

Uniwersytet Rzeszowski
Kolegium Nauk Przyrodniczych,
al. Rejtana 16c
35-959 Rzeszów
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

TOMASZ PIECHOWIAK
Uniwersytet Rzeszowski
Kolegium Nauk Przyrodniczych

Wniosek

z dnia 1.12.2022 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie **nauk rolniczych** w dyscyplinie¹ **technologia żywności i żywienia**.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

Cykl 9 powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt. 2b Ustawy pt. „Badanie przemian biochemicznych zachodzących w owocach jagodowych podczas przechowywania w atmosferze ozonu”.

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu ~~tajnym~~/jawnym*²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

Tomasz Piechowiak

(podpis wnioskodawcy)

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy.
2. Kopia dyplomu doktora nauk technicznych.
3. Autoreferat w języku polskim.
4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny w języku polskim.
5. Oświadczenia współautorów o indywidualnym wkładzie w prace składające się na osiągnięcie naukowe w języku polskim.
6. Kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.
7. Dwa nośniki (pendrive) zawierające elektroniczną wersję wniosku wraz z załącznikami.



AUTOREFERAT

PREZENTUJĄCY DOROBK I OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE KANDYDATA DO STOPNIA DOKTORA HABILITOWANEGO NAUK ROLNICZYCH W DYSCYPLINIE TECHNOLOGIA ŻYWNOŚCI I ŻYWIENIA

dr inż. Tomasz Piechowiak

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 z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	4
4.1. Tytuł osiągnięcia	4
4.2. Spis publikacji [P] wchodzących w skład osiągnięcia	4
4.3. Omówienie cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia	7
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej	19
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	24
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne	24
6.2. Działalność organizacyjna	25
6.3. Działalność popularyzatorska	25
7. Informacje dodatkowe dotyczące kariery naukowej	28
7.1. Kierowanie projektami badawczymi	28
7.2. Działalność wynalazcza	28
7.3. Działalność badawczo-rozwojowa	29
7.4. Uzyskane stypendia i nagrody za osiągnięcia naukowe i badawczo-rozwojowe	30
7.5. Pozostałe publikacje naukowe, nie wskazane w rozdziałach 4 i 5	31
8. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej	34
8.1. Dorobek publikacyjny z uwzględnieniem czasopism wraz z odpowiednią dla nich punktacją MEiN i współczynnikiem Impact Factor	34
8.2. Pozostały dorobek naukowy	36

1. Imię i nazwisko

Tomasz Piechowiak

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

2019 – Politechnika Łódzka. Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności. Doktor nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna (data rozprawy doktorskiej: 23.04.2019 r. – rozprawa doktorska obroniona z wyróżnieniem).

Tytuł pracy doktorskiej: Pozyskiwanie związków bioaktywnych z łuski cebuli oraz ich wykorzystanie w produkcji żywności funkcjonalnej (promotorzy: prof. dr hab. inż. Maciej Balawejder oraz dr hab. inż. Radosław Bonikowski, prof. Politechniki Łódzkiej).

2016-2019. Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy. Studia doktoranckie w dziedzinie nauk rolniczych.

2014-2016. Uniwersytet Rzeszowski. Wydział Biologiczno-Rolniczy, studia II stopnia: technologia żywności i żywienie człowieka, specjalizacja: technologia produktów pochodzenia roślinnego (magister).

2011-2014. Uniwersytet Rzeszowski. Wydział Biologiczno-Rolniczy, studia I stopnia: technologia żywności i żywienie człowieka (inżynier).

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

1.12.2019 r. – do chwili obecnej. Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Zakład Chemii i Toksykologii Żywności (poprzednia nazwa jednostki: Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy, Katedra Chemii i Toksykologii Żywności) – adiunkt w grupie pracowników badawczo – dydaktycznych.

5.06.2019 r. – 30.11.2019 r. Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy. Katedra Chemii i Toksykologii Żywności – adiunkt w grupie pracowników badawczych.

20.07.2017 r. – 30.11.2017 r. Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy. Katedra Chemii i Toksykologii Żywności – starszy referent techniczny. Staż.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia

Badanie przemian biochemicznych zachodzących w owocach jagodowych podczas przechowywania w atmosferze ozonu.

4.2. Spis publikacji [P] wchodzących w skład osiągnięcia

[P1] **Piechowiak T.**, Grzelak-Błaszczyk K., Sójka M., Balawejder M. 2022. One-time ozone treatment improves the postharvest quality and antioxidant activity of *Actinidia arguta* fruit. *Phytochemistry*, 203: 113393. DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113393. IF = 4,004²⁰²¹. MEiN* = 100 pkt. [załącznik 5a-d]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin i tabel), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P2] **Piechowiak T.**, Skóra B., Balawejder M. 2022. Ozonation process causes changes in PARP-1 expression and the metabolism of NADPH in strawberry fruit during storage. *Journal of Biotechnology*, 357: 84-91. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2022.08.012. IF = 3,595²⁰²¹. MEiN* = 70 pkt. [załącznik 6a-c]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin i tabel), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P3] **Piechowiak T.**, Migut D., Józefczyk R., Balawejder M. 2022. Ozone Treatment Improves the Texture of Strawberry Fruit during Storage. *Antioxidants*, 11(5): 821. DOI: 10.3390/antiox11050821. IF = 7,675²⁰²¹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 7a-d]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin i tabel), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P4] **Piechowiak T.**, Sowa P., Tarapatsky M., Balawejder M. 2021. The role of mitochondrial energy metabolism in shaping the quality of highbush blueberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. *Food and Bioprocess Technology*, 14: 1973-1982. DOI: 10.1007/s11947-021-02696-x. IF = 4,465²⁰²⁰, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 8a-d]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin i tabel), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P5] **Piechowiak T.**, Skóra B., Sowa P., 2022. Changes in the activity of flavanone 3 β -hydroxylase in blueberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(3): 1300-1304. DOI: 10.1002/jsfa.11444. IF = 4,125²⁰²¹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 9a-c]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P6] **Piechowiak T.** 2021. Effect of ozone treatment on glutathione (GSH) status in selected berry fruit. *Phytochemistry*, 187: 112767. DOI: 10.1016/j.phytochem.2021.112767. IF = 4,027²⁰²⁰, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 10]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P7] **Piechowiak T.**, Sowa P., Balawejder M. 2021. Effect of Ozonation Process on the Energy Metabolism in Raspberry Fruit During Storage at Room Temperature. *Food and Bioprocess Technology*, 14: 483-491. DOI: 10.1007/s11947-021-02591-5. IF= 4,465²⁰²⁰, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 11a-c]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P8] **Piechowiak T.**, Grzelak-Błaszczak K., Sójka M., Balawejder M. 2020. Changes in phenolic compounds profile and glutathione status in raspberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 168: 111277. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111277. IF = 4,303²⁰¹⁹, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 12a-d]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin i tabel), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

[P9] **Piechowiak T.**, Balawejder M. 2019. Impact of ozonation process on the level of selected oxidative stress markers in raspberries stored at room temperature. *Food Chemistry*, 298: 125093. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125093, IF = 5,399²⁰¹⁸, MEiN* = 200 pkt. [załącznik 13a-b]

Mój udział: opracowanie koncepcji pracy, przegląd literatury, wykonanie eksperymentu (ozonowanie surowca, dobór i opis metod analitycznych w manuskrypcie, analiza cech jakościowych owoców, analiza biochemiczna), analiza wyników (opracowanie statystyczne, przygotowanie rycin), dyskusja wyników, formułowanie wniosków, autor korespondencyjny.

Łączna wartość bibliometryczna publikacji wynosi:

Impact Factor (IF): 42,058

Punktacja Ministerstwa Edukacji i Nauki: 1010 pkt*

* - Punktacja wykazu czasopism MEiN z 1.12.2021 r.

