



# UNIwersytet PRZYRODNICZY WE WROCLAWIU

## Załącznik 3

## Autoreferat

**dr inż. Anna Jama-Rodzeńska**

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny  
Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej

Wrocław 2023

## Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej .....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych .....	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.....	5
4.3. Główne cele badawcze .....	6
4.4. Obiekty badawcze .....	7
4.4.1. Metodyka badań.....	7
4.4.2 Analizy chemiczne osadu ściekowego, nawozów fosforowych, materiału roślinnego i glebowego.....	9
4.4.2.1 Analizy chemiczne osadu ściekowego i nawozów fosforowych .....	9
4.4.2.2 Analizy chemiczne materiału roślinnego.....	10
4.4.2.3 Analizy chemiczne gleby i podłoża .....	11
4.4.3 Metody analizy statystycznej uzyskanych wyników badań.....	13
4.5. Najważniejsze wyniki badań .....	14
4.6 Dyskusja wyników .....	32
4.6.1 Materiał roślinny .....	32
4.6.2 Gleba i torf.....	34
4.7. Podsumowanie.....	34
4.8. Bibliografia .....	35
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	40
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne .....	42
7. Inne informacje, nie wymienione w pkt. 1-6, ważne z punktu widzenia przebiegu kariery zawodowej .....	45
7.1. Opieka naukowa nad doktorantami .....	45
7.2. Omówienie pozostałych osiągnięć badawczo-naukowych.....	45

### **1. Imię i nazwisko:**

Anna Jama-Rodzeńska

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

- magister inżynier ochrony środowiska rolniczego (specjalizacja ekologia), 2007, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
- doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii, 2011, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Wpływ komunalnych osadów ściekowych na rozwój i plonowanie wierzy krzewiastej (*Salix viminalis* L.)**

Promotor: prof. dr hab. Władysław Nowak, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Recenzenci: prof. dr hab. Andrzej Kotecki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

prof. dr hab. Mieczysław Wilczek, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

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

- 2011-2016 – Starszy technik w Katedrze Szczegółowej Uprawy Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- 2017-2018 – specjalista w Katedrze Szczegółowej Uprawy Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- 2018-obecnie – adiunkt w Instytucie Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

(umowa o pracę na czas nieokreślony)

#### 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

##### Wykorzystanie fosforu z osadów ściekowych w nawożeniu roślin rolniczych i ogrodniczych

#### 4.1. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji

Osiągnięcie naukowe składa się z sześciu recenzowanych publikacji naukowych, które zostały opracowane i opublikowane po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, w czasopismach znajdujących się na liście Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz w bazie *Web of Science*. Mój wkład w powstanie cyklu publikacji przedstawiony jest szczegółowo w załączniku 6.

[A1] **Jama-Rodzeńska A.**, Bocianowski J., Nowak W., Ciszek D., Nowosad K. (2016) The influence of communal sewage sludge on the content of macroelements in the stem of selected clones of willow (*Salix viminalis* L.), *Ecological Engineering* 87, 212-217. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.046. **100 pkt. (IF<sub>2023</sub> 3,8).**

[A2] **Jama-Rodzeńska A.**, Białowiec A., Koziel J., Sowiński J. (2021) Waste to phosphorus: A transdisciplinary solution to P recovery from wastewater based on the TRIZ approach, *Journal of Environmental Management*, 287, 1, 112235. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112235. **100 pkt (IF<sub>2023</sub> 8,7).**

[A3] **Jama-Rodzeńska A.**, Sowiński J., Koziel J., Białowiec A. (2021) Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash Based on Cradle-to-Cradle Approach—Mini-Review, *Minerals*, 11, 985, 1-17. DOI: 10.3390/min1109098. **100 pkt (IF<sub>2023</sub> 2,5).**

[A4] **Jama-Rodzeńska A.**, Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Svecnjak Z., Latkovic D. (2021) Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate, *Agriculture*, 11 (12), 1217. DOI: 10.3390/agriculture11121279. **100 pkt (IF<sub>2023</sub> 3. 6).**

[A5] **Jama-Rodzeńska A.**, Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Falkiewicz A., Białkowska M. (2022) Effect of different doses of Phosgreen fertilization on chlorophyll, K, and Ca Content in butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in peat substrate, *Agriculture*, 12(6), 788. DOI: 10.3390/agriculture12060788. **100 pkt (IF<sub>2023</sub> 3.6).**

[A6] **Jama-Rodzeńska A.**, Gałka B., Szuba-Trznadel A., Jandy A., J. A. Kamińska (2023) Effect of struvite (*Crystal Green*) fertilization on soil element content determined by different methods under soybean cultivation, *Scientific Reports*, 13, 12702. DOI: 10.1038/s41598-023-39753-8 **140pkt (IF<sub>2023</sub> 4,996)**

Łączna liczba punktów za publikacje wchodzące w skład jednotematycznego cyklu publikacji, zgodnie z punktacją Ministra Edukacji i Nauki obowiązującą w latach wydania



publikacji wynosi **640**, natomiast ich sumaryczny współczynnik wpływu *Impact Factor* (IF) wynosi **27.19**.

## 4.2. Wprowadzenie

Osady ściekowe, jako nieodłączny produkt uboczny oczyszczania ścieków w komunalnych oczyszczalniach, stanowią problem ze względu na wzrastającą ich ilość, jak również możliwości ich późniejszego zagospodarowania. Ilość, rodzaj, oraz jakość osadów ściekowych zależy od technologii oczyszczania ścieków oraz procesu ich przerobu. Zagospodarowanie osadów ściekowych jest obecnie wyzwaniem dla wielu oczyszczalni ścieków, ale przede wszystkim dla krajowej gospodarki odpadowej. Wykorzystanie osadów ściekowych ulegało zmianom na przestrzeni lat (Bień 2012). W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych poprzedniego stulecia głównym kierunkiem ich zagospodarowania w Polsce było deponowanie na terenie oczyszczalni. W latach 90-tych w związku z rozwojem nowych technologii i zwróceniu szczególnej uwagi na środowisko rolnicze, osady ściekowe podlegały przeróbce, obejmującej zagęszczenie czy mechaniczne odwodnienie (Bień 2012, Bień i in. 2011). Do 2016 roku składowanie oraz przyrodnicze wykorzystanie było dominującym sposobem zagospodarowania, w tym stosowanie osadów do nawożenia roślin przeznaczonych do celów nieżywnościowych. Z kolei od 2016 r. zaczął obowiązywać zakaz ich składowania, dlatego też odzysk substancji biogenych z osadów ściekowych ze względu na wprowadzoną gospodarkę opartą na obiegu zamkniętym (*circular economy*) stał się ważnym kierunkiem ich zagospodarowania (Cieślik i Konieczka 2016). Odzysk substancji biogenych, głównie fosforu wykonuje się w kilku krajach Unii Europejskiej. Obecnie w Polsce istnieje tylko jedna instalacja pilotażowa w miejscowości Piaseczno, a kolejna jest trakcie budowy w miejscowości Cielcz k. Jarocina (Jama-Rodzeńska i in. 2021). Odzysk substancji biogenych powinien mieć miejsce w oczyszczalni ścieków (Ye i in. 2020).

Wzrost liczby ludności, zwiększone zużycie nawozów fosforowych, zmiany w sposobie odżywiania oraz większa świadomość konsumentów przy wyborze systemu produkcji, przy jednoczesnym wyczerpywaniu się rezerw skał apatytowych spowodował, że poszukiwane są alternatywne źródła fosforu mające zastosowanie w rolnictwie (Kasprzyk i Gajewska 2017). Szacuje się, że przy obecnym zapotrzebowaniu mogłyby one zostać wyczerpane w ciągu 100-370 lat, zagrażając długoterminowemu bezpieczeństwu żywnościowemu świata, zwłaszcza, że ich rozmieszczenie na świecie jest nierównomierne. Rolnictwo odpowiada za blisko 90% światowego zapotrzebowania na fosfor, a jego obecne zużycie i pozyskiwanie jest niezrównoważone. Perspektywa ta zwiększa zainteresowanie recyklingiem fosforu, który można odzyskać z osadów ściekowych (Cordell i in. 2009). Aby sprzyjać bardziej zrównoważonemu wykorzystaniu fosforu, Unia Europejska zaproponowała wdrożenie różnych strategii, w tym odzyskiwania tego pierwiastka z odpadów. Produktem końcowym metod odzysku fosforu zawierającym duże jego stężenie jest struwit (fosforan magnezowo-amonowy,  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Egle i in. 2016). Dodatkowo, fosfor znajduje się na liście tzw. "surowców krytycznych" - koncepcja ta została opracowana w ramach inicjatywy Unii Europejskiej (UE) dotyczącej surowców mineralnych (Jama-Rodzeńska i in. 2021). Fosfor został uznany za surowiec o dużym znaczeniu dla gospodarki europejskiej. Z tego powodu, recykling fosforu i jego odzysk są uważane za część zrównoważonego systemu.

Fosfor jest ważnym pierwiastkiem zwiększającym zasobność i żyzność gleb. Jest również kluczowym składnikiem, odpowiedzialnym za prawidłowe funkcjonowanie roślin i prowadzącym do uzyskania wysokich i dobrej jakości plonów. Struwit jest uważany za alternatywne źródło pierwiastków takich jak fosfor, azot i magnez dla celów rolniczych (Shu i

in. 2006, Ricardo i in. 2009, Wen i in. 2019). Zawartość fosforu w struwicie jest zbliżona do zawartości w apatycie (12,6% suchej masy) i zależna od źródła i procesu odzyskiwania (Naveed i in. 2018, Perez-Piqueres i in. 2023). Wykazano, że nawozy ze struwitu są skutecznymi nawozami fosforowymi, zwłaszcza na glebach o odczynie kwaśnym. Ze względu na niską rozpuszczalność nie jest wymywany do wód gruntowych lub w jej głąb, co ograniczałoby jego dostępność dla roślin, ale i zapobiegając zjawisku eutrofizacji. Jako nawóz mineralny nie jest produkowany na szeroką skalę. Nawóz ten nie widnieje w ogólnych przepisach i regulacjach UE, ale obecnie są one weryfikowane w celu rekomendacji dopuszczenia struwitu na rynek nawozowy UE (Hertzberger i in. 2020, Szymańska i in. 2019). Składniki nawozu uwalniane są powoli, co zmniejsza częstotliwość nawożenia (Wollman i in. 2018, Worwąg 2018). Fosforan magnezowo-amonowy jest zalecany do stosowania i do nawożenia trawników, sadzonek drzew, roślin ozdobnych, warzyw czy roślin rolniczych i ogrodniczych (Rahmann i in. 2014).

Przeprowadzone doświadczenia wskazują na porównywalną lub lepszą efektywność struwitu w porównaniu z innymi nawozami fosforowymi. Wyższy plon oraz jego jakość pod wpływem nawożenia struwitem wykazano w uprawie sałaty (Ricardo i in. 2009), kapusty (Wen in. 2019), trawy sudańskiej (Reza i in. 2019) czy zbóż w tym kukurydzy, a także warzyw i owoców (Rahman i in. 2014) w porównaniu z tradycyjnymi nawozami fosforowymi. Nawożenie struwitem prowadzi również do zwiększenia zawartości i pobierania fosforu przez rośliny, nie powodując jednocześnie zanieczyszczenia roślin metalami ciężkimi (Jama-Rodzeńska i in. 2021).

W hipotezie badawczej założono, że zarówno osad ściekowy, jak i nawóz z niego powstały przyczyni się do poprawy plonowania roślin, ich jakości, jak i zwiększenia zawartości fosforu (P) i magnezu (Mg) w glebie i podłożu.

Celem badań było określenie wykorzystania różnych źródeł fosforu: z komunalnych osadów ściekowych i struwitu w uprawie wybranych roślin tj. wierzby po zastosowaniu higienizowanych osadów ściekowych i sałaty oraz soi po aplikacji struwitu (Phosgreen, Crystal Green) pod kątem plonu, składu chemicznego, zawartości metali ciężkich, wartości odżywczej oraz zasobności gleby.

### 4.3. Główne cele badawcze

W badaniach przedstawionych w cyklu publikacji, stanowiącym osiągnięcie naukowe, celem badań było określenie:

1. Wpływu zastosowania komunalnych, higienizowanych osadów ściekowych na plon i zawartość makroelementów w biomase wierzby krzewiastej.
2. Odzysku fosforu z osadów ściekowych w ramach gospodarki obiegu zamkniętego i jego ponowne wykorzystanie w rolnictwie w postaci nawozu.
3. Punktów krytycznych w produkcji nawozu powstałego z osadów ściekowych (Phosgreen, Crystal Green) poprzez odzysk fosforu oraz utrzymania jego produkcji na obecnym poziomie i przeciwdziałaniu jego wyczerpaniu w przyszłości.
4. Wartości i potencjalnych właściwości nawozu struwitowego (Phosgreen, Crystal Green) wytwarzanego z przerobu osadów ściekowych jako źródła fosforu w porównaniu z superfosfatem potrójnym na plon wybranych roślin, ich jakość, jak i zmian w środowisku glebowym (podłożu).

Wyniki badań mogą mieć ważne znaczenie dla sektora zarówno gospodarki odpadowej, jak i rolnictwa, gdzie w obliczu niedoboru fosforu niezbędnego do produkcji nawozów fosforowych, należy poszukiwać nowych rozwiązań wpisujących się w obecną politykę Unii Europejskiej dotyczącą gospodarki obiegu zamkniętego. Struwit jest odzyskiwany w badaniach pilotażowych, jak i wybranych oczyszczalniach ścieków w niektórych krajach Europy, w USA, Chinach i Japonii. Produkcja struwitu z ekonomicznego punktu widzenia jest wciąż nieopłacalna, jednak korzyści finansowe będą widoczne, gdy w niedalekiej przyszłości wzrosną ceny nawozów fosforowych. Oprócz korzyści finansowych wartości dodaną będą także korzyści środowiskowe, które być może przyczynią się do ograniczenia zjawiska eutrofizacji.

#### 4.4. Obiekty badawcze

Doświadczenia prowadzono w latach 2009–2022 i obejmowały następujące eksperymenty:

1. Doświadczenie polowe z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych przeprowadzono w latach 2009-2010 na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w Stacji Badawczo-Dydaktycznej w Pawłowicach.
2. Badania doniczkowe z sałatą prowadzono w warunkach szklarniowych w Stacji Badawczo-Doświadczalnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (Psary) w Ośrodku Zaawansowanych Technologii Produkcji Rolniczej w 2021 roku, należącej do Katedry Ogrodnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego.
3. Badania doniczkowe z soją prowadzono w Stacji Badawczo-Doświadczalnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (Pawłowice) w roku 2022.

Przedmiotem badań były:

- a) Rośliny:
  - wierzba krzewiasta (*Salix viminalis* L.) i jej klony;
  - sałata (*Lactuca sativa* L.) odmiana Omega F1
  - soja (*Glycine max.*), odmiana Abellina
- b) gleba i torf, na której uprawiane były rośliny.

##### 4.4.1. Metodyka badań

###### Doświadczenie polowe

###### **Wierzba**

Doświadczenie polowe z dwoma czynnikami zmiennymi przeprowadzono metodą split-plot w latach 2009-2010 na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w Pawłowicach. Czynnikiem pierwszym były dwie dawki osadów ściekowych w stosunku do kontroli: 75 i 150 t·ha<sup>-1</sup> świeżej masy osadów ściekowych (14,3 i 25,6 t·ha<sup>-1</sup> s.m.). Kontrolę stanowiły obiekty nienawożone osadami ściekowymi. Sadzonki wierzby posadzono w 2003 roku w rozstawie 0.4m i odległości: w rzędzie 0.7m (liczba sadzonek na 1 ha wynosiła 35 714 sztuk). W doświadczeniu nie stosowano nawożenia mineralnego. Osad ściekowy zastosowano w marcu 2008 roku na powierzchni gleby. Osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków Janówek (koło Wrocławia), który był higienizowany wapnem, dodany w celu ograniczenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Przed zastosowaniem osadów ściekowych określono ich

skład chemiczny pod kątem zawartości makroelementów, zwłaszcza fosforu i azotu, substancji organicznej oraz metali ciężkich. Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych wartości poszczególnych metali ciężkich biorąc pod uwagę kierunek ich zagospodarowania. Oznaczenie składu chemicznego, jak i sposób rozprowadzania były zgodne z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie stosowania komunalnych osadów ściekowych. Doświadczenie zostało założone na glebie brunatnoziemnej, typu płowego, podtypu opadowo-glejowego, która należała do klasy bonitacyjnej III b. Gleba charakteryzowała się bardzo wysoką zawartością fosforu ( $90-191 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), potasu ( $151-210 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), oraz średnią i wysoką zawartością magnezu ( $29-34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Odczyn wynosił 7.4-7.6. Celem badań było określenie zawartości makroelementów w pędzie (bez liści) wybranych klonów wierzby oraz selekcja klonów wierzby o najwyższej zawartości makroelementów.

### **Doświadczenia doniczkowe**

#### **a) Sałata**

Badania przeprowadzono w warunkach szklarniowych w Ośrodku Zaawansowanych Technologii Produkcji Roślinnej w Stacji Badawczo-Doświadczalnej (w Psarach) należącej do Katedry Ogrodnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W doświadczeniu wykorzystano doniczki o objętości  $3 \text{ dm}^3$ , które wypełniono odkwaszonym torfem. Przed nawożeniem, torf charakteryzował się następującymi parametrami: odczyn w wodzie 5.6; zasolenie  $1.4 \text{ g NaCl dm}^{-3}$ , azot przyswajalny  $\text{N-}230 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\text{P-}80 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\text{K-}230 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $\text{Mg-}150 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Skład chemiczny podłoża torfowego został jednak zmodyfikowany poprzez wprowadzenie do torfu następujących ilości nawozów: azot (saletra amonowa)  $122.4 \text{ mg dm}^{-3}$ , potas  $300.0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (siarczan potasu) oraz fosfor:

superfosfat potrójny, dawka pomniejszona  $17 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Phosgreen, dawka pomniejszona  $29 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

superfosfat potrójny, dawka optymalna  $34 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Phosgreen, dawka optymalna  $57 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

superfosfat potrójny, dawka zwiększona  $68 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Phosgreen, dawka zwiększona  $114 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Nawóz Phosgreen (produkowany przez firmę Krevox, działający na licencji kanadyjskiej firmy Ostara Nutrient Technologies) jest dostępny w formie granulek, których średnica wynosiła około 2-3 mm. Nawóz "Phosgreen" zawiera 2% N, 24%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 12% Mg, o pH 9,2 i charakteryzuje się niską zawartością metali ciężkich w porównaniu z superfosfatem potrójnym, co potwierdzono wykonując badania dotyczące zawartości wybranych metali ciężkich w nawozie.

W doświadczeniach analizowano wpływ nawozów fosforowych na plonowanie i skład chemiczny sałaty pod kątem zawartości makroelementów, ich pobrania, zawartości mikroelementów, wartości odżywczej (witamina C) oraz zawartości chlorofilu w materiale roślinnym. Analiza zawartości makroelementów, jak i mikroelementów została określona także w podłożu. Określono również stosunek K:Mg i Ca:Mg w torfie.

## b) Soja

Badania z soją i nawozem Crystal Green przeprowadzono w 2022 roku w Stacji Doświadczalnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (Pawłowice). Doświadczenie dwuczynnikowe przeprowadzono w sześciu powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem było zróżnicowane rozmieszczenie nawozów fosforowych (dokorzeniowe i powierzchniowe). Nawożenie powierzchniowe polegało na losowym rozmieszczeniu nawozów na powierzchni doniczki, natomiast dokorzeniowe polegało na umieszczeniu granulek nawozu na głębokości około 5 cm poniżej wysianych nasion soi. Drugim czynnikiem było zastosowanie różnych nawozów fosforowych: tradycyjnego (superfosfat potrójny), powszechnie stosowanego w uprawie soi, oraz Crystal Green (nawóz alternatywny). Doświadczenie przeprowadzono w doniczkach o następujących wymiarach: średnica 20 cm, głębokość 20 cm i objętość około 5 dm<sup>3</sup>. Doniczki zostały wypełnione wierzchnią warstwą gleby, na której uprawiano pszenicę, o następującej zawartości pierwiastków: P-103, K-220, Mg-38 mg·kg<sup>-1</sup>s.m, a jej zasobność została określona jako P-średnia, K-wysoka, Mg- niska/średnia. Do doniczek wysiano nasiona soi odmiany Abellina. Zaprawione i zaszczepione nasiona zostały dostarczone przez firmę Saatbau (Saatbau, 2023). Nasiona soi zostały zaszczepione w technologii Fix Fertig. Przed siewem określono zdolność kiełkowania nasion w oparciu o obowiązujące normy. Zdolność kiełkowania odmiany Abellina wyniosła 75%. Nasiona soi zostały wysiane w I dekadzie maja 2022 roku.

Zastosowany nawóz Crystal Green miał postać granulek o średnicy około 1–2 mm i charakteryzował się następującym składem chemicznym: N(2%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (24%) i Mg (10%). Dawki nawozów w doświadczeniu zostały oparte na optymalnych dla uprawy soi w warunkach polowych, tj. 70 kg·ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg·ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O i dawka startowa azotu 30 kg·ha<sup>-1</sup>. Zastosowano następujące dawki nawozów (w przeliczeniu na doniczkę): nawożenie azotem (saletra amonowa) 0.27 g, potasem (sól potasowa 60%) 1.25g, superfosfat potrójny 0.54g, Crystal Green 0.89g.

Celem pracy było: (1) poznanie wpływu nawożenia Crystal Green na zawartość P, K, Mg w glebie zarówno form ogólnych jak i przyswajalnych; (2) porównanie trzech analitycznych metod oznaczenia zawartości pierwiastków w glebie; oraz (3) wybranie najbardziej odpowiedniej metody analizy zawartości fosforu.

### 4.4.2 Analizy chemiczne osadu ściekowego, nawozów fosforowych, materiału roślinnego i glebowego

#### 4.4.2.1 Analizy chemiczne osadu ściekowego i nawozów fosforowych

Analizy osadu ściekowego obejmowały oznaczenie:

- sucha masa metodą grawimetryczną,
- odczyn potencjometrycznie,
- materia organiczna metodą wyżarzania,
- azot metodą Kjeldahla,
- metale ciężkie metodą ASA,
- fosfor metodą wanadomolibdenianową,
- magnez metodą kolorymetryczną z żółcieniem tytanową,



- wapń na fotometrze płomieniowym,
- mikroelementy metodą ASA (Tabela 1).

**Tabela 1.** Właściwości fizykochemiczne komunalnych osadów ściekowych (Jama-Rodzeńska i in. 2016)

Skład chemiczny	Jednostka	Osad ściekowy	Dopuszczalne wartości według Rozporządzenia
Odczyn	-	12	b.d
Sucha masa	g kg <sup>-1</sup>	220	b.d
Materia organiczna	g kg <sup>-1</sup>	450	b.d
Azot	g kg <sup>-1</sup>	36	52
Fosfor	g kg <sup>-1</sup>	28	73
Wapń	g kg <sup>-1</sup>	100	350
Magnez	mg kg <sup>-1</sup>	7	17
Ołów	mg kg <sup>-1</sup>	59	140
Kadm	mg kg <sup>-1</sup>	2	5
Chrom	mg kg <sup>-1</sup>	108	250
Miedź	mg kg <sup>-1</sup>	415	1000
Nikiel	mg kg <sup>-1</sup>	50	60
Rtęć	mg kg <sup>-1</sup>	0.05	2

b.d- brak danych

Analizę zawartości składu chemicznego nawozu Phosgreen i superfosfatu potrójnego ograniczono do oznaczenia zawartości wybranych metali ciężkich (Tabela 2).

