

dr Anshu Rastogi

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej

Katedra Meteorologii

Piątkowska 94

60-649 Poznań

Załącznik 2

AUTOREFERAT

Poznań, kwiecień 2019 r

Spis treści

1.	Dane osobiste	4
1.1.	Dyplomy i stopnie naukowe	4
1.2.	Informacje o zatrudnieniu w jednostkach akademickich	4
2.	Wskazanie osiągnięcia naukowego	5
2.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego.....	5
2.2.	Wykaz publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego, o którym mowa w art. 16 ust 2 Ustawy	5
2.3.	Cel naukowy oraz osiągnięte wyniki	6
2.3.1.	Wprowadzenie	6
2.3.2.	Główne cele naukowe	7
2.3.3.	Opis wyników	8
2.3.4.	Podsumowanie i wnioski	21
2.3.5.	Referencje	23
3.	Przegląd innych osiągnięć naukowych i badawczych	25
4.	Podsumowanie osiągnięć naukowych kandydata	38

1. Dane osobiste

Imię i nazwisko: Anshu Rastogi

data urodzenia: 09-08-1983

Obywatelstwo: Indie

PESEL: 83080921551

1.1. Dyplomy i stopnie naukowe

07.08.2012 Doktorat w dziedzinie biofizyki, Wydział Biofizyki, Palacky University w Olomouc, Czechy.

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Involvement of Reactive Oxygen Species in Biophoton Emission from Living System.*

Promotor: Dr. Pavel Pospíšil

31.07.2008 Magister nauk przyrodniczych, School of Life Sciences, Devi Ahilya University, Indore, Indie.

Praca magisterska z: All India Institute of Medical Science (AIIMS), Delhi

Tytuł pracy magisterskiej: *Isolation, Purification, Characterization and Crystallization of Pathogenesis-Related (PR) Proteins from Amaryllis belladonna.*

Promotor: Dr. Sujata Sharma; promotor pomocniczy: Prof. T. P. Singh

30.06.2005 licencjat z Botany (Honours) z Kirori Mal College, Uniwersytet w Delhi, Delhi, Indie.

1.2. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach akademickich

01-05-2017 – obecnie	Adiunkt w Katedrze Meteorologii, Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Polska
01-03-2013 – 30-04-2015	Adiunkt na Wydziale Biochemii Komórkowej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Polska
01-10-2012 – 31-12-2012	Naukowiec wizytujący w Instytucie Fotoniki i Elektroniki, Czeska Akademia Nauk, Praga, Czechy
01-01-2012– 30-09-2012	Specjalista ds. Badań na Palacky University w Olomouc, Czechy

2. Wskazanie osiągnięcia naukowego

2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Ocena wpływu wybranych zanieczyszczeń środowiska i czynników abiotycznych na rośliny i ekosystem

2.2. Wykaz publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego, o którym mowa w art. 16 ust 2 Ustawy

- 2.2.1. **Rastogi A**, Zivcak M, Sytar O, Kalaji HM, He X, Mbarki S, Brestic M. 2017. *Impact of Metal and Metal Oxide Nanoparticles on Plant: A Critical Review*. *Frontiers in Chemistry*, 5: 78. (15pkt *if*₂₀₁₇=**4.155**, mój udział: 70%)
- 2.2.2. **Rastogi A**, Tripathi DK, Yadav S, Chauhan DK, Zivcak M, Ghorbanpour M, El-Sheery N, Brestic M. 2019. *Application of Silicon Nanoparticles in Agriculture*. *3 Biotech*, 9: 90 (15pkt *if*₂₀₁₇=**1.497**, mój udział: 45%)
- 2.2.3. **Rastogi A**, Zivcak M, Tripathi DK, Yadav S, Kalaji HM, Brestic M. 2019. *Phytotoxic Effect of Silver Nanoparticles in Triticum aestivum: Improper Regulation of Photosystem I Activity as the Reason for Oxidative Damage in the Chloroplast*. *Photosynthetica*, 57: 209-216. (25pkt *if*₂₀₁₇=**1.74**, mój udział: 70%)
- 2.2.4. **Rastogi A**. 2019. *Industrial Nanoparticles and Their Influence on Gene Expression in Plants*. In: *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms, Volume 2*. Tripathi DK, Ahmad P, Sharma S, Chauhan DK, Dubey NK (Eds.) Academic Press, Cambridge. pp: 89-101. (5pkt, mój udział: 100%)
- 2.2.5. Kalaji HM, **Rastogi A**. 2017. *Pharmaceutical Compounds: An Emerging Pollutant (A Review on Plant-pharmaceuticals Interaction)*. *Chiang Mai Journal of Science*, 44: 287-297 (20pkt *if*₂₀₁₇=**0.409**, mój udział: 70%)
- 2.2.6. **Rastogi A**, Stróżecki M, Kalaji HM, Łuców D, Lamentowicz M, Juszczak R. 2019. *Impact of Warming and Reduced Precipitation on Photosynthetic and Remote Sensing Properties of Peatland Vegetation*. *Environmental and Experimental Botany*, 160: 71-80. (40pkt *if*₂₀₁₇=**3.666**, mój udział: 70%)
- 2.2.7. **Rastogi A**, Bandopadhyay S, Stróżecki M, Juszczak R. 2018. *Monitoring the Impact of Environmental Manipulation on Peatland Surface by Simple Remote Sensing Indices*. *ITM Web of Conference*, 23: 00030. (15pkt, mój udział: 80%)

Suma punktów MNiSW: 135

Suma Impact Factor: 11.467

2.3. Opis celów naukowych i wyników artykułów zawartych w cyklu jednotematycznych publikacji przedstawionych jako osiągnięcie.

2.3.1. Wprowadzenie

Rewolucja przemysłowa miała miejsce pomiędzy końcem XVIII a początkiem XIX wieku, co drastycznie zmieniło świat (Ashton 1948). Industrializacja leży u podstaw nowoczesnej gospodarki i społeczeństwa i jest podstawowym czynnikiem rozwoju krajów. Przemysł i jego produkty zaspakajają wiele ludzkich potrzeb, ale zarazem są źródłem zanieczyszczeń emitowanych do różnych elementów środowiska. Produkty przemysłowe mogą wywierać pozytywny, lub negatywny wpływ na środowisko. W ciągu ostatnich kilku lat nieustannie pracowałem nad oceną wpływu zanieczyszczeń środowiskowych i czynników abiotycznych na rośliny i ekosystem. Przede wszystkim skupiłem się na nanocząsteczkach i związkach farmaceutycznych, ubocznych produktach przemysłowych, których produkcja w ostatnim stuleciu gwałtownie wzrosła (**artykuł 2.2.1; artykuł 2.2.5**). W swoich badaniach koncentrowałem się także na wpływie czynników abiotycznych, takich jak wzrost temperatury i zmniejszone opady atmosferyczne na rośliny i ekosystem torfowiska (**artykuł 2.2.6**).

Metale ciężkie, nanocząstki i farmaceutyki to niektóre z komponentów przemysłowych, które łatwo trafiają do środowiska poprzez produkty przemysłowe i niewłaściwe zarządzanie odpadami przemysłowymi (**artykuł II A10, artykuł 2.2.1; artykuł 2.2.5**). Negatywny wpływ różnych metali ciężkich, takich jak aluminium, rtęci, cynku, nikilu, platyny, srebra, antymonu, arsenu, baru, bizmutu, kadmu, cyny itp. na rośliny i rolnictwo był szeroko badany w ciągu ostatnich dziesięcioleci i nadal jest przedmiotem badań (Tchounwou i in. 2012). Stosunkowo mało badań przeprowadzono jednak nad wpływem nanocząstek i farmaceutyków na rośliny. Dlatego w ostatnich latach moje prace koncentrowały się na nanocząstkach i farmaceutykach pod kątem ich wpływu na rośliny i środowisko. Badania wykazały, że wpływ różnych nanocząstek na rośliny zależy od wielkości nanocząstek, stężenia i metodologii narażenia, podczas gdy wpływ związków farmaceutycznych zależy od rodzaju aktywnych składników.

Globalne ocieplenie, które jest konsekwencją industrializacji, jest ostatnio ważnym tematem. Biologzy środowiska nieustannie oceniają, jak globalne ocieplenie wpłynie na obecną populację roślin. Torfowiska są jednym z najważniejszych elementów ekosystemów lądowych, które stanowią zaledwie 3% z nich, ale zawierają około 40% węgla organicznego w glebie (Jungkunst i in., 2012). Mimo, że torfowiska odgrywają ważną rolę w środowisku, dopiero niedawno stały się one przedmiotem zainteresowania biologów. Dlatego w ramach eksperymentu manipulacji klimatem na torfowisku zbadaliśmy, jak wzrost temperatur i

zmniejszone opady mogą wpływać na roślinność torfowiskową w przyszłych warunkach klimatycznych. Próbowaliśmy również określić, w jaki sposób proste wskaźniki teledetekcyjne mogą być wykorzystane do monitorowania zmian środowiskowych na torfowiskach.

2.3.2. Główne cele naukowe:

Biorąc powyższe pod uwagę zidentyfikowałem następujące cele, które były podstawą cyklu siedmiu publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowe:

Cel 1: Ocena wpływu nanocząstek metali i tlenków metali na roślinę.

Cel 2: Ocena wpływu związków farmaceutycznych jako zanieczyszczenia środowiska na ich interakcje z roślinami.

Cel 3: Ocena wpływu podwyższonych temperatur i zmniejszonych opadów na fotosyntetyczną i teledetekcyjną charakterystykę roślinności torfowiskowej.

Cel 4: Wyznaczenie spektralnych indeksów roślinnych takich jak NIRv i MTCI w celu oceny wpływu zmian środowiskowych na roślinność torfowiska.

2.3.3. Opis wyników:

Cel 1: Ocena wpływu nanocząstek metalu i tlenku metalu na roślinę

Hipoteza: Metale i tlenki metali mogą oddziaływać fitotoksycznie gdy występują w wysokich stężeniach w atmosferze. Fitotoksyczność tych cząstek może wpływać na zmiany fizjologiczne i morfologiczne w roślinach narażonych na wysokie stężenia tych zanieczyszczeń środowiskowych. Mechanizm interakcji nanocząstek z roślinami nie jest jasny i dlatego musi być badany celem lepszego zrozumienia tych interakcji. Mechanizm ten może być jednak opisany w schematyczny sposób na podstawie obecnie dostępnej wiedzy literaturowej.

Nanocząstki są klasyfikowane jako materiał, w którym co najmniej jeden wymiar ma średnicę <100 nm (Auffan i in. 2009). Nanocząstki nie są nowością w środowisku i występują naturalnie w postaci minerałów, iłu koloidalnego i produktów przemian bakterii. Nanocząstki są używane od czasów starożytnych na przykład jako barwnik do metali, ale projektowanie i konstruowanie nanocząstek do różnych zastosowań praktycznych zainicjowano dopiero kilka dekad temu (Maurer-Jones i in., 2013). Zaprojektowane nanocząstki mają właściwości, które nie występują w próbkach masowych tych samych materiałów (Auffan i in., 2009). Opracowane nanocząstki składają się z różnych materiałów i występują w różnych rozmiarach i kształtach z zestawem syntetycznych cząsteczek powierzchniowych, co odróżnia je od materiałów występujących naturalnie (Radad i in., 2012; Maurer-Jones i in., 2013). Nanocząstki metali i tlenków metali wykazują różne właściwości fizykochemiczne i różnią się od swoich rodzimych związków masowych pod kilkoma względami, które obejmują właściwości powierzchniowe, optyczne, termiczne i elektryczne. Nanocząstki metalu i tlenku metalu są wytwarzane przez dodanie w procesie ich wytwarzania odpowiednio środków redukujących lub utleniających (Sanchez-Dominguez i in. 2009). Za reaktywność nanocząstek z biomolekułami odpowiedzialnych jest kilka czynników, w tym rozmiar nanocząstek, skład rdzenia, kształt, właściwości powierzchniowe, czystość, stabilność i metoda wytwarzania (Teske i Detweiler 2015). W ostatnich dziesięcioleciach nanocząstki były stosowane w różnych produktach gospodarstwa domowego i produktach przemysłowych. Ze względu na rosnące wykorzystanie nanocząstek w produktach komercyjnych, różne gałęzie przemysłu opracowują nowe nanocząstki w celu ulepszenia swoich usług i produktów. Niektóre gałęzie przemysłu intensywnie wykorzystujące nanocząstki uwalniają ich dużo do środowiska, co pokazano na rysunku 1.