4.3. Omówienie cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia

A. Wprowadzenie

Powszechnie wiadomo, że właściwie zbilansowana dieta dostarczająca odpowiednio duże porcje owoców i warzyw jest jednym ze skutecznych sposobów zmniejszania ryzyka wystąpienia wielu chorób cywilizacyjnych. W ostatnich latach, szczególnie nacisk kładzie się na wysoką podaż w diecie owoców jagodowych, zarówno w postaci świeżej jak i minimalnie przetworzonej. Owoce jagodowe bowiem, stanowią wartościowe źródło składników o udokumentowanych właściwościach prozdrowotnych tj. kwas askorbinowy, związki polifenolowe, witaminy, błonnik pokarmowy oraz składniki mineralne. Synergistyczne działanie tych substancji sprawia, że owoce jagodowe wykazują cechy para-farmaceutyku i mogą chronić organizm człowieka przed chorobami, szczególnie tymi, które są następstwem stresu oksydacyjnego, tj. choroby neurodegeneracyjne, układu krążenia lub nowotworowe.

Owoce jagodowe zbierane są najczęściej w momencie uzyskania przez nie najlepszych cech organoleptycznych, a dokładniej, w fazie pełnej dojrzałości. Niestety, w miarę upływu czasu przechowywania, w owocach zachodzi wiele procesów fizjologicznych, które przyczyniają się do utraty ich jakości i wartości handlowej. Towarzyszy im duża szybkość oddychania i mięknięcie tkanek, utrata wody i turgoru, a także duża podatność na zakażenia mikrobiologiczne, szczególnie przez pleśnie z rodzaju *Botrytis* i *Rhizopus*. Szybkość tych przemian można zmniejszyć przez zastosowanie odpowiednich technik i warunków przechowywania. Wydłużenie okresu przechowywania oraz poprawę jakości owoców można uzyskać przez przechowywanie owoców w obniżonej temperaturze, kontrolowanej i modyfikowanej atmosferze, a także stosując niekonwencjonalne techniki przechowalnicze, takie jak: traktowanie ultradźwiękami lub pulsacyjnym polem elektromagnetycznym, promieniowaniem UV, pokrywanie owoców foliami jadalnymi z dodatkiem naturalnych konserwantów oraz ozonowanie.

Ozon jest alotropową odmianą tlenu, o silnych właściwościach przeciwbakteryjnych, przeciwgrzybiczych i przeciwwirusowych, który coraz częściej wykorzystywany jest w przemyśle spożywczym. Początkowo ozonowanie stosowano do dezynfekcji wody pitnej i pomieszczeń o wysokim standardzie sterylności. Jednak, od 2001 roku FDA (am. *Food and Drug Administration*) zatwierdziła ozon jako substancję zwalczającą drobnoustroje, z możliwością zastosowania do wszystkich rodzajów żywności. Od tamtego czasu, opublikowano wiele badań, w których opisywano dużą skuteczność utrwalania ozonem wielu produktów różnego pochodzenia, w tym owoców jagodowych. Wykazywano w nich, że

zarówno jednorazowe traktowanie owoców jagodowych ozonem, bezpośrednio po zbiorze lub w trakcie przechowywania oraz cyklicznie, jest w stanie znacznie zredukować poziom mikroorganizmów, odpowiadających za psucie i gnicie owoców, efektem czego jest wydłużenie czasu przechowywania oraz dostępności świeżego surowca. Ponadto, gazowy ozon utlenia wydzielający się etylen, który jest głównym czynnikiem wpływającym na przyspieszone dojrzewanie i starzenie surowców roślinnych, szczególnie o klimakterycznym charakterze dojrzewania.

Ciekawym zagadnieniem jest wpływ ozonu na poziom składników o charakterze antyoksydacyjnym i mechanizmy odpowiadające za kształtowanie właściwości antyoksydacyjnych owoców. Ozon w środowisku o wysokiej zawartości wody, do którego można również zaliczyć owoce jagodowe, rozpada się do reaktywnych form tlenu tj. anionorodnik ponadtlenkowy, rodnik hydroksylowy, nadutlenek wodoru, których nadmiar jest dla komórki roślinnej wysoce toksyczny. Reaktywne formy tlenu powodują oksydacyjne uszkodzenia składników komórek, prowadząc do zaburzeń aktywności aparatu enzymatycznego, zmian przepuszczalności i integralności błon komórkowych oraz utraty niskocząsteczkowych antyoksydantów, czego efektem jest upośledzenie funkcji komórek oraz ich śmierć. W kontekście utrzymania dobrej jakości przechowywanych surowców, stres oksydacyjny może powodować utratę turgoru, obniżenie właściwości biologicznych, a także zwiększyć podatność tkanki na uszkodzenia mechaniczne oraz zakażenia mikrobiologiczne. Dlatego też, warunki ozonowania powinny być dobrane nie tylko na podstawie oceny skuteczności przeciwdrobnoustrojowej zabiegu, ale także znając wpływ użytej techniki na markery stresu oksydacyjnego lub aktywność antyoksydacyjną surowców. Jak dotąd, wiedza w zakresie wpływu ozonowania na aparat antyoksydacyjny i markery stresu oksydacyjnego w owocach jagodowych była szczątkowa i ograniczała się jedynie do oceny poziomu stężenia niskocząsteczkowych antyoksydantów i całkowitej aktywności antyoksydacyjnej. Przedmiotem moich kilkuletnich badań było określenie wpływu gazowego ozonu na wybrane przemiany biochemiczne, które wpływają zarówno na aktywność antyoksydacyjną owoców, jak również przyczyniają się do kształtowania jakości ozonowanego surowca. W prezentowanym opracowaniu przedstawiłem jedynie najważniejsze wyniki uzyskane w ramach podjętych prac, z kolei pełny opis eksperymentów wraz ze szczegółowym opisem wyników i dyskusją zawarte są w drukach artykułów [P1 – P9].

B. Przemiany antyoksydantów niskocząsteczkowych

Aktywność antyoksydacyjna owoców jagodowych determinowana jest przede wszystkim przez zawartość związków polifenolowych, kwasu askorbinowego oraz glutationu. Substancje te, poza tym, że istotnie przyczyniają się do kształtowania wartości biologicznej, to wpływają na jakość po-zbiorną i przechowalniczą owoców. Bowiem, niskocząsteczkowe antyoksydanty mają zdolność do bezpośredniego reagowania z reaktywnymi formami tlenu, których akumulacja jest jedną z zasadniczych przyczyn pogorszenia jakości owoców w trakcie przechowywania. Ponieważ przemiany kwasu askorbinowego w owocach jagodowych pod wpływem ozonu są dobrze opisane w literaturze, w prezentowanym cyklu badań postanowiłem skupić się na zmianach zawartości związków polifenolowych oraz glutationu, które jak dotąd były ocenione szczerze.

W owocach jagodowych dominującą grupą niskocząsteczkowych antyoksydantów, mających największy wpływ na jakość owoców, głównie kolor, smak i właściwości biologiczne stanowią polifenole. Ponadto, profil oraz zawartość różnych związków polifenolowych, szczególnie antocyjanów, są podstawowymi wskaźnikami zmian jakości owoców, poddawanych działaniu różnych czynników stresowych, ponieważ ich największe stężenie znajduje się w skórce owoców. W toku prowadzenia badań zaobserwowałem, że ozonowanie, w kontrolowanych warunkach procesu może przyczynić się do zahamowania utraty związków polifenolowych w owocach jagodowych w trakcie przechowywania, a nawet indukować ich biosyntezę. W pracy P4 owoce borówki wysokiej, odmiany Bluecrop, były ozonowane gazem o stężeniu 15 ppm, przez 30 min, co 12 godzin przechowywania w warunkach chłodniczych (4°C) przez 4 tygodnie. W badaniach stwierdziłem, że owoce ozonowane cechowały się wyższą zawartością związków polifenolowych, szczególnie antocyjanów, kwasu chlorogenowego, kwasu kawowego i elagowego, przez cały okres przechowywania niż owoce kontrolne. Na przykład, po 28 dniach przechowywania, poziom tych substancji był wyższy w owocach ozonowanych odpowiednio o 26, 32, 56 i 7% w stosunku do owoców kontrolnych. Aby ocenić wpływ zastosowanej procedury ozonowania na aktywność aparatu biosyntezy flawonoidów, w pracy P5 przedstawiłem zmiany ekspresji genu kodującego hydroksylazę 3 β -flawanonu (F3H) oraz aktywność tego enzymu w owocach borówki w trakcie przechowywania [P5]. Katalizowana przez F3H biosynteza dihydroflawanoli, opisywana jest w literaturze jako kluczowy punkt regulacyjny dla tworzenia kolejnych metabolitów szlaku flawonoidowego i jest ściśle skorelowana z poziomem flawonoidów, aktywnością antyoksydacyjną i w efekcie odpornością rośliny na