**Tabela 2.** Zawartość wybranych metali ciężkich w nawozie w nawozach fosforowych wykorzystanych w doświadczeniach (mg·kg<sup>-1</sup>) (Jama-Rodzeńska i in. 2021)

Nawóz fosforowy	Zn	Pb	Cu	Cd
Superfosfat potrójny	213 ±43	1.8±0.4	23±4.8	10.7±2.1
Struwit (Phosgreen)	3.7±0.7	<0.1	1.7±0.3	<0.1

#### 4.4.2.2 Analizy chemiczne materiału roślinnego

##### **WIERZBA KRZEWIASTA**

Materiał roślinny (pędy bez liści) pobrano pod koniec okresu wegetacyjnego wierzby (październik) każdego roku badań z 10 roślin. Analizy chemiczne przeprowadzono w laboratorium należącym do Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Analizy chemiczne materiału roślinnego wykonano według obowiązujących metod analitycznych:

- a) azot ogólny metodą Kjehdala,
- b) potas, wapń i sód na fotometrze płomieniowym,
- c) fosfor kolorymetrycznie metodą wanadomolibdenianową,
- d) magnez kolorymetrycznie z żółcieniem tytanową.

### **SALATA**

Materiał roślinny pozyskany z doświadczeń doniczkowych zebrano po osiągnięciu dojrzałości technologicznej sałaty. Główki sałaty zważono po zbiorze celem określenia świeżej, a po wysuszeniu suchej masy. Suchą masę liści określono poprzez suszenie próbek (masa 200-300 g świeżej masy) w temperaturze 60°C przez 48 h, a następnie w temperaturze 105°C przez 4 h. Analizy chemiczne przeprowadzono w laboratorium należącym do Katedry Ogrodnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Zawartość składników pokarmowych w sałacie masłowej oznaczono po ekstrakcji kwasem octowym (0.03 M):

- a) zawartość wapnia i potasu metodą fotometrii płomieniowej,
- b) pobranie potasu i wapnia na podstawie masy liści roślin oraz zawartości tych makroskładników w liściach,
- c) fosfor kolorymetrycznie z wykorzystaniem molibdenianu amonu,
- d) magnez metodą kolorymetryczną z żółcieniem tytanową,
- e) azot ogólny metodą Kjehdala,
- f) zawartość witaminy C metodą miareczkową (PN-A-04019:1998)
- g) chlorofil w liściach sałaty za pomocą spektrofotometru:

Wzór:

$$Chl\ a = 11.75 \times A662.6 - 2.35 \times A645.6$$

$$Chl\ b = 18.61 \times A645.6 - 3.96 \times A662.6$$

$$Carotenoids = (1000 \times A470) - (3.27 \times Chl\ a) - (104 \times Chl\ b)/229$$

(Lichtenthaler 1987).

Zawartość chlorofilu została podana jako mg chlorofilu 100 g<sup>-1</sup> świeżej masy, a całkowity chlorofil został obliczony jako suma chlorofilu a i chlorofilu b, natomiast karotenoidy zostały podane w µg·100 g<sup>-1</sup> ś.m.

### **SOJA**

Zawartość fosforu i magnezu w materiale roślinnym oznaczono kolorymetrycznie: fosfor z wykorzystaniem wanadomolibdenianu amonu, magnez z wykorzystaniem żółcieni tytanowej i potas na fotometrze płomieniowym. Natomiast pobranie tych pierwiastków oparto na plonie nasion soi i zawartości tych makroskładników w nasionach soi oznaczonych laboratoryjnie.

#### **4.4.2.3 Analizy chemiczne gleby i podłoża**

##### **Analizy gleby w doświadczenie z wierzba**

Glebę poddano badaniu przed założeniem doświadczenia. Po wysuszeniu i przesianiu gleby przez sito o średnicy oczek 2 mm, oznaczono podstawowe właściwości gleby oraz wykonano:

- a) skład granulometryczny gleby (poziom A 0-20 cm) metodą aerometryczną Bouyoucosa-Cassagrande w modyfikacji Prószyńskiego,

- b) pH w H<sub>2</sub>O i 1 M KCl – potencjometrycznie,
- c) zawartość azotu metodą Kjeldahla,
- d) przyswajalne formy fosfor, magnezi i potas – metodami Egnera-Riehma (P, K) i Schachtschabela (Mg).

### **Analizy podłoża w doświadczeniu z sałata**

Zawartość składników w torfie oznaczono po ekstrakcji kwasem octowym (0.03M):

- a) pH metodą potencjometryczną przy użyciu pH-metrów z elektrodami, (pomiar pH-metrem w zawiesinie torfu z wodą destylowaną w stosunku 1:2 wykonywano po 30 min);
- b) zasolenie za pomocą konduktometru (metoda konduktometryczna),
- c) potas i wapń ekstrahowano 0.03M roztworem kwasu octowego metodą uniwersalną wg Nowosielskiego (1988),
- d) fosfor kolorymetrycznie z wykorzystaniem molibdenianu amonowego,
- e) magnez kolorymetrycznie z żółcieniem tytanową,
- f) azotany (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) jonowymienną elektrodą azotanową,
- g) zawartość azotu ogólnego metodą Kjeldahla,
- h) metale ciężkie metodą ICP-MS w przygotowanym wcześniej roztworze z kwasem nadchlorowym (70% HClO<sub>4</sub>) Cu, Zn, Pb, Cd i Hg. Rtęć oznaczono również w liściach roślin, jednak była na poziomie niewykrywalności.

### **Analizy gleby w doświadczeniu z soją**

Glebę do badań pobrano z warstwy 0-20 cm za pomocą łaski Egnera. Charakteryzowała się ona następującym składem chemicznym: P-103 mg·kg<sup>-1</sup>s.m, K-220 mg·kg<sup>-1</sup>s.m, Mg-38 mg·kg<sup>-1</sup>s.m (średnia zawartość P, wysoka zawartość K, niska/średnia zawartość Mg). Rozkład wielkości cząstek części mineralnej określono za pomocą dyfraktometru laserowego Mastersizer 2000. Po zakończeniu wegetacji, próbki gleby wysuszono powietrznie i rozdrobniono za pomocą porcelanowego tłuczka i moździerza i przesiano przez sito (średnica oczek <2 mm). Oznaczono w nich odczyn gleby (1:5 gleba:woda dejonizowana, pomiar po 30 min.), zasolenie (metoda konduktometryczna) oraz zawartość fosforu ogólnego, potasu i magnezu po mineralizacji mikrofalowej, natomiast formy przyswajalne metodami Egnera-Riehma, Mehlich 3 i Yanai (Tabela 3).

**Tabela 3.** Metody ekstrakcji badanych pierwiastków glebowych w doświadczeniu z soją (Jama-Rodzeńska i in. 2023).

Metoda	Roztwór ekstrakcyjny	pH roztworu	Stosunek gleby do roztworu	Czas ekstrakcji	Stężenie	Literatura
--------	----------------------	-------------	----------------------------	-----------------	----------	------------



Egner–Riehm	bufor mleczanowy	3.6	1:50	90 min	0.04 mol·l <sup>-1</sup> bufor mleczanowy	Egner i in. (1960)
Mehlich 3	kwasy octowy, azotan amonu, fluorek amonu, kwas azotowy i EDTA	2.5	1:10	5 min	0.2 mol·l <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COOH, 0.25 mol·l <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , 0.015 mol·l <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> F, 0.013 mol·l <sup>-1</sup> HNO <sub>3</sub> , 0.001 mol·l <sup>-1</sup> EDTA	Mehlich, A. (1963)
Yanai	kwasy octowy, chlorek amonu, kwas cytrynowy jednowodny, kwas solny	1.3	1:10	30 min	0.2 mol·l <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COOH, 0.25 mol·l <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> Cl, 0.005 mol·l <sup>-1</sup> C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> , 0.05 mol·l <sup>-1</sup> HCl	Yanai i in. (2000)

#### 4.4.3 Metody analizy statystycznej uzyskanych wyników badań

##### Analiza statystyczna w doświadczeniu z wierzbą

Zgodność z rozkładem normalnym dla badanych zawartości makroelementów w pędach wierzby (N, P, Mg, Ca, Na i K) zweryfikowano za pomocą testu normalności Shapiro-Wilka. Obliczono i przetestowano współczynniki korelacji Pearsona. Zastosowano analizę głównych składowych w celu umożliwienia wizualnego przedstawienia wielozmienności analizowanych obiektów. Jako współczynnik podobieństwa do analizy skupień zastosowano odległość euklidesową przy użyciu metody nieważonych par *group arithmetic means method* (UPGMA). Wszystkie obliczenia w ramach wielowymiarowej analizy wariancji, jak również analizy głównych składowych przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego GenStat v. 15. Obliczenia wykonano także za pomocą programu AWA (analiza wariancji, poziom istotności  $\alpha = 0.05$ ) wraz z podaniem odchylenia standardowego.

##### Analiza statystyczna w doświadczeniu z sałatą i torfem

Dane z niezależnych analiz chemicznych obejmujących powyższe parametry w materiale roślinnym i torfowym/glebowym poddano analizie statystycznej za pomocą ANOVA/MANOVA w programie Stat. (wersja 13.1 Stat Soft Poland). Poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Przeprowadzono jedno- i dwukierunkowe analizy wariancji w celu określenia wpływu nawozów na skład chemiczny sałaty masłowej. Jednorodność grup potwierdzono za pomocą testu post hoc (test Tukey'a na poziomie 0.05). Nazwy grup jednorodnych ustalono od najmniejszej do największej wartości. Do wszystkich zmierzonych wartości dodano również błąd standardowy (SE). Wszystkie analizy statystyczne wykonywano za pomocą

programu Statistica 12 i 13 (Dell Inc.), a do sporządzania wykresów posłużono się narzędziami dostępnymi w programie Excel 2010 (Microsoft).

### Analiza statystyczna w doświadczeniu z soją

Dane z analiz chemicznych (P, Mg, K, pH, zasolenie) poddano analizie statystycznej ANOVA/MANOVA w programie Statistica (wersja 13.1 StatSoft, Polska). Poziom istotności ustalono na  $\alpha = 0.05$ . Wykonano jednokierunkowe i dwukierunkowe analizy średnich w celu określenia wpływu nawozu fosforowego na analizy chemiczne gleby. Korelacje i rysunki zostały przygotowane za pomocą programu Statistica.

## 4.5. Najważniejsze wyniki badań

### 1. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na zawartość makroelementów w pędach wybranych klonów wierzby (*Salix viminalis* L.)

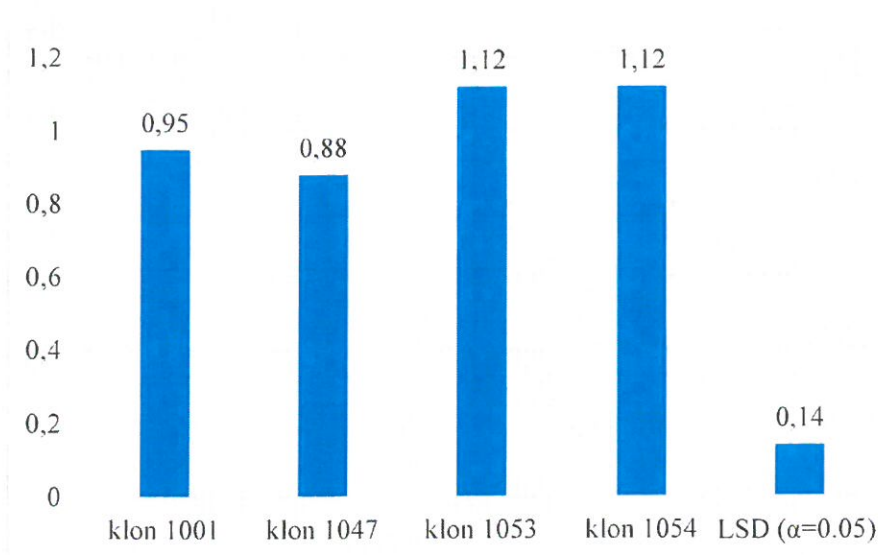
[A1] Jama-Rodzeńska A., Bocianowski J., Nowak W., Ciszek D., Nowosad K. (2016) The influence of communal sewage sludge on the content of macroelements in the stem of selected clones of willow (*Salix viminalis* L.), *Ecological Engineering* 87, 212-217. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.046. **100 pkt. (IF<sub>2022</sub> 4,379).**

Na przestrzeni dwunastu-piętnastu lat, zagospodarowanie osadów ściekowych w Polsce realizowane było m. in. poprzez ich rolnicze wykorzystanie, jednak kontrowersje związane z jego składem chemicznym tj. obecność metali ciężkich, zanieczyszczeń mikrobiologicznych oraz zanieczyszczeń organicznych spowodowało, że zaczęto rezygnować z tego kierunku wykorzystania. Za wykorzystaniem wówczas osadów ściekowych w nawożeniu roślin przemawiała obecność substancji organicznej i pierwiastków biogennych, zwłaszcza, azotu i fosforu. Azot w osadach ściekowych występuje w postaci organicznej, a średnia zawartość azotu wynosi około 3,2% suchej masy, natomiast fosfor występuje w postaci organicznej i mineralnej, a średnia zawartość to ok. 3%. Ich skład chemiczny pozwala na wykorzystanie w rolnictwie podlegając jednocześnie restrykcjom w związku z obecnością metali ciężkich i bakterii chorobotwórczych (Rosik-Dulewska i Oleszek-Kudlak 2002). Osady ściekowe mogą być wykorzystane do uprawy roślin przeznaczonych nie do spożycia przez ludzi i zwierzęta, tzn. roślin, które charakteryzują się znacznymi potrzebami pokarmowymi, a jednocześnie odpornymi na zanieczyszczenia występujące w glebie (metale ciężkie) z możliwością ich pobierania i akumulowania w swoich organach i późniejszym wykorzystaniu na cele energetyczne (Lazdina i in. 2007; Labreque i in. 1997). Istnieje wiele klonów wierzby, które są w stanie pobierać makroelementy, zwłaszcza N i P z osadów ściekowych oraz metale ciężkie, akumulując je w biomase nadziemnej przyczyniając się do osiągnięcia zwyżki plonu i nie powodując niekorzystnych zmian w glebie (Mertens i in. 2006).

W pracy przedstawiono wyniki dotyczące wpływu komunalnych osadów ściekowych na zawartość makroelementów (N, P, Mg, Ca, Na i K) w pędach wybranych klonów wierzby krzewiastej. Doświadczenie polowe z dwoma czynnikami przeprowadzono metodą split-plot w latach 2009-2010 na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w Pawłowicach. Sadzonki wierzby posadzono w 2003 roku w rozstawie 0,4 m i odległości: w rzędzie 0,7m (liczba sadzonek na 1 ha wynosiła 35 714 sztuk). Pierwszym czynnikiem były dwie dawki osadów ściekowych w stosunku do kontroli: 75 i 150 t ha<sup>-1</sup> świeżej masy osadów ściekowych (14,3 i 25,6 t ha<sup>-1</sup> s.m.). Kontrolę stanowiły obiekty nienawożone osadami ściekowymi. Osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków Janówek (koło Wrocławia). Osad ściekowy został zastosowany tylko raz przed rozpoczęciem doświadczenia w 2008 roku. Drugim czynnikiem były cztery wybrane klony *Salix viminalis* L.: 1001 (*Salix viminalis* × *dasyclados* ssp. *Baltica*), 1047 (*Salix viminalis* var. *gigantea*), 1053 (*Salix Orm Valne*), 1054 (*Salix viminalis* 082).

Badane klony wierzby charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością makroelementów w pędach. Dawka osadu ściekowego nie wpłynęła na zawartość fosforu w pędach wierzby. Istotne różnice stwierdzono między badanymi klonami wierzby. Najwięcej fosforu stwierdzono w klonie 1054 (*Salix viminalis* L. 082), a najmniej w klonie 1047, co jest wynikiem zróżnicowania genetycznego (Rysunek 1).

**Rysunek 1.** Zawartość fosforu w pędach wierzby (g·kg<sup>-1</sup>) (średnia dla lat 2009-2010) (Jama-Rodzeńska i in. 2016)



Dawki osadu ściekowego nie miały wpływu na zawartość potasu (P=0,165). Zawartość tego pierwiastka była istotnie zależna od lat badań. Najwięcej potasu stwierdzono w pędach wierzby w drugim roku badań. Największą zawartością potasu charakteryzował się klon 1047, natomiast istotnie najmniej klon 1053 i 1054. Najwięcej sodu stwierdzono w pędach wierzby w pierwszym roku badań. Wyniki badań wskazują na znaczny wpływ dawek osadów w 2009 roku dla zawartości azotu w pędach wierzby (Tabela 4).

**Tabela 4.** Wpływ osadów ściekowych na zawartość azotu w pędach wierzby ( $\text{mg kg}^{-1}$  s.m.) (średnia dla interakcji 2009-2010) ( $\pm$ odchylenia standardowe)

Dawka osadów ściekowych	Rok		ŚREDNIA
	2009	2010	
Kontrola	8.55±0.70	7.17±0.06	7.86±0.07
75 t ha <sup>-1</sup>	7.40 ±0.14	9.35±0.15	8.37±0.13
150 t ha <sup>-1</sup>	9.05±0.11	7.95±0.11	8.50±0.10
LSD ( $\alpha=0.05$ )	1.73		n.s
Średnia	8.33±0.82	8.15±0.11	-
LSD ( $\alpha=0.05$ )	n.s	n.s	-

Dodatknie statystycznie istotne wartości współczynników korelacji stwierdzono pomiędzy zawartością popiołu a zawartością makroelementów i przedstawiono w Tabeli 5: popiół z P ( $r = 0.5852$ ), popiół z K ( $r = 0.6707$ ), popiół z Ca ( $r = 0.7542$ ), N z Ca ( $r = 0.6403$ ), P z K ( $r = 0.7042$ ), K z Ca ( $r = 0.6915$ ), K z Na ( $r = 0.5834$ ) i Ca z Na ( $r = 0.7978$ ).

**Tabela 5.** Współczynnik korelacji Pearsona określony dla składu chemicznego pędów wierzby

	Popiół	N	P	Mg	K	Ca	Na
Popiół	1						
N	0.5731	1					
P	0.5852*	0.3501	1				
Mg	-0.3048	-0.069	-0.3177	1			
K	0.6707*	0.3198	0.7042*	-0.2368	1		
Ca	0.7542**	0.6403*	0.5039	-0.1487	0.6915*	1	
Na	0.4205	0.4191	0.5103	-0.2908	0.5834*	0.7978*	1

\* $P < 0.05$

\*\*  $P < 0.01$

Podsumowując, należy stwierdzić, że zaobserwowano zróżnicowanie zawartości makroelementów w klonach wierzby. Najwięcej fosforu stwierdzono w klonie 1054 (*Salix viminalis* 082), a potasu w klonie 1047 (*Salix viminalis var gigantea*). Jest to efekt zmienności genetycznej klonów. Zaobserwowano także istotne zależności między zawartością popiołu a zawartością makroelementów (P, K i Ca). Dodatkowo zaobserwowano dodatnie korelacje pomiędzy N i Ca, P i K, K i Ca, K i Na oraz Ca i Na.

Osad ściekowy może być stosowany wyłącznie do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, jak i do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz. W Polsce ze względu na dominację w strukturze zasiewów roślin zbożowych, zastosowanie osadów ściekowych nie będzie stosowane na dużą skalę. Ze względu na zakaz składowania osadów ściekowych z dniem 1 stycznia 2016 r. rozpoczęto poszukiwać nowych,

alternatywnych metod ich wykorzystania. Kolejna praca dotyczy wykorzystania osadów ściekowych jako materiału bogatego w fosfor, który powinien być odzyskiwany z możliwością jego ponownego wykorzystania.

## **2. Od osadów ściekowych do fosforu: Interdyscyplinarne podejście do odzysku fosforu ze ścieków w oparciu o koncepcję TRIZ.**

[A2] **Jama-Rodzeńska A.**, Białowiec A., Koziel J., Sowiński J. (2021) Waste to phosphorus: A transdisciplinary solution to P recovery from wastewater based on the TRIZ approach, *Journal of Environmental Management*, 287, 1, 112235.

DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112235. **100 pkt (IF<sub>2022</sub> 8, 910).**

W pracy skupiono się na odzysku fosforu z osadów ściekowych oraz dokonano analizy wpływu czynników na możliwość wykonania takiego procesu. Teoria TRIZ (*Teoria reszenija izobretatielskich zadacz* - Rus., *Theory of Inventive Problem Solving* - Eng.), jest metodą wykorzystywaną do rozwiązywania złożonych problemów, gdzie dostępna wiedza nie jest w stanie zapewnić skutecznego i przejrzystego rozwiązania danego problemu (Jiang i in., 2011). Celem pracy było wskazanie na złożoność i wieloaspektowość odzysku fosforu jako kierunku zagospodarowania osadów ściekowych w najbliższej przyszłości, podkreślając jego zrównoważony charakter, spełnienie założeń gospodarki obiegu zamkniętego i zasad 4R (*reduction, recovery, reuse, recycling*). Na podstawie koncepcji TRIZ, osady ściekowe zostały zidentyfikowane jako odpady o dużym potencjale odzysku fosforu (do 90%). Odzysk fosforu wymaga podejścia zrównoważonego, interdyscyplinarnego w celu połączenia i rozwiązania różnych aspektów: społeczno-ekonomicznych, ekonomicznych, środowiskowych, technicznych i prawnych. Taki proces ze względu na ograniczenia techniczne, instytucjonalne, środowiskowe czy prawne nie będzie oparty na jednym rozwiązaniu. Dlatego głównym zadaniem jest określenie zintegrowanego, holistycznego podejścia, które pozwoli na identyfikację obszarów o największym wpływie na ten proces (Rysunek 2).





biogeochemiczny cykl fosforu, potrzeba konsumpcji żywności, życie w zanieczyszczonym środowisku, znaczenie fosforu dla procesów przyrodniczych i przemysłowych, know-how w zakresie eksploatacji i wykorzystania fosforu, zaopatrzenie w fosforu.

Do skutecznego odzysku fosforu z osadów ściekowych potrzebna jest wiedza z różnych dyscyplin. Wszystkie aspekty, począwszy od naturalnego cyklu fosforu, po jego wydobycie, eksploatację, poszukiwanie dostępnych materiałów z dużą zawartością fosforu, tworzą sekwencję, która pozwala na przewyższenie *czarnego scenariusza* związanego wyczerpaniem apatytów. Sam odzysk fosforu jest ostatnim etapem tej złożonej sekwencji pod warunkiem, że zostaną spełnione wszystkie elementy w dwóch pierwszych sferach.

Metoda opracowana w niniejszej pracy generuje realistyczne podejście i indentyfikuje problemy, które muszą być rozwiązane podczas procesu odzysku fosforu. Z tego powodu istotne jest określenie i pokonanie występujących problemów związanych z zanieczyszczeniem środowiska, niekontrolowaną akumulacją fosforu, emisją fosforu, jego stratami, eutrofizacją i dyspersją fosforu w środowisku. Po spełnieniu tych warunków można przystąpić do regulacji odzysku fosforu tak, aby osiągnąć korzyści dla środowiska i społeczności (w tym sektora rolniczego i produkcji zwierzęcej). Zaawansowanie techniki oczyszczania ścieków są podstawą do generowania osadów ściekowych będących znaczącym źródłem fosforu. Izolacja zrzutu fosforu poprzez jego odzysk z osadów ściekowych, powoduje, że może być on materiałem wykorzystanym do produkcji nawozów fosforowych.

W kolejnym artykule zwrócono w dalszym ciągu uwagę na temat odzysku fosforu z osadów ściekowych, po ich termicznej utylizacji oraz możliwość produkcji nawozu fosforowego z uwzględnieniem punktów krytycznych.

