynniki środowiskowe. Dalsze badania nad modyfikacjami w prowadzeniu wermikultury w celu optymalizacji przekształcania tej zróżnicowanej grupy odpadów (szczególnie w miejscu ich powstawania)

w wermikomposty, mają swoje uzasadnienie nie tylko w aspekcie środowiskowym (redukcja ich masy trafiającej na składowiska i nielegalne wysypiska), ale również w aspekcie gospodarczym. Biorąc pod uwagę specyfikę gospodarstw rolnych na terenie Podkarpacia, które są liczne, ale w większości charakteryzują się niewielką powierzchnią upraw, istotnym elementem moich dalszych badań będzie wprowadzenie technologii wermikultury (z zastosowaniem optymalnej dla specyfiki produkowanych odpadów konstrukcji wermioreaktorów) do indywidualnych gospodarstw. Jak wykazały opisywane przeze mnie badania, odpowiednio wytworzony i zastosowany wermikompost może przyczynić się do uzyskania zadowalających ilościowo i jakościowo plonów wybranych roślin uprawnych. W tej perspektywie, w pełni uzasadnione są dalsze badania nad stosowaniem wermikompostów w uprawie roślin konsumpcyjnych (szczególnie na niewielką skalę).

Istotnym elementem moich dalszych badań będzie również charakterystyka wermikompostów produkowanych z wybranych odpadów organicznych pochodzenia roślinnego jako nośników pożytecznych przedstawicieli mezofauny glebowej.

Rzeszów, 15.12.2021