stres abiotyczny. W badaniach wykazałem, że ozonowanie ponad dwukrotnie zwiększyło ekspresję genu *F3H* po 7 dniach przechowywania, co doprowadziło do wyższej aktywności katalitycznej białka i w efekcie wyższej zawartości flawonoidów, w tym antocyjanów i aktywności antyoksydacyjnej [P2]. Najbardziej widoczny wpływ przechowywania w atmosferze ozonu na aktywność tego enzymu zanotowałem po 7 dniach przechowywania. Po tym czasie, aktywność *F3H* w owocach ozonowanych była wyższa o 66%, z kolei w kontrolnych obniżyła się o 47% w stosunku do wartości przed przechowywaniem. Pozytywny wpływ ozonu na polifenole, zanotowałem również w przypadku malin, ozonowanych co 12 godzin, przez 30 min, gazem o stężeniu 8-10 ppm, podczas 72-godzinnego przechowywania w temperaturze pokojowej (20-25°C) [P8, P9]. W trakcie prowadzenia badań zauważyłem, że sumaryczny poziom antocyjanów w próbie kontrolnej zmniejszał się gwałtownie po 48 godzinach przechowywania, aż do zakończenia eksperymentu, podczas gdy w próbie ozonowanej tempo spadku było zdecydowanie mniejsze. Poziom antocyjanów w próbie ozonowanej był wyższy o 27% po 48 godzinach, z kolei o 22% po 72 godzinach, w porównaniu z kontrolą. W przypadku elagitanin, flawanoli (w tym procyanidyn), pozytywny efekt ozonowania nie był tak aż tak wyraźny i istotnie wyższy poziom tych substancji zaobserwowałem tylko po 48 godzinach przechowywania. Podobnie, jak w przypadku owoców borówki, maliny również wykazywały wyższą aktywność aparatu uczestniczącego w biosyntezie polifenoli. W pracy P9 oceniana była aktywność amoniakolizazy fenyloalaniny. Enzym ten katalizuje reakcję eliminacji amoniaku z L-fenyloalaniny, prowadząc do powstania kwasu trans-cynamonowego, który następnie może być w kolejnych etapach szlaku fenylopropanoidowego przekształcany do kwasów fenolowych, flawonoidów lub antocyjanów. Aktywność tego enzymu w malinach wyraźnie się zwiększyła po procesie ozonowania i maksymalną aktywność zaobserwowałem po 48 godzinach przechowywania (wzrost 9-krotny). Zwiększoną akumulację polifenoli zauważyłem również w ozonowanych owocach mini-kiwi, które były jednorazowo traktowane gazem o stężeniu 10 i 100 ppm, przez 5, 15 i 30 min [P1]. Jednak w przypadku tego materiału oraz sposobu ozonowania, poziom polifenoli był uzależniony od czasu i stężenia gazu. Wzrost poziomu polifenoli, analizowany zarówno metodą spektrofotometryczną, jak również chromatograficzną zaobserwowałem jedynie w przypadku użycia gazu o stężeniu 100 ppm i czasu prowadzenia zabiegu wynoszącego 15 i 30 min. Całkowita zawartość polifenoli w tych próbach była wyższa odpowiednio o 20 i 28% w stosunku do owoców nieozonowanych.

Po-zbiorcza degradacja związków polifenolowych i zarazem obniżenie aktywności antyoksydacyjnej w owocach jagodowych może wiązać się zarówno z nadmierną akumulacją

reaktywnych form tlenu, a także ze zwiększoną aktywnością enzymów uczestniczących w rozkładzie polifenoli. W pracy P8, opisałem zmiany aktywności oksydazy polifenolowej, dekarboksylazy kwasu galusowego oraz tannazy w ozonowanych owocach maliny w trakcie przechowywania. Zaobserwowałem, że aktywność tych enzymów w próbie kontrolnej zwiększała się wraz z wydłużaniem czasu przechowywania, podczas gdy w próbie ozonowanej była istotnie obniżona. Z kolei w ozonowanych owocach mini-kiwi zanotowałem, że aktywność oksydazy polifenolowej była uzależniona od warunków prowadzenia procesu [P9]. Im wyższe było stężenie gazu tym niższa była aktywność oksydazy polifenolowej. Najniższą aktywność tego enzymu stwierdziłem w próbie ozonowanej przez 15 min, przy użyciu gazu o stężeniu 100 ppm (spadek o 71% w stosunku do kontroli).

Glutation to niskocząsteczkowy związek tiolowy, który wspólnie ze związkami polifenolowymi oraz kwasem askorbinowym tworzą nieenzymatyczny aparat ochronny przed stresem oksydacyjnym w komórce roślinnej. Glutation produkowany jest w mitochondriach, chloroplastach i cytozolu, podczas dwuetapowej reakcji zależnej od ATP, katalizowanej przez syntetazę γ -glutamylcysteiny oraz syntazę glutationową. Wytworzony glutation może być wykorzystywany przez organelle komórkowe w zależności od potencjału redox komórki. W momencie wystąpienia stresu oksydacyjnego glutation bezpośrednio reaguje z wolnymi rodnikami, tworząc mniej toksyczne dla komórki addukty. Glutation pomaga w utrzymaniu odpowiedniego stanu redoks w cyklu Hailwela-Asady, a także jest kofaktorem w reakcji prowadzonej przy udziale peroksydazy glutationowej, których podstawową rolą jest neutralizacja nadtlenu wodoru. Ponadto, glutation chroni białka przed utlenianiem, poprzez wytworzenie kompleksów białko-SS-glutation, chelatuje jony metali i wspólnie z transferazą glutationową tworzy koniugaty z ksenobiotykami.

Metabolizm glutationu w ozonowanych owocach jagodowych oceniałem na różnych modelach biologicznych z wykorzystaniem różnych warunków procesu ozonowania i przechowywania. W pracy P6 sprawdzałem przemiany glutationu w owocach truskawki, maliny, borówki wysokiej, jeżyny oraz czarnej porzeczki, które były poddawane jednorazowemu procesowi ozonowania gazem o stężeniu 15 ppm, przez 30 min oraz przechowywane przez 24 godziny. Stwierdziłem, że wszystkie owoce charakteryzowały się zwiększoną aktywnością wspomnianej syntazy glutationowej, co przyczyniło się do zwiększonej akumulacji glutationu (GSH) w owocach. Największy wzrost stężenia GSH zanotowałem w przypadku ozonowanych jeżyn, wynoszący 49%, z kolei najniższy w truskawkach (39%) w porównaniu do wartości początkowej. W pracy P8 przedstawiłem

zmiany stężenia glutationu w ozonowanych owocach maliny i przechowywanych w temperaturze pokojowej. Zanotowałem, że poziom GSH stopniowo zmniejszał się wraz z wydłużaniem okresu przechowywania, podczas gdy owoce ozonowane cechowały się stale wysokim poziomem GSH przez pierwsze 48 godzin przechowywania. Zwiększony poziom glutationu zredukowanego stwierdziłem również w owocach truskawki, ozonowanych gazem o stężeniu 10 i 100 ppm, przez 30 min, co 12 godzin przez 72 godziny przechowywania w temperaturze pokojowej [P2]. Ponadto, zauważyłem, że stosunek zawartości glutationu zredukowanego do glutationu utlenionego (GSH/GSSG) w owocach ozonowanych, zarówno 10 jak i 100 ppm był zbliżony do 1 we wszystkich terminach analiz, podczas gdy w kontroli był znacznie obniżony.