Nanocząstki mogą zanieczyszczać środowisko poprzez różne procesy, będące konsekwencją między innymi niewłaściwego zarządzania i utylizacji odpadów przemysłowych

oraz niektórych produktów codziennego użytku. Opracowuje się obecnie kilka modeli matematycznych w celu oszacowania skali i ilości nanocząstek uwalnianych do środowiska (Keller i Lazareva 2014; Dumont i in. 2015). Biorąc pod uwagę zużycie nanocząstek srebra (AgNP) i nanocząstek tlenku cynku w Europie na osobę, przyjęto, że ich uwalnianie jest znaczące i szeroko rozpowszechnione na terytorium Europy (Dumont i in., 2015).



Rysunek 1. Zastosowania nanocząstek w różnych gałęziach przemysłu i ich wyciek do środowiska. Z **artykułu 2.2.1.**

Ponadto, nanocząstki są podatne na wpływ warunków środowiskowych i mogą zmieniać swój stan agregacji, stopień utlenienia, itp. pod wpływem zmieniających się warunków środowiska (Levard i in., 2012). Parametry fizyczne i substancje chemiczne obecne w środowisku mogą wpływać na stabilność nanocząstek, dlatego nanocząstki mogą zachowywać się inaczej w różnych warunkach środowiskowych (Levard i in., 2012), a tym samym zmieniają swoją dostępność i reaktywność w ekosystemie. Skład nanocząstek może również zmieniać ich właściwości, a tym samym ich reaktywność, penetrację i translokację wewnątrz rośliny, co może prowadzić do różnych reakcji roślin na tę samą nanocząstkę. Na przykład Barrios i in. (2016) wykazali, że zamknięcie nanocząstek w osłonie wpływa odmiennie na reakcje fizjologiczne roślin, w porównaniu z ekspozycją tych samych roślin na nanocząstkę nie osłoniętą innymi substancjami. Rośliny są w ciągłej interakcji z powietrzem, glebą i wodą, w których mogą znajdować się różne nanocząstki. Ponieważ rośliny są również spożywane przez zwierzęta, nanocząstki mogą się do nich przemieścić. Stąd istnieje realne ryzyko, że nanocząstki mogłyby „zaatakować” łańcuch pokarmowy i stać się niebezpieczne dla ludzi (którzy są ostatnim ogniwem łańcucha pokarmowego). Jest to szczególnie ważne, i

należy mieć świadomość faktu, że nadmierne zużycie nanocząstek i obfitość ich występowania w środowisku zwiększa potencjalne ryzyko, że zarówno rośliny, jak i zwierzęta mogą stać się źródłem nanocząstek dla ludzi. Potwierdzają to wyniki badań wykonanych w okresie ostatnich kilku lat nad wpływem nanoczątek na łańcuch pokarmowy w środowisku lądowym i wodnym, które podsumowałem w moim **artykule 2.2.1**. Badania przeprowadzone na różnych roślinach wykazały, że nanocząstki mogą mieć zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na rośliny, w zależności od ich wielkości, stężenia, składu chemicznego, stabilności i kształtu nanocząstek. Kilka badań wykazało negatywny wpływ nanocząstek na rośliny poprzez zmniejszenie wzrostu roślin, wydajności fotosyntetycznej i zmiany ilości pigmentów w liściach. Z drugiej strony, inteligentnie zaprojektowane nanocząsteczki są również wykorzystywane do ulepszania produkcji roślinnej: jako stymulatory wzrostu, nanopestycydy, nanonawozy, środki poprawiające strukturę gleby, lub jako czujniki do monitorowania różnych parametrów rolniczych w terenie. Z tego też względu, biorąc powyższe pod uwagę, rozpocząłem badania nad nanocząstkami znajdującymi się w środowisku od bardzo szczegółowego przeglądu literatury światowej, po to aby lepiej zrozumieć wpływ nanocząstek na rośliny. Wyniki dokonanego przeze mnie przeglądu literatury podsumowałem poniżej.

Artykuł 2.2.1 prezentuje obecny stan wiedzy dotyczący wpływu nanocząstek metali i ich tlenków na rośliny. Z badań wynika, że nanocząstki metali i tlenków metali w nadmiarze są szkodliwe dla roślin, podczas gdy obecne w śladowych ilościach mogą oddziaływać korzystnie na rośliny. W związku z tym, rosnące stężenie nanocząstek w środowisku może mieć poważny negatywny wpływ na rolnictwo w przyszłości. Opierając się na dokonanym przeglądzie literatury dokonałem krytycznej oceny wpływu nanocząstek na rośliny, wykazując, że te same nanocząstki mogą reagować różnie na różne gatunki roślin, a wyniki badań są niejednoznaczne. W artykule omówiłem w szczególności wpływ różnych czynników biotycznych i abiotycznych decydującym o zróżnicowanym wpływie nanocząstek na rośliny.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury w artykule 2.2.1 przedstawiłem oryginalny autorski mechanizm interakcji nanocząstek z roślinami, który był jedną z głównych przyczyn wielkiego uznania mego dzieła w środowisku naukowym, co znajduje odzwierciedlenie w liczbie cytowań (40 cytowań od listopada 2017 r).

W **artykule 2.2.1** zasygnalizowałem, że jedną z ważnych nanocząstek występujących w środowisku przyrodniczym są nanocząstki krzemu (SiNP), które są coraz powszechniej stosowane w rolnictwie. Z tego też względu w **artykule 2.2.2** dokonałem szczegółowego

przeglądu literatury światowej skupiając się wyłącznie na nanocząstkach SiNP. Chciałbym szczególnie podkreślić, że dotychczas nie powstała żadna praca, w której dokonano by przeglądu stanu wiedzy i pokazano by w sumarycznej i skondensowanej formie rolę SiNP i ich zastosowanie w rolnictwie. Moje dzieło wypełnia tę lukę i stanowi cenne źródło informacji, będących referencją dla innych prac badawczych. W artykule pokazałem, w jaki sposób różne formy nanocząstek krzemu są stosowane w rolnictwie jako pestycydy, herbicydy, nawozy, nośniki genów i lekarstw, środki poprawiające glebę oraz czujniki do analizy gleby. Praca ta jest ważna szczególnie dlatego, że nanonocząsteczki krzemu są coraz powszechniej stosowane w rolnictwie i mogą zrewolucjonizować istniejące technologie stosowane w różnych sektorach związanych z rolnictwem i biotechnologią roślin, celem zwiększenia produktywności roślin i zminimalizowania negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko.

W artykule przeglądowym **2.2.1** przedstawiałem informacje opierające się na aktualnym stanie literatury światowej na temat wpływu różnych nanocząstek metali i tlenków metali na roślinę. Przegląd ten wykazał również, że nanocząstki srebra (AgNP) są jednymi z najczęściej używanych nanocząstek w przemyśle, a jednocześnie najbardziej niebezpiecznymi dla roślin. Z dokonanego przeglądu literatury wynikało wprost, że choć wiemy sporo na temat wpływu nanocząstek na rośliny, to jednak stosunkowo mało wiemy na temat molekularnych mechanizmów oddziaływania tych cząsteczek na roślinny. Z tego też względu rozpocząłem badania eksperymentalne w celu określenia wpływu AgNP na siewki pszenicy (**artykuł 2.2.3**). AgNP można stosować jako środki przeciwbakteryjne, środki do oczyszczania ścieków, szampony, pasty do zębów, mydło, materiały do pakowania żywności, pojemniki do przechowywania żywności, spraye do pomieszczeń, detergenty, tkaniny, farby itp. (Rai i in. 2009, Wijnhoven et al. 2009). Ostatnie raporty wykazały, że około 6% AgNP produkowanych w Stanach Zjednoczonych trafia do gleb, podczas gdy około 3,5% przedostaje się do wód powierzchniowych. Dlatego AgNP mogą w istotnym stopniu zanieczyszczać środowisko i grunty rolne. Poprzednie badania wykazały, że AgNP mogą zakłócać metabolizm roślin i mogą mieć pozytywny, lub negatywny wpływ na rośliny, który zależy jednak od stężenia, wielkości i właściwości tych nanocząstek (szczegóły omówiono w **artykule 2.2.1**).

W zaplanowanym przeze mnie eksperymencie wykorzystałem nanoproszek AgNP o wielkości cząstek <100 nm (SIGMA-ALDRICH®). Nanocząstki zawierały poliwinylpirolidon (PVP) jako środek dyspergujący. Przygotowaliśmy zawiesinę nanocząstek w wodzie destylowanej za pomocą kąpieli ultradźwiękowej. Przeprowadzono badanie pilotażowe w celu przygotowania dwóch stężeń (1 mM i 5 mM) AgNP do badań (Rys.

2). Badania przeprowadzono na pszenicy jarej (*Triticum aestivum*) cv. odmiany „Corso”, które hodowano w komorze roślinnej przy natężeniu światła $250 \mu\text{mol}(\text{foton}) \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, fotoperiodem 16 h światła / 8 h ciemności, wilgotnością względną powietrza 60–70% oraz temperaturą dzienną 22°C i 18°C w nocy, przez trzy tygodnie. Trzy repliki były przechowywane dla każdego warunku.



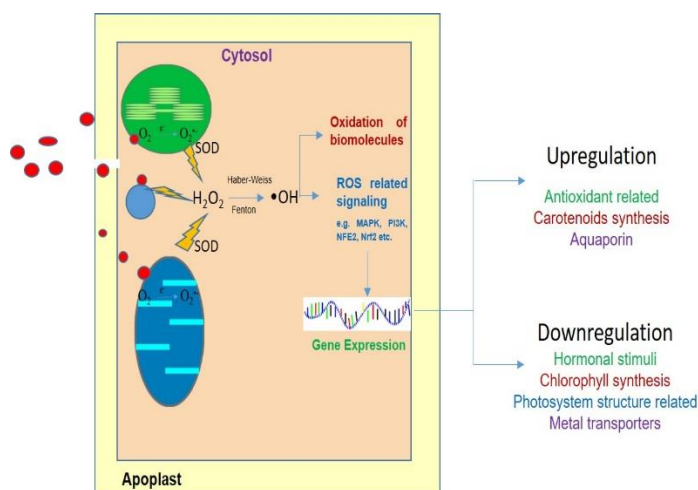
Rysunek 2. Wpływ różnych stężeń AgNP na wzrost siewek pszenicy (wzięty z artykułu 2.2.3).

Fitotoksyczne działanie AgNP zostało zidentyfikowane poprzez różne analizy morfologiczne, biochemiczne i biofizyczne siewek pszenicy potraktowanych AgNP i porównanych z sadzonkami pszenicy hodowanych w tych samych warunkach oświetlenia, fotoperiodu, temperatury i wilgotności, ale bez dodatku AgNP. Znaczący spadek wzrostu korzeni i pędów sadzonek traktowanych AgNP zaobserwowano po trzech tygodniach kiełkowania. Obserwacja mikroskopowa wykazała, że korzeń sadzonki „unikal” kontaktu z roztworem nanocząstek po potraktowaniu 5 mM AgNP. Zaobserwowano, że aktywność enzymatyczna katalazy i stężenie zredukowanego glutationu były znacznie wyższe w roślinach traktowanych AgNP, co wskazywało na aktywację mechanizmu obrony antyoksydacyjnej w roślinie jako odpowiedzi na AgNP. Obserwacje biochemiczne wykazały również zmniejszenie całkowitego stężenia chlorofilu w roślinie. Zaobserwowano jednak wzrost zawartości flawonoidów w sadzonkach pszenicy traktowanych AgNP, co dodatkowo potwierdziło odpowiedź fitotoksyczną AgNP.

Poza oceną fitotoksycznego wpływu AgNP, zmierzyłem również stan redoks fotosystemu I (PSI) i parametry fluorescencji chlorofilu a, aby zrozumieć mechanizm działania AgNP w roślinach. Jednym z bezpośrednich skutków niewłaściwej regulacji liniowego

transportu elektronów jest fotoinhibicja systemu PSI. Nasze pomiary wskazują na wyraźny spadek ilości aktywnego PSI, co jednoznacznie wskazuje na fotoinhibicję tego układu. Podczas gdy fotoinhibicja fotosystemu II (PSII) jest powszechnie znana, uważa się, że PSI w roślinach typu dzikiego jest bardzo odporny na fotouszkodzenie (Powles 1984), z wyjątkiem stresu chłodu (Sonoike 1996), lub warunków zmieniającego się natężenia światła (Grieco i in. 2012). Ostatnio uważa się nawet, że fotoinhibicja PSI może stanowić mechanizm ochronny przed uszkodzeniem oksydacyjnym kluczowych struktur komórkowych w warunkach, w których liniowy transport elektronów nie może być dobrze regulowany (Brestic i in. 2016, Tiwari i in. 2016). Wykazano, że fotouszkodzenie PSI może mieć znaczny efekt fizjologiczny i wskazuje na zmniejszenie wydajności fotosyntezy oraz zdolności do asymilacji CO₂, a także na fotochronę PSII (Zivcak i in. 2015). Eksperyment nasz wykazał, że fotochemia żywych komórek roślin, zwłaszcza procesy zachodzące na poziomie PSI, zostały poważnie zmienione w efekcie traktowania rośliny AgNP. Tak więc nasze badanie po raz pierwszy pokazały, że fitotoksyczne działanie AgNP na siewkę pszenicy było spowodowane uszkodzeniem PSI w chloroplastach, wskazując w ten sposób na mechanizm działania AgNP poprzez uszkodzenie PSI w aparacie fotosyntetycznym (**artykuł 2.2.3**).