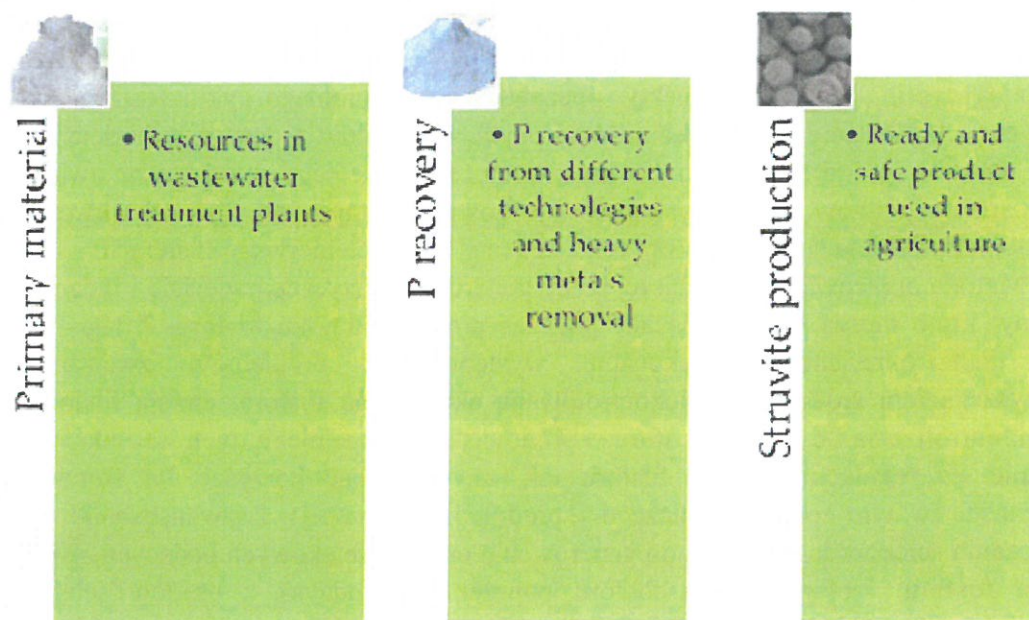
### **3. Odzysk fosforu z popiołów powstających po termicznej utylizacji osadów ściekowych w oparciu o metodę Cradle-to-Cradle**

**[A3] Jama-Rodzeńska A., Sowiński J., Koziel J., Białowiec A. (2021) Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash Based on Cradle-to-Cradle Approach—Mini-Review, *Minerals*, 11, 985, 1-17. DOI: 10.3390/min1109098. 100 pkt (IF<sub>2022</sub> 2,818).**

Celem niniejszej pracy było przedstawienie realizacji koncepcji C2C biorąc pod uwagę odzysk fosforu po przekształceniu termicznym osadów ściekowych. W pracy skupiono się na kilku etapach odzysku fosforu prezentując nie tylko cyrkularny jego obieg, ale również zalety i wady (punkty krytyczne obejmujące głównie produkcję certyfikowanych nawozów fosforowych).

Gospodarka osadami ściekowymi stoi przed poważnym zadaniem wyprodukowania bezpiecznego nawozu, który rolnicy w przyszłości będą mogli stosować mając na względzie pozytywny wpływ na wielkość i jakość plonów, bezpieczeństwo stosowania związane z brakiem obecności metali ciężkich oraz cenową konkurencyjność. Wyczerpywanie się zasobów fosforu i wysokie ceny nawozów będą mogły dodatkowo zachęcić rolników do stosowania takich nawozów. Analiza produkcji nawozów fosforowych z osadów ściekowych jest integralną częścią przekształcania osadów w certyfikowany produkt dla rolnictwa. Odzysk fosforu rozpoczyna się od przekształcenia osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków i może się skończyć produkcją certyfikowanego produktu nawozowego (Rysunek 3). Badania nad zastosowaniem koncepcji C2C i zamknięciem cyklu fosforu poprzez wykorzystanie osadów ściekowych i produkcji nawozu fosforowego w rolnictwie, są ograniczone.





**Rysunek 3.** Produkcja struwitu i możliwość wykorzystania w rolnictwie w ramach zamkniętego cyklu fosforu w rolnictwie (Jama-Rodzeńska i in. 2021)

Strategia C2C opiera się na trzech głównych zasadach:

- (a) odpady są równoważne z żywnością,
- (b) wszystkie odpady mogą być uważane za składniki odżywcze (biogenne) dla kolejnych cykli życia produktu i są traktowane jako część procesów biologicznych i technologicznych,
- (c) wszystkie odpady powinny być poddawane recyklingowi (Kopina 2018).

Metodyka badań zamkniętego cyklu fosforu składa się z kilku etapów:

1. charakterystyka osadów ściekowych i popiołu powstałego z osadów ciekowych:
  - a) określenie składu chemicznego osadów i popiołów, z uwzględnieniem zawartości fosforu oraz metali ciężkich jako zanieczyszczeń osadów;
  - b) przedstawienie wdrożonych technologii stosowanych do odzysku fosforu z popiołów powstałych po obróbce termicznej osadów ściekowych,
  - c) przedstawienie wdrożonych technologii usuwania metali ciężkich z osadów;
2. Produkcja w sposób zrównoważony certyfikowanych produktów bogatych w fosfor, rekomendowanych dla rolnictwa.

Zamknięty cykl fosforu został omówiony z uwzględnieniem czterech zakresów koncepcji C2C:

Zakres 1: Powstawanie popiołów z oddzieleniem fosforu i metali ciężkich jako proces technologiczny.

Zakres 2: Obróbka termiczna osadów ściekowych (spalanie, piroliza) w celu produkcji popiołów jako proces obróbki wstępnej.

Zakres 3: Odzysk fosforu ze wstępnie przetworzonych odpadów z oddzieleniem metali ciężkich:

Podzakres 3a: odzysk fosforu z popiołów jako substratu do nowych produktów,

Podzakres 3b: Zmniejszenie zawartości metali ciężkich w popiele.



#### Zakres 4. Produkcja certyfikowanych nawozów fosforowych.

Fosfor występuje w osadach ściekowych w różnych formach: organicznej i nieorganicznej, przy czym ta druga jest bardziej dostępna dla roślin (Cieślik i Konieczka 2017). Całkowita zawartość fosforu w osadach ściekowych jest zróżnicowana i wynosi od 5 do 25 g·kg<sup>-1</sup> s.m (Bezak-Mazur i Stoińska 2013). Fosfor występuje również w połączeniu z glinem lub jako składnik związków organicznych, natomiast w połączeniu z kadmem w niewielkich ilościach (Bezak-Mazur i Stoińska 2013). Około 10% całkowitej zawartości fosforu w osadach ściekowych występuje w formie rozpuszczalnej w wodzie i w formie łatwo ekstrahowalnych fosforanów (Kirchmann i in. 2017). Zawartość fosforu nieorganicznego zależy od substancji chemicznych stosowanych w procesie oczyszczania ścieków w celu odzysku fosforu i poprawy odwadniania osadów (Kominko i in. 2017). Około 67-69% fosforu jest skoncentrowane w popiele lotnym po spalaniu osadów ściekowych (Niu i in. 2015). Metale ciężkie w popiele po spaleniu osadu ściekowego występują w różnych formach, przede wszystkim tlenków i wodorotlenków (Liu i in. 2015). Metale ciężkie, które mogą występować w popiele po spalaniu osadów ściekowych to Zn, Cu, Cr, Pb, Ni i Cd, jednak występują tylko w niewielkiej liczbie próbek popiołu. Znaczne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich może wynikać z różnic w systemach oczyszczania ścieków, warunkach spalania i metodzie oznaczenia tych pierwiastków (Chin i in. 2016). Metody termochemiczne są uważane za najbardziej efektywne w usuwaniu metali ciężkich z popiołów do wartości poniżej dopuszczalnych limitów dla nawozów, a jednocześnie zwiększają biodostępność fosforu (Yu i in. 2016).

Punktem krytycznym koncepcji C2C jest brak standardowych badań nawozów spełniających te kryteria, stąd rozpoczęto badania z wykorzystaniem takiego nawozu, co widoczne jest w kolejnych pracach badawczych. Kolejne artykuły obejmują już badania dotyczące zastosowania nawozu powstałego z osadów ściekowych i określeniu ich wpływu na plonowanie, skład chemiczny materiału roślinnego wybranych gatunków roślin. Takie nawozy są dostępne już na świecie, ale jest to ograniczona ilość, co widać w Tabeli 6:

**Tabela 6.** Nawozy produkowane na bazie popiołów jako produkt kończący zamknięty cykl fosforowy

Nazwa nazowu z odpadów	Materiał wykorzystany do produkcji nawozu	Skład	Kraj produkcji
SSAB (SS popiół-Bacillus)	Popiół z osadów ściekowych	Bakterie	Polska
Gifu-no-Daichi	Popiół z osadów ściekowych	Granulowany nawóz lub polepszacz glebowy	Japonia
Phoscraft	Popiół z osadów ściekowych	NPK 20-8-8	Austria Niemcy
PolFerAsh	Popiół z osadów ściekowych	Brak danych	Polska
Cristal Green	Osady ściekowe	NPMg	Kanada
Phosgreen	Osady ściekowe	NPMg	Polska

Zmniejszenie zależności od wydobycia apatytów można osiągnąć poprzez odzysk i ponowne wykorzystanie fosforu w rolnictwie z popiołów z osadów ściekowych. Odzysk fosforu z popiołów po spalaniu osadów ściekowych w oparciu o koncepcję cradle-to-cradle

(C2C) wydaje się być racjonalny i technologicznie wykonalny. Koncepcja C2C pozwoli przeciwdziałać wyczerpywaniu złóż apatytów, przyczyni się do wdrożenia koncepcji *zero waste* i sprawi, że systemy produkcji żywności będą bardziej zrównoważone. C2C pozwoli na zamknięcie cyklu fosforu poprzez wprowadzanie produktu na rynek w oparciu o ustanowiony system certyfikacji.

#### 4. Wpływ różnych dawek fosforu z alternatywnych i tradycyjnych nawozów na plon i skład chemiczny sałaty masłowej (*Lactuca sativa* L.) uprawianej na podłożu torfowym.

[A4] Jama-Rodzeńska A., Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Svecnjak Z., Latkovic D. (2021), Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate, *Agriculture*, 11 (12), 1-15. DOI: 0.3390/agriculture11121279. **100 pkt (IF<sub>2022</sub> 3. 408).**

Struwit jest nawozem odzyskiwanym z różnych materiałów, jednak ten odzyskiwany z osadów ściekowych nie został dokładnie przebadany pod kątem wykorzystania w rolnictwie i ogrodnictwie w nawożeniu roślin i jego wpływie na środowisko glebowe. W przeprowadzonych doświadczeniach szklarniowych wykazano porównywalną lub lepszą efektywność struwitu w porównaniu z tradycyjnie stosowanym nawozem fosforowym (Ricardo i in. 2009; Reza i in. 2019). Wyższe wartości plonu pod wpływem nawożenia struwitem wykazano w uprawie wielu roślin ogrodniczych (sałata, kapusta), jak i polowych (trawy sudańska, kukurydza, soja) w porównaniu do nawozów tradycyjnych (Ricardo i in. 2009, Wen i in. 2019, Reza i in. 2019). Zawartość magnezu w struwicie powoduje, że nawóz ten jest bardziej efektywny w porównaniu z innymi nawozami. Nawożenie struwitem prowadzi również do zwiększenia zawartości i pobierania fosforu przez rośliny (Jama-Rodzeńska i in. 2021). Rośliny nawożone struwitem także mogą mieć niższe stężenie metali ciężkich w porównaniu z nawozami konwencjonalnymi, co potwierdzono także w badaniach własnych.

W celu oceny sprawdzenia nawozu powstałego z osadów ściekowych na plon i skład chemiczny sałaty masłowej uprawianej na podłożu torfowym w okresie trzech miesięcy (maj-lipiec 2021) przeprowadzono doświadczenie szklarniowe w dwóch seriach. Zarówno, struwit jak i superfosfat stosowano w trzech dawkach: (1) dawka optymalna, (2) dawka zmniejszona (o 50% niższa od optymalnej) oraz (3) dawka zwiększona (50% wyższa od optymalnej). W doświadczeniu w doniczkach uprawiano dla porównania rośliny nienawożone (kontrola, bez nawożenia fosforem).

Istotnie większą liczbę liści (o 18% większą w porównaniu do kontroli i o 4% większą niż w superfosfacie) stwierdzono pod wpływem nawożenia struwitem (Tabela 7).

**Tabela 7.** Wpływ różnych dawek z nawozów fosforowych na wybrane cechy roślin

Nawożenie fosforem	Świeża masa liści (g)	Liczba liści (szt.)
<b>Nawożenie (A)</b>		
kontrola	96±6	10a±0.8
Superfosfat potrójny	112±6	12b±0.3
Struwit (Phosgreen)	127±10	12b±0.5
<i>P</i>	r.n	0.05
<b>Dawki nawozów fosforowych (B)</b>		

kontrola	96±6	10a ±0.8
Dawka pomniejszona	121±8	12ab±0.4
Dawka optymalna	112±13	12ab±0.5
Dawka zwiększona	126±10	13b±0.5
<i>P</i>	r.n	0.5
AxB	r.n	r.n

± błąd standardowy; r.n – różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie na poziomie  $\alpha = 0.05$ .

a-wartość najmniejsza, b- wartość największa. brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

Nawożenie struwitem przyczyniło się do wzrostu zawartości fosforu w liściach sałaty o 83% w stosunku do kontroli i o 13% w stosunku do superfosfatu potrójnego oraz do wzrostu pobrania tego pierwiastka o 142% w stosunku do kontroli i 32% w stosunku do superfosfatu potrójnego. Podobną tendencję zaobserwowano w przypadku zawartości azotu azotanowego ( $N-NO_3^-$ ) i jego pobrania. Istotnie największą zawartość azotanów, jak i pobranie stwierdzono przy zastosowaniu dawki zwiększonej nawozów fosforowych. W przypadku fosforu zastosowanie zmniejszonej dawki, doprowadziło do istotnego wzrostu i zawartości i pobrania przez sałatę (Tabela 8).

**Tabela 8.** Wpływ nawożenia fosforowego na zawartość i pobranie wybranych pierwiastków przez sałatę masłową

Nawożenie fosforem	P (mg·100g s.m)	Pobranie P (mg na masę liści)	Mg (mg·100g s.m)	Pobranie Mg (mg na masę liści)	N-NO <sub>3</sub> (mg·100 g s.m)	Pobranie N-NO <sub>3</sub> (mg na masę liści)
<b>Nawożenie (A)</b>						
kontrola	121a±10	11a±1.0	178±22	17±2.1	135.6a±14	13.2a±1.4
Superfosfat potrójny	195b±15	21b±1.3	157±59	20±7.9	225.3ab±36	26.0a±4.7
Struwit (Phosgreen)	221b±6	28c±0.6	147±31	19±4.3	309.5c±29	38.9b±3.0
<i>P</i>	<0.01**	<0.001***	r.n	r.n	<0.05*	<0.01**
<b>Dawki nawozów fosforowych (B)</b>						
kontrola	121a±10	11a±1.0	178±22	17±2.2	136.6a±14	13.2a±1.4
Dawka pomniejszona	228b±13	27b±1.2	129±50	16±7.3	254.6a±20	30.1ab±0.5
Dawka optymalna	200b±11	22b±2.3	91±31	11±4.0	191.0a±50	22.0a±6.6
Dawka zwiększona	196b±18	24b±1.8	237±66	30±9.3	356.6b±26	44.7b±2.4
<i>P</i>	<0.01**	<0.001***	r.n	r.n	<0.05*	<0.01**

± błąd standardowy; r.n – różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, c- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Nawożenie struwitem spowodowało istotny wzrost pH, podobnie jak różne dawki nawożenia fosforem (Tabela 9). Statystycznie wyższy odczyn torfu uzyskano w doniczkach, w których zastosowano struwit. Zastosowanie struwitu spowodowało znaczne obniżenie

zasolenia torfu, co jest istotne w kontekście degradacji gleb w postaci zasolenia. Aplikacja struwitu spowodowała także istotny wzrost zawartości fosforu w torfie również w porównaniu do zastosowania superfosfatu. Istotnie wyższe wartości fosforu uzyskano, tam gdzie zastosowano dawkę największą (Tabela 9). Zawartość magnezu była zależna od dawek nawożenia fosforem. Najkorzystniejszą pod kątem zawartości magnezu w torfie okazała się zwiększona dawka struwitu (Tabela 9).

**Tabela 9.** Wpływ nawożenia struwitu na zawartość P, Mg i azotanów N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w podłożu torfowym

Nawożenie	pH	Zasolenie	P (mg·dm <sup>-3</sup> )	Mg (mg·dm <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg·dm <sup>-3</sup> )
<b>Nawożenie (A)</b>					
kontrola	5.2a±0.1	1257ab±12	23a ±1.2	32±1.2	5.4 a±2.1
Superfosfat potrójny	5.7b±0.1	1185b ±104	123ab±20	38±9.9	3.1a±1.5
Struwit (Phosgreen)	5.8b±0.1	846a±80	143b±22	58±10	50.1b±4.8
<i>P</i>	<0.001***	<0.01**	<0.01**	r.n	<0.01**
<b>Dawki nawozów (B)</b>					
kontrola	5.3 a±0.1	1257±12	23a±1.2	32ab±1.2	5.4±2.1
Dawka pomniejszona	5.8c±0.1	950±230	80b±5.5	25a±7.5	2.7±3.2
Dawka optymalna	5.8c±0.1	953±11	106b±13	47 ab±12.4	36.2±2.4
Dawka zwiększona	5.6b±0.1	1143±31	214c±5.8	73b±10.9	41.0±12
<i>P</i>	<0.001***	r.n	<0.01**	<0.05*	r.n
A x B	r.n	<0.01**	<0.01**	r.n	<0.01**

±błąd standardowy; r.n - różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, c- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Nawożenie fosforem miało wpływ jedynie na zawartość Zn w liściach roślin. Najmniejszą ilość tego pierwiastka odnotowano w przypadku nawożenia struwitem (60 mg·kg<sup>-1</sup>). Dawki nawozów fosforowych istotnie wpłynęły na zawartość Zn i Cd. Najmniejszą ilość Zn i Cd stwierdzono w przypadku stosowania zalecanych i zwiększonych dawek (zawartość Zn) oraz zalecanej dawki (zawartość Cd) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Wpływ nawożenia fosforowego na zawartość wybranych metali ciężkich w sałacie masłowej (mg·kg<sup>-1</sup> s.m)

Nawożenie	Zn	Pb	Cd	Cu
<b>Nawożenie (A)</b>				
kontrola	100b±11	0.959±0.1	0.5±0.1	4.01±0.2
Superfosfat	67b±5.3	0.982±0.1	0.5±0.1	4.21±0.3

potrójny				
Struwit (Phosgreen)	60a±5.3	0.800±0.1	0.4±0.0	3.53±0.2
<i>P</i>	<0.01**	r.n	r.n	r.n
<b>Dawki nawozów fosforowych (B)</b>				
kontrola	100b±1.1	0.959±0.1	0.5b±0.1	4.01±0.5
Dawka pomniejszona	79b±6.1	0.924±0.1	0.5b±0.0	3.81±0.4
Dawka optymalna	54a±4.1	0.868±0.1	0.3a±0.0	3.53±0.3
Dawka zwiększona	56a±4.5	0.881±0.1	0.5b±0	4.27±0.4
<i>P</i>	<0.001***	r.n	<0.05*	r.n
A x B	r.n	r.n	r.n	r.n

±błąd standardowy; r.n - różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, b- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Nawożenie fosforem i różne dawki miały istotny wpływ na zawartość Zn, Pb i Cu w torfie (Tabela 11). Istotnie większą zawartość Zn i Cu stwierdzono przy nawożeniu struwitem, natomiast superfosfat potrójny zwiększył zawartość Pb. Największe zawartości Zn i Pb obserwowano przy zmniejszonej dawce nawożenia fosforem. Nawożenie fosforem nie miało natomiast wpływu na zawartość Cd w torfie, podobnie jak różne dawki tego nawozu. Nawożenie fosforem miało natomiast istotny wpływ na zawartość Cu w podłożu torfowym.

**Tabela 11.** Wpływ nawożenia fosforem na zawartość wybranych metali ciężkich w podłożu torfowym ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m)

Nawożenie	Zn	Pb	Cd	Cu
<b>Nawożenie (A)</b>				
kontrola	0.07a±0.0	0.2a±0.0	0.16±0.0	0.58a±0.0
Superfosfat potrójny	2.9b±0.2	15.3b±0.8	0.32±0.0	0.88±0.0
Struwit (Phosgreen)	2.36b±0.2	15.2b±0.9	0.80±0.0	1.69±0.2
<i>P</i>	<0.001***	<0.001***	r.n	<0.01**
<b>Dawki nawozów (B)</b>				
kontrola	0.07a±0.0	0.2a±0.0	0.16±0.0	0.58±0.1
Dawka pomniejszona	2.47b±0.2	15.6b±1.2	0.40±0.1	1.76±0.4
Dawka optymalna	1.93b±0.1	14.5b±1.1	0.32±0.0	0.96±0.2
Dawka zwiększona	2.29b±0.2	15.5b±1.1	0.96±0.6	1.13±0.1
<i>P</i>	<0.001***	<0.001***	r.n	r.n
A x B	r.n	r.n	r.n	<0.01**

±błąd standardowy; r.n - różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, b- wartość największa., brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$



\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Wyniki badań wskazują, że nawóz Phosgreen jest bardziej efektywny niż superfosfat potrójny, gdyż spowodował zwiększenie liczby liści sałaty masłowej, zawartości fosforu w torfie i sałacie oraz jego pobranie. Może to być związane z większą ilością magnezu występującego w składzie nawozu Phosgreen i jego synergistycznym wpływie na pobieranie fosforu. Potencjalna wartość struwitu jako rynkowego nawozu fosforowego jest obiecująca, zwłaszcza dla roślin o wysokich wymaganiach względem fosforu i magnezu. Bezpieczeństwo stosowania struwitu wynika z niskiej zawartości metali ciężkich, a co za tym idzie niskiego ich poziomu w sałacie masłowej. Żadna z badanych dawek struwitu nie spowodowała wzrostu zawartości metali ciężkich w liściach sałaty masłowej. Zwiększona dawka struwitu była najkorzystniejsza, ponieważ doprowadziła do wzrostu zawartości fosforu, natomiast wszystkie dawki struwitu powodowały wzrost pobrania fosforu. Struwit wydaje się być lepszym źródłem fosforu w porównaniu do superfosfatu potrójnego, który dostarcza jednocześnie magnez, a którego zawartość w polskich glebach jest deficytowa.