Aktywność antyoksydacyjna, jest prostym do oznaczenia parametrem, który opisuje zdolność niskocząsteczkowych substancji tj. polifenole, kwas askorbinowy, glutation, tokoferole czy karotenoidy do redukcji substancji o charakterze utleniaczy, stanowiących składnik mieszaniny reakcyjnej. Wprawdzie techniki te cechują się niską specyficznością, lecz jako metody przesiewowe, pomagają wstępnie zobrazować zmiany statusu redoks w owocach pod wpływem czynników stresowych. Należy tutaj wymienić metody z rodnikami ABTS i DPPH, a także CUPRAC, FRAP lub ORAC. Badanie zmian aktywności antyoksydacyjnej, różnymi metodami było częścią prac 1, 2, 4, 5 oraz 6. Generalnie, w większości badań zaobserwowałem związek między aktywnością antyoksydacyjną, a poziomem niskocząsteczkowych antyoksydantów. Aktywacja szlaku biosyntezy niskocząsteczkowych antyoksydantów lub inhibicja degradacji tych związków powodowała, że tkanka owocu cechowała się wyższą zawartością antyoksydantów, prowadząc do większej zdolności redukcyjnej owoców (całkowitej aktywności antyoksydacyjnej).

C. Metabolizm energetyczny

Jakość świeżych surowców pochodzenia roślinnego jest ściśle uzależniona od ich metabolizmu energetycznego. Adenozynotrifosforan (ATP) wytwarzany przez mitochondria na drodze oksydacyjnej fosforylacji jest źródłem energii niezbędnej do przeprowadzenia wielu procesów biochemicznych, potrzebnych do prawidłowego funkcjonowania komórki i przystosowania jej do różnych warunków stresu, zarówno biotycznego jak i abiotycznego. Dlatego też, ciekawe było sprawdzenie, czy poprawiona jakość owoców ozonowanych mogła wynikać również ze zmian w metabolizmie energetycznym. Należy również podkreślić, że problem dotyczący zmian w metabolizmie energetycznym w ozonowanym surowcu roślinnym był rozważany po raz pierwszy i był głównym tematem projektu OPUS 18 „Rola

metabolizmu energetycznego mitochondriów w kształtowaniu jakości owoców jagodowych przechowywanych w atmosferze ozonu” (Narodowe Centrum Nauki, 2019/35/B/NZ9/01552), którego byłem kierownikiem.

W pracach 1, 2, 3, 4, 6, 7 zostały opisane zmiany w metabolizmie energetycznym mitochondriów po procesie ozonowania oraz jego rola w kształtowaniu jakości ozonowanych owoców jagodowych.

W pracach 3, 4 i 7 przedstawiłem zmiany zawartości ATP, ADP, AMP oraz ładunku energetycznego, a także aktywność wybranych enzymów uczestniczących w oksydacyjnej fosforylacji (dehydrogenazy bursztynianowej, oksydazy cytochromu C, H⁺-ATPazy) odpowiednio w ozonowanych owocach truskawki, borówki oraz maliny. W tych badaniach zaobserwowałem, że owoce ozonowane charakteryzowały się wyższym poziomem ATP oraz wartością ładunku energetycznego, w trakcie przechowywania, co wynikało z pobudzonej aktywności enzymów oksydacyjnej fosforylacji, podczas gdy w próbie kontrolnej (nieozonowanej) wskaźniki te wykazywały tendencję spadkową. Poprawę metabolizmu energetycznego zanotowałem również w owocach jagodowych traktowanych ozonem jednorazowo. W pracy P6, oceniony został poziom ATP oraz aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (SDH) w owocach truskawki, borówki wysokiej, maliny, jeżyny oraz czarnej porzeczki traktowanej ozonem o stężeniu 15 ppm (30 min). Zauważyłem, że wszystkie owoce ozonowane wykazywały zarówno wyższą aktywność dehydrogenazy bursztynianowej jak i zawartość ATP. Najwyższy wzrost poziomu ATP zanotowałem w truskawkach (o 381%), z kolei najniższy w malinach (o 73%), w porównaniu z owocami nietraktowanymi. W pracy P1, oceniałem poziom ATP i aktywność SDH w owocach mini-kiwi, ozonowanych w różnych warunkach procesu (stężenie ozonu na poziomie 10 i 100 ppm, czas procesu wynoszący 5, 15 i 30 min). Zanotowałem, że wszystkie warunki procesu spowodowały wzrost poziomu ATP, co korespondowało z wyższą aktywnością SDH. Zarówno w przypadku wykorzystania gazu o stężeniu 10 jak i 100 ppm, zauważyłem zależność, która polegała na wzroście poziomu ATP do 15 minuty ozonowania oraz spadku po 30 min. Po 15 minutach trwania procesu poziom ATP w owocach ozonowanych 10 ppm zwiększył się o 141, z kolei 100 ppm o 203%.

W wielu podobnych, dotychczas opublikowanych badaniach wskazuje się, że zapewnienie produktom ogrodnictwa odpowiednio wysokiego poziomu ATP w komórce poprzez zastosowanie różnych elicytorów do po-zbiorczej obróbki, przyczynia się do utrzymania prawidłowej integralności błon, zwiększa aktywność enzymów antyoksydacyjnych oraz stymuluje aktywność szlaku wytwarzania antyoksydantów,

prowadząc do wzrostu statusu antyoksydacyjnego komórki. Co więcej, zwiększony ładunek energii adenylowanej odpowiada zmniejszonej ekspresji enzymów degradujących ściany komórkowe, a także stymuluje biosyntezę fitoaleksyn, białek PR i hormonów roślinnych. Zatem można przypuszczać, że wyższy potencjał antyoksydacyjny i lepsza odporność na stres abiotyczny w owocach ozonowanych, mogły wynikać z większej dostępności ATP, gdyż biosynteza niektórych antyoksydantów wymaga dostarczenia energii z rozpadu ATP np. podczas fosforylacji kwasu szikimowego z udziałem kinazy szikimowej w szlaku szikimowym i konwersji kwasu *p*-kumarowego do *p*-kumaroli-CoA z udziałem ligazy 4-kumaranowo-CoA w szlaku fenylopropanoidowym, oraz w trakcie biosyntezy glutationu przy udziale syntetazy γ -glutamylcysteiny i syntazy glutationu.

D. Metabolizm NAD⁺

Zmiany w statusie energetycznym można powiązać z metabolizmem NAD⁺. NAD⁺ jest akceptorem wodoru w wielu procesach biochemicznych, w tym glikolizy, cyklu kwasu cytrynowego lub utleniania kwasów tłuszczowych, w których produktem ubocznym jest NADH. Z kolei, wytworzony NADH jest dawcą elektronów I kompleksu enzymatycznego w łańcuchu oddechowym.

Ocena zmian poziomu NAD⁺ oraz NADH w owocach po procesie ozonowania została przedstawiona w pracach 1 i 2. Generalnie, w toku badań stwierdziłem, że ozonowanie generuje większy poziom NAD⁺ oraz NADH w owocach jagodowych. W przypadku owoców mini-kiwi [P1] wyraźny wpływ ozonu na poziom NAD⁺ zauważyłem, dopiero przy zastosowaniu gazu o stężeniu 100 ppm i prowadząc proces przez 5 min. W tych warunkach poziom NAD⁺ zwiększył się o 16% w stosunku do wartości dla próby kontrolnej. Z kolei, poziom NADH w owocach mini-kiwi był wyższy od kontroli we wszystkich wariantach eksperymentu. Najwyższy przyrost NADH stwierdziłem w przypadku wariantu 10 ppm/5 min, który wynosił 25%.