Aby lepiej zrozumieć wpływ nanocząstek na rośliny, na poziomie genetycznym dokonałem dalszej analizy literatury, w której omówiono ogólny mechanizm ekspresji genów w roślinach z powodu interakcji nanocząstek z komórkami roślin (**artykuł 2.2.4**). W większości badań nad wpływem nanocząstek na fitotoksyczność roślin, ekspozycja na nanocząstki nie wystarcza do zabicia roślin, ale powoduje subletalną reakcję prowadzącą do ich osłabienia. Po wystawieniu na działanie subletalnej dawki nanocząstek zaobserwowano, że rośliny wykazują zmiany morfologiczne i fizjologiczne (**artykuły 2.2.1, 2.2.3**); mogą reagować zmieniając ilość kwasów rybonukleinowych (RNA) w komórkach, co w konsekwencji wpływa na zmiany metabolizmu roślin. **Artykuł 2.2.4** jasno demonstruje mechanizm interakcji żywych komórek roślinnych z nanocząsteczkami, w wyniku których produkowane są różne cząsteczki molekuł ROS (ang. *Reactive Oxygen Substances*), co w dalszym etapie aktywuje różne szlaki metaboliczne zmieniające ekspresję genów. W konsekwencji, aktywność różnych procesów metabolicznych w komórkach roślinnych może się zwiększać, lub zmniejszać (Rys. 3), jako bezpośredni skutek oddziaływania nanocząstek na rośliny.



Rysunek 3: Ogólny mechanizm zmiany ekspresji genów z powodu nanocząstek. (zaczepnięte z artykułu 2.2.4).

Podsumowując, powyższe prace przeglądowe i eksperymentalne (artykuły 2.2.1-2.2.4) miały na celu opisać w jaki sposób różne nanocząstki uwalniane przez przemysł do środowiska mogą wpływać na rośliny i ich metabolizm. Szczegółowo opisałem mechanizm interakcji AgNP na poziomie procesów fizjologicznych oraz na poziomie genetycznym, aby zrozumieć, w jaki sposób nanocząstki te będące zanieczyszczeniem środowiska mogą szkodzić roślinom.

Mechanizmy te, chociaż opisywane w pracach opublikowanych rozproszonych w wielu czasopismach, po raz pierwszy opisane zostały przeze mnie w moich pracach w sposób syntetyczny, istotnie przyczyniając się do rozwoju dyscypliny naukowej ochrona i kształtowanie środowiska.

Cel 2: Ocena wpływu związków farmaceutycznych jako zanieczyszczenia środowiska na ich interakcje z roślinami.

Hipoteza: Związki farmaceutyczne są cząsteczkami które przedostają się do środowiska przyrodniczego i mogą oddziaływać na rośliny wpływając na ich metabolizm, stąd też mogą być odpowiedzialne za nietypowe reakcje i zachowanie roślin.

Ewolucja przemysłu farmaceutycznego to imponująca historia sukcesu. Produkty farmaceutyczne są wszechobecne w życiu codziennym. Farmaceutyki to związki, które ze względu na swoją aktywność biologiczną wykorzystuje się do zapobiegania lub leczenia chorób (Official 2004). Przed dystrybucją farmaceutyków, ich bezpośredni wpływ i skutki uboczne na organizmy docelowe są dokładnie analizowane w warunkach laboratoryjnych, ale ich potencjalny wpływ na środowisko jest w znacznym stopniu bagatelizowany. Ze względu

roślinach, prowadząc do ich bioakumulacji w środowisku. Co więcej, opisałem w jaki sposób antybiotyki uwalniane do środowiska mogą przyczyniać się do wykształcenia się bakterii odpornych na antybiotyki, co dodatkowo może wpływać na mikrośrodowisko rośliny i całego ekosystemu. Związki farmaceutyczne mogą wywierać wpływ na rośliny na dwa sposoby; 1) poprzez bezpośrednią interakcję z metabolizmem roślin, lub 2) poprzez działanie przeciwdrobnoustrojowe farmaceutyków na mikroorganizmy glebowe (które mogą negatywnie wpływać na wzrost roślin poprzez na przykład zakłócanie symbiozy roślin-mikroorganizm). Obecność antybiotyków w glebie może wpływać na rośliny również pośrednio poprzez zachwianie równowagi fauny glebowej, na skutek zabijania bakterii, w wyniku czego zmniejsza się będzie ilość pokarmu dostępnego dla pierwotniaków i innych mikroorganizmów, co może dodatkowo powodować powolną degradację substancji organicznych gleby, a zatem brak składników odżywczych dostępnych dla roślin w glebie (Fatta-Kassinou 2011). Z badań różnych autorów można wywnioskować, że leki mogą być toksyczne dla roślin, a ich wpływ na rośliny zależy od związku czynnego leków. Ponadto, zaobserwowano, że różne gatunki roślin mogą reagować na ten sam farmaceutyk w różny sposób. Jest to konsekwencją tego, że różne gatunki roślin zawierają zróżnicowane ilości różnych enzymów i związków biochemicznie czynnych, a zatem te same związki farmaceutyczne mogą reagować w różny sposób w obecności różnych substancji i mogą powodować różne skutki dla różnych gatunków roślin. Przeprowadzone badania wskazują, że odpady farmaceutyczne mogą wpływać negatywnie na rośliny, jednak ilość tych badań jest niewystarczająca, zważywszy na fakt, że do środowiska przedostają się tysiące najróżniejszych farmaceutyków o bardzo szerokim spektrum występujących substancji aktywnych. Jak wykazałem w **artykule 2.2.5** większość badań koncentruje się głównie na ocenie zmienności morfologicznej roślin w odpowiedzi na wzrastające stężenie farmaceutyków. Dlatego potrzebne są nowe badania, aby ocenić wpływ odpadów farmaceutycznych na rośliny na poziomie fizjologicznym i molekularnym. Cały czas niedostatecznie rozpoznane są mechanizmy wytwarzania ROS (ang. *Reactive Oxygen Substances*) w roślinach w wyniku ekspozycji na środki farmaceutyczne.

W **artykule 2.2.5** wskazałem również na potencjalną możliwość wykorzystania roślin do oczyszczania gleb i wód powierzchniowych w procesie fitoremediacji z zanieczyszczeń będących pochodnymi farmaceutyków. Badania takie prowadzono z wykorzystaniem roślin uprawnych i mają one kolosalne znaczenia dla zdrowia publicznego. Cały czas jednak stan

wiedzy na temat metod fitoremediacji i usuwania farmaceutyków ze środowiska przyrodniczego jest słabo rozpoznany i wymaga zgłębienia.

Podsumowując, poprzez artykuł 2.2.5 spróbowałem skoncentrować uwagę na jednym z głównych nurtów nauki, po to aby wskazać na ujemne środowiskowe aspekty przemysłu farmaceutycznego oraz wskazać nowe kierunki przyszłych badań w tej dziedzinie.

Cel 3: Ocena wpływu podwyższonych temperatur i zmniejszonych opadów na fotosyntetyczną i teledetekcyjną charakterystykę roślinności torfowiskowej.

Hipoteza: Roślinność torfowisk obejmuje różne grupy zbiorowisk roślinnych w skład których wchodzi mszaki, paprocie i różne gatunki roślin nagozalążkowych (dwuliściennych i jednoliściennych). Różne zbiorowiska roślin i gatunki roślin mogą reagować w różny sposób na te same zmiany środowiska i klimatu na poziomach fizjologicznym, morfologicznym i strukturalnym, co może mieć wpływ na mierzone sygnały teledetekcyjne.

Obecnie nie ulega wątpliwości, że klimat zmienia się gwałtownie, a działalność antropogeniczna, głównie industrializacja, jest główną przyczyną tych zmian. Badania przeprowadzone na różnych gatunkach roślin w różnych warunkach środowiskowych i strefach klimatycznych wykazały wyraźne różnice w reakcjach roślin na zmiany klimatu. Zmiany klimatu, mogą prowadzić do aklimatyzacji roślin (zmiany fizjologiczne zachodzą w jednym pokoleniu), adaptacji ewolucyjnej (obserwowanej po długim czasie liczącym w latach lub dziesięcioleciach), przesunięcia granic stref występowania gatunków, lub do ich wyginięcia (Corlett 2016). W związku z tym w **artykule 2.2.6** skupiłem się na ocenie potencjalnego wpływu podwyższonych temperatur i zredukowanych opadów na aktywność fotosyntetyczną roślin, celem zbadania czy krótkotrwałe zmiany warunków klimatycznych wpłynęły na mierzalną zmianę procesów fizjologicznych w roślinie (zmianę fluorescencji chlorofilu) i czy efekt tych zmian jest zależny od gatunku roślin. Oceniałem, też czy wprowadzone modyfikacje zmieniły istotnie wartości sygnałów teledetekcyjnych wyrażonych przez różne spektralne indeksy roślinne. Były to pierwsze tego typu badania w Polsce i jedne z nielicznych na świecie. Badania wykonano na terenie eksperymentu manipulacyjnego WETMAN istniejącego na torfowisku w Rzecinie od 2014 roku i zbudowanego w ramach projektu Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej pt.: „*Central European Wetland Ecosystem Feedbacks to Changing Climate – Field Scale Manipulation*” (Pol-Nor/203258/31/2013).

Projekt eksperymentalny WETMAN składa się z czterech stanowisk pomiarowych z trzema powtórzeniami każdy: kontrola (C); podwyższona temperatura (W); zmniejszone opady atmosferyczne (RP) oraz połączenie podwyższonej temperatury i zmniejszonych opadów atmosferycznych (WRP). Współczynnik odbicia powierzchni mierzono w sposób ciągły na stanowisku WETMAN za pomocą zautomatyzowanej platformy mobilnej poruszającej się w kierunku zachodnio-wschodnim. Wartości współczynników odbicia obliczano na podstawie pomiarów wykonanych zestawem multispektralnych czujników SKR1860 (Skye Inst. UK). Na podstawie współczynników odbicia obliczono kilka spektralnych wskaźników roślinności: 1) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) – wskaźnik zieloności powierzchni, 2) *Photochemical Reflectance Index* (PRI) – wskaźnik aktywności cyklu ksantofilowego, 3) *Chlorophyll Index Green* (CIgreen)- wskaźnik zawartości chlorofilu oraz 4) *Water Band Index* (WBI) będący wskaźnikiem zawartości wody w roślinach. NDVI, PRI i CIgreen były brane pod uwagę ze względu na ich znaczenie w dostarczaniu informacji o stanie fizjologicznym roślinności, podczas gdy WBI rozważano, ponieważ wskazuje on na zawartość wody w szacie roślinnej. Pomiar fluorescencji chlorofilu przeprowadzono na dojrzałych liściach roślin naczyniowych przy użyciu fluorometru Handy PEA (Hansatech Instrument Ltd., King's Lynn, Norfolk, Anglia). Zawartość chlorofilu była mierzona nieinwazyjnie przy użyciu chlorofilometru CCM 300 (OPTI-SCIENCES, USA). Pomiar przeprowadzono na czterech gatunkach roślin *Carex rostrata*, *Oxycoccus palustris*, *Sphagnum*, i *Menyanthes trifoliata* na każdym z dwunastu poletek stanowiska WETMAN. Poza wyżej wymienionymi, mierzyłem świeżą i suchą masę roślin naczyniowych. Pokrycie gatunkowe roślin na terenie poletek doświadczalnych określono na podstawie cyfrowej analizy zdjęć z sierpnia 2014 i 2017 roku.