##### 5. Wpływ różnych dawek nawożenia Phosgreen na zawartość chlorofilu, K i Ca w sałacie masłowej (*Lactuca sativa* L.) uprawianej w podłożu torfowym

[A5] Jama-Rodzeńska A., Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Falkiewicz A., Białkowska M. (2022) Effect of Different Doses of Phosgreen Fertilization on Chlorophyll, K, and Ca Content in Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown in Peat Substrate, *Agriculture*, 12(6), 788. DOI: 10.3390/agriculture12060788. **100 pkt (IF<sub>2022</sub> 3. 408).**

Struwit jest słabo rozpuszczalnym w wodzie kryształem (zaledwie 3% całkowitej zawartości fosforu jest rozpuszczalne w wodzie) (Szymańska i in. 2019). Po wprowadzeniu do gleby nawozy fosforowe zawierające struwit powoli uwalniają ten pierwiastek (Cabeza i in. 2011). Dlatego ilość fosforu uwalnianego z nawozów fosforowych mających w swoim składzie struwit, może być niewystarczająca, szczególnie we wczesnych fazach rozwoju roślin (Huygens i in. 2018). Zawartość magnezu w nawozach struwitowych sprawia, że forma ta jest bardziej efektywna w porównaniu z innymi nawozami (Szymańska i in. 2019). Dotychczas nie przeprowadzono badań dotyczących wpływu struwitu na zawartość chlorofilu, karotenoidów i witaminy C w roślinach. Zawartość chlorofilu w liściach jest ważnym parametrem jako wskaźnik zawartości chloroplastów, mechanizmu fotosyntezy i metabolizmu roślin. Jak dotąd nie znaleziono informacji na temat zawartości chlorofilu w roślinach pod wpływem nawożenia Phosgreen. Zawartość chlorofilu zależy od odmiany, części rośliny, terminu zbioru czy fazy rozwojowej. Ponadto różne metody ekstrakcji i kwantyfikacji mogą powodować niespójności w oznaczeniu zawartości chlorofilu (Yilmaz i Gökmen 2016). Celem badań było określenie wpływu nawozu Phosgreen na zawartość chlorofilu a i b, skład chemiczny sałaty i torfu. Hipoteza badawcza zakładała, że nawożenie struwitem wpłynie na zawartość potasu (K) i wapnia (Ca) oraz zwiększy zawartość witaminy C i chlorofilu, a także pobranie Ca i K przez sałatę.

Nawożenie fosforem miało istotny wpływ na zawartość chlorofilu: a, b oraz a + b (ogółem), w liściach sałaty, ale nie wpłynęło na zawartość karotenoidów (Tabela 12). Istotnie wyższą zawartość chlorofilu obserwowano pod wpływem nawożenia Phosgreen w porównaniu z superfosfatem.

**Tabela 12.** Wpływ nawożenia Phosgreen i superfosfatu na zawartość chlorofilu w sałacie masłowej

Nawożenie	Chlorofil a (mg·100 g <sup>-1</sup> sm)	Chlorofil b (mg·100 g <sup>-1</sup> sm)	Chlorofil a+b (mg·100 g <sup>-1</sup> sm)	Karotenoidy μg·100g <sup>-1</sup> s.m
<b>Nawożenie (A)</b>				
kontrola	95 a±5.5	23 ab±1.7	118a±5.6	228±18.2
Superfosfat potrójny	105a±15.4	22a ±10.4	127a±18.4	188±13.8
Struwit (Phosgreen)	186b±13.9	46b±27.9	225b ±13.9	153±26.5
<i>P</i>	<0.001***	<0.05*	<0.001**	r.n
Dawki nawozów (B)	r.n	r.n	r.n	r.n
A x B	r.n	r.n	r.n	r.n

±błąd standardowy; r.n - różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, b- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Zawartość witaminy C była istotnie zależna od nawożenia fosforem, jak i interakcji pomiędzy badanymi czynnikami (Tabela 13). Nawożenie Phosgreen nie zmieniło istotnie zawartości witaminy C w liściach sałaty w porównaniu z kontrolą. W obrębie tego czynnika najwyższą zawartość witaminy C stwierdzono w wariancie z superfosfatem, natomiast najniższą odnotowano w kontroli i w nawożeniu Phosgreen. Istotnie wyższe pobieranie K obserwowano pod wpływem nawożenia superfosfatem i Phosgreen przy zastosowaniu dawki podwyższonej, a pobieranie wapnia przy nawożeniu superfosfatem, również dawką zwiększoną.

**Tabela 13.** Wpływ nawożenia superfosfatem i Phosgreen na zawartość i pobieranie witamin C, K i Ca w sałacie masłowej

Nawożenie fosforem	Skład chemiczny liści sałaty				
	Wit. C (mg·100 g <sup>-1</sup> sm)	K (mg·100 g <sup>-1</sup> sm)	Pobranie K (mg na masę liści)	Ca (mg·100g <sup>-1</sup> s.m)	Pobranie Ca (mg na masę liści)
<b>Nawożenie fosforem (A)</b>					
kontrola	8.2a ±0.3	5625 ±312.5	541a±30.1	541 ±41.6	52±4.01
Superfosfat potrójny	10.b±0.4	5226.±142.8	589a±38.3	628 ±80.1	73±12.9
Struwit (Phosgreen)	8.34a±0.4	5321±20 2.7	676a±11.3	538 ±15.1	68±5.47

<i>P</i>	<0.001***	r.n	r.n	r.n	r.n
<b>Dawki nawozów fosforowych (B)</b>					
kontrola	8.3±0.3	5625ab±312.5	541a±30.1	541a±41.6	52a±4.01
Dawka pomniejszona	9.0±0.4	5013a±204.3	599a±15.9	4654a±41.4	55a±5.18
Dawka optymalna	9.6±1.0	5079ab±188.2	575a±46.6	457a±13.6	52a±3.86
Dawka zwiększona	10.1±0.7	5729b±95.8	723 b±5.0	827b±54.6	105b±9.09
<i>P</i>	r.n	<0.05*	<0.01**	<0.001***	<0.001***
<b>A x B</b>					
kontrola	8.3a±0.3	5625b±312.5	541b±30.1	542ab±41.6	52ab±4.0
Superfosfat dawka pomniejszona	9.7abc±0.1	547 b±0.0	564b±0.0	512a±10.8	53ab±1.1
Superfosfat dawka optymalna	12.1c±0.3	4688a±155.8	472a±15.7	429a±4.2	43a±0.4
Superfosfat dawka zwiększona	11.1c±0.3	552 b±51.6	731d ±6.8	944c±18.3	125d±2.4
Struwit dawka pomniejszona	8.3a±0.5	4556a±12.6	635c±1.8	420a±80.0	57b±11.2
Struwit dawka optymalna	7.6a±0.1	5470b±0.0	678cd±0.0	487a±8.8	60b±1.2
Struwit dawka zwiększona	9.2ab±1.5	5937b±0.0	714d±0.0	709b±27.2	85c±3.3
<i>P</i>	<0.05*	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***

±błąd standardowy; r.n –różnice nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie.

a- wartość najmniejsza, d- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Zawartość wapnia (Ca) w torfie była istotnie zależna od nawożenia fosforem. Istotnie większą zawartość Ca stwierdzono pod wpływem nawożenia superfosfatem i Phosgreen w porównaniu z kontrolą (Tabela 14). Istotnie najwyższą zawartość Ca stwierdzono przy zastosowaniu obniżonej i zalecanej dawki nawozu fosforowego (Tabela 14). Zastosowanie Phosgreen w zalecanej dawce spowodowało istotny wzrost zawartości Ca w torfie. Zawartość potasu (K) była również zależna od wszystkich badanych czynników w doświadczeniu. Phosgreen, jak i superfosfat potrójny, doprowadziły do obniżenia zawartości tego pierwiastka. Interakcja pomiędzy badanymi czynnikami doprowadziła do istotnego zmniejszenia zawartości K w torfie. Największy stosunek K:Mg stwierdzono w kontroli, natomiast tendencję malejącą obserwowano po nawożeniu fosforem i przy stosowaniu różnych dawek. Odwrotną tendencję zaobserwowano w przypadku stosunku Ca:Mg, gdzie nawożenie fosforem doprowadziło do wzrostu tego stosunku, podobnie jak różne dawki nawozów.

**Tabela 14.** Wpływ nawożenia SUP i Phosgreenem na zawartość K i Ca w torfie

Nawożenie fosforem	Skład chemiczny torfu				
	K mg·dm <sup>-3</sup>	Ca mg·dm <sup>-3</sup>	Mg mg·dm <sup>-3</sup>	K: Mg	Ca:Mg



Nawożenie fosforem (A)					
kontrola	1716b±16.6	399a±20.3	32±1.2	54	12
Superfosfat potrójny	65a±8.5	1126b±67.3	38±9.8	1.71	43
Struwit (Phosgreen)	56a±20.8	936b±142.8	58±10.4	0.96	23
<i>P</i>	<0.001***	<0.01**	r.n	-	-
Dawki nawożenia fosforem					
kontrola	1716b±16.7	397a±20.3	32ab±1.2	54	12
Dawka pomniejszona	58a±9.8	1052b±31.6	25a±7.5	2.3	54
Dawka optymalna	58a±11.4	1247b±125.1	47ab±12.4	1.2	31
Dawka zwiększona	65a±15.3	793ab±166.6	73b±10.8	0.9	13
<i>P</i>	<0.001***	<0.01**	<0.05*	-	-
A x B					
kontrola	1716±16.7	399a±20.3	32±1.2	54	12
Superfosfat dawka pomniejszona	79b±4.3	1120b±7.3	15.3±1.8	5.2	75
Superfosfat dawka optymalna	83b±4.3	1093b±229.2	51±27.3	1.67	31
Superfosfat dawka zwiększona	32a±1.0	1163b±25	49±2.6	0.7	23
Struwit dawka pomniejszona	36a±2.7	983b±16.6	36±13.0	1.0	34
Struwit dawka optymalna	33a±1.7	1401b±44.7	42±1.1	0.8	33
Struwit dawka zwiększona	99b±7.4	423a±38.4	97±2.4	1.0	4
<i>P</i>	<0.001***	<0.001***	r.n	-	-

±błąd standardowy; r.n - nieistotne; średnie dla czynników w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie. a-wartość najmniejsza, b- wartość największa, brak oznaczeń literowych oznacza brak istotnych różnic.

\*Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.05$

\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.01$

\*\*\* Analiza wariancji przy istotności na poziomie  $P < 0.001$

Z przeprowadzonego doświadczenia można wyciągnąć trzy główne wnioski, które pozwalają promować zastosowanie tego nawozu w ogrodnictwie:

- 1) wzrost zawartości chlorofilów;
- 2) wyższa zawartość witaminy C, składnika odżywczego niezbędnego dla zdrowia człowieka,
- 3) wyższe pobranie Ca i K przez sałatę przy zwiększonej dawce zarówno struwitu jak i superfosfatu i jego zawartość w torfie w porównaniu z zastosowaniem superfosfatu.

Kolejna praca dotyczy z kolei oceny zasobności gleby w fosfor, magnez i potas w glebie po nawożeniu struwitem w uprawie soi i oznaczenie ich trzema metodami chemicznymi.

## 6. Wpływ nawożenia struwitem (Crystal Green) na zawartość pierwiastków w glebie oznaczanych różnymi metodami w uprawie soi.

[A6] Jama-Rodzeńska A., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Jandy A., J. A. Kamińska (2023) Effect of struvite (*Crystal Green*) fertilization on soil element content determined by different methods under soybean cultivation, *Scientific Reports*, **13**, 12702 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-39753-8.

Wśród składników biogennych dla roślin, fosfor w glebie jest jednym z najtrudniejszych do analizy, ze względu na jego różne formy, w jakich występuje w glebie m.in. ze względu na jej odczyn. Zawartość fosforu jest zwykle analizowana za pomocą testów glebowych, które zostały opracowane w ciągu ostatnich sześciu dekad (Van 1994; Wuenscher i in. 2015). Interpretacja wyników badań fosforu w glebie obarczona jest jednak znaczną niepewnością. Wyróżnia się wiele metod analitycznych, które są stosowane na świecie w celu określenia zawartości fosforu w glebie, z ponad 13 opracowanymi dla zaleceń agronomicznych w USA. Wybór metody zwykle zależy od lokalnych warunków glebowych (np. niektóre testy są opracowane do warunków wysokiego a inne do niskiego pH gleby), chociaż czynniki historyczne i instytucjonalne wpływają głównie na wybór metody analitycznej w różnych obszarach. Metoda Mehlich 3 to kluczowy test nawozowy dla fosforu (P), potasu (K), wapnia (Ca), magnezu (Mg) i niektórych pierwiastków śladowych, nie jest jednak popularny w Polsce w stacjach chemicznych i rolniczych (Mehlich 1953), ale powoli wprowadzany do metodyki analitycznej. Inną metodą, którą można zastosować, w zastępstwie Mehlich 3, jest metoda Yanai, w której jeden roztwór ekstrakcyjny używany jest do jednoczesnej ekstrakcji azotanów, dostępnego fosforu i boru, K, Ca i Mg, Mn oraz rozpuszczalnego w HCl Zn i Cu (Yanai i in. 2000; Tonture i in. 2023). Aby skrócić czas analizy i koszty laboratoryjne, badania koncentrują się na opracowaniu metod wieloekstrakcyjnych, które można wykorzystać do analizy makro- i mikroskładników z tego samego ekstraktu. Celem badań było: (1) poznanie wpływu nawożenia struwitem na zawartość P, K, Mg w glebie w uprawie soi form ogólnych i przyzwajalnych; (2) porównanie trzech laboratoryjnych metod analizy zawartości pierwiastków w glebie; oraz (3) wybór najbardziej odpowiedniej metody analizy zawartości pierwiastków.

W hipotezie roboczej założono, że zawartość fosforu, jak również magnezu w glebie wzrośnie po zastosowaniu struwitu przy oznaczeniu wszystkimi metodami. Metoda Yanai pod względem dokładności będzie porównywalna z metodą Mehlich 3.

Nawóz fosforowy Crystal Green powodował różnice w zawartości wszystkich badanych pierwiastków oznaczonych metodą Egnera-Riehma. Przy nawożeniu struwitem zawartość potasu wzrosła o 2% w porównaniu z kontrolą i o 14% w porównaniu z superfosfatem potrójnym. Zawartość magnezu również wzrosła po nawożeniu struwitem: o 17% w porównaniu z kontrolą. Zawartość fosforu obniżyła się po nawożeniu struwitem; mogło to być jednak spowodowane lekko kwaśnym odczynem gleby. Polskie gleby mają bardzo kwaśny lub kwaśny odczyn gleby i tym samym wpływają na dostępność fosforu. W metodzie Mehlich 3 wartości wszystkich pierwiastków były wyższe w warunkach nawożenia struwitem (Tabela 15). Zawartość magnezu pod wpływem nawożenia struwitem wzrosła o 65% w porównaniu z kontrolą i o 50% w porównaniu z superfosfatem. Nawożenie struwitem powodowało wzrost zawartości P i Mg w glebie oznaczonych metodą Yanai (Tabela 16). Ponownie podobnie jak w metodzie Mehlicha 3, zawartość Mg wzrosła pod wpływem nawożenia struwitem o 19% w porównaniu z kontrolą i o 60% w porównaniu z superfosfatem.

**Tabela 15.** Zawartość przyswajalnych form K, P i Mg ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oznaczona metodą Mehlicha 3. W nawiasie podano wartość  $p$  dla testu  $t$  w porównaniu do grupy kontrolnej.

Metoda umieszczenia nawożenia	Nawóz fosforowy	K	P	Mg
-------------------------------	-----------------	---	---	----

Dokorzeniowo		239	137	52.3
Powierzchniowo		219	135	51.7
Średnia		<b>229</b>	<b>136</b>	<b>52.0</b>
	kontrola	222	123	41.5
	Superfosfat potrójny	220 (0.94)	140 (0.25)	45.7(0.38)
	Struwit	245 (0.36)	146 (0.15)	68.8 (0.00*)
Średnia		<b>229</b>	<b>136</b>	<b>52.0</b>
Dokorzeniowo	kontrola	240	124	41.7
Dokorzeniowo	Superfosfat potrójny	222 (0.66)	133 (0.69)	45.9 (0.59)
Dokorzeniowo	Struwit	257 (0.70)	156 (0.27)	69.2 (0.04*)
Powierzchniowo	kontrola	205	122	41.4
Powierzchniowo	Superfosfat potrójny	219 (0.70)	1470 (0.31)	45.5 (0.60)
Powierzchniowo	Struwit	233 (0.36)	137 (0.51)	68.4 (0.04*)
Średnia		<b>229</b>	<b>136</b>	<b>52.0</b>

\*statystycznie istotne  $\alpha=0.05$

**Table 16.** Zawartość przyswajalnych form K, P i Mg ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oznaczona metodą Yanai. W nawiasie podano wartość  $p$  dla testu  $t$  w porównaniu do grupy kontrolnej.

Metoda umieszczenia nawożenia	Nawóz fosforowy	K	P	Mg
Dokorzeniowo		199	39.8	35.6
Powierzchniowo		212	60.7	43.2
Średnia		<b>206</b>	<b>50.3</b>	<b>39.4</b>
	kontrola	226	51.45	40.3
	Superfosfat potrójny	194 (0.19)	46.6 (0.61)	30.1 (0.02*)
	Struwit	198 (0.25)	52.7 (0.90)	47.9 (0.20)
Średnia		<b>206</b>	<b>50.3</b>	<b>39.4</b>
Dokorzeniowo	kontrola	215(0.66)	35.4 (0.32)	37.7 (0.63)
Dokorzeniowo	Superfosfat potrójny	185 (0.40)	41.4 (0.40)	28.7 (0.08)
Dokorzeniowo	Struwit	199	42.7	40.5
Powierzchniowo	kontrola	237	67.5	42.9
Powierzchniowo	Superfosfat potrójny	203 (0.40)	51.9 (0.19)	31.4 (0.14)
Powierzchniowo	Struwit	198 (0.33)	62.7 (0.67)	55.3 (0.20)
Średnia		<b>206</b>	<b>50.3</b>	<b>39.4</b>

\* statystycznie istotne  $\alpha=0.05$

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że po zastosowaniu struwitu nastąpił wzrost o 34–37% przyswajalnego magnezu w glebie w porównaniu z superfosfatem; zawartość zależała od metody analitycznej (Mehlich 3 i Yanai). Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie pod wpływem struwitu wzrosła o 4% w stosunku do superfosfatu i o 16% w stosunku do kontroli (Mehlich 3). Jednak do pomiaru zrównoważonego nawożenia fosforem w rolnictwie potrzebne są wieloletnie doświadczenia polowe, które przyczyniają się do lepszego zrozumienia działania struwitu i zbadania, które frakcje fosforu będą dominować w glebie po zastosowaniu struwitu w aspekcie ochrony środowiska glebowego.

## 4.6 Dyskusja wyników

W przeprowadzonych badaniach skupiono się na zbadaniu plonu wybranych roślin ogrodniczych i rolniczych, ich jakości oraz skład chemiczny podłoża (gleby), na których zaaplikowano higienizowany osad ściekowy oraz nawóz z niego powstały [A1-A6]. Wykorzystanie struwitu w nawożeniu roślin wpisuje się w gospodarkę obiegu zamkniętego [A2,A3], a w przyszłości taki sposób zagospodarowania odpadów (tj. osadów ściekowych) pozwoli na wykorzystanie go jako substytutu nawozów fosforowych [A2,A3]. Jako, że struwit pozyskiwany jest z odpadów, istotnym elementem jego zastosowania w rolnictwie jest zawartość metali ciężkich nie tylko w struwicie, ale i roślinach, które następnie są bezpośrednio spożywane przez człowieka czy przetwarzane czy glebie [A2,A3]. Obecne stosowane technologie są w stanie skutecznie zmniejszyć zawartość metali ciężkich, a jednocześnie zwiększyć skuteczność odzysku biogenów. Zarówno badania struwitu, jak i materiału roślinnego, wskazały na niewielką ich ilość, często niewykrywalną (jak w przypadku rżęci). W moim badaniu, sałatę masłową potraktowaną struwitem można uznać za bezpieczną pod kątem zawartości metali ciężkich. Według Ackerman i in. (2013) struwit wykazał poziom zanieczyszczenia co najmniej trzykrotnie niższy niż limity określone w niemieckim rozporządzeniu w sprawie osadów ściekowych.

Badania dotyczyły jakości materiału roślinnego, jak i zmian zawartości podstawowych makroskładników w podłożu torfowym i glebie po nawożeniu osadem ściekowym i nawozem. Ze względu na zróżnicowane podłoża (torf i gleba) oraz materiał roślinny, wyniki badań w wielu miejscach są analogiczne, bądź nie wykazały statystycznie istotnych różnic. Ze względu na podział obiektów badawczych, również dyskusja została podzielona na podrodzdziały.

### 4.6.1 Materiał roślinny

Osady ściekowe są źródłem nie tylko fosforu, ale także azotu i wapnia. Gondek i Filipek-Mazur (2006) stwierdzili, że osady ściekowe szczególnie wpływają na zwiększenie zawartości wapnia w roślinach, choć nie udowodniono tego w badaniach własnych. Największą zawartość potasu i sodu zaobserwowano w pierwszym i drugim roku po rozproszczeniu osadów ściekowych na poletkach, co potwierdzają badania Wróbla (2006). Zawartość tych pierwiastków była zróżnicowana na badanych obiektach. Pędy wierzby zawierają najmniejszą ilość (w porównaniu do liści i kory) azotu i fosforu (Maxted i in. 2007).

Wyniki badań Ricardo i in. (2009) wykazały, że masa świeżej główki sałaty była istotnie zależna od nawożenia fosforem i zastosowanej dawki tych nawozów. Świeża masa sałaty wzrastała wraz ze wzrostem dawki struwitu z 0.5 do 0.6 g. Pod wpływem nawożenia struwitem średnia masa *Spinacia oleracea* była ok. dwukrotnie większa niż w przypadku wariantu kontrolnego (nienawożonego) (Li i in. 2013). Podobnie do badań własnych w badaniu Gell i in. (2011), nawożenie superfosfatem i struwitem dały podobny plon kukurydzy.

Liście sałaty nawożone struwitem charakteryzowały się wysoką zawartością fosforu i magnezu w badaniach Ryu i Lee (2016), podobnie jak w badaniu własnym w przypadku fosforu. W naszych badaniach na pobieranie fosforu istotnie wpłynęło nawożenie i dawki nawozów fosforowych [A4]. W przypadku magnezu, struwit nie miał istotnego wpływu na

zawartość i pobranie tego pierwiastka. W badaniu Ricardo i in. (2009) interakcje między nawozem fosforowym i powtórzeniem oraz dawką fosforu i powtórzeniem nie miały istotnego wpływu na pobieranie składników biogennych, w przeciwieństwie do naszych badań. Według Ricardo i in. (2009) pobranie składników pokarmowych wzrastało istotnie wraz ze wzrostem dawek fosforu, zarówno w postaci superfosfatu, jak i struwitu. W naszych badaniach tylko w przypadku fosforu i azotanów ( $\text{N-NO}_3^-$ ) różne dawki nawozu fosforowego powodowały istotne różnice w zawartości i pobraniu. Autorzy powyższych badań zaobserwowali, że dawka struwitu powyżej  $4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  zwiększała pobieranie magnezu w znacznie większym stopniu niż superfosfat, w przeciwieństwie do naszego doświadczenia. Pobieranie fosforu przez sałatę masłową było znacznie wyższe w przypadku struwitu w porównaniu do superfosfatu. Efekty te mogą być związane z większą ilością magnezu zawartego w STR i synergistycznym wpływie na pobieranie fosforu.