Zwiększenie poziomu NAD⁺ i NADH zauważyłem również w owocach truskawki, które były ozonowane cyklicznie podczas 3-dniowego przechowywania w temperaturze pokojowej. Efekt ten był widoczny w przypadku ozonowania gazem o stężeniu 10 ppm. Po 1 dniu przechowywania, poziom NAD⁺ i NADH zwiększył się odpowiednio o 17 i 24% w stosunku do wartości przed przechowywaniem. Użycie gazu o stężeniu 100 ppm, nie wpłynęło znacznie na poziom NAD⁺ i NADH, lecz poziomy tych substancji były wyższe od próby kontrolnej. Ponadto, zanotowałem, że poziom NADH/NAD⁺ ciągle zmniejszał się po 48 godzinach przechowywania w owocach ozonowanych, co mogło być spowodowane

zużywaniem się NAD^+ w reakcjach katalizowanych przez enzymy zależne od NAD^+ , np. polimeraz poli-(ADP)-rybozy (PARP). W pracy 2 przedstawiłem zmiany ekspresji genu kodującego PARP1 w ozonowanych owocach truskawki podczas przechowywania. Zasadniczą rolą PARP jest wykrywanie i rozpoczęcie odpowiedzi komórki na uszkodzenia jednoniciowego DNA (w tym oksydacyjne) poprzez uruchomienie określonych mechanizmów naprawczych. PARP katalizuje przyłączanie rozgałęzionych łańcuchów ADP-rybozy do docelowych białek chromatyny z wykorzystaniem NAD^+ jako substratu, z kolei zsyntetyzowane polimery ADP-rybozy stanowią sygnał dla enzymów naprawy DNA. Badania pokazały, że ozonowanie zwiększyło ekspresję *PARP1* w truskawkach, prawdopodobnie na skutek inicjacji uszkodzeń DNA powodowanych przez ozon, powodując (przypuszczalnie) zwiększenie aktywności białka i obniżanie się poziomu NAD^+ wraz z wydłużaniem czasu przechowywania.

Poziom NAD^+ determinował również dostępność NADPH w owocach. NADPH jest kluczową cząsteczką, która zapewnia moc redukcyjną w wielu reakcjach biochemicznych zachodzących w roślinach, w tym związanych z ochroną komórki przed działaniem RFT. Na przykład, NADPH bierze udział w reakcjach regeneracji glutationu, askorbinianu oraz tioredoksyny, katalizowanych odpowiednio przez reduktazę glutationu, reduktazę monodehydroaskorbinianową oraz reduktazę tioredoksynową. Wspomniane antyoksydanty współuczestniczą w reakcji zmiatania nadtlenu wodoru, przy udziale peroksydazy glutationowej, askorbinianowej oraz peroksyredoksyny. W pracach 1 i 2 opisałem zmiany koncentracji NADP^+ oraz NADPH w ozonowanych owocach mini-kiwi oraz truskawki, a także zmiany aktywności enzymów, zaangażowanych w biosyntezę NADPH, tj. kinazy NAD^+ (NADK) oraz dehydrogenazy glukozy-6-fosforanowej (G6PDH). W toku prowadzenia badań stwierdziłem, że jednorazowe, jak również cykliczne ozonowanie zwiększa dostępność NADPH w testowanych owocach, co było spowodowane zwiększeniem aktywności NADK i G6PDH. W przypadku owoców mini-kiwi, poziom NADPH zwiększył się istotnie dopiero po 15 minutach ozonowania, zarówno gazem o stężeniu 10 jak i 100 ppm, z kolei po 30 minutach przyrost był najwyższy i wynosił 17% i 24% w stosunku do wartości próby kontrolnej. W przypadku owoców truskawki, zauważyłem, że poziom NADPH po 1 dniu przechowywania zmniejszył się, z kolei po 2 dni gwałtownie się zwiększył w owocach ozonowanych gazem o stężeniu 100 ppm (o 196%). Z kolei, w przypadku owoców ozonowanych 10 ppm, podobny wzrost zauważyłem po 3 dniach przechowywania.

E. Markery stresu oksydacyjnego

Pierwszą linię obrony komórki roślinnej przed wystąpieniem stresu oksydacyjnego stanowią enzymy antyoksydacyjne. Zgodnie z literaturą, narażenie komórki na czynniki generujące stres oksydacyjny indukują ekspresję genów kodujących te enzymy, co często odpowiada również wyższej aktywności białka.

W prezentowanym cyklu badań oceniałem aktywność kilku enzymów zaangażowanych w ochronę komórki przed toksycznym działaniem reaktywnych form tlenu, zarówno w owocach ozonowanych cyklicznie jak i jednorazowo. W ozonowanych owocach maliny (8-10 ppm, 30 min, co 12 godzin) i przechowywanych przez 72 godziny w temperaturze pokojowej oceniałem aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (SOD, całkowitej oraz mitochondrialnej), peroksydazy askorbinianowej (APOX), peroksydazy glutationowej (GPX) oraz reduktazy glutationowej (GR) [P5, P7, P8, P9]. W owocach borówki ozonowanych gazem o stężeniu 15 ppm (przez 30 min, co 12 godzin) i przechowywanych przez 28 dni oraz truskawkach ozonowanych 10 i 100 ppm (przez 30 min, co 12 godzin i przechowywanych przez 72 h) określałem aktywność dysmutazy ponadtlenkowej oraz peroksydazy glutationowej w wyekstrahowanych mitochondriach z owoców. Generalnie we wszystkich powyższych eksperymentach stwierdziłem, że ozonowanie zwiększa aktywność powyższych enzymów. Jednak w zależności od gatunku owocu i prawdopodobnie temperatury atmosfery, czas przechowywania wywarł różny wpływ na aktywność danego enzymu. W przypadku ozonowanych owoców maliny zanotowałem ciągły wzrost aktywności SOD (całkowitej i mitochondrialnej) do 48 h przechowywania, a następnie spadek aktywności, z kolei aktywności APOX i GPX zwiększały się przez cały okres przechowywania [P7, P8, P9]. Podobną tendencję zauważyłem w owocach truskawki [P3]. W owocach borówki, stwierdziłem spadek aktywności mitochondrialnych SOD i GPX wraz z upływem czasu przechowywania, lecz aktywności tych enzymów w owocach ozonowanych były wyższe jak w kontrolnych [P4]. W pracy 1 oceniana była aktywność SOD i CAT w owocach mini-kiwi ozonowanych w różnych warunkach procesu. We wszystkich analizowanych próbach stwierdziłem wyższą aktywność tych enzymów w owocach ozonowanych niż w kontrolnych. W przypadku CAT, aktywność tego enzymu była tym wyższa im było wyższe stężenie ozonu i dłuższy czas prowadzenia procesu, lecz w przypadku SOD, takiej tendencji nie zauważyłem. Aktywność enzymów antyoksydacyjnych (GPX i GR) była zwiększona również w owocach truskawki, borówki wysokiej, maliny oraz jeżyny traktowanych ozonem jednorazowo (15 ppm, 30 min).

Interesujący okazał się wpływ ozonowania na poziom reaktywnych form tlenu w owocach. Mitochondria obok peroksysomów są głównym miejscem wytwarzania reaktywnych form tlenu w komórce roślinnej. Anionorodnik ponadtlenkowy powstaje podczas elektronowej redukcji tlenu w I, II i III kompleksie oddechowym, który następnie w wyniku działania dysmutazy ponadtlenkowej może być redukowany do nadtlenku wodoru. W pracach 3, 4 i 7 sprawdzałem zdolność wyizolowanych mitochondriów do wytwarzania anionorodnika ponadtlenkowego oraz nadtlenku wodoru w owocach truskawki, borówki oraz maliny podczas przechowywania w atmosferze ozonu. W przypadku owoców maliny i borówki zanotowałem, że mitochondria pozyskane z owoców ozonowanych wykazywały wyższą zdolność do wytwarzania RFT niż owoce nieozonowane. Z kolei w przypadku owoców truskawek widoczna była inna tendencją. Mitochondria z ozonowanych truskawek (zarówno 10 jak i 100 ppm) wytwarzały mniej RFT niż nieozonowane. Odmienne wyniki dla tego parametru w stosunku do owoców maliny i borówki mogły wynikać z różnic w budowie systemów antyoksydacyjnych i lepszej zdolności mitochondriów truskawek do wytwarzania RFT. Niemniej, w przypadku oznaczania poziomu RFT w niefrakcjonowanych homogenatach z owoców, zauważyłem, że niezależnie od gatunku owocu, poziom RFT, był w ozonowanych mniejszy jak w przypadku owoców kontrolnych [P1, P2, P6, P9]. Było to spowodowane pobudzeniem mechanizmów antyoksydacyjnych przez ozon i/lub produkty jego rozpadu, powodując wyższą ich koncentrację w komórce i w efekcie mniejszy poziom RFT w tkance. Większa ochrona antyoksydacyjna owoców ozonowanych została potwierdzona również przez określenie stopnia peroksydacji lipidów oraz wycieku elektrolitów z tkanki (truskawek) [P3]. Wykazałem, że owoce truskawki ozonowane gazem o stężeniu 10 jak i 100 ppm charakteryzowały się mniejszym poziomem dialdehydu malonowego jak i mniejszym wyciekiem jonów niż owoce kontrolne, co jest wynikiem utrzymania integralności błon komórkowych w owocach ozonowanych.