Temperatury torfu na głębokości 2 cm w sierpniu 2017 r. na stanowiskach kontrolnych wynosiły 17,5 °C, a na stanowiskach zmanipulowanych (ogrzewanych) 18,5 °C i były istotnie wyższe. Nasze wyniki wykazały, że na wartości NDVI istotny wpływ miała redukcja opadów (RP) w porównaniu z ogrzewaniem (W). Zmniejszenie NDVI wskazuje na zmniejszenie zieloności powierzchni, co może również wskazywać na spadek stężenia chlorofilu w roślinach (Tucker i in. 1985). Ponieważ zieleń jest zależna od stężenia chlorofilu, znaczne zmniejszenie stężenia chlorofilu w dwóch dominujących taksonach (*Carex spp.* i *Sphagnum*) wskazuje, że niskie stężenie chlorofilu w gatunkach dominujących w obrębie poletek doświadczalnych jest powodem niższego NDVI na stanowiskach ze zredukowanym opadem (RP). PRI jest uważany za dobry wskaźnik aktywności fotosyntetycznej roślin (Garbulsky i in. 2011; Gamon i in. 1992). Zmiany stosunku karotenoidów/chlorofilu (Car / Chl) odgrywają kluczową rolę w

regulacji fotosyntezy i są związane ze zmiennością PRI (Porcar-Castell i in. 2012). Dlatego obserwowany spadek wartości PRI na stanowiskach zmanipulowanych pośrednio sugerował, że zmiany stosunku Car/Chl miały znaczący wpływ na zmniejszenie wydajności fotosyntetycznej na stanowiskach ogrzewanych (W i WRP). Uzyskałem bardzo dobrą korelację ($R^2 = 0,766$) między wartościami indeksu *CIgreen* a zawartością chlorofilu w liściach roślin naczyniowych, co potwierdziło przydatność *CIgreen* do teledetekcyjnej oceny zawartości chlorofilu w roślinności torfowiskowej.

W ostatniej dekadzie JIP test stał się standardową metodą szybkiego oszacowania stanu fizjologicznego roślin, ich kondycji i aktywności fotosyntetycznej (o czym napisałem w **artykule II A9 oraz artykule 2.2.3**). Obserwowany spadek krzywej indukcji fluorescencji pokazuje w warunkach eksperymentu WETMAN, że manipulacja spowodowała ogólny spadek aktywności fotosyntetycznej roślin, za wyjątkiem *Oxycoccus palustris*, dla którego ocieplenie nie wpływa na kształt krzywej, a tym samym na aktywność fotosyntetyczną. Wyniki eksperymentu wskazują, że podniesienie temperatury nie miało wpływu na zmiany aktywności fotosyntetycznej *Oxycoccus palustris*, podczas gdy było istotnym czynnikiem wpływającym na zmniejszenie aktywności fotosyntetycznej innych badanych roślin (*Carex* spp. i *Sphagnum*). Wyniki badań wskazują również, że podwyższenie temperatury może spowodować zmianę struktury roślinności torfowiska, bowiem na stanowiskach ogrzewanych stwierdziłem wzrost liczebności roślin naczyniowych (głównie *Carex* spp.) i spadek liczebności mszaków.

Chciałbym podkreślić, że nie brałem udziału w planowaniu ani budowie infrastruktury eksperymentu WETMAN, ale zaprezentowane w artykule 2.2.6 dane są wynikiem mojego pomysłu. Eksperyment mający na celu ocenę wpływu manipulacji na efektywność fotosyntetyczną roślin torfowiskowych, w całości zaplanowałem i wykonałem samodzielnie, korzystając z infrastruktury i wyników wygenerowanych w projekcie WETMAN.

Aim 4: Wyznaczenie spektralnych indeksów roślinnych takich jak NIRv i MTCI w celu oceny wpływu zmian środowiskowych na roślinność torfowiska

Hipoteza: Techniki teledetekcyjne pozwalają na szybką detekcję zmian środowiska i reakcji pojedynczych roślin na wpływ czynników środowiskowych. Chociaż powierzchnia torfowiska jest heterogeniczna, co sprawia że interpretacja sygnałów teledetekcyjnych mierzonych na tych ekosystemach jest trudna, jest możliwe określenie prostych spektralnych indeksów roślinnych aby śledzić zmiany powierzchni torfowiska na wpływ zmieniających się warunków środowiska.

Informacje uzyskane dzięki metodom teledetekcyjnym są przydatne w ocenie wzrostu, wigoru, dynamiki roślinności i dostarczają przydatnych informacji na temat wpływu zmian klimatu na ekosystemy (Xue i Su 2017). Spektralne wskaźniki roślinności uzyskane dzięki technice teledetekcyjnej są wykorzystywane do szybkiej, skutecznej i nieinwazyjnej obserwacji roślinności w różnych skalach, od skali liścia, rośliny, ekosystemu, aż do skali globalnej (Liu i in. 2009). Odbicie widmowe w warunkach stresu wzrasta w podczerwieni widzialnej i krótkofalowej, natomiast zmniejsza się w paśmie bliskiej podczerwieni, zatem widma odbiciowe otrzymane z roślin poddanych działaniu stresu różnią się od widm otrzymanych dla zdrowych roślin (Zhang et al. 2012). Spektralne wskaźniki roślinności (VI) są obliczane jako kombinacje współczynników odbicia dla widzialnych i bliskich pasm podczerwieni. Kombinacja różnych indeksów roślinnych, opisanych w poprzednim rozdziale, pozwala na ocenę przynajmniej kilku podstawowych cech fizjologicznych roślin poddanych działaniu czynników stresowych, o czym pisałem w **artykule 2.2.7**. Badania opisane w **artykule 2.2.7** wykonano na obiekcie WETMAN opisanym w szczegółach w artykule 2.2.6. W artykule 2.2.7 analizowałem następujące indeksy roślinne: 1) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), 2) *Photochemical Reflectance Index* (PRI), 3) *Chlorophyll Index Green* (CIgreen), 4) *Water Band Index* (WBI), 5) *Meris Terrestrial Chlorophyll Index* (MTCI), 6) Simple Ratio (SR) oraz *Near Infrared Vegetation* (NIRv). Moje analizy miały na celu określenie, który z badanych indeksów roślinnych można wykorzystać do identyfikacji wpływu manipulacji środowiskowych na roślinność torfowiska. NDVI i SR wybrałem, ponieważ indeksy te definiują zieloność szaty roślinnej (Karnieli i in. 2009; Nguy-Robertson i in. 2012), podczas gdy NIRv wybrałem, ponieważ ostatnie badania wykazały, że jest to dobry wskaźnik do oceny fluorescencji roślin, a tym samym znacznie lepiej koreluje z aktywnością fotosyntetyczną roślin i produkcją pierwotną brutto (Badgley i in. 2017). MTCI i CIgreen wybrałem, ponieważ są one wskaźnikami zawartości chlorofilu w roślinach (Nguy-Robertson et al. 2012). WBI z kolei, wybrano ponieważ jest to wskaźnik zawartości wody w szacie roślinnej (Claudio i in.

2006). Poza analizą spektralnych indeksów roślinnych zmierzyłem również wskaźnik powierzchni liści (*Leaf Area Index*, LAI) za pomocą przenośnego urządzenia Sunscan (Delta-T, UK), po to aby określić stopień zależności między LAI i VIs dla powierzchni doświadczalnych. Zawartość chlorofilu w różnych roślinach zmierzyłem za pomocą chlorofilometru CCM300 w celu bezpośredniego oszacowania całkowitej zawartości chlorofilu na manipulowanych poletkach i określenia zależności między VIs a zawartością chlorofilu w szacie roślinnej.

Wyniki moich analiz wskazały, że spośród analizowanych VIs, NIRv może być ważne w analizie efektywności procesów fotosyntetycznych na torfowisku. Z kolei, MTCI był wystarczająco wrażliwy, aby zidentyfikować niewielkie różnice zawartości chlorofilu w szacie roślinnej, na stanowiskach poddanych manipulacjom klimatycznym. Bardzo dużym wyzwaniem okazała się analiza WBI, którego wartości były nieoczekiwanie wyższe, na stanowisku poddanym redukcji opadów i wzrostowi temperatury, co potencjalnie wskazuje na większą zawartość wody w roślinach (wbrew naszym założeniom, że na stanowiskach o zredukowanych opadach, zawartość wody będzie niższa niż na stanowiskach niezmanipulowanych).

W ten sposób artykuł 2.2.7 pokazuje wyzwania związane z pomiarami teledetekcyjnymi powierzchni szaty roślinnej i wskazuje na potencjalne problemy w interpretacji uzyskiwanych wyników na stanowiskach poddanych manipulacjom klimatycznym. Jednocześnie jednak potwierdza potencjał niektórych indeksów do określenia subtelnych zmian w zieloności szaty roślinnej, która koreluje z zawartością chlorofilu, co potencjalnie można wykorzystać do oceny aktywności fotosyntetycznej szaty roślinnej i ilości pochłoniętego przez ekosystem ditlenku węgla.

2.3.4. Podsumowanie i wnioski:

Publikacje przedłożone jako osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego dotyczyły przede wszystkim oceny wpływu niektórych nowych zanieczyszczeń przemysłowych, takich jak nanocząstki i farmaceutyki na rośliny (artykuły 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 i 2.2.5). Wykazano, że nanocząstki i środki farmaceutyczne występujące w środowisku są toksyczne dla roślin (artykuły 2.2.1, 2.2.5), podczas gdy nanocząstki krzemu mogą mieć korzystną rolę w rolnictwie (artykuł 2.2.2). **Publikacja 2.2.3** prezentująca wyniki eksperymentu (zaplanowanego i wykonanego przeze mnie), w którym siewki pszenicy wystawione były na działanie nanocząstek srebra (AgNP), wskazała na

negatywny wpływ tych nanocząstek na wzrost roślin oraz na niszczenie fotosystemu I, jako mechanizmu obronnego rośliny przed zniszczeniem fotosystemu II, wskazując na mechanizm działania AgNP w roślinach (art. 2.2.3). W **artykule 2.2.4** przedstawiłem przegląd literatury dotyczący mechanizmu działania nanocząstek na rośliny poprzez interakcję z genami roślin. W **artykułach od 2.2.1 do 2.2.4** przedstawiłem mechanizmy interakcji nanocząstek z roślinami na różnych poziomach, od poziomu molekularnego do poziomu środowiska, co sprawia, że moje badania i mój wkład w naukę o nanocząstkach roślinnych mają istotne znaczenie w dyscyplinie ochrona i kształtowanie środowiska.

Kolejna część mojej pracy dotyczyła wpływu zmian klimatu na roślinność torfowiska. **Artykuł 2.2.6** pokazał, że każdy gatunek roślin reagował inaczej na zmiany klimatu na poziomie fizjologicznym, podczas gdy **artykuł 2.2.7** wskazywał, w jaki sposób można zastosować proste metody teledetekcji naziemnej do monitorowania powierzchni torfowisk poddanych manipulacjom klimatycznym.

Najważniejsze osiągnięcia prezentowanego cyklu publikacji są następujące:

1. Po raz pierwszy w syntetycznej formie opisałem w artykułach przeglądowych różne drogi zanieczyszczenia środowiska poprzez farmaceutyki i nanocząstki, aby pokazać, w jaki sposób te szeroko akceptowane produkty przemysłowe mogą być szkodliwe dla roślin. Omówiłem również możliwe sposoby działań, które mogą być podjęte, aby zapobiec skażeniu środowiska nanocząsteczkami i farmaceutykami.
2. Wykazałem, że nanocząsteczki silikonowe (SiNP) mają korzystny wpływ na rośliny, a ich modyfikacja i wykorzystanie jako nośniki różnych substancji aktywnych może być korzystna dla produkcji roślinnej.
3. Zaproponowałem oryginalny i rozbudowany mechanizm fizjologiczny i molekularny interakcji nanocząstek z roślinami.
4. Wykazałem, że nanocząstki srebra (AgNP) prowadzą do uszkodzeń fotosystemu PSI w siewce pszenicy, jako mechanizmu obronnego rośliny, przed uszkodzeniem fotosystemu PSII w konsekwencji zatrucia roślin nanocząsteczkami srebra.
5. Wykazałem, że różne gatunki roślin torfowiskowych reagują na poziomie fizjologicznym w różnym stopniu na te same zmieniające się warunki klimatyczne.
6. Wykazałem, że proste teledetekcyjne wskaźniki roślinne (takie jak NIRv i MTCI) mogą być stosowane do oceny aktywności fotosyntetycznej i zawartości chlorofilu w szacie roślinnej torfowiska poddanego manipulacjom klimatycznym.