Chlorofil a i chlorofil b są podstawowymi pigmentami fotosystemów roślinnych (Richardson i in. 2002). Ich zawartości dostarczają informacji na temat produktywności, wigoru roślin a także jakości środowiska. Ponadto chlorofil a jest podstawowym pigmentem fotosyntetycznym w roślinach, a jego stężenie jest 2-3 razy wyższe w porównaniu do chlorofilu b (Srichaikul i in. 2011). Stosunek ilościowy chlorofilu a do b wynosi zwykle około 3:1, jak przedstawiono w badaniu własnym. Jego zmienność zależy od reżimu świetlnego, siedliska czy fazy rozwojowej roślin. Różnice w zawartości chlorofilu między nawozami fosforowymi mogą wynikać ze składu nawozów fosforowych stosowanych do nawożenia roślin (Rodolfi in. 2021). W niniejszym badaniu wyższą całkowitą zawartość chlorofilu odnotowano w sałacie nawożonej Phosgreen (który zawiera również N i Mg) w porównaniu z tradycyjnym mineralnym nawozem fosforowym, nie została w pełni odzwierciedlona w produkcji biomasy [A5]. Wzrost i plon roślin to złożone cechy, które zależą od wielu czynników, w tym światła, innych składników biogennych,  $\text{CO}_2$ , dostępności wody, odmiany. Dlatego chlorofil nie jest jedynym czynnikiem regulującym wzrost i plonowanie roślin. Można jednak stwierdzić, że stosowanie tego nawozu może powodować wzrost zawartości chlorofilu a, b i całkowitego. W badaniach Aguero i in. (2008) zawartość chlorofilu w świeżej sałacie różniła się w zależności od części sałaty:  $35.65 \pm 1.17$ ,  $14.96 \pm 2.11$  i  $3.32 \pm 0.99$  (w  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  świeżej masy) odpowiednio dla strefy zewnętrznej, środkowej i wewnętrznej, z 10-krotnie wyższą zawartością w strefie zewnętrznej, co prawdopodobnie wynika z większej ekspozycji na światło słoneczne. W naszym badaniu zawartość chlorofilu była znacznie wyższa niż uzyskana przez Aguero i in. (2008).

W naszym badaniu nawożenie struwitem nie miało istotnego wpływu na plon nasion i pobieranie fosforu przez soję w porównaniu do innych badań (Jama-Rodzeńska 2022, Jama-Rodzeńska i in. 2021, Ricardo i in. 2009), ale wykazano istotny wpływ na zawartość fosforu w nasionach soi. Pomimo braku istotnych różnic w plonie nasion i pobrania fosforu, wyższe wartości uzyskano tam, gdzie aplikowano struwit, co można przypisać głównie większej ilości magnezu zawartego w nawozie Crystal Green i jego synergistycznemu wpływowi na pobieranie fosforu [A6].

#### 4.6.2 Gleba i torf

Nawożenie zmienia nie tylko skład chemiczny roślin, ale również i środowiska glebowego. Stwierdzono, że skuteczność struwitu jako nawozu fosforowego zależy od właściwości gleby i podłoża (Ackerman i in. 2013, Massye i in. 2009). Teza ta jest zgodna z



wynikami uzyskanymi w badaniach własnych. W eksperymencie Messey i in. (2009) podłoże zostało zmodyfikowane pod względem składu chemicznego, podobnie jak w badaniu własnym. Na podstawie doświadczeń polowych można stwierdzić, że zawartość fosforu przyswajalnego w glebie po zastosowaniu struwitu nie wzrosła w przeciwieństwie do eksperymentów w doniczkach. Zahra i in. (2008) stwierdzili, że zawartość fosforu i magnezu we wszystkich glebach nie była istotnie zależna od nawożenia struwitem, co kontrastowało z wynikami naszego doświadczenia. W naszym doświadczeniu gleba nawożona struwitem charakteryzowała się niższą zawartością fosforu (oznaczonego metodą Egnera-Rhiema) i wyższą statystycznie istotną zawartością magnezu (oznaczonego metodą Mehlich 3 i Yanai), co może być związane z wyższą rozpuszczalnością superfosfatu (A6; Buhiayn i in. 2007). W badaniu własnym zawartość fosforu dostępnego w glebie pod wpływem nawożenia struwitem zmniejszyła się, w przeciwieństwie do badań Bastida i in. (2019), gdzie zawartość fosforu przyswajalnego była najwyższa w glebie ze struwitem. W badaniu Bastida i in. (2019) dostępność fosforu zmniejszyła się po ok. miesiącu. Ten spadek dostępności fosforu w ciągu miesiąca mógł być spowodowany wytrącaniem się fosforu w postaci fosforanów Al, Fe i Ca. Spadek ten został również zaobserwowany w naszym badaniu, czego przyczyną może być niski odczyn gleby. Odczyn gleby, jak i jej zasolenie są głównymi czynnikami wpływającymi na procesy sorpcji-desorpcji fosforu w glebie (Bai i in. 2017).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że struwit jest dobrym źródłem magnezu. W porównaniu do kontroli, stwierdzono wzrost zawartości magnezu w glebie pod wpływem stosowania struwitu oznaczony metodami Yanai, Mehlich 3 i Egner-Riehma [A6]. Jednak specyficzny mechanizm uwalniania magnezu z gleby po zastosowaniu struwitu pozostaje niewyjaśniony. W Polsce gleby piaszczyste zajmują kilka milionów hektarów. Większość z nich to jednocześnie gleby niedostatecznie nawożone i ubogie w magnez. Stosowanie struwitu może rozwiązać problem niedoboru magnezu w glebach Europy Środkowo-Wschodniej. Podobnie jak w naszym badaniu, Szymańska i in. (2020) i Huygens i Saveyn (2018) również stwierdzili znaczny wzrost zawartości magnezu w pierwszym roku po zastosowaniu struwitu.

Nawożenie struwitem spowodowało istotny spadek zawartości potasu w torfie [A5], co wynika z braku tego pierwiastka w składzie nawozu struwitowego, podobnie jak w glebie [A6]. Według badań Kopeć i Gondek (2008) zawartość potasu przyswajalnego w glebie pochodzącego z różnych źródeł, różni się istotnie. Najwięcej tego pierwiastka stwierdzono w glebie nawożonej obornikiem, a najmniej po zastosowaniu osadów ściekowych. Na podstawie ich badań można stwierdzić, że średnio zawartość potasu w glebie po zastosowaniu osadu ściekowego jest niższa niż w glebie wzbogaconej w NPK. W badaniu własnym, zawartość potasu w torfie zależała istotnie od źródła fosforu, ale była niższa niż w kontroli. Zawartość potasu i wapnia w podłożu nawożonym zarówno superfosfatem, jak i Phosgreen była podobna, podobnie jak w przypadku Ricardo i in. (2009). Wraz ze wzrostem dawki superfosfatu i Phosgreen, zawartość potasu i wapnia pozostawała na podobnym poziomie.

#### 4.7. Podsumowanie

Produkcja coraz większej ilości wytwarzanych komunalnych osadów ściekowych związana jest z problemem ich zagospodarowaniu. W Polsce dotychczas jedną z popularnych metod zagospodarowania osadów ściekowych było przyrodnicze wykorzystanie, jak w przypadku doświadczenia z wykorzystaniem klonów wierzby. Zastosowanie w tym kierunku

osadów ściekowych nie spowodowało istotnych zmian w składzie chemicznym pędów wierzby, co może przełożyć się pozytywnie na energetyczne wykorzystanie tej rośliny. Jednak kontrowersje związane z obecnością w osadzie metali ciężkich sprawiły, że zaczęto poszukiwać innego rozwiązania, które będzie wpisywało się w aktualnie wprowadzoną przez Unię Europejską gospodarkę obiegu zamkniętego (*circular economy*). Odzysk pierwiastków z osadów ściekowych pozwoli nie tylko wykorzystać cenne biogeny, ale także zapobiec negatywnym zjawiskom jak przyszłe niedobory fosforu w rolnictwie czy zanieczyszczenia środowiska poprzez eutrofizację. Końcowy produkt odzysku fosforu na podstawie przeprowadzonych badań dorównuje bądź przewyższa swoją wartością tradycyjne nawozy fosforowe pod kątem plonu, składu chemicznego i odżywczego badanych roślin, co zgadza się z postawioną hipotezą badawczą. Wzbogaceniu w ten pierwiastek podlega także podłoże, na którym uprawiana była sałata, jednocześnie nie powodując zanieczyszczenia rośliny metalami ciężkimi. Zastosowanie struwitu spowodowało wzrost zawartości magnezu w glebie. Badania nad zastosowaniem struwitu jako nawozu wymagają dalszego sprawdzenia m.in. należy określić co dzieje się z niewykorzystanym struwitem w glebie oraz jakie frakcje fosforu występują w glebie, oraz jaki jest wpływ aktywności mikrobiologicznej na te formy po roku, dwóch, trzech czy czterech latach doświadczeń polowych. Na podstawie już przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zastosowanie struwitu wpłynęło istotnie na zwiększenie liczby liści sałaty masłowej, zwiększenie zawartości fosforu w sałacie i soi. Liście sałaty masłowej dodatkowo charakteryzowały wyższą zawartością witaminy C oraz niską zawartością metali ciężkich. Aplikacja struwitu zwiększyła zawartość magnezu w glebie i fosforu w torfie.

#### 4.8 Bibliografia

1. Ackerman, J.N., Zvomuya, F., Cicek, N., Flaten, D. Evaluation of manure-derived struvite as a phosphorus source for canola. *Can. J. Plant Sci.* **2013**, 93, 419–424.
2. Agüero, M.V.; Barg, M.V.; Yommi, A.; Camelo, A.; Roura, S.I. Postharvest changes in water status and chlorophyll content of lettuce (*Lactuca Sativa* L.) and their relationship with overall visual quality. *J. Food Sci.* **2008**, 73, 47–55.
3. Bai, J., Ye, X., Jia, J., Zhang, G., Zhao, Q., Cui, B., Liu, X. Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions, *Chemosphere*, 188, 677–688.
4. Bastida, F. i in. Te effects of struvite and sewage sludge on plant yield and the microbial community of a semiarid Mediterranean soil. *Geoderma* **2019**, 337, 1051–1057.
5. Bezak-Mazur, E., Stoińska, R. The importance of phosphorus in the environment—Review article. *Arch. Waste Manag. Environ. Prot.* **2013**, 15, 33–42.
6. Bhuiyan, M. I. H., Mavinic, D. S., Beckie, R. D. A solubility and thermodynamic study of struvite. *Environ. Technol.* **2007**, 28(7), 1015–1026.
7. Bień J.D. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2012, 15(4), 439-449.
8. Bień, J., Neczaj, E., Worwąg, M., Grosser, A., Nowak, D., Milczarek, M., Janik, M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, **2011**, 14, 375-384.

9. Cabeza, R., Steingrobe, B., Römer, W., Claassen, N. Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2011**, 91, 173–184.
10. Chin, S.C., Ing, D.S., Kusbiantoro, A., Wong, Y.K., Ahmad, S.W. Characterization of sewage sludge ASH (SSA) in cement mortar. *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* **2016**, 11, 2242–2247.
11. Cieślik, B., Konieczka P. Sewage sludge management methods. Challenges and opportunities, *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, **2016**, 18, 1, 15-32.
12. Cieślik, B., Konieczka, P. A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of “no solid waste generation” and analytical methods. *J. Clean. Prod.* **2017**, 142, 1728–1740.
13. Cordell, D., Drangert, J.O., White, S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Glob. Environ. Chang.* **2009**, 19, 292–305.
14. Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., Zessner, M. Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Sci. Total Environ.* **2016**, 71, 522–54.
15. Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W.R. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, **1960**, 26, 199-215.
16. Gell, K.; de Ruijter, F.J.; Kuntke, P.; de Graaff, M.; Smit, A.L. Safety and Effectiveness of Struvite from Black Water and Urine as a Phosphorus Fertilizer. *J. Agric. Sci.* **2011**, 3, 67–80.
17. Gondek, K., Filipek-Mazur, B. Calcium, magnesium and sodium in plants fertilized with sewage sludge. *Acta Agrophys.* **2006**, 8 (1), 83–93.
18. Gondek, K., Kopeć, M. Potassium content in maize and soil fertilized with organic materials. *J. Elem.* **2008**, 13, 501–512.
19. Hertzberger, A.J., Cusick, R.D., Margenot, A.J. A review and meta-analysis of the agricultural potential of struvite as a phosphorus fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **2020**, 84, 653–671.
20. Huygens, D., Saveyn, H.G.M. Agronomic efficiency of selected phosphorus fertilisers derived from secondary raw materials for European agriculture. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **2018**, 38, 52–6.
21. Jama-Rodzeńska A., Białowiec A., Koziel J., Sowiński J. Waste to phosphorus: A transdisciplinary solution to P recovery from wastewater based on the TRIZ approach, *Journal of Environmental Management*, **2021**, 287, 1, 112235.
22. Jama-Rodzeńska A., Bocianowski J., Nowak W., Ciszek D., Nowosad K. (2016) The influence of communal sewage sludge on the content of macroelements in the stem of selected clones of willow (*Salix viminalis* L.), *Ecological Engineering* **2016**, 87, 212-217.
23. Jama-Rodzeńska A., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Jandy A., J. A. Kamińska (2023) Effect of struvite (*Crystal Green*) fertilization on soil element content determined by different methods under soybean cultivation, *Scientific Reports*, **2023**, 13, 12702.



24. Jama-Rodzeńska i in. Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate. *Agric.* **2021**, 11(12), 1279.
25. Jama-Rodzeńska, A. The effect of phosgreen fertilization on the growth and phosphorus uptake of lettuce (*Lactuca sativa*). *Int. J. Agric. Biol.* **2022**, 27, 1–7.
26. Jama-Rodzeńska, A., Sowiński, J., Koziel, J., Białowiec, A. Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash Based on Cradle-toCradle Approach—Mini-Review. *Minerals* **2021**, 11, 985.
27. Jiang, J.C. Sun, P., Shie, A.J. Six cognitive gaps by using TRIZ and tools for service system design *Expert Syst. Appl.*, **2011**, 38 (12),14751-14759.
28. Kasprzyk, M., Gajewska, M. Phosphorus removal by application of natural and semi-natural materials for possible recovery according to assumptions of circular economy and closed circuit of P. *Sci. Total Environ.* **2019**, 650 Pt 1, 249–256.
29. Kirchmann, H., Börjesson, G., Kätterer, T., Cohen, Y. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. *Ambio* **2017**, 46, 143–154.
30. Kominko, H., Gorazda, K., Wzorek, Z. The Possibility of Organo-Mineral Fertilizer Production from Sewage Sludge. *Waste Biomass Valoriz.* **2017**, 8, 1781–1791
31. Kopnina, H. Circular economy and cradle to cradle in educational practice. *J. Integr. Environ. Sci.* **2018**, 15, 119–1343.
32. Labrecque, M., Teodorescu, T.I., Daigle, S. Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. *Biomass Bioenergy* **1997**, 12 (6), 409–417.
33. Lazdina, D., Lazdins, A., Karins, Z., Kaposts, V. Effect of sewage sludge fertilization in short-rotation willow plantation. *J. Environ. Eng. Landscape Manage.* **2007**, 15 (2), 105–11.
34. Li, X.Z.; Zhao, Q.L. Recovery of ammonium-nitrogen from landfill leachate as a multi nutri-ent fertilizer. *Ecol. Eng.* **2003**, 20, 171–181.
35. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology, Plant Cell Membranes*, Pacekr & Douce, **1987**, 148, 350-582.
36. Liu, J., Chen, J., Huang, L. Heavy metal removal from MSS fly ash by thermal and chlorination treatments. *Sci. Rep.* **2015**, 5, 17270.
37. Massey, M.S., Davis, J.G., Ippolito, J.A., Sheffield, R.E. Effectiveness of Recovered Phosphate as Fertilizers in Neutral and Slightly Alkaline Soils. *Agron. J.* **2009**, 101, 323–329.
38. Maxted, A.P., Black, C.R., West, H.M., Crout, N.M.J., Mcgrath, S.P., Young, S.D., Phytoextraction of cadmium and zinc by *Salix* from soil historically amended with sewage sludge. *Plant Soil* **2007**, 290, 157–172.
39. Mehlich, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH<sub>4</sub>; Mimeo; North Carolina Soil Testing Division: Raleigh, NC, USA, 1953.
40. Mertens, J., Vervaeke, P., Meers, E., Tack, F.M. Seasonal changes of metals in willow (*Salix* sp.) stands for phytoremediation on dredged sediment. *Environ. Sci. Technol.* **2006**, 40 (6), 1962–1968.

41. Muhmood, A., Wu, S., Lu, J., Ajmal, Z., Luo, H., Dong, R. Nutrient recovery from anaerobically digested chicken slurry via struvite: Performance optimization and interactions with heavy metals and pathogens. *Sci. Total Environ.* **2018**, 635, 1–9.
42. Naveed, A., Soomin, S., Won, S., Ra, C. Struvite recovered from various types of wastewaters: Characteristics, soil leaching behaviour, and plant growth. *Land Degrad. Dev.* **2018**, 29, 2864–2879.
43. Niu, X., Shen, L., Gu, H., Jiang, S., Xiao, J. Characteristics of hematite and fly ash during chemical looping combustion of sewage sludge. *Chem. Eng. J.* **2015**, 268, 236–244.
44. Nowosielski O.. Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. PWRiL, Warszawa, **1988**.
45. Perez-Piques A., Robo M., Rodriquez-Carretero, I., Quinones, A., Canet, R. Struvite as a Sustainable Fertilizer in Mediterranean Soils, *Agronom.* **2023**, 13(5), 1391. DOI: 10.3390/agronomy13051391
46. PN-A-04019:1998 Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C. PKN, Warszawa.
47. Rahman, M.M., Salleh, M.A.M., Rashid, U., Ahsan, A., Hossain, M.M., Ra, C.S. Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization—A review. *Arab. J. Chem.* **2014**, 7, 139–155.
48. Reza, A., Shim, S., Kim, S., Ahmed, N., Won, S., Ra, C. Nutrient leaching loss of pre-treated struvite and its application in Sudan grass cultivation as an eco-friendly and sustainable fertilizer source. *Sustain.* **2019**, 11, 4204.
49. Ricardo, G.P., López-de-Sá, E.G., Plaza, C. Lettuce response to phosphorus fertilization with struvite recovered from municipal wastewater. *HortSci.* **2009**, 44, 426–430.
50. Richardson, A.D., Duigan, S.P., Berlyn, G.P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytol.* **2002**, 153, 185–194.
51. Rodolfi, M., Barbanti, L., Giordano, C., Rinaldi, M., Fabbri, A., Pretti, L., Casolari, R., Beghé, D., Petruccelli, R., Ganino, T. The effect of different organic foliar fertilization on physiological and chemical characters in hop (*Humulus lupulus* L., cv Cascade) leaves and cones. *Appl. Sci.* **2021**, 11, 6778.
52. Rosik-Dulewska, C., Oleszek-Kudlak, S. Możliwości wykorzystania osadów ściekowych w świetle nowych regulacji prawnych. *Post. Nauk Rol.* **2002**, 5, 47–59.
53. Ryu, H.D., Lee, S.I. Struvite recovery from swine wastewater and its assessment as a fertilizer. *Environ. Eng. Res.* **2016**, 1, 29–35.
54. Saatbau, **2023** <https://www.saatbau.pl/asp/kontakt,113,1>
55. Shu, L., Schneider, P., Jegatheesan, V., Johnson, J. An economic evaluation of phosphorus recovery as struvite from digester supernatant. *Bioresour. Technol.* **2006**, 97, 2211–2216.
56. Srichaikul, B., Bunsang, R., Samappito, S., Butkhup, S., Bakker, G. Comparative study of chlorophyll content in leaves of Thai *Morus alba* Linn. Species. *Plant Sci. Res.* **2011**, 3, 17–20.

57. Szymanska, M., Szara, E., Was, A.; Sosulski, T., Van Pruissen, G.W.P., Cornelissen, R.L. Struvite—an innovative fertilizer from anaerobic digestate produced in a bio-refinery. *Energies* **2019**, *12*, 296.
58. Tonutare, T., Tönutare, T., Kölli, R., Krestein, K., Vennik, K.: Soil phosphorus content determined by Mehlich 3 and modified Mehlich 3 methods, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-4568, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-4568>, 2023.
59. TRIZ JOURNAL, **2020**. <https://triz-journal.com/breakthrough-innovation-conflict-resolution-marrying-triz-thinking-process/>.
60. Van Raij, B. New diagnostic techniques, universal soil extractants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1994, **25**, 799–816.
61. Wen, G., Huang, L., Zhang, X., Hu, Z. Uptake of nutrients and heavy metals in struvite recovered from a mixed wastewater of human urine and municipal sewage by two vegetables in calcareous soil. *Environ. Technol. Innov.* **2019**, *15*, 100384.
62. Wollmann, I., Möller, K. Phosphorus bioavailability of sewage sludge-based recycled fertilizers in an organically managed field experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **2018**, 181.
63. Worwag, M. Assessment of the Effect of struvite on the growth of *Sinapis alba*. *Middle Pomeranian Sci. Soc. Environ. Prot.* **2018**, *20*, 837–856.
64. Wróbel, J. Kinetics of growth and selected physiological indices of *S. viminialis* grown on sandy Reful fertilized with sewage sludge. *Scientific Publishing Agricultural University, Szczecin*, pp. 133, **2006**.
65. Wuenscher, R., Unterfrauner, H., Peticzka, R., Zehetner, F. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant Soil Environ.* **2015**, *61*, 86–96.
66. Yanai, M., Uwasawa, M., Shimizu Y. Development of a new multinutrient extraction method for macro- and micro-nutrients in arable land soil, *Soil Sci. and Plant Nutrition*, **2000**, *46*, 2, 299-313.
67. Ye Y., Ngo, H.H., Guo, W., Chang, S.W., Nguyen, D.D., Zhang, X., Liang, S. Nutrient recovery from wastewater: From technology to economy, *Bioresource Technol Rep.* **2020**, *11*, 100425.
68. Yilmaz, C., Gökmen, V. Chlorophyll in Encyclopedia of Food and Health, 1st ed.; Caballero, B., Finglas, P.M., Toldrá, F., Eds.; Academic Press: Oxford, UK, **2016**, *2*, 37–41.
69. Yu, J., Sun, L., Wang, B., Qiao, Y., Xiang, J., Hu, S., Yao, H. Study on the behavior of heavy metals during thermal treatment of municipal solid waste (MSW) components. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2016**, *23*, 253–265.
70. Zahra, A., Alireza, M, Jafar, N., Mehdi, H., Masmoud, Y., Mehdi, A., Amir, H.M. Effect of fertilizer application on soil heavy metals concentration, *Environ. Monit. Assess.* **2008**, *160*, 83–89.

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

W trakcie pracy zawodowej podjęłam współpracę z następującymi instytutami badawczymi:

- \*Uniwersytet w Zagrzebiu (Chorwacja)
- \*\* Uniwersytet w IOWA (USA)
- \*\*\* Uniwersytet w Aberyswyth (Wielka Brytania)
- \*\*\*\* University of South Bohemia, České Budějovice
- \*\*\*\*\* Uniwersytet w Nowym Sadzie (Serbia)

Rezultatem współpracy były następujące publikacje:

\*, \*\*\*\*Jama-Rodzeńska A., Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., **Svecnjak Z, Latkovic D.** (2021), Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate, *Agriculture*, 11 (12), 1-15. DOI: 10.3390/agriculture11121279.

\***Svecnjak Z., Kovacevic M., Jareš D., Týr S.,** Jama-Rodzeńska A., **Milanovic Litre A.** (2022) Management Systems for Biannual Seed Crop of Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) Grown at Various Nitrogen Fertilization: II. Second-Production Year Characterized by Considerable Crop Lodging and Limited Seed Shattering before Direct Combine-Harvesting, *Agronomy* 12, 881. DOI: 10.3390/agronomy12040881

\*\*Jama-Rodzeńska A., Białowiec A., **Koziel J.,** Sowiński J. (2021) Waste to phosphorus: A transdisciplinary solution to P recovery from wastewater based on the TRIZ approach, *Journal of Environmental Management*, 287, 1, 112235. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112235.

\*\*Jama-Rodzeńska A., Sowiński J., **Koziel J.,** Białowiec A. (2021) Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash Based on Cradle-to-Cradle Approach—Mini-Review, *Minerals*, 11, 985, 1-17. DOI: 10.3390/min1109098.