F. Wpływ ozonowania na jędrność owoców

Jędrność owoców jagodowych, obok cech organoleptycznych oraz wartości biologicznej jest jednym z głównych atrybutów decydujących o przydatności owoców do spożycia, a także może być wstępnym markerem obrazującym przemiany mikrobiologiczne i biochemiczne zachodzące w owocach podczas przechowywania. Owoce zbyt miękkie charakteryzują się wysoką podatnością na uszkodzenia mechaniczne, co przyczynia się do zwiększenia namnażania mikroorganizmów powodujących psucie i gnicie owoców, skracając tym samym znacznie okres bezpiecznego przechowywania. Ponadto takie owoce, są negatywnie

odbierane przez konsumentów i zniechęcają do zakupu i spożycia. Dlatego też, celem 3 pracy prezentowanego cyklu, było określenie zmian w parametrach tekstury w owocach ozonowanych (truskawkach), a także wyjaśnienie podstaw zmian w teksturze owoców podczas przechowywania.

W trakcie prowadzenia badań, zauważyłem, że proces ozonowania istotnie zapobiegł utracie jędrności truskawek podczas przechowywania w temperaturze pokojowej. Podczas gdy, twardość owoców nieozonowanych istotnie zmniejszała się wraz z wydłużaniem okresu przechowywania, parametr ten dla owoców ozonowanych gazem o stężeniu 10 ppm, nie zmieniał się znacznie do końca eksperymentu.

Doniesienia literaturowe pokazują, że przechowalnicze mięknięcie i pogorszenie tekstury owoców jest jednym z objawów postępującego starzenia się surowca. Wówczas pierwszorzędną rolę w tym procesie odgrywa szereg biochemicznych i molekularnych zmian związanych z uszkodzeniem błon komórkowych wraz utratą turgoru komórki, a także rozkładem i depolimeryzacją komponentów stanowiących budulec ściany komórkowej, tj. pektyn, hemicelulozy i celulozy. Wobec tego, w pracy 3 oceniałem zarówno aktywność enzymów uczestniczących w degradacji ścian komórkowych tj. poligalakturenazy (PG), β -galaktozydazy (β -Gal), oraz β -heksozaminidazy (β -Hex), a także przedstawiłem rolę aparatu antyoksydacyjnego i metabolizmu energetycznego w kształtowaniu tekstury owoców. W toku tych badań stwierdziłem, że owoce ozonowane charakteryzowały się zmniejszoną aktywnością PG (tylko po 1 dniu przechowywania) oraz β -Gal i β -Hex we wszystkich terminach analiz, bezpośrednio przyczyniając się do poprawy jędrności owoców w trakcie przechowywania. W poprzednich podrozdziałach przedstawiłem, że ozonowanie przyczynia się do aktywacji mechanizmów zaangażowanych w ochronę komórki roślinnej przed stresem oksydacyjnym, w tym metabolizmu antyoksydantów i metabolizmu energetycznego. Zatem można przypuszczać, że wyższa aktywność antyoksydacyjna, manifestowana przez mniejszy poziom RFT, mniejszy poziom MDA oraz wyciek jonów, a także wyższy poziom antyoksydantów i enzymów antyoksydacyjnych, owoców ozonowanych mogła prowadzić do utrzymania prawidłowej integralności błon komórkowych, wywierając tym samym pozytywny wpływ na jędrność owoców.

G. Podsumowanie wszystkich publikacji wchodzących w skład dzieła

Przeprowadzenie powyższych eksperymentów pozwoliło stwierdzić, że pozytywny wpływ ozonowania na jakość owoców jagodowych wynika nie tylko z silnych właściwości ozonu do zmniejszania obciążenia mikrobiologicznego, ale także z jego zdolności do

modyfikowania określonych szlaków biochemicznych, szczególnie odpowiedzialnych za kształtowanie aktywności antyoksydacyjnej owoców. Wykazałem, że ozonowanie w kontrolowanych warunkach procesu aktywuje mechanizmy zaangażowane w biosyntezę niskocząsteczkowych antyoksydantów, co zaobserwowałem zarówno na poziomie aktywności białka, jak również ekspresji genów, przyczyniając się do zwiększenia akumulacji antyoksydantów, w tym polifenoli i glutationu w owocach. Ponadto, stwierdziłem, że lepsza kondycja owoców i aktywność antyoksydacyjna wynika pośrednio od poprawionego metabolizmu energetycznego oraz poziomu NADPH. Owoce ozonowane wykazywały wyższy poziom ATP, za sprawą zarówno wyższej aktywności enzymów uczestniczących w oksydacyjnej fosforylacji, a także wyższej dostępności NADH. Co więcej, zwiększony poziom NAD^+ oraz aktywność kinazy NAD^+ i dehydrogenazy glukozy-6-fosforanowej przyczyniły się do większej zawartości NADPH w owocach. Wyższy poziom antyoksydantów wspólnie z podwyższoną aktywnością enzymów antyoksydacyjnych spowodowały, że owoce ozonowane charakteryzowały się mniejszym poziomem reaktywnych form tlenu, zwiększając tym samym odporność owoców na uszkodzenia tkanki spowodowane stresem abiotycznym i biotycznym, a w konsekwencji przyczyniając się do poprawy jakości owoców w trakcie przechowywania. Zatem uzyskane w ramach powyższych badań wyniki, zarówno uzupełniają dotychczasową wiedzę, wpisując się w dyscyplinę technologia żywności i żywienia, w zakresie wpływu ozonowania na jakość owoców jagodowych, ale także motywują do szerszego wykorzystania tego procesu, nie tylko do przedłużania dostępności świeżych owoców jagodowych, ale również do poprawiania ich wartości żywieniowej na drodze elicytacji.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej

W trakcie studiów doktoranckich na Wydziale Biologiczno-Rolniczym (obecne Kolegium Nauk Przyrodniczych) Uniwersytetu Rzeszowskiego, realizowałem określone prace badawcze w Instytucie Podstaw Chemii Żywności Politechniki Łódzkiej (obecny Instytut Surowców Naturalnych i Kosmetyków) w zakresie pozyskiwania substancji bioaktywnych z łuski cebuli, które są częścią mojej rozprawy doktorskiej pt. „Pozyskiwanie związków bioaktywnych z łuski cebuli oraz ich wykorzystanie w produkcji żywności funkcjonalnej”, która została obroniona na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności P.Ł. Spełnia to ustawowy wymóg (Art. 219 pkt.3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) o

wykazaniu istotnej aktywnością naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej. Ponadto, część tych badań została przedstawiona w publikacji:

- **Piechowiak T.**, Grzelak-Błaszczak K., Bonikowski R., Balawejder M. 2020. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT. Food Science and Technology*, 117: 108614. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108614, IF = 4,006²⁰¹⁹, MEiN = 100 pkt. [załącznik 14]

Od 2020 roku jestem zaangażowany w prace badawcze, których koordynatorami są naukowcy z Katedry Biotechnologii i Biologii Komórki, Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie: dr hab. n. med. Konrad Szychowski, prof. WSiZ oraz mgr inż. Bartosz Skóra [załącznik 15]. Badania dotyczą wykorzystania liposomów zawierających nanocząstki srebra w terapii przeciwnowotworowej i kierunkowaniem ich toksycznego działania; oceny wpływu nanocząstek srebra na proces adipogenezy komórek ssaczych *in vitro*; określenia wpływu triklosanu na aktywność metaboliczną oraz stopień metylacji DNA w linii komórkowej raka języka (SCC-15). Uzyskane dotychczas wyniki badań zostały opublikowane w poniższych pracach:

- Skóra B., **Piechowiak T.**, Szychowski K.A., Gmiński J. 2021. Entrapment of silver nanoparticles in L- α -phosphatidylcholine/cholesterol-based liposomes mitigates the oxidative stress in human keratinocyte (HaCaT) cells. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 166: 163-174. DOI: 10.1016/j.ejpb.2021.06.006. IF = 5,571²⁰²⁰, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 16]
- Skóra B., **Piechowiak T.**, Szychowski K.A. 2022. Epidermal Growth Factor-labeled liposomes as a way to target the toxicity of silver nanoparticles into EGFR-overexpressing cancer cells in vitro. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 443(11): 116009. DOI: 10.1016/j.taap.2022.116009. IF = 4,460²⁰²¹, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 17]
- Szychowski K.A., Skóra B., Bar M., **Piechowiak T.**, 2022. Triclosan (TCS) affects the level of DNA methylation in the human oral squamous cell carcinoma (SCC-15) cell line in a nontoxic concentration. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 149:112815. DOI: 10.1016/j.biopha.2022.112815. IF = 7,419²⁰²¹, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 18]

Ponadto w okresie od 7.11.2022 r. do 14.11.2022 r. odbywałem staż naukowy w Katedrze Biotechnologii i Biologii Komórki Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, w zakresie wykorzystania technik biologii molekularnej do oceny zmian metabolicznych w owocach jagodowych w trakcie przechowywania”. [załącznik 19]

W latach 2020/2021, wspólnie z mgr inż. Bartoszem Skórą oraz naukowcami z Wydziału Biotechnologii i Nauk o Żywności Politechniki Łódzkiej, dr inż. Katarzyną Grzelak-Błaszczuk oraz dr inż. Michałem Sójką, realizowałem temat badawczy dotyczący pozyskiwania frakcji bioaktywnej z pozostałości po tłoczeniu soków z owoców borówki wysokiej oraz oceny ich właściwości biologicznych z wykorzystaniem unieśmiertelnionej linii komórkowej keratynocytów ludzkich (HaCaT). Efektem tej współpracy było opublikowanie pracy:

- **Piechowiak T.**, Skóra B., Grzelak-Błaszczuk K., Sójka M. 2021. Extraction of antioxidant compounds from blueberry fruit waste and evaluation of their *in vitro* biological activity in human keratinocytes (HaCaT). *Food Analytical Methods*, 14: 2317-2327. DOI: 10.1007/s12161-021-02056-7. IF = 3,366²⁰²⁰, MEiN* = 70 pkt. [załącznik 20]

W ramach prowadzonych prac badawczych, wykazuję się także istotną aktywnością naukową w innych jednostkach Uniwersytetu Rzeszowskiego. Od rozpoczęcia pracy w Uniwersytecie Rzeszowskim, współpracuję z pracownikami Zakładu Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej (dr hab. inż. Natalią Matłok, prof. UR oraz dr inż. Miłoszem Zardzewiałym) w zakresie wykorzystania ozonu jako środka przedłużającego trwałość surowców roślinnych i poprawiającego ich wartość biologiczną oraz badania wpływu nowych formułacji nawozów na markery stresu oksydacyjnego w roślinach uprawnych, a także pracownikami Zakładu Produkcji Roślinnej (z dr inż. Dagmarą Migut oraz dr inż. Martą Jańczak-Pieniążek), w zakresie badania wpływu aplikacji pochodnych kwercetyny na przebieg procesów fizjologicznych i markerów stresu oksydacyjnego roślin uprawnych narażonych na działanie różnych czynników wywołujących stres abiotyczny (wspólnie z prof. dr hab. inż. Maciejem Balawejderem). Efektem tej działalności było dotychczas opublikowanie kilkunastu artykułów naukowych, tj.:

- Matłok N., **Piechowiak T.**, Kapusta I., Królikowski K., Balawejder M. 2022. Induction of biosynthesis antioxidant molecules in young barley plants by trioxygen. *Molecules*, 27(21), 7195. DOI: 10.3390/molecules27217195. IF = 4,927²⁰²¹. MEiN = 140 pkt. [załącznik 21]

- Matłok N., **Piechowiak T.**, Zardzewiały M., Balawejder M., 2022. Effects of post-harvest ozone treatment on some molecular stability markers of *Amelanchier alnifolia* Nutt. fruit during cold storage. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19): 11152. DOI: 10.3390/ijms231911152. IF = 6,208²⁰²¹, MEiN = 140 pkt. [załącznik 22]
- Matłok N., **Piechowiak T.**, Zardzewiały M., Balawejder M. 2022. Effect of Ozone Treatment on the Contents of Selected Bioactive Phytochemicals in Leaves of Alligator Plant *Kalanchoe daigremontiana*. *Applied Sciences*, 12: 8934. DOI: 10.3390/app12188934. IF = 2,838²⁰²¹, MEiN = 100 pkt. [załącznik 23]
- Matłok N., **Piechowiak T.**, Królikowski K., Balawejder M. 2022. Mechanism of Reduction of Drought-Induced Oxidative Stress in Maize Plants by Fertilizer Seed Coating. *Agriculture*, 12(5): 662. DOI: 10.3390/agriculture12050662. IF = 3,408²⁰²¹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 24]
- Pieniążek-Jańczak M., Migut D., **Piechowiak T.**, Balawejder M. 2022. Assessment of the Impact of the Application of a Quercetin—Copper Complex on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Plants (*Triticum aestivum* L.) Growing under Saline Conditions. *Cells*, 11(7): 1141. DOI: 10.3390/cells11071141. IF = 7,666²⁰²¹. MEiN* = 140 pkt. [załącznik 25]
- Balawejder M., Matłok N., Sowa W., Kończyk N., **Piechowiak T.**, Zapałowska A. 2021. Effect of two types of ozone treatments on the quality of apple fruits. *Acta Universitatis Cibiniensis Series E Food Technology*, 25(2): 285-292. DOI: 10.2478/auaft-2021-0026. MEiN* = 140 pkt. [załącznik 26]
- Matłok N., Kapusta I., **Piechowiak T.**, Zardzewiały M., Gorzelany J., Balawejder M. 2021. Characterisation of Some Phytochemicals Extracted from Black Elder (*Sambucus nigra* L.) Flowers Subjected to Ozone Treatment. *Molecules*, 26(18): 5548. DOI: 10.3390/molecules26185548. IF = 4,411²⁰²⁰, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 27]
- Migut D., Jańczak-Pieniążek M., **Piechowiak T.**, Buczek J., Balawejder M. 2021. Physiological response of maize plants (*Zea mays* L.) to the use of the potassium quercetin derivative. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14): 7384. DOI: 10.3390/ijms22147384. IF = 5,923²⁰²⁰, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 28]