2.3.5. Referencje:

- Ashton TS. 1948. *The Industrial Revolution (1760-1830)*. Oxford University Press, ISBN 0195002520 online edition
- Auffan M., Rose J., Bottero J.Y., Lowry G.V., Jolivet J. P., Wiesner M.R. 2009. Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nat. Nanotechnol.* 4: 634–641.
- Badgley G., Field C.B., Berry J.A. 2017. Canopy near-infrared reflectance and terrestrial photosynthesis. *Sci. Advances.* 3: e1602244.
- Barrios A.C., Rico C.M., Trujillo-Reyes J., Medina-Velo I.A., Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L. 2016 . Effects of uncoated and citric acid coated cerium oxide nanoparticles, bulk cerium oxide, cerium acetate, and citric acid on tomato plants. *Sci. Total Environ.* 563–564, 956–964. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.143
- Brestic M., Zivcak M., Kunderlikova K., Allakhverdiev S.I. 2016. High temperature specifically affects the photoprotective responses of chlorophyll b-deficient wheat mutant lines. *Photosynth. Res.* 130: 251–266.
- Carvalho P.N., Basto M.C., Almeida C.M., Brix H. 2014. A review of plant-pharmaceutical interactions: from uptake and effects in crop plants to phytoremediation in constructed wetlands. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 21(20): 11729–11763.
- Claudio H.C., Cheng Y., Fuentes D.A., Gamon J.A., Luo H., et al. 2006. Monitoring drought effects on vegetation water content and fluxes in chaparral with the 970 nm water band index. *Remote Sens. Environ.* 103: 304–317.
- Corlett R.T. 2016. Plant diversity in a changing world: status, trends, and conservation needs. *Plant Divers.* 38: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.01.001>.
- Dumont E., Johnson A.C., Keller V.D., Williams R.J. 2015. Nano silver and nano zinc-oxide in surface waters - exposure estimation for Europe at high spatial and temporal resolution. *Environ. Pollut.* 196, 341–349. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.10.022
- Fatta-Kassinos D., Kalavrouziotis I.K., Koukoulakis P.H., Vasquez M.I. 2011. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Sci. Total Environ.*, 409(19): 3555–3563. DOI 10.1016/j.scitotenv. 2010.03.036.
- Gamon J.A., Peñuelas J., Field C.B., 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sens. Environ.* 41: 35–44.
- Garbulsky M.F., Peñuelas J., Gamon J.A., Inoue Y., Filella I. 2011. The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies. A review and meta-analysis. *Remote Sens. Environ.* 115: 281–297.
- Grieco M., Tikkanen M., Paakkarinen V. et al. 2012. Steady-state phosphorylation of light-harvesting complex II proteins preserves photosystem I under fluctuating white light. *Plant Physiol.* 160: 1896–1910.
- Jungkunst, H.F., Krüger, J.P., Heitkamp, F., Erasmí, S., Fiedler, S., Glatzel, S., Lal, R., 2012. Accounting more precisely for peat and other soil carbon resources. In: Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R.F.J., Schneider, B.U., von Braun, J. (Eds.), *Recarbonization of the Biosphere – Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. Springer, Amsterdam, Netherlands, pp. 127–157.
- Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M., Imhoff M.L., Gutman G.G., Panov N., Goldberg A. 2010. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. *J. Clim.* 23: 618–633.
- Keller A.A., Lazareva A. 2014. Predicted releases of engineered nanomaterials: from global to regional to local. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 1, 65–70. DOI: 10.1021/ez400106t
- Levard C., Hotze E.M., Lowry G.V., Brown G. E. Jr. 2012. Environmental transformations of silver nanoparticles: impact on stability and toxicity. *Environ. Sci. Technol.* 46, 6900–6914. DOI: 10.1021/es2037405
- Liu W., Zhang Z., Wan S. 2009. Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland. *Glob. Chang. Biol.* 15: 184–195.
- Maurer-Jones M.A., Gunsolus I.L., Murphy C.J., Haynes C.L. 2013. Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Anal. Chem.* 85: 3036–3049.
- Nguy-Robertson A.L., Peng Y., Gitelson A.A., Arkebauer T.J., Pimstein A., et. al. 2014. Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm. *Agricult. Forest Meteorol.* 192: 140–148.
- Official J.L. 2004. Directive 2004/27/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 amending Directive 2001/83/EC on the Community code relating to medicinal products for human use (Text with EEA relevance). 136: 0034-0057. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0027:EN:HTML>

- Porcar-Castell A., Garcia-Plazaola J.I., Nichol C.J., Kolari P., Olascoaga B., Kuusinen N., Fernández-Marín B., Pulkkinen M., Juurola E., Nikinmaa E. 2012. Physiology of the seasonal relationship between the photochemical reflectance index and photosynthetic light use efficiency. *Oecologia* 170: 313–323.
- Powles S.B. 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Annu. Rev. Plant Physio.* 35: 15-44.
- Radad K, Al-Shraim M, Moldzio R, Rausch WD. 2012. Recent advances in benefits and hazards of engineered nanoparticles. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 34: 661–672.
- Sanchez-Dominguez M, Boutonnet M, Solans C. 2009. A novel approach to metal and metal oxide nanoparticle synthesis: the oil-in-water microemulsion reaction method. *J. Nanopart. Res.* 11: 1823.
- Sonoike K. 1996. Photoinhibition of photosystem I: Its physiological significance in the chilling sensitivity of plants. *Plant Cell Physiol.* 37: 239-247.
- Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl.* 101: 133-64.
- Teske S.S., Detweiler C.S. 2015. The biomechanisms of metal and metaloxide nanoparticles' interactions with cells. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, 1112–1134. DOI: 10.3390/ijerph120201112
- Tiwari A., Mamedov F., Grieco M., et al. 2016. Photodamage of iron– sulphur clusters in photosystem I induces non-photochemical energy dissipation. *Nat. Plants* 2: 16035.
- Tucker C.J., Fung I.Y., Keeling C.D., Gammon R.H., 1985. Relationship between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature* 319: 195–199.
- Xue J., Su B. 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors* 2017: 1353691.
- Zhang L., Zhou Z., Zhang G., Meng Y., Chen B., Wang Y. 2012. Monitoring the leaf water content and specific leaf weight of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline soil using leaf spectral reflectance. *Eur. J. Agron.* 41: 103-117.
- Zivcak M., Brestic M., Kunderlikova K., et al. 2015. Repetitive light pulse-induced photoinhibition of photosystem I severely affects CO₂ assimilation and photoprotection in wheat leaves. *Photosynth. Res.* 126: 449-463

3. Przegląd innych osiągnięć naukowych i badawczych:

Poza głównymi osiągnięciami badawczymi, przedstawionymi jako osiągnięcie będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, prowadziłem badania w czasie trwania i po uzyskaniu stopnia doktora w ramach różnych dyscyplin naukowych.

Badania te można podzielić na następujące kategorie:

3.1: Podczas studiów doktoranckich i w czasie zatrudnienia w Czechach zajmowałem się następującymi tematami związanymi z **biofizyką**:

A. Udział reaktywnych form tlenu w emisji biofotonów z żywych organizmów (2008-2013)

B. Zastosowanie ultrasłabej emisji fotonów do zrozumienia mechanizmu stresu wywołanego czynnikami biotycznymi lub abiotycznymi w roślinach (2012-2014).

3.2: Badania w dziedzinie **biologii molekularnej** można podzielić na następujące kategorie:

A. Rozwój odpornych na szkodniki owadzie roślin kukurydzy poprzez ekspresję genu chitynazy wyekstrahowanego z robaka *Spodoptera littoralis* (2013-2015)

B. Wykorzystanie inżynierii genetycznej w celu regulowania możliwości akumulacyjnych arsenu w roślinach (2018)

3.3: **Nauka o roślinach i środowisku** (od 2017 r.):

A. Reakcja roślin i ekosystemów na różne rodzaje stresów abiotycznych i biotycznych (2017-2019)

B. Zastosowanie środków chemicznych do łagodzenia / regulowania reakcji na stres u roślin (2017-2019)

C. Wpływ przejrzystości komory na oszacowanie wymiany ekosystemu netto torfowisk (2017-2018)

D. Zastosowanie fluorescencji indukowanej przez słońce (SIF) do oceny stanu aktywności fizjologicznej heterogenicznej powierzchni torfowiska (2017-2019))`

Wykonywana przeze mnie praca jak dotąd skupiała się głównie na roślinach i ich reakcji na różne rodzaje stresu, co pomogło mi rozwinąć wiedzę o roślinach i ich interakcji z otoczeniem. W czasie mojej kariery naukowej wykonywana praca jak i pojawiające się możliwości skierowały mnie ku nauce o środowisku, która w ostatnich latach stała się głównym przedmiotem moich badań. Moje zrozumienie różnych aspektów nauki o roślinach czyni mnie wyjątkowym i zapewnia inny pogląd i perspektywę w nauce o środowisku.

3.1.A. Udział reaktywnych form tlenu w emisji biofotonów z żywych organizmów (prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora).

W żywym organizmie reaktywne formy tlenu (ROS) powstają naturalnie podczas różnych procesów fizjologicznych, lub w odpowiedzi na różne środowiskowe czynniki stresowe. Istnieje system obrony antyoksydacyjnej, który skutecznie utylizuje ROS, a gdy system obrony antyoksydacyjnej zawiedzie, ROS utlenia różne makrocząsteczki, takie jak lipidy, białka i kwasy nukleinowe. Utlenianie lipidów, białek i kwasów nukleinowych prowadzi do powstawania półproduktów o wysokiej energii. Rozkład wysokoenergetycznych związków pośrednich generuje elektronowo wzbudzone cząsteczki, które przechodzą przemianę z singletu lub tripletu do stanu podstawowego. Zjawisku temu towarzyszy emisja fotonów. Ponieważ zaledwie kilka fotonów jest emitowanych na sekundę na centymetr kwadratowy, emisja fotonów jest bardzo słaba. Fotony te nie są widoczne gołym okiem, ale mogą być obserwowane przez konkretny instrument, w którym emisje są albo wzmacniane (za pomocą fotopowielaczy), albo są agregowane (przy użyciu chłodzonej kamery ze sprzężonym ładunkiem) aby mogły być zmierzone. Wykonana przeze mnie praca miała na celu pokazanie, w jaki sposób różne ROS przyczyniają się do emisji ultrasłabego fotonu (alternatywnie zwanego biofotonem) z żywego systemu. W moim pierwszym artykule (**artykuł II A1**) obserwowaliśmy biofoton ekitowany z komórek korzeni rzodkiewki. Biofotony samoistnie emitowane z komórek korzeni rzodkiewki były wykrywane przy użyciu bardzo czułego fotopowielacza. Świeżo wyizolowane komórki korzeni rzodkiewki wykazywały spontaniczną emisję fotonów wynoszącą około 4 zliczeń s^{-1} . Dodatek nadtlenu wodoru do komórek spowodował znaczne zwiększenie emisji biofotonu do około 500 zliczeń s^{-1} . Usunięcie tlenu cząsteczkowego za pomocą układu glukoza/oksydaza glukozowa i wychwytywanie ROS przez środki redukujące, takie jak askorbinian sodu i cysteina, całkowicie zmniejszył emisję biofotonów. Analiza spektralna emisji biofotonów indukowanej nadtlaniem wodoru wskazuje, że biofotony są emitowane głównie w zielonym obszarze widma. Dane uzyskane za pomocą techniki elektronowego rezonansu paramagnetycznego spin-trapping wykazały, że tworzenie tlenu singletowego, zaobserwowane po dodaniu H_2O_2 , koreluje ze zwiększeniem emisji biofotonu. Obserwacje te dostarczają bezpośrednich dowodów na to, że tlen singletowy bierze udział w emisji biofotonów z komórek korzeniowych rzodkwi. W swej pracy zaproponowałem także mechanizm molekularny, który prowadzi do emisji ultrasłabej emisji fotonów z komórek korzeni rzodkwi.

W mojej drugiej pracy (**artykuł II A2**) użyłem nadtlenu wodoru (H_2O_2) jako silnie utleniającej cząsteczki, która wykorzystana została do wywołania procesów utleniania i zwiększenia emisji ultrasłabych fotonów na skórze ludzkiej dłoni. Praca miała na celu porównanie zarówno spontanicznej, jak i indukowanej nadtlenu wodoru, ultrasłabej emisji fotonów z komórek naskórka na grzbietowej i wewnętrznej stronie dłoni. Spontaniczna ultrasłaba emisja fotonów z komórek naskórka po grzbietowej stronie dłoni wynosiła 4 zliczenia /s. Miejscowe stosowanie 500 mM H_2O_2 na grzbietowej stronie dłoni spowodowało zwiększenie ultrasłabej emisji fotonów do 40 zliczeń /s. Co ciekawe, zaobserwowałem, że zarówno spontaniczna, jak i indukowana nadtlenu wodoru, ultrasłaba emisja fotonów z komórek naskórka na wewnętrznej stronie dłoni zwiększa dwukrotnie ich wartości, tj. odpowiednio 8 i 80 zliczeń/s. Podobnie, dwuwymiarowy obraz ultrasłabej emisji fotonów zaobserwowany po miejscowym zastosowaniu H_2O_2 na ludzką skórę ujawnił, że emisja fotonów z wewnętrznej strony dłoni przekracza emisję fotonów z grzbietowej strony dłoni. Wyniki przedstawione w artykule wskazują, że emisja ultrasłabych fotonów pochodzących z komórek naskórka na grzbietowej i wewnętrznej stronie dłoni jest związana ze strukturą histologiczną skóry ludzkiej ręki.