\*Uniwersytet w Iowa, USA

\*\*\***Mos M., Robson P. R. H, Buckby S., Hastings A.F.,** Helios W., Jama-Rodzeńska A., Kotecki A., Kalembasa D., Kalembasa S., Kozak M., Chmura K., Serafin-Andrzejewska M., **Clifton-Brown** (2021) Seasonal Dynamics of Dry Matter Accumulation and Nutrients in a Mature *Miscanthus × giganteus* Stand in the Lower Silesia Region of Poland, *Agronomy*, 11, 8, 1-6. DOI: 10.3390/agronomy11081679.

\*\*\*\* Serafin-Andrzejewska M., Jama-Rodzeńska A., Helios W., Kotecki A., Kozak M., Białkowska M., **Barta J., Bartova V.** (2023) Accumulation of Minerals in Faba Bean Seeds and Straw in Relation to Sowing Density, *Agriculture*, 13(1), 147. DOI: 10.3390/agriculture13010147

\*\*\*\*\* Jama-Rodzeńska A., Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Svecnjak Z, **Latkovic D.** (2021), Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate, *Agriculture*, 11 (12), 1-15. DOI: 10.3390/agriculture11121279.

**Członek** Komisji Nauk Rolniczych Oddziału PAN we Wrocławiu na lata 2023-2026;

**Sekretarz** Polskiego Towarzystwa Agronomicznego (oddział we Wrocławiu)

**Członek** Wiodących Zespołów badawczych Bioróżnorodność i zrównoważony rozwój w rolnictwie i ogrodnictwie (**BioDivRo**)

**Nagroda Rektora** Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za osiągnięcia organizacyjne (2023)



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

### **6.1. Osiągnięcia dydaktyczne**

W ramach działalności dydaktycznej prowadzę wykłady i ćwiczenia na studiach I i II stopnia na kierunkach Rolnictwo, Ochrona Środowiska, Medycyna Roślin, Agrobiznes, Biotechnologia Stosowana Roślin, Ogrodnictwo, Zarządzanie i Produkcja,

Zestawienie prowadzonych zajęć w ostatnim dziesięcioleciu (2018-2022)

#### **Wydział Przyrodniczo-Technologiczny**

##### **Wykłady:**

Kierunek: **Rolnictwo (zaoczne)**

- Jakość surowców i produktów rolnych
- Diagnozowanie stanu roślin uprawnych
- Szczegółowa upraw roślin

Kierunek: **Medycyna Roślin**

- Integrowana Produkcja Roślin Rolniczych

Kierunek: **Agrobiznes**

- Technologie Produkcji Roślinnej
- Środowiskowe czynniki ryzyka w uprawie polowej

Kierunek: **Biotechnologia Stosowana Roślin**

- Podstawy Produkcji Roślinnej

##### **Ćwiczenia laboratoryjne/audytoryjne/terenowe:**

Kierunek: Ochrona Środowiska, Zarządzenie i Produkcja

- Podstawy produkcji rolniczej II
- Technologie Produkcji Roślinnej

Kierunek: **Rolnictwo (stacjonarne)**

- Szczegółowa Uprawa Roślin (okopowe, bobowate grubonasienne, oleiste, włókniste)

- Diagnostowanie stanu roślin uprawnych
- Jakość surowców i produktów rolnych

Kierunek: **Medycyna Roślin**

- Integrowana Produkcja Roślin Rolniczych

Studenci Erasmusa:

- Biomass as a renewable source of energy

### **Opieka naukowa nad studentami**

#### **Promotorstwo prac inżynierskich:**

Marek Zmierzak (Rolnictwo, 2020): Wykorzystanie innowacyjnego nawozu fosforowego w uprawie soi na nasiona w warunkach Dolnego Śląska

Kamila Fyda (ochrona środowiska, 2021): Projekt zagospodarowania osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków w Kamiennej Górze

Daniel Chorbotowicz (Agrobiznes, 2023): Projekt nawożenia pszenicy ozimej struwitem (Crystal Green) uprawianej w warunkach Dolnego Śląska

Aleksandra Zatylna (Agrobiznes, 2023): Metody zwalczania wybranych chorób i szkodników ziemniaka w ramach integrowanej produkcji roślin

Paulina Olechno (ochrona środowiska, 2023): Projekt wykorzystania komunalnych osadów ściekowych do nawożenia wierzby krzewiastej

#### **Promotorstwo prac magisterskich:**

Marek Zmierzak (2021): Wykorzystanie środków wspomagających w uprawie soi i ich wpływ na jakość i wartość plonu

Alex Czerner (2023): Wpływ nawożenia struwitem (Crystal Green) na plon i jakość wybranych odmian pszenicy ozimej

#### **Wykonane recenzje prac inżynierskich:**

1. Uprawa jęczmienia pastewnego w integrowanym systemie rolnictwa
2. Uprawa gryki zwyczajnej w integrowanym systemie rolnictwa
3. Porównanie wartości gospodarczej kilku odmian jęczmienia jarego pastewnego przy zróżnicowanym poziomie agrotechniki”
4. Uprawa jęczmienia browarnego w integrowanym systemie rolnictwa

5. Projekt zwiększenia udziału owadów zapylających w produkcji nasion rzepaku ozimego
6. Projekt zakładania plantacji Paulowni (Oxytree) w zależności od kierunku użytkowania

#### **Inne formy opieki nad studentami:**

- W latach 2018-2023 opiekun roku na studiach stacjonarnych I stopnia na kierunku Rolnictwo;
- udział w komisjach egzaminów dyplomowych;
- udział w Festiwalu Nauki (2019) poprzez przygotowanie zajęć dla uczniów szkół średnich
- udział w komisji oceniającej wystąpienia oraz postery w ramach Międzynarodowa Konferencja Studenckich Kół Naukowych (2019, 2021);
- wyjazd terenowy ze studentami kierunku Rolnictwo (2022) w ramach Programu Rozwoju Kompetencji - zadanie 5 w projekcie pn. Zrównoważony rozwój uczelni w celu realizacji Programu „Dolny Śląsk. Zielona Dolina Żywności i Zdrowia” na rzecz Rozwoju Regionalnego, w ramach Działania 3.5 Kompleksowe programy szkół wyższych Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.
- Udział w organizacji i prowadzenia warsztatów dla szkół średnich zarówno w miejscu pracy jak i poza uczelnią.
- Współorganizacja Święta Przyrodników Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w ramach Jarmarków Pawłowickich i nadzór nad stoiskiem: *Uprawa ziemniaka na balkonie* (maj 2023)
- Udział w szkole letniej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu SPINAKER;
- Współpraca z czasopismem **Ekonatura** i **Poradnik Gospodarski** oraz publikacja następujących artykułów:
  - Wierzba w ochronie środowiska, Ekonatura, 2012, nr 11, s.19-20;
  - Osady ściekowe w rolnictwie, Ekonatura, 2013, nr 1 (110), s.28-29;
  - Wartość odżywcza niektórych zbóż, Ekonatura, 2013, nr 3 (112), s.5-6;
  - Kasza manna - za i przeciw, Ekonatura, 2014, nr 7 (128), s.8-8;
  - Lecznicze właściwości przypraw królujących w naszych kuchniach, Ekonatura, 2014, nr 9 (130), s.7-8;
  - Produkty ryżowe, Ekonatura, 2014, nr 8 (129), s.9-9;
  - Walory kaszy kuskus, 2014, nr 6 (127), s.8-8;
  - Ochrona drzew owocowych, Poradnik gospodarski, 2008, nr 3, s.32-33

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

### **7.1. Opieka naukowa nad doktorantami**

Od 2023 roku promotor pomocniczy.

### **7.2. Omówienie pozostałych osiągnięć badawczo-naukowych**

Poza pracami, które posłużyły do przygotowania osiągnięcia naukowego pt  
**Wykorzystanie fosforu z osadów ściekowych w nawożeniu roślin rolniczych i ogrodnich**

moja aktywność badawcza skupiała się w sześciu obszarach tematycznych:

[B1] Uprawa wierzby z wykorzystaniem osadów ściekowych jako nawozu i jego wpływu na plonowanie i skład chemiczny biomasy (liście, kora, drewno) pod kątem zbadania właściwości fitoremediacyjnych oraz wykorzystanie zrębków wierzbowych do produkcji kompostu.

[B2] Wykorzystanie biomasy miskanta do celów energetycznych. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie oraz skład chemiczny pozyskanej biomasy.

[B3] Wpływ zabiegów agrotechnicznych na plon i jakość nasion wybranych roślin bobowatych.

[B4] Uprawa roślin odpornych na zmiany klimatyczne.

[B5] Wpływ alternatywnych nawozów (fosforowych) na plon i jakość wybranych gatunków roślin.

[B6] Oszczędne gospodarowanie wodą w warunkach zmian klimatu i wpływ reżimu wodnego na plonowanie roślin rolniczych i ogrodnich.

**[B1] Uprawa wierzby z wykorzystaniem osadów ściekowych jako nawozu i jego wpływu na plonowanie i skład chemiczny biomasy (liście, kora, drewno) pod kątem zbadania właściwości fitoremediacyjnych oraz wykorzystanie zrębków wierzbowych do produkcji kompostu i zbadanie jego właściwości allelopatycznych**

Wierzba, a zwłaszcza jej klony, jest rośliną, która może być uprawiana na glebach zanieczyszczonych (o znacznym zanieczyszczeniu metalami ciężkimi) ze względu na zdolność do pobierania szkodliwych substancji i gromadzenia ich w biomase nadziemnej (fitoremediacja) [1,2]. Gatunek ten jest w stanie pobierać i gromadzić duże ilości cynku (Zn) i kadmu (Cd), a także charakteryzuje się wysoką produkcją biomasy. Zdolność wierzby do

pobierania metali ciężkich z zanieczyszczonych gleb wynika z ich tolerancji i adaptacji do zróżnicowanych warunków glebowych i klimatycznych oraz przestrzennego dopasowania korzeni do rozmieszczenia zanieczyszczeń [2]. Niektóre klony wierzby (*Salix* pp.) uprawiane w krótkiej rotacji mogą pobierać więcej metali ciężkich z gleby niż inne, co wskazuje, iż istotnym czynnikiem odpowiadającym za te cechy są właściwości genetyczne [1,2]. Klony *Salix* o wysokiej zdolności do akumulacji metali ciężkich w pędach i liściach mogą być odpowiednie do ekstrakcji średnio zanieczyszczonych gleb, np. gleb rolniczych o podwyższonej zawartości metali oraz do oczyszczania osadów ściekowych z nadmiaru metali ciężkich. W tym celu plantacja doświadczalna wierzby została wzbogacona w osad ściekowy, aby sprawdzić, jak wpłynie on zawartość metali ciężkich w biomase, plon czy cechy biometryczne. Największą koncentrację metali ciężkich zaobserwowano w liściach, następnie w korze, a najmniej w drewnie [2,3]. Pobieranie metali ciężkich przez biomasę wierzby było zwykle największe, tam gdzie zastosowano największe dawki osadów ściekowych [4]. Kształtowanie się cech morfologicznych pędów wierzby było istotnie zależne od: przebiegu pogody w latach badań, dawek osadów ściekowych oraz właściwości genetycznych klonów. Zarówno, plon jak i inne cechy biometryczne (długość pędów, średnica pędów) zależne były od dawek osadów ściekowych. Najgrubsze, jak i najdłuższe pędy zanotowano przy zastosowaniu podwójnej dawki osadów ściekowych [4]. Osady ściekowe wykazały korzystny wpływ na plon wikliny. Klon 1054 charakteryzował się największą plennością [4].

Różne formy i klony *Salix viminalis* L. różnie reagują na osady ściekowe i należy to wziąć pod uwagę, aby wybrać odpowiednie gatunki do remediacji zanieczyszczonych gleb. W badaniach zastosowanie osadów ściekowych modyfikowało zawartość Ni i Pb w liściach, korze i drewnie [5]. Największą zawartość Ni i Pb oznaczono w liściach, mniejszą w korze, a najmniejszą w drewnie [5]. Aplikacja podwójnej dawki osadów ściekowych spowodowała wzrost zawartości Ni i Pb w materiale roślinnym w porównaniu do dawki pojedynczej. Największą zdolność do akumulacji metali ciężkich stwierdzono u klonu 1001 [5]. Zastosowanie osadu ściekowego nie miało istotnego wpływu na zawartość manganu, żelaza, miedzi, niklu i ołowiu w pędach wierzby. Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych norm zawartości metali ciężkich w badanych pędach wierzby [8].

Innym kierunkiem zagospodarowania biomasy z wierzby jest produkcja kompostu z jego zrębek [9]. Ogrodnictwo, rolnictwo czy leśnictwo, szeroko wykorzystuje torf do różnych celów. Szacuje się, że 10% gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery pochodzi z eksploatowanych torfowisk [9]. Wykorzystanie kompostu wierzbowego ma za zadanie zastąpić torf, który powszechnie stosowany jest w ogrodnictwie. Zastosowanie kompostu wierzbowego pozwoli na zwiększenie i utrzymanie węgla organicznego w glebie na stałym poziomie. Najważniejszym aspektem w produkcji kompostu jest zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu przemiany materii organicznej, tak aby uzyskany produkt nie stanowił zagrożenia i przynosił znaczne korzyści, a także pozytywnie wpływał na wzrost i rozwój roślin [9]. Produkcja kompostu wierzbowego musi spełniać zarówno wymagania wynikające z odpowiedniego stosunku C:N, jak i z jakością produkowanego substratu. Dodatek azotu, stosowany ze względu na jego pozytywny wpływ na proces biotransformacji biomasy, może być jednak toksyczny dla roślin. Dlatego konieczne jest określenie maksymalnej dawki, która zapewni prawidłowy przebieg procesu mineralizacji i nie doprowadzi do zubożenia azotu w kompostowanej biomase, utraty, zahamowania tego procesu lub nadmiernej akumulacji azotu. W badaniach wykazano, że kompostowanie biomasy z wierzby bogatej w celulozę i ligninę nie wykazało dynamicznego przebiegu, natomiast dodatek azotu wzmocnił jego



przebieg. Negatywnym aspektem dodatku azotu była zbyt wysoka jego zawartość w początkowym okresie, co ograniczyło rozwój siewek gorzycy. W kolejnych etapach kompostowania, zawartość azotu malała, a dojrzały kompost nie wykazywał toksycznego działania na gorzycę. Badania wykazały, że pod względem jakości kompost wierzbowy spełniał wymagania jakościowe, a test roślinny wykazał w niektórych wariantach stymulujący wpływ na początkowy wzrost gorzycy białej [9].

1. Nowak W., Sowiński J., Jama A. Wpływ częstotliwości zbioru i zróżnicowanego nawożenia azotem na plonowanie wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.), *Frag. Agronom.* **2011**, 28, 2, 55-62.
2. Jama A., Nowak W. Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils, *Polish Journal of Agronomy*, **2012**, 9,3-6.
3. Jama-Rodzeńska A., Nowak W. Zawartość metali ciężkich w glebie i wierzbie krzewiastej (*Salix viminalis* L.) po użyciu gleby komunalnym osadem ściekowym, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Rolnictwo*, **2012**, 103, 103-113.
4. Jama A., Nowak W. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na plony i cechy biometryczne wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.), *Nauka, Przyroda, Technologie*, **2012**, 6, 3.
5. Jama-Rodzeńska A., Nowak W. Nickel and lead uptake by willows (*Salix viminalis* L.), *Polish Journal of Agronomy*, **2012**, 11, 29-33.
6. Jama A., Nowak W. Influence of sludge on the content of magnesium and potassium in soil under willow cultivation, *Inżynieria Ekologiczna*, **2012**, 30, 241-248.
7. Jama-Rodzeńska A., Nowak W. Zawartość makroskładników w wybranych klonach wierzby krzewiastej uprawianej na komunalnym osadzie ściekowym, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E. Agricultura*, **2013**, 68, 1, 10-17.
8. Jama-Rodzeńska A., Bocianowski J., Nowak W. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w pędach klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.), *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, **2014**, 576, 45-56.
9. Sowiński J., **Jama-Rodzeńska A.**, Peliyagodage Chathura Dineth Perera, Jamróz Elżbieta, Bekier Jakub The changes of willow biomass characteristics during the composting process and their phytotoxicity effect on *Sinapis alba* L., *PLoS ONE* **2022**, 17(10), e0275268.

### Konferencje

10. **Jama A.**, Nowak W. (2011) Pobieranie makroskładników z osadów ściekowych przez wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis* L.), Sympozjum: Rośliny w eliminowaniu zanieczyszczeń środowiska naturalnego, 8 wrzesień 2011 Poznań (wystąpienie ustne).
11. **Jama A.**, Nowak W. (2012) Wpływ komunalnych osadów ściekowych na plony i cechy biometryczne wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.), Sympozjum Naukowe w Poznaniu (wystąpienie ustne).
12. **Jama-Rodzeńska A.**, Nowak W. (2014) Zawartość metali ciężkich w glebie i wierzbie krzewiastej (*Salix viminalis* L.) po użyciu gleby komunalnym osadem ściekowym, Konferencja mikroelementy (poster).

**[B2] Wykorzystanie biomasy miskanta do celów energetycznych. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie oraz skład chemiczny pozyskanej biomasy.**

Konieczność przeciwdziałania i zapobiegania zmianom klimatu prowadzi do zastępowanie paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii [1-6]. Obok dalszego wykorzystywania nieodnawialnych paliw kopalnych, do których zalicza się węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny i ropę naftową, coraz częściej wykorzystuje się energię ze źródeł odnawialnych [1-6]. Pozyskiwanie odnawialnych źródeł energii jest obecnie skierowane w kierunku rolnictwa. Miskant (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deuter) może odegrać znaczącą rolę jako źródło energii odnawialnej dla Europy [1-4]. Uzyskanie wysokiej jakości biomasy do procesu spalania zależy od jakości surowca (biomasy) [1,2], natomiast jakość surowca zależy od zawartości różnych pierwiastków (np. wysoka zawartość ligniny jest pożądana dla procesów termochemicznych, a niepożądana dla biochemicznych) [1,2]. Na zawartość pierwiastków w biomacie istotny wpływ mają właściwości genetyczne roślin, które modyfikowane są przez warunki środowiskowe, właściwości gleby (np. pH), warunki pogodowe (opady, temperatura), a także zabiegi agrotechniczne - głównie nawożenie [1,2,3]. Zawartość makro-, jak i mikroelementów odgrywa istotną rolę w jakości spalania biomasy [1,2]. W celu poprawy jakości biomasy Miskanta olbrzymiego, praktyka uprawowa powinna opierać się na utrzymaniu jak najniższej dawki nawożenia azotowego oraz opóźnienia terminu zbioru do momentu wiosennego, ponieważ pozwoli to na remobilizację składników odżywczych [1,2,3]. Badanie składu chemicznego biomasy jest niezbędne do sprawdzenia przydatności do konwersji bioenergetycznej, która jest niezbędna do produkcji paliw pochodnych [1,2,3]. Określenie składu chemicznego w roślinach jest kluczowe nie tylko w procesie spalania, ale również do badania pobierania składników pokarmowych przez rośliny uprawne [1,2].

Celem podjętych badań było określenie wpływu nawożenia azotem na zawartość i pobranie wybranych makroelementów, mikroelementów (odgrywają istotną rolę w określeniu przydatności tego gatunku do procesów spalania, pirolizy), plon i cechy biometryczne miskanta olbrzymiego (*Miscanthus × giganteus*). Badania z miskantem i nawożeniem azotowym prowadzono w latach 2014-2016 w Stacji Doświadczalnej należącej do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (Pawłowice). Badanym czynnikiem było nawożenie azotem (0, 60 kg ha<sup>-1</sup> N) [1,2,3,4].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono niską zawartość składników mineralnych w biomacie *Miscanthus × giganteus*, co jest pożądane przy procesie spalania ze względu na konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz uniknięcia pogorszenia jakości powietrza. Miskant może stanowić alternatywne źródło biomasy na cele energetyczne. Zawartość popiołu w rizomach i części nadziemnej zależała istotnie od nawożenia azotem, natomiast zawartość potasu (z wyjątkiem liści), wapnia i siarki (z wyjątkiem łodyg i części nadziemnej) nie była istotnie uzależniona od tego czynnika. Pobranie badanych pierwiastków było istotnie zależne od nawożenia azotowego w przypadku: popiołu, potasu, siarki i wapnia (z wyjątkiem łodyg). Zawartość potasu i siarki były najwyższe na początku okresu wegetacyjnego i wyraźnie malały w trakcie sezonu wegetacyjnego [1]. Nawożenie azotem miało niewielki wpływ na zawartość mikroelementów w plonie suchej masy miskanta olbrzymiego. Największe stężenie mikroelementów w częściach nadziemnych miskanta olbrzymiego stwierdzono w trzecim (Mn, Zn, i Cu) oraz w pierwszym roku badań (Fe). Miskant olbrzymi gromadził mikroelementy w kolejności Fe >

Mn > Zn > Cu. Większość metali ciężkich była akumulowana w częściach nadziemnych, głównie w łodygach [2]. Sucha masa liści zwiększyła się istotnie. Zawartość wody w rizomach i łodygach wzrosła pod wpływem nawożenia azotem. Rizomy ze względu na znaczne pobieranie azotu, mogą stanowić rezerwę azotu w początkowych fazach wzrostu i rozwoju miskanta. Wyniki pochodzące z 3-letniego doświadczenia polowego sugerują, że nawożenie azotem może być zbędne dla zrównoważonej produkcji biomasy tej rośliny [3].

1. Gołąb-Bogacz I., Helios W., Kotecki A., Kozak M., **Jama-Rodzeńska A.** Content and Uptake of Ash and Selected Nutrients (K, Ca, S) with Biomass of *Miscanthus × giganteus* Depending on Nitrogen Fertilization, *Agriculture*, **2021**, 11, 1, 1-16, DOI:10.3390/agriculture11010076.
2. Gołąb-Bogacz I., Helios W., Kotecki A., Kozak M., **Jama-Rodzeńska A.** Effect of Nitrogen Fertilization on the Dynamics of Concentration and Uptake of Selected Microelements in the Biomass of *Miscanthus x giganteus*, *Agriculture*, **2021**, 11, 4, 1-14. DOI:10.3390/agriculture11040360.
3. Gołąb-Bogacz I., Helios W., Kotecki A., Kozak M., **Jama-Rodzeńska A.** The Influence of Three Years of Supplemental Nitrogen on Above- and Belowground Biomass Partitioning in a Decade-Old *Miscanthus × giganteus* in the Lower Silesian Voivodeship (Poland), *Agriculture*, **2020**, 10, 10, 1-18. DOI:10.3390/agriculture10100473.
4. Mos M., Robson P. R. H., Buckby S., Hastings A. F, Helios W., **Jama-Rodzeńska A.**, Andrzej Kotecki, Dorota Kalembasa, Stanisław Kalembasa, Marcin Kozak, Kazimierz Chmura, Magdalena Serafin-Andrzejewska, John Clifton-Brown Seasonal Dynamics of Dry Matter Accumulation and Nutrients in a Mature *Miscanthus × giganteus* Stand in the Lower Silesia Region of Poland, *Agronomy*, **2021**, 11, 8, 1-6. DOI: 10.3390/agronomy11081679

### **[B3] Wpływ zabiegów agrotechnicznych na plon i jakość nasion wybranych roślin bobowatych**

Uprawa roślin bobowatych grubonasiennych odgrywa obecnie ważną rolę w polskim rolnictwie ze względu na możliwości uniezależnienia się od importu śruty sojowej, poprawę właściwości gleb, zaspokojenia bezpieczeństwa białkowego oraz ograniczenie zużycia nawozów mineralnych. Rośliny bobowate uprawiane w Polsce pokrywają jedynie 11% zapotrzebowania na białko paszowe zwierząt gospodarskich [1,2,3], a najbardziej obiecujące wśród roślin bobowatych grubonasiennych są odmiany soi, których nasiona charakteryzują się wysoką zawartością białka. Dlatego też w krajach UE i w Polsce wzrasta zainteresowanie uprawą soi [1]. Postęp odmianowy przyczynił się do uprawy soi na terenie całej Polski, zwłaszcza pozyskanie odmian o krótszym okresie wegetacji (około 120-130 dni) i powinien obejmować hodowlę odmian, które będą przydatne w zróżnicowanych warunkach agroklimatycznych Polski, tolerujących dużą wilgotność gleby i niższe temperatury oraz charakteryzujących się krótkim okresem wegetacji.

Termin siewu jest ważnym zabiegiem agrotechnicznym, który może okazać się strategiczny w rozwiązywaniu problemu plonowania soi w warunkach klimatycznych południowo-zachodniej Polski. Dostosowanie terminu siewu do lokalizacji uprawy soi i

lokalnych warunków pogodowych wpływa na warunki termiczne i długość dnia w okresie wegetacji soi. Adaptacja terminu siewu do warunków klimatycznych rejonu uprawy jest kluczowe dla uzyskania wysokiego plonu soi, dlatego też w latach 2016-2019 przeprowadzono doświadczenie polowe mające na celu ocenę wpływu terminu siewu na wzrost, rozwój i plonowanie odmian soi. Doświadczenia przeprowadzono na polu Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (51°10' N, 17°06' E) na Dolnym Śląsku. Plon nasion wykazał istotne różnice pomiędzy terminem siewu i badanymi odmianami w latach doświadczenia. Istotnie większy plon nasion stwierdzono w najwcześniejszym terminie siewu oraz w terminie opóźnionym o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego. Minimalny plon nasion stwierdzono w terminie opóźnionym o 20 dni siewu. Dlatego na Dolnym Śląsku (południowo-zachodnia Polska) zaleca się siew soi w drugim-trzecim tygodniu kwietnia i na początku maja. Odmianą o wyższym plonie nasion była Lissabon [1].

Kolejną ważną gospodarczo rośliną bobowatą jest bobik jako czwarta najważniejsza roślina bobowata na świecie, wykorzystywana na nasiona, spożywana jako warzywo, o przeznaczeniu paszowym oraz na zielony nawóz, uprawiana w 58 krajach na dużym obszarze [2]. Czynnikiem wpływającym na opłacalność uprawy (koszt materiału siewnego), plon i jego składowe jest gęstość siewu, która określa liczbę nasion na metr kwadratowy [2]. Istnieją rozbieżności w dostępnej literaturze w zakresie określenia optymalnej gęstości siewu bobiku [2], dlatego też istnieje potrzeba określenia wysiewu nasion w zależności od wielkości nasion i różnych morfotypów bobiku (zdeteminowanych i nie zdeteminowanych) w różnych warunkach siewu. Kolejnym czynnikiem agrotechnicznym wpływającym na wielkość plonu bobiku jest głębokość siewu, która ma istotny wpływ na zdolność roślin do wschodów i odpowiada za stworzenie warunków środowiskowych dla rośliny [2]. Z wyników badań wynika, że odmiana Bobas (odmiana o niezdeteminowanym typie wzrostu) w porównaniu z Granitem (odmiana o zdeteminowanym typie wzrostu) charakteryzowała się dłuższym okresem wegetacji (2-5 dni), wyższymi roślinami i plonem nasion. Dlatego może być uprawiana w warunkach południowo-zachodniej Polski. Głębokość siewu miała różnicowany wpływ na plonowanie bobiku. Bobik wysiewany wcześniej w niższych temperaturach miał charakteryzował się wyższym plonem nasion przy płytkim siewie. Z kolei głębszy siew powodował większy plon w przypadku opóźnionego siewu. Stwierdzono niewielką tendencję wyższego plonu nasion przy zwiększonym wysiewie. Natomiast zmiana liczby wysiewanych nasion z 45 na 60 na m<sup>2</sup> spowodowała wyższy plon w ostatnim roku badań [2]. Głębokość siewu wpływała jedynie na plon nasion, przy czym korzystniejsza była płytsza głębokość siewu (5 cm). Wyższa ilość wysiewu (60 i 75 nasion na 1 m<sup>2</sup>) spowodowały istotny wzrost plonu nasion w porównaniu z 45 nasionami na 1 m<sup>2</sup>. Ze względu na koszty materiału siewnego, stosowanie 60 nasion na 1 m<sup>2</sup> jest bardziej korzystne ekonomicznie niż 75 nasion na 1 m<sup>2</sup>. Zalecaną gęstością siewu bobiku w warunkach południowo-zachodniej Polski jest 60 nasion na 1 m<sup>2</sup>, niezależnie od odmiany [3].

Akumulacja składników pokarmowych z kolei zależała od cech odmianowych, jak i różnych gęstości siewu. Odmiana Bobas akumulowała więcej o 11,7% N i więcej o 9,8% Ca, a także więcej Mg w nasionach i słomie (odpowiednio o 11,0% i 9,7%) niż odmiana Granit. Akumulacja N jest ściśle związana z akumulacją białka, dlatego spośród badanych odmian Bobas jest polecany do uprawy w warunkach klimatycznych południowo-zachodniej Polski. Wyższe gęstości siewu przyczyniały się na ogół do większej akumulacji azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w nasionach i słomie, co miało bezpośredni związek z większym plonem nasion i słomy. Interakcja odmian i gęstości siewu (średnia z lat 2013-2015) wykazała, że dla największej akumulacji wszystkich makroskładników badanych w

nasionach, kombinacja odmiany Bobas i siewu 60 nasion na m<sup>2</sup> była najbardziej korzystna [4].

Badania potwierdziły, że rośliny bobowate grubonasienne są wrażliwe na zmienne warunki termiczne i wilgotnościowe, a plonowanie i skład chemiczny nasion oraz słomy są silnie uzależnione od przebiegu warunków pogodowych [3,4]. Rośliny bobowate są wrażliwe na zmieniające się warunki klimatyczne i często jest to dominujący czynnik wpływający na ich plonowanie [1,2,3,4].

1. Serafin-Andrzejewska M., Helios W., **Jama-Rodzeńska A.**, Kozak M., Kotecki A., Kuchar L. Effect of Sowing Date on Soybean Development in South-Western Poland, *Agriculture* **2021**, 11(5), 413.
2. Helios W., **Jama-Rodzeńska A.**, Serafin-Andrzejewska M., Kotecki A., Kozak M., Zarzycki P., Kuchar L. Depth and Sowing Rate as Factors Affecting the Development, Plant Density, Height and Yielding for Two Faba Bean (*Vicia faba* L. Var. Minor) Cultivars, *Agriculture (Switzerland)*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 11, 9, **2021**, s. 1-17, DOI:10.3390/agriculture11090820.
3. Serafin-Andrzejewska M., Helios W., **Jama-Rodzeńska A.**, Kotecki A., Kozak M., Zarzycki P., Kaliska B. Effect of the depth and rate of sowing on the yield and yield components of determinate and indeterminate faba beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) cultivars under conditions of Southwestern Poland, *Agronomy Science* **2022**, LXXVII (3), 2-28. DOI: 10.24326/as.2022.3.2
4. Serafin-Andrzejewska M., **Jama-Rodzeńska A.**, Helios W., Kotecki A., Kozak M., Białkowska M., Barta J., Barta V. Accumulation of Minerals in Faba Bean Seeds and Straw in Relation to Sowing Density, *Agriculture* **2023**, 13(1), 147. DOI: 10.3390/agriculture13010147

#### **Konferencje:**

5. Organizacja konferencji, udział w Komitecie organizacyjnym pt. *Konferencja naukowa "Rośliny bobowate w rolnictwie zrównoważonym" 7-10 września 2022 Wrocław*

Serafin-Andrzejewska M., **Jama-Rodzeńska A.** (red.), 2022, *Rośliny bobowate w rolnictwie zrównoważonym*, Wrocław, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, 60 s., ISBN 978-83-7717-380-0. DOI:10.30825/4.9.2022

#### **Streszczenia w materiałach konferencyjnych**

6. Białkowska M., Kozak M., Kotecki A., Serafin-Andrzejewska M., **Jama-Rodzeńska A.** [i in.], W: Ocena plonowania i wydajności białka z nasion bobiku i ziarna pszenżyta jarego uprawianych wspólnie, Konferencja naukowa "Rośliny bobowate w rolnictwie zrównoważonym" 7-10 września 2022 Wrocław / Serafin-Andrzejewska Magdalena, Jama-Rodzeńska Anna (red.), 2022, Wrocław, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, s.8-9, ISBN 978-83-7717-380-0
7. Białkowska M., Kozak M., Kotecki A., Serafin-Andrzejewska M., **Jama-Rodzeńska A.** [i in.], Wpływ siewu mieszanego na wybrane cechy morfologiczne i skład mineralny nasion bobiku i ziarna pszenżyta jarego Konferencja naukowa "Rośliny bobowate w rolnictwie zrównoważonym" 7-10 września 2022 Wrocław / Serafin-Andrzejewska Magdalena, Jama-Rodzeńska Anna (red.), 2022, Wrocław, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, s.10-10, ISBN 978-83-7717-380-0



8. Serafin-Andrzejewska M., Kozak M., **Jama-Rodzeńska A.** VI Konferencja Naukowa z cyklu „Nauka i Praktyka – Rolnictwo Różne Spojrzenia” Rola nauk rolniczych we wdrażaniu koncepcji zrównoważonego systemu żywnościowego „Od pola do stołu” / Hołubowicz-Kliza Grażyna, Bojarszczuk Jolanta (*red.*), 2022, Puławy, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy, s.81-82, ISBN 9788375623802
9. Kongres World Soybean Research Conference (WSRC11) od 18 do 23 czerwca poster zatytułowany The use of biostimulants in soybean cultivation and their impact on yield and quality (poster).
10. *Innovative quality food for public health and sustainable development - integrated programme for the development of scientific research and innovation in agricultural and veterinary sciences at the University of Warmia and Mazury in Olsztyn* "7-8 wrzesień 2023 Olsztyn":  
**Poster 1: Jama-Rodzeńska A.**, Serafin-Andrzejewska M., Kaliska B., Kotecki A., Gałka B. Effect of genotype-environment response on protein content of soybean seeds grown in northern Poland  
**Poster 2:** Serafin-Andrzejewska M., **Jama-Rodzeńska A.**, Beata Kaliska, Kotecki A., Bernard Gałka Effect of genotype-environment response on the fat content of soybean seed grown in northern Poland

#### [B4] Uprawa roślin rolniczych odpornych na zmiany klimatyczne.

Zmiany klimatyczne to dziś jeden z głównych problemów środowiskowych, społecznych i gospodarczych. Zmieniające się warunki klimatyczne (niedobory wody) w głównej mierze dotyczą produkcji rolnej, która mając na względzie produkcję żywności i pasz oraz wytwarzania surowców dla przemysłu przetwórczego, jest jednym z najbardziej istotnych sektorów, w których należy podjąć działania. Działanie te powinny opierać się na adaptacji roślin do zmieniających się warunków klimatycznych.

Olejarka abisyńska (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.) jest jednoroczną, wysokopenną rośliną zaliczaną do rodziny astrowatych (*Asteraceae*), stanowiącą drobną roślinę oleistą na mniej żyznych glebach. Jej zastosowanie związane jest z celami kulinarnymi, produkcją farb, miękkich mydeł, oświetleniem oraz przemysłem smarowniczym i perfumeryjnym [1]. W USA nasiona tej rośliny są powszechnie stosowane jako pokarm dla ptaków. Jako źródło nasion oleistych, roślina ta jest od dawna uprawiana na większą skalę w Etiopii, gdzie zaspokaja około 50% zapotrzebowania na olej [1]. Z kolei w Indiach uprawa tej rośliny stanowi 3% podaży krajowej w produkcji oleju [1] i uważana jest za najbardziej odporną roślinę na suszę. Może być uprawiana na glebach, gdzie czynnikiem ograniczającym jest niedobór, jak i nadmiar wody [1]. W Polsce uprawa tej rośliny nie jest rozpowszechniona. W związku ze zmianami klimatycznymi związanymi z częstymi okresami suszy, możliwość jej uprawy w lokalnych warunkach jest obiecująca. Ze względu na ograniczoną wiedzę na temat zabiegów agrotechnicznych mających na celu zwiększenie plonu *Guizotia abyssinica*, Polska, jak i inne kraje europejskie, stoją przed kilkoma wyzwaniami, głównie z powodu niewielkiego doświadczenia w uprawie tej rośliny. Doświadczenie polowe z olejarką przeprowadzono w gospodarstwie rolnym w Czyżowicach, gmina Prudnik, woj. opolskie (50°19'011" N 17°34'045" E) w latach 2018-2019. Celem badań terenowych było określenie potencjału uprawowego *Guizotia abyssinica* w ramach dwuletnich badań (90-dniowy cykl

uprawy) poprzez określenie plonu i składu chemicznego zielonki w różnych terminach zbioru. Istotne różnice stwierdzono w zmianach zawartości składników pokarmowych w zielonce olejarki, co jest związane ze dojrzałością roślin (przechodzeniem z jednej fazy w drugą). Zielonka zebrana w końcowej fazie wzrostu charakteryzowała się wysokim poziomem suchej masy (ponad 21%) i węglowodanów (od 56,2 do 60,5%). Natomiast wartości białka i tłuszczu były niskie: 10% (w 2018 r.) i 7,8% (w 2019); oraz prawie 1,7% (w 2018) i 1,2% (w 2019). Trendy zawartości włókna w stosunku do stadium dojrzałości są odwrotne niż w przypadku białka. Wraz ze wzrostem procentowej zawartości włókna, jego strawność maleje. Średnia wartość energii brutto dla zielonki o koncentracji około 20-21 MJ kg<sup>-1</sup> może kwalifikować ją jako paszę dla przeżuwaczy lub do produkcji kiszonki dla tej grupy zwierząt. Oprócz warunków środowiskowych, tj. klimatu i gleby, na plonowanie tej rośliny wpływają również zabiegi agrotechniczne, w tym termin zbioru. Najkorzystniejszym terminem zbioru zielonki jest 90-ty dzień po siewie, ze względu na istotnie najwyższy plon świeżej i suchej masy zielonki oraz skład chemiczny. Plon świeżej i suchej masy zielonki w ostatnim terminie zbioru, tj. po 90 dniach, był następujący: w 2018 roku 32,5 t·ha<sup>-1</sup> świeżej masy (ok. 7 t·ha<sup>-1</sup> s.m.), a w 2019 roku 36,9 t·ha<sup>-1</sup> (ok. 8,7 t·ha<sup>-1</sup> s.m) [1].

Komosa ryżowa (*Chenopodium quinoa* Willd.) jest jednym z najbardziej wartościowych pseudozboż uprawianych od czasów starożytnych [2], również perspektywiczną pod kątem zmian klimatu. Badania adaptacyjne i aklimatyzacyjne nad tym gatunkiem prowadzone są w 80 krajach świata [2], natomiast obecna powierzchnia uprawy na nasiona jest niewielka i wynosi 185 000 ha (głównie w Boliwii, Peru i Ekwadorze) [2]. Różnorodność genetyczna i duże możliwości adaptacyjne do różnych warunków uprawy ułatwiają ekspansję uprawy tego gatunku. Uprawa tego gatunku może sięgać od 40° południowej szerokości geograficznej do 2° północnej szerokości geograficznej, od klimatu chłodnego do tropikalnego (komosa wytrzymuje temperaturę od -4 do -38°C), od klimatu ekstremalnie suchego i opadów 100-200 mm rocznie do wilgotności względnej 88%. Wymagania glebowe dla komosy charakteryzuje się jako niskie, a gatunek ten zaliczany jest do potencjalnie przydatnych do uprawy w warunkach szczególnie niekorzystnych dla wielu innych roślin rolniczych, np. na glebach zasolonych, obszarach o niskiej sumie opadów. W badaniach oceniono wpływ różnych terminów siewu i zbioru na plon i wybrane parametry jakościowe komosy uprawianej na glebie średnio gliniastej i lekko piaszczystej warunkach klimatycznych Dolnego Śląska. Decydując się na uprawę komosy w warunkach polowych, można ją uprawiać przez znaczną część sezonu wegetacyjnego (od końca maja do początku lipca i od końca sierpnia do początku października). W letnim terminie siewu komosa może być zbierana wcześniej, bo już po 3-4 tygodniach od siewu, ale plon uzyskanej biomasy jest znacznie niższy. We wczesnych fazach rozwoju, gdy komosa jest zbierana w 1. lub 2. terminie (po 23-47 dniach), uzyskany plon jest niski, łodygi są słabo ulistnione, a jej biomasa charakteryzuje się wysoką zawartością N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, potasu i fosforu. Ze względu na bogaty skład chemiczny, liście komosy (np. suszone) mogą być traktowane jako dodatek biofortyfikacyjny, podnoszący wartość podstawowych produktów spożywczych. Na podstawie przedstawionych badań, najlepszym terminem zbioru komosy jest 36-62 dzień po siewie, tym bardziej, że jak wykazano, zawartość związków biologicznie aktywnych nie zależy tak bardzo od terminu zbioru.

Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) uważane jest za gatunek o bardzo wysokiej produktywności i wysokim plonie biomasy. W Polsce sorgo jest gatunkiem alternatywnym dla kukurydzy, a jego uprawa powinna być prowadzona w warunkach, w których poziom plonowania kukurydzy jest wysoce ryzykowny. Jest to gatunek kserotermiczny, odporny na niedobory wody.

Celem badań było określenie reakcji sorga słodkiego na nawożenie nawozem wieloskładnikowym (YaraRega - N 20%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5%, K<sub>2</sub>O 18%, S 2% + Zn + B) stosowanym poprzez rozsiewanie i fertygację. Doświadczenie z sorgo przeprowadzono w latach 2013-2015 w Pawłowicach koło Wrocławia (51°09'N; 17°06' E) na polach należących do Zakładu Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. YaraRega to nawóz, który można polecić do stosowania dolistnego w roślinach. Po jego zastosowaniu w postaci 0,4% roztworu, nie stwierdzono toksycznego wpływu na rośliny.

1. Szuba-Trznadel, A. Hikawczuk T., **Jama-Rodzeńska A.**, Król Z., Fuchs B. The Effect of Harvest Date on the Chemical Composition and Fodder Yield of *Guizotia abyssinica* (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.) under the Climatic Conditions of South-West Poland, *Agriculture* **2022**, 12(4), 481.  
DOI: 10.3390/agriculture12040481
2. Adamczewska-Sowińska K., Sowiński J., **Jama-Rodzeńska A.** The Effect of Sowing Date and Harvest Time on Leafy Greens of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Yield and Selected Nutritional Parameters, *Agriculture*, **2021**, 11, 5, 1-16,  
DOI: 10.3390/agriculture11050405
3. Sowiński J., Konieczny M., **Jama-Rodzeńska A.** The effect of yararega fertilization on the nitrogen effectiveness and yield of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), *Acta Scientiarum Polonorum – Agricultura, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy*, **2017**, 16, 4, 235-246,  
DOI:10.37660/aspagr.2017.16.4.7

#### **Konferencje:**

4. Sowiński J., Konieczny M., **Jama-Rodzeńska A.** Wpływ różnego sposobu nawożenia nawozem YaraRega na efektywność i plonowanie sorga cukrowego, W: *Badania i innowacje w produkcji roślinnej = Research and innovations in the crop production*, VI Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Agronomicznego, Kraków, 17-19 września 2015 r / Puła Joanna, Oleksy Andrzej, Kulig Bogdan (red.), 2015, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, s.156-156, ISBN 978-83-943123-0-5
5. Adamczewska-Sowińska K., **Jama-Rodzeńska A.**, Sowiński J., Szydełko-Rabska E. Wpływ warunków uprawy na plonowanie komosy ryżowej (*Chenopodium quinoa* Willd.), 10-13 s., 2015, *Produkcja roślinna - niestandardowe technologie i kierunki użytkowania oraz gatunki nowe i reintrodukowane* : Konferencja Naukowa; Poznań-Szamotuły, 13-15 maj 2015, referat wygłoszony.

**[B5] Wpływ alternatywnych nawozów (fosforowych, popiół z biomasy roślin) na plon i jakość wybranych gatunków roślin.**

Stale rosnące zapotrzebowanie na energię, wyczerpujące się zasoby energetyczne, a także konieczność ograniczania niepożądanych zmian w środowisku naturalnym powodują, że wzrasta zainteresowanie energią i nawozami ze źródeł odnawialnych [1,2,3,4,5]. Najpopularniejszym elementem wykorzystywanym do produkcji stałego paliwa odnawialnego jest leśna biomasa drzewa, czy paliwa uzyskiwane z biomasy rolniczej. Podobnie jak w przypadku spalania węgla kamiennego czy brunatnego, przy spalaniu biomasy roślinnej również powstają odpady stałe, głównie popioły lotne, a ich ilość i jakość zależy od rodzaju użytej biomasy [1]. Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju oraz szeroko rozumianą ochroną środowiska, najkorzystniejszym sposobem zagospodarowania popiołu lotnego powstałego ze spalania biomasy roślinnej jest zwrot pozostałości do gleby [1]. Popioły powstałe po spaleniu biomasy zawierają w swoim składzie wszystkie składniki odżywcze za wyjątkiem azotu, który ulatnia się podczas termicznej obróbki biomasy. Popiół pochodzący z biomasy pochodzenia rolniczego (wierzba, miskantus, słoma, łupiny, i inne rośliny lub ich części) charakteryzuje się zwiększoną zawartością potasu i fosforu [1], które dodatkowo charakteryzują się większą przyswajalnością. Dodatkowo wykazuje właściwości odkwaszające. Czynnikiem ograniczającym jego wykorzystanie może być zawartość metali ciężkich, która to zależy od temperatury spalania oraz paleniska.

Alternatywnym wykorzystaniem, odpadów, jest wykorzystanie osadów ściekowych do produkcji nawozów [3,4,5]. Biorąc pod uwagę zwiększone zużycie nawozów fosforowych, a także wyczerpywanie się jego zasobów, należy skupić uwagę na znalezieniu alternatywnych źródeł fosforu w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym. Szczytowe zapotrzebowanie na fosfor wystąpi między 2030 a 2040 rokiem. Dlatego też Inicjatywa UE na rzecz surowców mineralnych sklasyfikowała fosfor jako surowiec krytyczny. Wysoki stopień uzależnienia rolnictwa od fosforu, a dodatkowo narastający problem eutrofizacji wód śródlądowych i przybrzeżnych przyczynił się do zainteresowania koncepcją zamknięcia cyklu fosforu poprzez jego odzysk i recykling w ramach gospodarki cyrkularnej. W jednej z prac została przedstawiona potrzeba odzysku fosforu i jego wykorzystania w rolnictwie w postaci nawozu, a także wpływ takiego nawozu na plonowanie, skład chemiczny roślin oraz gleby [5]. Celem badań była ocena potencjału Phosgreen jako źródła fosforu oraz porównanie go z komercyjnym nawozem fosforowym w uprawie rośliny testowej (sałata) na odkwaszonym torfie i glebie mineralnej. Masa rozety, jak również liczba liści sałaty i szerokość rozety sałaty były porównywalne z wynikami uzyskanymi przy nawożeniu superfosfatem [4]. Stwierdzono, że nawożenie struwitem przyczyniło się do porównywalnego pobrania fosforu przez sałatę, jak w przypadku stosowania komercyjnych nawozów fosforowych. Zastosowanie Phosgreen nie spowodowało wzrostu fosforu i magnezu w badanych podłożach. Ponadto, ani Pb ani Cd nie zostały wykryte w doniczkach ze struwitem, a wyniki porównywalne do tych uzyskanych z nawożeniem superfosfatem pod względem zawartości Cu.