W moim trzecim artykule (**artykuł II A3**) wpływ tlenu cząsteczkowego i ROS na samorzutną emisję ultrafioletowego fotonu z ludzkiej skóry monitorowano za pomocą bardzo czułego fotopowielacza i kamery z matrycą CCD. Gdy spontaniczna emisja ultrasłabych fotonów była mierzona w warunkach beztlenowych, emisja fotonów była zmniejszona, podczas gdy w warunkach hiperaerobowych zaobserwowałem wzrost emisji fotonów. Zaobserwowałem, że spontaniczna emisja ultrasłabego fotonu mierzona po miejscowym zastosowaniu glutationu, α -tokoferolu, askorbinianu i koenzymu Q10 ulega zmniejszeniu. Wyniki te pokazują, że ROS powstałe podczas komórkowych procesów metabolicznych w komórkach naskórka odgrywają znaczącą rolę w spontanicznej emisji ultrasłabych fotonów. Zaproponowano, że spontaniczna emisja ultrasłabych fotonów mogłaby zostać wykorzystana jako nieinwazyjne narzędzie do czasowego i przestrzennego monitorowania oksydacyjnych procesów metabolicznych i wewnętrznego układu antyoksydacyjnego w ludzkiej skórze.

W innej pracy (**artykuł II A5**) badałem wpływ stresu oksydacyjnego wywołanego ekspozycją rośliny modelowej *Arabidopsis thaliana* na promieniowanie ultrafioletowe A (UVA) przy użyciu ultrasłabej emisji fotonów. Gdy rośliny i liście *Arabidopsis* były wystawione na promieniowanie UVA, zaobserwowano dwie kinetycznie rozróżnione fazy w ultrasłabym zaniku emisji fotonów: faza szybkiego zaniku ($s_1 = 0,805 \pm 0,024$ min) i powolna

faza zaniku ($s_2 = 4,321 \pm 0,166$ min). Analiza widmowa ultrasłabej emisji fotonów indukowanej promieniowaniem UVA wykazała, że emisja fotonów podczas fazy szybkiego rozpadu pochodziła zarówno z niebiesko-zielonego, jak i czerwonego obszaru widma, podczas gdy emisja fotonów podczas fazy powolnego rozpadu pochodziła wyłącznie z niebiesko-zielonego obszaru widma. Obserwacje te ujawniają, że wzbudzone triplety karbonyli przyczyniają się do ultrasłabej emisji fotonów zarówno w fazach szybkiego, jak i powolnego zaniku, podczas gdy chlorofile uczestniczą w ultrasłabej emisji fotonów wyłącznie w fazie szybkiego zaniku. Zilustrowano tutaj, że ultrasłaba emisja fotonów służy jako nieinwazyjna metoda monitorowania stresu oksydacyjnego u roślin spowodowanego promieniowaniem UVA.

W ten sposób, poprzez opublikowane artykuły naukowe potwierdziłem hipotezę, że ROS są zaangażowane w ultrasłabą emisję fotonów z żyjącego systemu.

3.1.B. Zastosowanie ultrasłabej emisji fotonów do zrozumienia mechanizmu biotycznych lub abiotycznych typów stresu w roślinach (prace opublikowane po doktoracie)

W artykule (**artykuł II A4**) przedstawiono dowody na powstawanie H_2O_2 i rodnika hydroksylowego (HO°) w bulwie ziemniaka podczas fazy nekrotroficznej zakażenia hemibiotroficznym patogenem *Phytophthora infestans*. Przy użyciu techniki obrazowania tetrahydrochloru 3,3-diaminobenzzydiny (DAB), wykazałem tworzenie H_2O_2 w bulwie ziemniaka zakażonej *P. infestans*. Po raz pierwszy wykazano tworzenie HO° w bulwie ziemniaka zakażonej *P. infestans* przy użyciu spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR). Zwiększenie emisji spontanicznych ultrasłabych fotonów wskazało na stopień/zakres peroksydacji lipidów w bulwie ziemniaka zakażonej *P. infestans*. Dane przedstawione w tym badaniu wskazują, że tworzenie H_2O_2 i HO° w bulwie ziemniaka zakażonej *P. infestans* wiązało się z peroksydacją lipidów. Zaproponowano, że ultrasłaba emisja fotonów może zostać wykorzystana jako nieinwazyjny wskaźnik procesów oksydacyjnych w kontroli jakości w przemyśle spożywczym.

W **artykuł II A6** badałem aktywność tokoferolu i plastochromanolu w oczyszczaniu tlenu singletowego ($1O_2$) w mutancie *Arabidopsis thaliana* z niedoborem cykazy tokoferolu (*vtel*), pozbawionym tokoferolu i plastochromanolu. Wykazano, że zahamowanie syntezy tokoferolu i plastochromanolu w chloroplastach izolowanych z roślin *vid1 Arabidopsis* zwiększyło powstawanie $1O_2$ w warunkach intensywnego oświetlenia, co monitorowano za

pomocą spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego spin-trapping. Ekspozycja roślin *Arabidopsis vte1* na wysoką iluminację spowodowała powstanie wtórnego produktu peroksydacji lipidów, aldehydu malonowego, jak określono za pomocą wysokociśnieniowej chromatografii cieczowej. Ponadto wykazano, że obrazowanie ultrasłabej emisji fotonów, o której wiadomo, że odzwierciedla utlenianie lipidów, było jednoznacznie wyższe w roślinach *vid1 Arabidopsis*. Nasze wyniki wskazują, że tokoferol i plastochromanol efektywnie usuwają $^1\text{O}_2$ i skutecznie chronią lipidy przed uszkodzeniem fotooksydacyjnym u roślin *Arabidopsis*.

Przedstawione powyżej badania pokazują, jak obserwacja ultrasłabej emisji fotonów w połączeniu z innymi technikami może być wykorzystana do zrozumienia mechanizmu stresów biotycznych lub abiotycznych w roślinach.

3.2.A. Rozwój odpornych na szkodniki owadzie roślin kukurydzy poprzez ekspresję genu chitynazy wyekstrahowanego z larwy *Spodoptera littoralis* (2013-2015)

Produkcja upraw rolnych jest zagrożona z powodu występowania szkodników, zwłaszcza chwastów, patogenów i szkodników zwierzęcych. Każdego roku miliardy dolarów wydawane są na zwalczanie szkodników, a duża suma pieniędzy jest tracona z powodu nieodpowiedniej kontroli tych szkodników. Oczywiście jest, że światowe zaopatrzenie w żywność zależy od skutecznej ochrony upraw i zwierząt przed szkodnikami. Chemiczna kontrola szkodników była skuteczna i atrakcyjna w latach czterdziestych i pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Jednak niekorzystne skutki stosowania takich chemikaliów szybko stały się widoczne, o czym świadczy m.in. gromadzenie chemicznych pestycydów w glebie, wodzie, powietrzu, produktach rolnych, jak i w organizmach zwierząt. Ponadto, rozwój odporności u organizmów docelowych wymagał użycia bardziej selektywnych i akceptowalnych dla środowiska środków do zwalczania szkodników. Zatem celowanie w chitynę, związaną z macierzami zewnątrzkomórkowymi lub ścianą komórkową przez chitynazy owadów może być skutecznym sposobem zwalczania szkodników owadzych, jak i grzybów patogennych. Zdolność chitynaz do atakowania i trawienia chityny w perytroficznej macierzy lub egzozskielecie zwiększa możliwość ich wykorzystania jako metody kontroli owadów. W **artykule II A7** zsyntetyzowaliśmy cDNA chitynazy owadów z larwy *Spodoptera littoralis*. Wykorzystaliśmy transgeniczny system uprawy kukurydzy w celu poprawy jego tolerancji na szkodniki owadzie. Transkrypty chitynazy owadów i białka ulegały ekspresji w

transgenicznych roślinach kukurydzy. Integralność funkcjonalną i ekspresję chitynazy w potomstwie roślin transgenicznych potwierdzono za pomocą testów biologicznych owadów. Testy biologiczne z użyciem transgenicznych roślin kukurydzy przeciwko omacnicy prosowiance (*Sesamia cretica*) wykazały, że około 50% owadów hodowanych na transgenicznych roślinach kukurydzy padło, co sugeruje, że transgeniczne rośliny kukurydzy mają zwiększoną odporność na *S. cretica*.

3.2.B. Wykorzystanie inżynierii genetycznej w celu regulowania możliwości akumulacyjnych arsenu w roślinach

Szybkie tempo rozwoju działalności przemysłowej, rolniczej i antropogenicznej w XX wieku spowodowało skażenie środowiska metalami ciężkimi na całym świecie. Arsen (As) jest wszechobecnym, naturalnie występującym toksycznym metaloidem, zanieczyszczającym glebę i wodę, wpływającym na stan zdrowia ludzi w wielu krajach. Istnieje kilka fizykochemicznych metod pozbywania się zanieczyszczeń As, ale są one kosztowne i katastrofalne w skutkach dla drobnoustrojów i gleby. Metody rekultywacji oparte na roślinach są tanie i bezpieczne dla środowiska. W związku z tym przeprowadzono obszerne eksperymenty biochemiczne, molekularne i genetyczne, aby zrozumieć reakcje roślin na stres wywołany As, które doprowadziły do identyfikacji potencjalnie użytecznych genów. Dostępna wiedza musi zostać wykorzystana albo do zmniejszenia akumulacji As w roślinach uprawnych (ryżu) albo do zwiększenia poziomu jego stężenia w pędach hiperakumulatorów (*Pteris vittata*). Manipulacja genami przy użyciu narzędzi biotechnologicznych może być skutecznym sposobem na wykorzystanie tych potencjalnych genów (transporterów plazmamembranowych i wakuolowych, enzymów biosyntezy glutationu i fitochelatyn, itp.), odgrywających kluczowe znaczenie w wychwytywaniu, translokacji, transformacji, kompleksowaniu i kompartmentalizacji As w roślinach. Opracowano rośliny transgeniczne o zwiększonej tolerancji na As i zmienionej (zwiększonej / zmniejszonej) zdolności do jego akumulacji. Istnieje jednak potrzeba zaprojektowania roślin o zmodyfikowanej ekspresji dwóch lub więcej genów w celu zharmonizowania różnych zdarzeń (takich jak redukcja arsenianu, kompleksowanie arseninu, sekwestracja i translokacja), aby osiągnąć pożądaną redukcję As (w roślinach uprawnych) lub wzrost zawartości As (w roślinach stosowanych w fitoremediacji). Z tego powodu napisano artykuł przeglądowy (**artykuł II A12**), aby rzucić światło na różne podejścia przyjęte w celu modulacji poziomów As w roślinach transgenicznych, proponując

jednocześnie przyszłe kierunki działań w celu osiągnięcia pożądaných rezultatów. W artykule, dyskusji poddano wyniki szeregu istotnych, najnowszych badań, wskazujących na potencjał narzędzi biotechnologicznych w modyfikowaniu akumulacji i tolerancji roślin na As. Jednakże, próby podejmowane do tej pory skupiały się tylko na części metabolizmu As. Na przykład, jeśli zwiększono zdolność rośliny do kompleksowania As przez zwiększenie poziomów GSH i PC, nie towarzyszyło temu zwiększenie potencjału rośliny do specyficznej dla narządu (korzenia / pędu) sekwestracji wakuolowej As. W przyszłych badaniach należy posłużyć się holistyczną wiedzą na temat metabolizmu As, aby opracować najbezpieczniejsze rośliny uprawne o najniższej możliwej zawartości As w ziarnach, jak również zaprojektować doskonale hiperakumulatory o maksymalnej możliwej retencji As w ich pędach. Aby stworzyć rośliny z wysoką akumulacją As w pędach realną strategią byłaby nadekspresja odpowiednich transporterów do pobierania i translokacji As do pędów, wraz ze zwiększonymi zdolnościami do kompleksowania As (przez PCS) i sekwestracji wakuolowej kompleksów As / As-GSH i As-PC (przez ACR3, ABCC1 / 2). Przeciwnie, aby uzyskać odpowiednią odmianę ryżu o niskiej zawartości As w ziarnach, przydatne może być dążenie do ograniczenia jego akumulacji do korzeni / pędów, poprzez zwiększone kompleksowanie i sekwestrację do wakuoli komórek korzeni / węzłów / międzywęzli (przez PCS i ACR3 / ABCC1 / 2), lub promując wypływ As z samych korzeni (odpowiedni transporter odpływu As). Te strategie zwiększania lub zmniejszania akumulacji As w roślinach musiałyby iść w parze z odpowiednimi zdolnościami redukcji As (V) w określonych tkankach korzeni i pędów.