Zagospodarowanie odpadów w tzw. cyklu obiegu zamkniętego stwarza wiele korzyści społecznych, środowiskowych i ekonomicznych. Nawozy takie wymagają dalszych badań mających na celu ich dokładne zbadanie pod względem skuteczności, efektywności,

aspektów środowiskowych, ekonomicznych oraz społecznych. W szczególności potrzebne jest lepsze zrozumienie reakcji roślin na granulowany struwit w glebie o odczynie kwaśnym o wysokiej i niskiej zawartości fosforu. Konieczne jest zbadanie dawki, terminu i aplikacji nawozu w uprawie polowej. Ocena wysokości plonów, akumulacji fosforu w biomase lub ziarnie/nasionach oraz efektywności wykorzystania fosforu przez rośliny jednoroczne w odpowiedzi na różne dawki nawozu struwitowego w realistycznych warunkach polowych. Długoterminowe doświadczenia polowe są sposobem „pomiaru” zrównoważonego nawożenia fosforem w rolnictwie, ponieważ przyczynią się do lepszego zrozumienia skutków działania struwitu.

1. Waclawowicz R., **Jama-Rodzeńska A.** Wpływ popiołów z biomasy na właściwości gleby i produktywność roślin oraz alternatywne możliwości ich wykorzystania [w:] *Gospodarka odpadami – problemy i wyzwania*, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, ISBN: 978-83-67104-02-9, 3, 2021, 43-55.
2. Waclawowicz R., **Jama-Rodzeńska A.** Rolnicze zagospodarowanie popiołów z biomasy roślin [w:] *Gospodarka odpadami – problemy i wyzwania*, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, ISBN: 978-83-67104-02-9, 2021, 110-119.
3. **Jama-Rodzeńska A.**, Waclawowicz R. Możliwości produkcji nawozów z osadów ściekowych, *Gospodarka odpadami – problemy i wyzwania*, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, ISBN: 978-83-67104-02-9, 2021, 96-109.
4. **Jama-Rodzeńska A.** The Effect of Phosgreen Fertilization on the Growth and Phosphorus Uptake of Lettuce (*Lactuca sativa*), *International Journal of Agriculture and Biology* 2022, 27(01), 01-07. DOI: 10.17957/IJAB/15.1892
5. **Jama-Rodzeńska A.**, Gałka B. Wpływ nawozów fosforowych powstałych na bazie osadów ściekowych na plonowanie, skład chemiczny roślin i gleby, *Agronomy Science*, 2022, VOL. LXXVII (3). DOI: 10.24326/as.2022.3.1

#### **Konferencje:**

6. „Rola nauk rolniczych we wdrażaniu koncepcji zrównoważonego systemu żywnościowego „od pola do stołu” 7-8 czerwca 2022 r.; poster zatytułowany: *Wpływ nawozów fosforowych powstałych na bazie osadów ściekowych na plonowanie, skład chemiczny roślin i gleby* **Jama-Rodzeńska A.**, Serafin-Andrzejewska M., Kozak M.
7. „Europejski Zielony Ład - wyzwanie dla rolnictwa” 5 czerwiec 2023 Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie; wygłoszenie referatu: *Wpływ nawożenia struwitem (Crystal Green) na komponenty plonu, zawartość chlorofilu oraz aktywność mikrobiologiczną w uprawie soi* **Jama-Rodzeńska i in.**
8. **Kongres World Soybean Research Conference (WSRC11)** od 18 do 23 czerwca **poster zatytułowany** Effect of struvite (Crystal Green) fertilization on biometric traits and changes in soil elements content under soyabean cultivation (poster). **Jama-Rodzeńska A.**, Gałka B., Szuba-Trznadel A.
9. **30. Kongres Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego**, 11-16 wrzesień 2023:
  - a) Wpływ nawożenia struwitem (*Crystal Green*) na zawartość P, Mg i K w glebie w uprawie soi: Gałka B, **Jama-Rodzeńska A.**, Anna Szuba-Trznadel
  - b) Zmiany zawartość fosforu, magnezu i potasu w glebie pod wpływem nawożenia struwitem w uprawie soi oznaczone 3 metodami analitycznymi: Gałka B., **Jama-Rodzeńska A.**, Szuba-Trznadel A.



10. LXXXVII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego im. Michała Oczapowskiego, Wrocław (2023) Wpływ nawożenia struwitem (crystal green) na wartość pokarmową nasion soi, Szuba-Trznadel A., Jama-Rodzeńska A., Gałka B., Król Z., Jarki D., Latkovic D.

### **[B6] Oszczędne gospodarowanie wodą w warunkach zmian klimatu i wpływ reżimu wodnego na plonowanie roślin rolniczych i ogrodnich**

Globalne ocieplenie klimatu powoduje zwiększone ryzyko narażenia roślin, w tym ziemniaków, na niedobory wody, ponieważ powoduje wahania w rozkładzie i częstotliwości opadów. W wyniku zmian klimatycznych, ryzyko wystąpienia stresu wodnego u ziemniaka jest duże. Scenariusze badające konsekwencje zmian klimatycznych do 2055 r. przewidują globalne zmniejszenie produkcji bulw ziemniaka (o 2-6%). Większe spadki będą ewentualnie obserwowane w kolejnych latach: do 2085 roku (o 2-26%). Skutki zmian klimatu będą szczególnie widoczne w cieplejszych regionach obejmujących większość krajów rozwijających się, a plony w przyszłości spadną o 20-40% [2]. Wymagania wodne ziemniaka zależą od wielu czynników, takich jak odmiana ziemniaka, grupa wczesności, termin sadzenia, struktura roślin, zwięzłości gleby czy właściwej agrotechniki. Niedobór opadów atmosferycznych, a w konsekwencji spadek pojemności wodnej gleby (poniżej 60%) w okresie krytycznym rozwoju ziemniaka, spowoduje zmniejszenie wielkości i pogorszenie jakości plonu ziemniaka. Optymalna wilgotność gleby, na przemian z niedoborem wody, również powoduje pogorszenie jakości bulw objawiające się deformacją bulw [1,2]. W tym celu przeprowadzono doświadczenie wazonowe w 2018 roku w Stacji Badawczo-Dydaktycznej Roślin w Psarach należącej do Katedry Ogrodnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Badano dwie odmiany ziemniaka: Denar – bardzo wczesna, sałatkowa, typ A oraz Julinka - wczesna odmiana ogólnoużytkowa, o dość drobnym miąższu, typ B. Drugim czynnikiem był poziom wilgotności gleby w zależności od różnej ilości dostarczanej wody: niedobór wody (pF 2,7 poziom 1), optymalny poziom wody (pF 2,5 poziom 2) i nadmiar wody (pF 2,2 poziom 3) [1,2]. Bulwy posadzono w warunkach kontrolowanych w tunelu foliowym, do nieprzepuszczalnych doniczek. Do określenia wartości wilgotności objętościowej gleby zastosowano metody grawimetryczne oparte na pomiarze przenikalności elektrycznej trójfazowego ośrodka porowatego. W przedstawionym w pracy eksperymencie do pomiaru wilgotności gleby wykorzystano czujniki TDR typu FP/mts oraz wilgotnościomierz SM150-Kit. Ocena wilgotności gleby za pomocą sondy SM150-Kit przyczyniła się do zróżnicowania wilgotności gleby w strefie tworzenia się bulw. Wilgotność określona za pomocą sondy SM150-Kit była zawsze niższa od zakładanego poziomu nawodnienia. Podstawowym celem badań było porównanie reakcji cech biometrycznych odmian ziemniaka na różne poziomy wilgotności gleby wynikające z różnych objętości wody podawanej przez system nawadniający. Ponadto analizowano przydatność różnych technik pomiaru objętościowej wilgotności gleby do regulacji stosunków powietrzno-wodnych w celu zapewnienia optymalnych warunków wzrostu roślin. Analizowano również istnienie zależności pomiędzy wilgotnością na powierzchni gleby, a wilgotnością w strefie formowania bulw [1]. Badania wykazały, że najbardziej efektywną metodą uprawy ziemniaka jest utrzymanie wilgotności gleby na niższym poziomie.

W całym sezonie wegetacyjnym średni dzienny przyrost masy bulw był największy dla poziomu wilgotności 1 (5.7 g  $\text{dziennie}^{-1}$ ), a przy poziomie wilgotności 3, 5.1 g  $\text{dziennie}^{-1}$ , natomiast najmniejszy (4.3 g  $\text{dziennie}^{-1}$ ) odnotowano przy poziomie wilgotności 2.

Wykazano, że utrzymywanie nadmiaru wody przez cały okres doświadczenia było czynnikiem stresowym dla ziemniaka. Największą wodochłonność dla obu odmian stwierdzono przy założonym poziomie wilgotności 1. Nadmierna wilgotność (poziom 3) spowodowała pogorszenie tego wskaźnika. Wynosił on maksymalnie 0.114 l na g dla odmiany Denar i 0.205 l na g dla odmiany Julinka. Utrzymywanie przez cały okres wegetacji wilgotności na stałym poziomie deficytu wody (pF 2,7) zapewniało najbardziej efektywną gospodarkę wodną [2].

Celem trzecich badań było opracowanie metody precyzyjnego szacowania przestrzennej i czasowej zmienności elementarnego poboru wody przez korzenie nawadnianej rośliny. Projekt dotyczył roślin nawadnianych w unikalny sposób, polegający na iniekcyjnej aplikacji wody bezpośrednio w zasięgu systemu korzeniowego. Analizy przeprowadzono na podstawie badań wykonanych w warunkach kontrolowanych, na prostopadłościennym modelu fizycznym o wymiarach 27.00 × 30.75 × 30.75 cm. Przedmiotem badań była sałata masłowa typu kruchego (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). W podłożu, w którym uprawiano sałatę, zainstalowano czujniki TDR w celu pomiaru wilgotności objętościowej. Analizy wykazały, że maksymalna (jako średnia dla całej objętości gleby w obrębie systemu korzeniowego rośliny) intensywność elementarnego pobierania wody przez sałatę (max.) wynosiła 0.0006 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>. Obserwowano to około południa i w czasie nawadniania rośliny. Wartości elementarnej intensywności pobierania wody przez korzenie roślin w poszczególnych objętościach gleby były bardzo zróżnicowane. W punkcie położonym najbliżej dyszy iniektora nawadniającego maksymalna wartość wynosiła 0.008 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>. W objętości glebowej położonej zaledwie 5 cm dalej wartość maksymalna wynosiła już tylko 0.003 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>. Wartości dobowe obliczone dla dawki iniekcyjnej 100 cm<sup>3</sup> były w tych samych punktach niższe niż dla dawki 200 cm<sup>3</sup>. Przedstawiona metoda pozwala na uzyskanie informacji o zmienności przestrzennej i dynamice elementarnej intensywności pobierania wody przez korzenie, co jest niezbędne do precyzyjnego określenia miejsca i dawki iniekcji z dyszy wysokociśnieniowego iniektora nawadniającego.

1. **Jama-Rodzeńska A.**, Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Janik G., Kłósowicz I., Głąb L., Sowiński J., Chen Xinhao, Pęczkowski G. Influence of variation in the volumetric moisture content of the substrate on irrigation efficiency in early potato varieties, PLoS ONE, 15, 4, 2020, s. 1- 20, DOI:10.1371/journal.pone.0231831.
2. **Jama-Rodzeńska A.**, Janik G., Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Sowiński J. Tuber yield and water efficiency of early potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under various irrigation levels, Scientific Reports, Nature Publishing Group, 2021, 1-12, DOI:10.1038/s41598-021-97899-9.
3. Janik G., Kłósowicz I., Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., **Jama-Rodzeńska A.**, Sowiński J. Application of the TDR technique for the determination of the dynamics of the spatial and temporal distribution of water uptake by plant roots during injection irrigation, Agricultural Water Management, 252, 2021, 1-12, DOI:10.1016/j.agwat.2021.106911.

#### **W ramach streszczeń konferencyjnych opublikowano następujące doniesienia:**

1. **Jama-Rodzeńska A.**, Adamczewska-Sowińska K., Głąb L., Walczak A., Xinhao Chen, Sowiński J., Janik G. (2021) Wpływ zróżnicowanego poziomu nawodnienia na plonowanie i cechy biometryczne bardzo wczesnej i wczesnej odmiany ziemniaka\* V Zjazdu PTNO, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166

2. **Jama-Rodzeńska A.**, Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Głąb L., Xinhao Chen, Sowiński J., Janik G., Pęczkowski G. Porównanie potrzeb wodnych wczesnych odmian ziemniaka, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Nauka dla zrównoważonego rozwoju i biogospodarki” połączona z Jubileuszem 75-lecia Wydziału Agrobioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2019)

**Zgłoszenie opracowanych technologii związanych z badaniem:**

1. Regulacja wilgotności objętościowej gleby podczas prowadzenia doświadczeń wazonowych

Kierownik zespołu: Grzegorz Pęczkowski

Członkowie zespołu: **Anna Jama-Rodzeńska**, Grzegorz Janik, Amadeusz Walczak, Grzegorz Pęczkowski, Katarzyna Adamczewska-Sowińska, Józef Sowiński, Izabela Kłosowicz.

2. Określenie efektywności wykorzystania wody w różnych fazach rozwojowych roślin uprawnych

Kierownik zespołu: Grzegorz Pęczkowski

Członkowie zespołu: **Anna Jama-Rodzeńska**, Grzegorz Janik, Amadeusz Walczak, Katarzyna Adamczewska-Sowińska, Józef Sowiński

**Opieka merytoryczna nad gośćmi zagranicznymi w ramach różnych programów wyjazdowych:**

- Zlatko Svencjak (prof.). Kraj pochodzenia: Chorwacja  
Liczba dni sprawowanej opieki: 5  
Program: Ceppus
- Dragana Latkovic (prof.) Kraj pochodzenia: Serbia  
Liczba dni sprawowanej opieki: 5  
Program Ceppus
- Alena Whitaker (studentka) Kraj pochodzenia: USA  
Liczba sprawowanej opieki: 14
- Dubravko Macesic (prof.) Kraj pochodzenia: Chorwacja  
Liczba dni sprawowanej opieki: 5  
Program: Erasmus Plus

**Odbyte staże zagraniczne:**

- Uniwersytet w Nowym Sadzie (Serbia) (2022)

Pobyty w ramach programu Ceppus (7 dni).  
Przeprowadzenie 6 godzin wykładów dla studentów Wydziału Rolnictwa.

- Uniwersytet w Zagrzebiu (Chorwacja) (2022)  
Pobyty w ramach programu Ceppus (6 dni).  
Przeprowadzenie 6 godzin wykładów dla studentów Wydziału Rolnictwa
- Uniwersytet Justus Liebig w Giessen (Niemcy) (2009, 2010)  
Pobyty w ramach programu Erasmus (2 miesiące, 6 miesięcy)  
Wykonywanie analiz chemicznych zawartości metali ciężkich w materiale roślinnym i glebowym metodą ICP-MS.
- Uniwersytet w Brnie (Czechy, 2009)  
Pobyty w ramach programu Erasmus (12 dni)  
Zajęcia praktyczne i teoretyczne związane z rolnictwem

#### Referaty na konferencjach:

1. **Jama A., Nowak W. (2011)** Pobieranie makroskładników z osadów ściekowych przez wierzbę krzwiastą (*Salix viminalis* L.), Sympozjum: Rośliny w eliminowaniu zanieczyszczeń środowiska naturalnego, 8 wrzesień 2011, Poznań.
2. **Jama-Rodzeńska A., Nowak W. (2013)** Przydatność komunalnych osadów ściekowych do użyźniania gleby pod uprawę wierzby krzewiastej, Fitoremediacja-skuteczny zabieg sozotechniczny, Politechnika Gdańska, 2013.
3. **Jama-Rodzeńska A., Władysław Nowak, Józef Sowiński (2014)** Wpływ przemysłowych osadów ściekowych na plon biomasy i zawartość niektórych metali ciężkich w wybranych klonach wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L) VI Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Agronomicznego Badania i innowacje w produkcji roślinnej,
4. **Jama-Rodzeńska A., Sowiński J., Adamczewska-Sowińska K., Dziuba A. (2020)** "Use of struvite as a fertilizer that closes the phosphorus cycle in horticulture Fifth International Online Conference on Reuse and Recycling of Materials -Polymers, Wood, Paper, Leather, Glass, Metals, Ceramics, Semi Conductors, Water etc and their products ICRM - 2020 w dniach 11, 12 i 13 grudnia 2020 roku w Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala, India)  
**Jama-Rodzeńska i in. (2020)** Use of struvite as a fertilizer that closes phosphorus cycles in horticulture, Abstracts of International Conferences & Meetings (AICM), 1(3), 29. DOI: 10.5281/zenodo.5052097
5. **Jama-Rodzeńska A., Gałka B., Gębarowska E., Szuba-Trznadel A., Kucińska J., Jarki D. (2023)** Wpływ nawożenia struwitem (Crystal Green) na komponenty plonu, zawartość chlorofilu oraz aktywność mikrobiologiczną w uprawie soi, Europejski Zielony Ład - wyzwanie dla rolnictwa” 5 czerwiec 2023 Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie.

## UDZIAŁ W PROJEKTACH

1. **Główny wykonawca** w grantie promotorskim (N N310 209237) 2009:  
Wpływ komunalnych osadów ściekowych na rozwój i skład chemiczny wybranych klonów wierzby krzewiastej (W. Nowak, **Jama A.**)
2. **Kierownik grantu** ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego w okresie od lipca 2008 r. do maja 2010 r.; projekt systemowy pn. „GRANT – wsparcie prac badawczych poprzez stypendia naukowe dla doktorantów”. Jama. A. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w liściach, korze i drewnie wierzby krzewiastej (2008-2010)
3. **Wykonawca** w projekcie **Biostrateg (2017-2021)** Mobilny system iniekcyjnego nawadniania i nawożenia zaspakajający indywidualne potrzeby roślin Projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” - BIOSTRATEG. Kwota dofinansowania: 11 618 400 zł.

### **Efektem realizowanych badań jako wykonawca było opublikowanie następujących prac:**

**Jama-Rodzeńska A.**, Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Janik G., Kłosowicz I., Głąb L., Sowiński J., Chen Xinhao, Pęczkowski G. Influence of variation in the volumetric moisture content of the substrate on irrigation efficiency in early potato varieties, *PLoS ONE*, 15, 4, **2020**, 1- 20. DOI:10.1371/journal.pone.0231831.

**Jama-Rodzeńska A.**, Janik G., Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Sowiński J. Tuber yield and water efficiency of early potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under various irrigation levels, *Scientific Reports*, Nature Publishing Group **2021**, 11, 1-12,. DOI:10.1038/s41598-021-97899-9.

Janik G., Kłosowicz I., Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., **Jama-Rodzeńska A.**, Sowiński J. Application of the TDR technique for the determination of the dynamics of the spatial and temporal distribution of water uptake by plant roots during injection irrigation, *Agricultural Water Management*, **2021**, 252, 1-12, DOI:10.1016/j.agwat.2021.106911 (IF 6,661 100 pkt.)

### **W ramach materiałów konferencyjnych opublikowano następujące doniesienia:**

**Jama-Rodzeńska A.**, Adamczewska-Sowińska K., Głąb L., Walczak A., Xinhao Chen, Sowiński J., Janik G. Wpływ zróżnicowanego poziomu nawodnienia na plonowanie i cechy biometryczne bardzo wczesnej i wczesnej odmiany ziemniaka\* V Zjazdu PTNO, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166



**Jama-Rodzeńska A.**, Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Głąb L., Xinhao Chen, Sowiński J., Janik G., Pęczkowski G. Porównanie potrzeb wodnych wczesnych odmian ziemniaka, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Nauka dla zrównoważonego rozwoju i biogospodarki” połączona z Jubileuszem 75-lecia Wydziału Agrobiotechnologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2019)

4. **Kierownik w projekcie Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w latach 2020-2021** (projekt wewnętrzny Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu - N060/0011/20 MŁODZI NAUKOWCY PO DOKTORACIE (INNOWACYJNY NAUKOWIEC) - KONKURS 2020 - P-T - INSTYTUT AGROEKOLOGII I PRODUKCJI ROŚLINNEJ - **JAMA-RODZEŃSKA** (B030/0011/20). Projekt ten (N060/0011/2) dotyczył wykorzystania produktów fosforowych wytwarzanych z osadów ściekowych, a jego celem było porównanie wartości nawozowej nawozów fosforowych produkowanych na bazie osadów ściekowych z nawozami komercyjnymi i polepszaczem gleby również wytwarzanym z osadów ściekowych w uprawie wybranych roślin warzywnych oraz określenie optymalnej dawki nawozu dla badanych gatunków. Celem badań była wstępna ocena skuteczności działania struwitu na podstawie reakcji rośliny testowej (sałaty *Lactuca sativa* L.).

Efektom projektu były następujące prace:

**Jama-Rodzeńska A.**, Białowiec A., Koziel J., Sowiński J. Waste to phosphorus: A transdisciplinary solution to P recovery from wastewater based on the TRIZ approach, *Journal of Environmental Management*, **2021**, 287, 1, 112235. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112235.

**Jama-Rodzeńska A.**, Sowiński J., Koziel J., Białowiec A. Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash Based on Cradle-to-Cradle Approach—Mini-Review, *Minerals*, **2021**, 11, 985, 1-17. DOI: 10.3390/min1109098.

**Jama-Rodzeńska A.**, Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Svecnjak Z., Latkovic D. (2021), Effect of various rates of P from alternative and traditional sources on butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on peat substrate, *Agriculture*, **2021**, 11 (12), 1-15. DOI: 10.3390/agriculture11121279.

**Jama-Rodzeńska A.** The Effect of Phosgreen Fertilization on the Growth and Phosphorus Uptake of Lettuce (*Lactuca sativa* L.), *International Journal of Agriculture & Biology*, **2022**, 27(01), 01-07. DOI: 10.17957/IJAB/15.1892

**Jama-Rodzeńska A.**, Waclawowicz R. Możliwości produkcji nawozów z osadów ściekowych [w:] Gospodarka odpadami – problemy i wyzwania, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, ISBN: 978-83-67104-02-9, **2021**, 96-109.

5. **Osoba realizująca działanie naukowe:** Narodowe Centrum Nauki MINIATURA-6 Kompleksowa ocena właściwości struwitu wytworzonego z osadów ściekowych jako źródła fosforu w rolnictwie, Nr rejestracyjny: 2022/06/X/ST10/00047.

Efektem projektu były następujące prace:

**Jama-Rodzeńska A.**, Chochura P., Gałka B., Szuba-Trznadel A., Falkiewicz A., Białkowska M. Effect of Different Doses of Phosgreen Fertilization on Chlorophyll, K, and Ca Content in Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown in Peat Substrate, *Agriculture*, **2022**, 12(6), 788. DOI: 10.3390/agriculture12060788.

**Jama-Rodzeńska, A.**, Gałka B. Wpływ nawozów fosforowych powstałych na bazie osadów ściekowych na plonowanie, skład chemiczny roślin i gleby, *Agronomy Science*, **2022**, VOL. LXXVII (3). DOI: 10.24326/as.2022.3.1.

**Jama-Rodzeńska A.**, Gałka B., Szuba-Trznadel A., Jandy A., J. A. Kamińska Effect of struvite (*Crystal Green*) fertilization on soil element content determined by different methods under soybean cultivation, *Scientific Reports*, **2023**, 13, 12702. DOI: 10.1038/s41598-023-39753-8

6. Dofinansowanie badań w ramach Wiodących Zespołów Badawczych (2023) nt. *Wpływ zastosowania struwitu (Crystal Green) na kształtowanie się właściwości chemicznych i mikrobiologicznych gleby pod uprawą pszenicy ozimej.*

Anna Jama-  
Rodzeńska