3.3.A. Reakcja roślin i ekosystemów na różne rodzaje stresów abiotycznych i biotycznych

Jest to ta dziedzina moich zawodowych zainteresowań, która może być powiązana z większością przeprowadzonych dotychczas badań z uwagi na to, że stres abiotyczny i biotyczny może prowadzić do wybuchu oksydacyjnego, w wyniku czego powstają ROS, co może prowadzić do wzrostu ultrasłabej emisji fotonów (co jest związane z badaniami wykonanymi przeze mnie w zakresie biofizyki). Opracowanie transgenicznych roślin kukurydzy odpornych na szkodniki owadzie (stres biotyczny), czy też wspomniana praca przeglądowa o As (metale ciężkie) mogą być również postrzegane jako badania w kierunku zrozumienia i próby rozwiązania kwestii reakcji roślin na różne czynniki stresowe (badania z zakresu biologii molekularnej). Oprócz tego, w ostatnich latach przeprowadzono kilka innych

badan, w ktorych aplikowano rone rodzaje stresu zarowno roslinom jak i calemu ekosystemowi, aby zrozumiec mechanizm reakcji i odpowiedzi (niektore publikacje wybrano do zestawu dokumentow habilitacyjnych).

Glowna technika uzyta do zrozumienia reakcji ronych rodzajow stresu na rosline byly techniki pomiaru fluorescencji chlorofilu.

W tych badaniach opisanych w **artykule II A9** testowalismy efektywnosc fotosyntezy dwuch odmian jeczmienia (odmiany *Arabi Abiad* i *Arabi Aswad*) za pomoca techniki szybkiej fluorescencyjnej pod wplywem 14 ronych abiotycznych czynnikow stresowych. Rownica w zachowaniu parametrów fotosyntetycznych przy tym samym czynniku stresowym pomiedzy cv. *Arabi Abiad* i cv. *Arabi Aswad*, wskazala na istnienie ronych mechanizmow tolerancji i strategii konwersji energii swietlnej w energie chemiczna dla obu odmian. Badanie to potwierdzilo przydatnosc niektorych parametrów fluorescencji chlorofilu jako wiarygodnych biomarkerow do badan przesiewowych roslin na poziomie aparatu fotosyntetycznego.

Moja praca (**artykul II A8**) we wspolpracy z innymi, wykazala wplyw oczyszczonych sciekow na dwie odmiany mango, cv. „Keitt” i cv. „Ewais”. Oczyszczone scieki zawieraja stosunkowo wiecej zanieczyszczen niz woda slodka, dlatego do oczyszczonych sciekow dodano kwas salicylowy (SA), aby zbadać ich laczný wplyw na odmiany mango. Obserwacja wykazala, ze obie odmiany pozytywnie zareagowaly na oczyszczone scieki i / lub SA w podobny sposob w odniesieniu do parametrów wzrostu, plonu i jakości owoców. Uzyskane dane ujawnily, ze oczyszczone scieki i / lub SA sprzyjaly wzrostowi wegetatywnemu i wykazywaly hamujaca role w wystepowaniu wad rozwojowych u owoców. Wykazano takze ich odmienny wplyw na badane cechy biochemiczne zwiazane z peroksydacja lipidów i ukladem utleniajacym. Odmiana „Keitt” miala wyzsza aktywnosc katalazy, peroksydazy i dysmutazy ponadtlenkowej w porownaniu do cv. „Ewais”. W odpornym cv. „Keitt” konstytutywny poziom peroksydacji lipidów byl nizszy, ale aktywnosc enzymatycznych antyoksydantów i nieenzymatycznych przeciwutleniaczy byla wyzsza niz w przypadku wrażliwej odmiany „Ewais”. Podobnie, enzymy metabolizmu azotu i wydajnosc fotosyntezy byly z natury wyzsze w cv. „Keitt”. Analiza porownawcza miedzy tymi dwiema odmianami mango, oparta na analizie procentowej deformacji, wykazala, ze cv. „Keitt” mozna przydzielic do grupy tolerancyjnej (1–10%), natomiast cv. „Ewais” do podatnej (20–40%). Nasze wyniki sugeruja, ze CV. „Keitt” posiada lepsze mechanizmy zabezpieczajace przed uszkodzeniem oksydacyjnym w porownaniu ze stosunkowo podatna odmiana „Ewais”. Wynika to z faktu

utrzymania wyższej odziedziczonej i zwiększonej aktywności układu antyoksydacyjnego. Nasza praca podkreśla istnienie związku między tolerancją wad rozwojowych a systemem obrony antyoksydacyjnej. W tej pracy sugerujemy traktowanie działania systemu obrony antyoksydacyjnej jako potencjalnego wskaźnika biochemicznego do badań przesiewowych genotypów mango pod kątem zachowania wady rozwojowej.

Inne badania (**artykuł II A13**) oparto na wpływie czynnika biotycznego (*Fusarium verticillioides*) na kukurydzę, z racji tego, że *F. verticillioides* jest jednym z najczęstszych fitopatogennych grzybów wpływających na produkcję kukurydzy na całym świecie. Wczesna identyfikacja zakażenia *F. verticillioides* w kukurydzy może być pomocna w zapobieganiu rozprzestrzenianiu się tego grzyba. W związku z tym przeprowadzone badanie przedstawia wykorzystanie parametrów fluorescencji chlorofilu do identyfikacji zakażenia *F. verticillioides* w kukurydzy. Fluorescencja chlorofilu *a* kontroli oraz roślin zakażonych *F. verticillioides* wykazała typową polifazową przejściową krzywą OJIP zarówno na liniach MO17, jak i B73. Zakażone rośliny z obu linii kukurydzy wykazywały inny wzór przejściowej krzywej OJIP w porównaniu z odpowiadającymi roślinami kontrolnymi. Wskazywało to, że *F. verticillioides* wpływa na fotosyntezę roślin kukurydzy. Badania nasze wykazały znaczenie parametrów takich jak: aktywność kompleksu rozszczepiającego wodę po stronie dawcy PSII (Fv / F0), minimalna fluorescencja (F0), maksymalna fluorescencja (Fm) i strumień absorpcji na jedno aktywne centrum reakcji (ABS / RC), w identyfikacji zakażenia *F. verticillioides* w kukurydzy.

3.3.B. Zastosowanie środków chemicznych do łagodzenia / regulowania reakcji stresowej u roślin

Ponieważ mango jest ważnym owocem w regionie tropikalnym, wraz z moimi kolegami pracującymi w strefie klimatu umiarkowanego, przeprowadziliśmy eksperymenty na drzewach mango w różnych warunkach.

W tej **artykule II A11** przeprowadziliśmy eksperyment polowy w czasie trzech kolejnych sezonów z czterema różnymi szczepami mango poddawanyymi stresowi wodnemu (suszy). Zbadano wzrost i parametry fizjologiczne mango o potencjalnym znaczeniu dla tolerancji na susze. Oceniono także plon i jego składowe. Dane pokazały, że wszystkie parametry wzrostu i fizjologiczne w porównaniu z próbami kontrolowanymi zostały zwiększone pod działaniem suplementu K₂SiO₃ (Si), po czym szczepy poddano kuracji z interakcją (traktowanie Si i jego kombinacji ze stresem wodnym). Stres spowodowany suszą

zmniejszał stężenie auksyn (IAA), giberelin (GA) i cytokinin (CK) w liściach trzech odmian mango, podczas gdy zwiększał stężenie kwasu abscysynowego (ABA). Przeciwnie, endogenne poziomy IAA, GA i CK (promotory) poprawiono przez suplementowanie Si, a obniżono stężenie ABA. Stres spowodowany suszą zwiększał także aktywność peroksydazy (POX), katalazy (CAT) i dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) w liściach wszystkich uprawianych odmian mango w czasie trzech sezonów, w których prowadzono doświadczenie. Jednakże, suplementacja Si zmniejszyła poziom wszystkich tych enzymów antyoksydacyjnych, zwłaszcza stężenie SOD, w porównaniu z liśćmi kontrolnymi. Jakość owoców uległa poprawie w trzech kolejnych sezonach gdy stosowano Si. Nasze wyniki wyraźnie pokazały, że wzrost tolerancji na suszę był związany ze wzrostem aktywności enzymów antyoksydacyjnych, pozwalając roślinom mango lepiej radzić sobie ze stresem spowodowanym brakiem wody. Si posiada skuteczny system usuwania reaktywnych form tlenu, który chroni roślinę przed niszczącymi reakcjami utleniającymi, poprawiając tym samym zdolność drzew mango do wytrzymywania stresu środowiskowego w suchych regionach.

W innych pracach (**artykuł II A10**) wykazano, że fitohormony działają regulująco na rośliny narażone na działanie metali ciężkich. Fitohormony działają jako przekaźniki chemiczne i w wyniku złożonych mechanizmów regulacyjnych, pozwalają roślinom przetrzymać stresy biotyczne i abiotyczne. Zatem fitohormony są znane ze swojej roli regulacyjnej we wzroście i rozwoju roślin. Metale ciężkie (HM) odgrywają ważną rolę w metabolizmie i dlatego pełnią swoje funkcje we wzroście i rozwoju roślin jako mikroelementy. Jednak na poziomie powyżej progu, metale te działają jako zanieczyszczenia i stanowią ogólnoswiatowe zagrożenie dla środowiska. Z tego względu znalezienie przyjaznych środowisku i ekonomicznych środków do rozwiązania tego problemu jest priorytetem. Oprócz metod fizykochemicznych, egzogenne stosowanie fitohormonów, tj. auksyny, cytokininy i gibereliny, może pozytywnie wpływać na regulację cyklu askorbinian – glutation, szybkość transpiracji, podział komórek oraz aktywność metabolizmu i asymilacji azotu, co poprawia wzrost roślin. Wskazywano, że brassinosteroidy, etylen i kwas salicylowy zwiększają poziom układu przeciwutleniającego, obniżają poziom ROS, peroksydację lipidów i poprawiają fotosyntezę u roślin, gdy są stosowane egzogenicznie, w warunkach działania HM. Między fitohormonami występuje przesłuch, który jest aktywowany po ich egzogennym zastosowaniu. Badania sugerują, że rośliny są „uzbrajane” w tolerancję na stres przez fitohormony. Gruntowanie chemiczne zapewniło doskonałe wyniki w fizjologii roślin i adaptacji do stresu, a badania dotyczące gruntowania fitohormonami są w toku. W artykule

dokonałmy przeglądu obiecujących fitohormonów, które potencjalnie mogą zwiększać tolerancję, gdy są stosowane zewnętrznie. Egzogenne stosowanie fitohormonów może zwiększyć wydajność roślin pod wpływem stresu wywołanego HM i może być wykorzystane do uzyskania korzyści agroekologicznych w warunkach środowiskowych z wysokim poziomem HM.

3.3.C. Wpływ przezroczystości komory pomiarowej na wielkość wymiany ekosystemu netto.

Byłem zaangażowany w miesięcznym projekcie, którego celem było określenie wpływu zmian przezroczystości komory pomiarowej na wielkość wymiany ekosystemu netto (**Artykuł II D6**). Automatyczne przezroczyste dynamiczne komory zamknięte (non-steady-state flow-through) są szeroko stosowane do pomiarów wymiany strumieni netto ditlenku węgla (CO_2) pomiędzy różnymi typami pokryw roślinnych a atmosferą. Wiadomo jednak, że przezroczystość komory, a tym samym ilość promieniowania docierającego do powierzchni wewnątrz komory zmienia się w czasie i zależy od kilku czynników. Między innymi takich jak: kąt słoneczny, przeszkody terenowe mogące zacieniać komorę pomiarową, czy czystość powierzchni komory, która narażona jest na oddziaływanie czynników środowiskowych – kondensacji, szronu, czy pyłów występujących w powietrzu. Celem niniejszej pracy było określenie czy materiał z którego wykonana jest komora pomiarowa zachowuje parametry przepuszczalności promieniowania fotosyntetycznie aktywnego (PPFD) docierającego do wewnątrz komory. Bazując na otrzymanych wynikach można stwierdzić iż, podczas specyficznych warunków atmosferycznych, średnia przezroczystość komory pomiarowej wykorzystywanej w automatycznym systemie pomiarowym, może spaść nawet do 20%. Jeżeli podczas modelowania wymiany ekosystemu netto (NEE) nie brano by pod uwagę tak znaczącej redukcji promieniowania, wyniki modelowania NEE mogłyby być błędnie oszacowane. W przypadku naszego eksperymentu, strumienie NEE policzone w oparciu o nieskorygowane wartości PPPFD były pięciokrotnie wyższe niż strumienie poddane korekcji na ilość docierającego promieniowania do wnętrza komory. Z tego względu, istotnym jest zastosowanie współczynników korekcyjnych pozwalających, na wykorzystanie prawidłowych wartości PPFD podczas procesu modelowania wymiany ekosystemu netto. W artykule **Artykuł II D6** przedstawialiśmy metodykę korekcji promieniowania PPFD, która powinna

poprzedzać proces modelowania NEE aby wyeliminować błędy szacowania strumieni CO₂ netto wymienianych przez ekosystem z atmosferą.

3.3.D. Zastosowanie fluoroscencji indukowanej promieniowaniem słonecznym (SIF) w celu określenia zróżnicowania heterogeniczności zbiorowisk roślinnych występujących na torfowisku.

Wykorzystanie metod teledetekcyjnych (MT) stwarza niepowtarzalną możliwość monitorowania oraz określania zmienności roślinności występującej w dowolnych miejscach na Ziemi, w tym na torfowiskach. Wraz z rozwojem technologii MT oraz dostępnością czujników hiperspektralnych, możliwe stało się zmierzenie zmienności widm promieniowania odbitego od powierzchni szaty roślinnej, a nawet od poszczególnych gatunków roślin o zróżnicowanych cechach fizjologicznych i strukturalnych. W pracy (**Artykuł II D19**; pełen artykuł w którym jestem współautorem wysłany został do czasopisma: *Remote Sensing of Environment* w marcu 2019 i obecnie znajduje się w recenzji), staraliśmy się po raz pierwszy zademonstrować dużą różnorodność cech roślinności torfowiskowej przy użyciu fluorescencji indukowanej promieniowaniem słonecznym (SIF). W tym celu wykorzystaliśmy dane zebrane podczas pierwszej w Polsce kampanii lotniczej prototypowego systemu *HyPlant* (testowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną w ramach projektu FLEX), wykonanej w lipcu 2015 roku nad heterogenicznym terenem torfowiska Rzeczińskiego oraz terenów doń przyległych. W pracy przeanalizowaliśmy zmienność przestrzenną SIF (dla dwóch pików emisji z maksimum na 687 nm (SIF₆₈₇) i 760 nm (SIF₇₆₀)) oraz spektralnych wskaźników roślinności (VIs) dla ekosystemów lasów liściastych i iglastych, pól uprawnych, łąk naturalnych i ekstensywnie koszonych, ale głównie dla torfowiska. Podobne analizy wykonano dla małoskalowych różnorodnych zbiorowisk roślinnych występujących na torfowisku. Ponadto, zbadano zależność między SIF oraz VIs dla wymienionych ekosystemów i grup roślin reprezentowanych przez określone zbiorowiska roślinne występujące na torfowisku. Oprócz zmienności w otrzymanych sygnałach stwierdzonej zarówno na poziomie ekosystemowym jak i zbiorowisk roślinnych, zaobserwowaliśmy pozytywną korelację pomiędzy SIF a wskaźnikami zieloności (np. NDVI) oraz negatywną korelację dla zależności SIF ze wskaźnikami stosowanymi jako wskaźniki aktywności fotosyntetycznej (np. *Photochemical Reflectance Index*, PRI). Generalnie, większe wartości SIF₇₆₀ powiązane były z kompozycjami zbiorowisk zdominowanej przez roślinność wysoką, ale o umiarkowanej i niewielkiej ilości

biomasy roślin naczyniowych. Natomiast sygnał SIF₆₈₇ był znacząco mniej czuły na zmiany biomasy zbiorowisk roślin naczyniowych. Sygnały SIF, a w szczególności SIF₇₆₀ były silnie związane z funkcjonalną różnorodnością roślinności torfowiskowej. Na obszarze torfowiska wyższe wartości SIF₇₆₀ związane były ze zbiorowiskami roślinnymi wysokich bylin, podczas gdy najniższe wartości SIF₇₆₀ obserwowane były na obszarach zdominowanych przez mszaki (*Sphagnum Sp.*). Generalnie, wskaźnik SIF₇₆₀ bardzo dobrze odzwierciedlał gradient produktywności torfowiska fenowego: od najniższych wartości SIF oraz najniższej produktywności dla obszarów zdominowanych przez mszaki do najwyższych wartości SIF i większej produktywności dla obszarów na których występowały turzyce (*Carex Sp.*).

Podsumowanie innych osiągnięć naukowo-badawczych:

- Znaczący wkład w badania będące podstawą biofizyki nad ultrasłabą emisją fotonów przez żywe organizmy (w tym przez skórę człowieka), oraz mechanizmów powstawania reaktywnych cząsteczek tlenu (ROS) i ich potencjalnego znaczenia jako cząsteczek pozwalających oceniać stan fizjologiczny żywego układu.
- Wraz ze współautorami opracowałem odporną na owady kukurydzę transgeniczną, która jest nadal testowana pod kątem możliwości jej wykorzystania w rolnictwie.
- Wraz ze współautorami pokazałem, jak manipulacja genetyczna rośliny może pomóc w modulowaniu stężenia arsenu w roślinach i zapobieganiu jego toksyczności dla roślin i środowiska.
- Moi ze współautorami wskazaliśmy różne parametry fotosyntetyczne i mechanizm antyoksydacyjny w celu identyfikacji różnych rodzajów stresu w roślinach, a tym samym wyboru lepszej odmiany danej rośliny dostosowanej dla różnych warunków środowiskowych.
- Wykazałem wraz ze współautorami, że krzem zwiększa odporność drzew mango na suszę.
- Wykazałem wraz ze współautorami, że użycie współczynnika korygującego jest konieczne do prawidłowego oszacowania wymiany ekosystemu netto, gdy jest ona mierzona przezroczystą komorą dynamiczną.
- Wykazałem wraz ze współautorami, że SIF₇₆₀ jest bardziej czułym wskaźnikiem niejednorodności powierzchni torfowisk w porównaniu z SIF₆₈₇ i odzwierciedlać może gradient produktywności zbiorowisk roślinnych na torfowisku (od bardzo niskiej dla zbiorowisk zdominowanych przez mszaki, do bardzo wysokiej dla zbiorowisk zdominowanych przez turzyce).

4. Podsumowanie osiągnięć naukowych kandydata:

Moje dotychczasowe osiągnięcia naukowe obejmują **39 oryginalnych publikacji** naukowych, z których trzy artykuły opublikowałem przed przyznaniem doktoratu, a 28 opublikowałem po doktoracie. Do tej pory 18 moich opublikowanych artykułów, indeksowanych w Web of Science ma sumaryczny współczynnik wpływu (**IF**) **wynoszący 50.356** (zgodnie z wartością IF z roku ukazania się publikacji). **Łączna liczba punktów za wszystkie publikacje wynosi 580** (według roku publikacji). Według Web of Science, moje 18 publikacji indeksowanych w WoS **cytowanych było 173** razy w 137 publikacjach, co wskazuje na znaczne zainteresowanie innych autorów moją pracą badawczą. **Według Web of Science, mój Indeks h wynosi 8.**

Dotychczas zaprezentowałem siedem referatów i cztery postery na konferencjach międzynarodowych, co wskazuje na moje umiejętności i akceptację na arenie międzynarodowej. Jestem członkiem europejskiej Akcji COST Senseco (CA17134). Jestem promotorem pomocniczym w jednym otwartym przewodzie doktorskim. Dotychczas opiekowałem się naukowo jednym studentem programu ERASMUS ze Słowacji. Prowadziłem również zajęcia dla anglojęzycznych studentów studiów II stopnia i studentów ERASMUSA na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. Odbyłem również staż naukowy w ramach programu ERASMUS+ na Słowackim Uniwersytecie Rolniczym jako nauczyciel i wygłosiłem tam kilka wykładów dla studentów rolnictwa. Dwukrotnie otrzymałem Nagrodę Dziekana na Palacky University w Czechach za osiągnięcia naukowe. Ponadto, otrzymałem nagrodę zespołową Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu pierwszego stopnia za osiągnięcia publikacyjne oraz nagrodę dla najlepszego młodego naukowca na Wydziale Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej UP od Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Trzykrotnie otrzymałem fundusze od międzynarodowych stowarzyszeń (COST Actions Climmani i Senseco) na udział w konferencjach międzynarodowych, na których prezentowałem wyniki swoich badań. Jestem również członkiem kilku międzynarodowych towarzystw naukowych. Byłem członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji. Byłem też redaktorem naczelnym Special Issue w Frontiers in Chemistry (IF 4.155). Recenzowałem również ponad 27 artykułów dla różnych czasopism międzynarodowych. Brałem udział jako wykonawca w 5 krajowych i międzynarodowych projektach. Ponadto, byłem liderem projektu finansowanego przez program National Academy w Republice Słowackiej. Szczegółowy opis moich osiągnięć przedstawiono w Załącznik 3.

Moje IDs:

ORCID: 0000-0002-0953-7045

SCOPUS: 35757993400

ResearcherID: F-3003-2013

Tabela 1: Lista osiągnięć naukowych

Publikacje	Ogółem	Przed doktoratem	Po doktoratem
- W czasopismach akademickich z Impact Factor (IF)	18	3	15
- W innych czasopismach	2	0	2
- Monografia naukowa	1	1	0
- Rozdział w monografii naukowej	3	0	3
- Recenzowane artykuły konferencyjne indeksowane w Web of Science	2	0	2
- Inne materiały konferencyjne i abstrakty	13	7	6
Suma	39	11	28

Tabela 2: Zestawienie liczby cytowań publikacji wnioskodawcy (na dzień 24/04/2019)

Baza danych	Łączna liczba cytowań	Łączna liczba cytowań (z bez autocytowań)	h-index
Web of Science-core collection	150	133	8
Web of Science-all databases	173	156	8
Scopus	167	154	8
Google Scholar	290	-	10

Tabela 3: Podsumowanie osiągnięć zgodnie z wykazem czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Impact Factor (IF) za rok publikacji (* w przypadku ostatnich publikacji uwzględniono ostatnie dostępne punkty i IF; ** w przypadku publikacji który otrzymał IF i jest wymieniony w JCR, ale nie wprowadził systemu punktowego, rozważono 15 punktów):

Nazwa czasopisma (rok publikacji)	Liczba publikacji	Punkty zgodnie z MNiSW	Podsumowanie punktów z MNiSW	Podsumowanie IF z roku publikacji
Czasopisma z Impact Factor				
Plant Physiology and Biochemistry (2010; 2017)	2	32/35*	67	5.12
Skin Research and Technology (2010)	1	20	20	1.071
Journal of Biomedical Optics (2011)	1	35	35	3.157
Photosynthetica (2018; 2019)	2	25	50	3.48
Photochemistry and Photobiology B: Biology (2012; 2013)	2	20/25	45	5.913
Plant, cell & Environment (2014)	1	45	45	6.96
Scientific Reports (2015)	1	40	40	5.228
Chiang Mai Journal of Science (2017)	1	20*	20	0.409
Frontiers in Chemistry (2017)	1	15**	15	4.155
Journal of Plant Growth Regulation (2018)	1	30*	30	2.047
Scientia Horticulturae (2018)	1	35*	35	1.76
Chemosphere (2018)	1	35*	35	4.427
European Journal of Plant Pathology (2019)	1	30*	30	1.466
3 Biotech (2019)	1	15*	15	1.497
Environmental and Experimental Botany (2019)	1	40*	40	3.666
Inne recenzowane publikacje (niewymienione w Web of Science)				
Chinese Medicine	1	-	-	0
Journal of Nonlocality	1	-	-	0
Monografie i rozdziały w monografiach				
Doctoral thesis (online)	1	0	0	0
Springer	1	5	5	0
Elsevier	2	5	10	0
Recenzowane prace konferencyjne indeksowane w Web of Science				
ITM web of Conference	2	15	30	0
Inne materiały konferencyjne				
BioTechnologia	1	7	7	0
Current topics in Biophysics	1	6	6	0
Inne materiały konferencyjne i streszczenie	11	0	0	0
Suma	39		580	50.356

Anshu Rastogi