- Jańczak-Pieniążek M., Migut D., **Piechowiak T.**, Buczek J., Balawejder M. 2021. The Effect of Exogenous Application of Quercetin Derivative Solutions on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13): 6882. DOI: 10.3390/ijms22136882. IF = 5,923²⁰²⁰, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 29]
- Zapałowska A., Matłok N., Zardzewiały M., **Piechowiak T.**, Balawejder M. 2021. Effect of ozone treatment on the quality of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Plants*, 10(5): 847. DOI: 10.3390/plants10050847. IF = 3,935²⁰²⁰, MEiN* = 70 pkt. [załącznik 30]
- Matłok N., Gorzelany J., **Piechowiak T.**, Balawejder M. 2020. Influence of Drying Temperature on the Content of Bioactive Compounds in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Shoots as Well as Yield and Composition of Essential Oils. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 24(1): 15-24. DOI: 10.2478/auaft-2020-0002. MEiN* = 140 pkt. [załącznik 31]
- Matłok N., Gorzelany J., **Piechowiak T.**, Antos P., Zardzewiały M., Balawejder M. 2020. Impact of Ozonation Process on the Content of Bioactive Compounds with Antioxidant Properties in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Shoots as Well as Yield and Composition of Essential Oils. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology* 24(2): 146-155. DOI: 10.2478/auaft-2020-0013. MEiN* = 140 pkt. [załącznik 32]
- Matłok N., **Piechowiak T.**, Zardzewiały M., Gorzelany J., Balawejder M. 2020. Effects of Ozone Treatment on Microbial Status and the Contents of Selected Bioactive Compounds in *Origanum majorana* L. *Plants*. *Plants*, 9(12): 1637. DOI: 10.3390/plants9121637. IF = 2,762²⁰¹⁹, MEiN* = 70 pkt. [załącznik 33]
- Zardzewiały M., Matłok N., **Piechowiak T.**, Gorzelany J., Balawejder M. 2020. Ozone Treatment as a Process of Quality Improvement Method of Rhubarb (*Rheum raphaniticum* L.) Petioles during Storage. *Applied Sciences*, 10(22): 8282. DOI: 10.3390/app10228282, IF = 2,474²⁰¹⁹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 34]
- Szpunar Krok E., Jańczak-Pieniążek M., Migut D., Skrobacz K., **Piechowiak T.**, Pawlak R., Balawejder M. 2020. Physiological and Biochemical Properties of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Response to Ozone-Induced Oxidative Stress. *Agronomy*, 10(11): 1745. DOI: 10.3390/agronomy10111745, IF = 2,603²⁰¹⁹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 35]

- Matłok N., **Piechowiak T.**, Gorzelany J., Zardzewiały M., Balawejder M. 2020. Effect of Ozone Fumigation on Physiological Processes and Bioactive Compounds of Red-Veined Sorrel (*Rumex sanguineus*). *Agronomy*, 10(11): 1726. DOI: 10.3390/agronomy10111726, IF = 2,603²⁰¹⁹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 36]

* - Punktacja wykazu czasopism MEiN z 1.12.2021 r.

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

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Od rozpoczęcia pracy w Zakładzie Chemii i Toksykologii Żywności Uniwersytetu Rzeszowskiego, na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego, prowadzę zajęcia ze studentami na kierunkach:

- Technologia żywności i żywienie człowieka: inżynieria procesowa w przemyśle spożywczym (ćwiczenia laboratoryjne), biochemia żywności (ćwiczenia laboratoryjne), analiza żywności (ćwiczenia laboratoryjne), statystyka w badaniach żywności (ćwiczenia), procesy enzymatyczne w produkcji żywności (ćwiczenia laboratoryjne), analiza chromatograficzna i walidacja metod (ćwiczenia laboratoryjne), współczesne kierunki w analizie żywności (wykłady i ćwiczenia laboratoryjne), analityka substancji smakowo-zapachowych (ćwiczenia laboratoryjne).
- Odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami: podstawy inżynierii procesowej (ćwiczenia laboratoryjne), systemy kontrolno-pomiarowe (ćwiczenia laboratoryjne), remediacja i bioremediacja gruntów (ćwiczenia laboratoryjne).
- Dietetyka: analiza i ocena jakości żywności (ćwiczenia laboratoryjne).

W ramach działalności dydaktycznej jestem koordynatorem przedmiotu współczesne kierunki w analizie żywności na kierunku technologia żywności i żywienie człowieka, a także jak do tej pory byłem promotorem 5 prac inżynierskich, 5 prac magisterskich oraz recenzentem 15 prac dyplomowych (łącznie inżynierskich i magisterskich) na kierunku technologia żywności i żywienie człowieka.

6.2. Działalność organizacyjna

Decyzją Rektora Uniwersytetu Rzeszowskiego nr 115/2020 z dnia 19.10.2020 r. zostałem powołany na członka Rady Młodych Naukowców Uniwersytetu Rzeszowskiego oraz członka Komisji ds. oceny uczelnianych grantów dla młodych naukowców zgodnie z zarządzeniem Rektora UR nr 10/2021 z dnia 26.01.2021 r. Ponadto, decyzją Prorektor d.s. Kolegium Nauk Przyrodniczych z dnia 4.05.2021 r. zostałem powołany na członka Komisji ds. opracowania Strategii Rozwoju Kolegium Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Rzeszowskiego w zakresie obszaru IV. Nauka/Rozwój Badań Naukowych. [załączniki 37-39]

W trakcie odbywania studiów doktoranckich uczestniczyłem w organizacji konferencji naukowej pt. „III Podkarpacka Konferencja Młodych Naukowców”, która odbyła się w Rzeszowie 12-14 października 2017 r.

6.3. Działalność popularyzatorska

Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałem trzy artykuły popularnonaukowe, w których jestem jedynym lub pierwszym współautorem:

- **Piechowiak T.** Baławejder M. 2017. Całkowita zdolność antyoksydacyjna i wybrane metody jej wyznaczania w produktach roślinnych. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 61(5), 14-16. [załącznik 40]
- **Piechowiak T.** 2016. Właściwości fermentacyjne mąki jako element wartości wypiekowej. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, nr 10, 70-72. [załącznik 41]
- **Piechowiak T.** 2016. Możliwości wykorzystania ozonu w przechowywalnictwie owoców. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 60(7-8), 22-25. [załącznik 42]

W trakcie odbywania studiów doktoranckich oraz po uzyskaniu stopnia doktora uczestniczyłem w konferencjach naukowych, na których zaprezentowałem wyniki prowadzonych prac badawczych, w postaci referatów ustnych oraz plakatów, tj.:

- Migut D., Jańczak-Pieniążek M., **Piechowiak T.**, Skrobacz K. 1st International Online Conference on Agriculture—Advances in Agricultural Science and Technology (IOCAG2022). 10-25.02.2022 r. Współautorstwo tematu: *Effect of Exogenous Application*

of an Aqueous Quercetin Solution on the Physiological Properties of Andropogon gerardi Plants. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12341>.

- Jańczak-Pieniążek M., Migut D., **Piechowiak T.** 1st International Online Conference on Agriculture—Advances in Agricultural Science and Technology (IOCAG2022). 10-25.02.2022 r. Współautorstwo tematu: *The Effect of Exogenous Copper–Quercetin Complex on Wheat (Triticum aestivum L.) Seedlings Growth under Drought Stress*. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12209>
- **Piechowiak T.** Sowa-Borowiec P., Skóra B., Tarapatskyy M., Balawejder M. Ogólnopolskiej Konferencja Naukowej „Człowiek - Żywność -Środowisko”. 15 października 2021 r. Rzeszów. Współautorstwo i prezentacja tematu: „*Zmiany zawartości polifenoli w owocach borówki wysokiej (Vaccinium corymbosum L.) przechowywanej w atmosferze ozonu*”.
- Balawejder M., Józefczyk R., **Piechowiak T.** IV Konferencja Naukowa „Retardacja przekształcania zasobów środowiska. Osiągnięcia, problemy, perspektywy”. 2-3 marca 2020 r. Rzeszów. Współautorstwo tematu: „*Ozonowanie jako małoinwazyjna metoda oczyszczania elementów środowiska*”.
- Balawejder M., Józefczyk R., **Piechowiak T.** IV Konferencja Naukowa „Retardacja przekształcania zasobów środowiska. Osiągnięcia, problemy, perspektywy”. 2-3 marca 2020 r. Rzeszów. Współautorstwo tematu: „*Przetwarzanie odpadów z produkcji cebuli w żywność funkcjonalną*”.
- **Piechowiak T.** Balawejder M. 23 Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej. 2-5 czerwca 2019 r. Warszawa. Współautorstwo tematu: „*Optimization of bioactive compounds extraction from onion skin Allium cepa L.*”
- Antos P., Tereszkievicz K., **Piechowiak T.**, Balawejder M. VI konferencja pt. “Rośliny zielarskie, kosmetyki naturalne i żywność funkcjonalna. Medycyna komplementarna w zapobieganiu i leczeniu chorób cywilizacyjnych”. Krosno, 9-10 maja 2019 r. Współautorstwo tematu: „*Wpływ ozonowania jako metody zabezpieczenia produktów spożywczych przed skażeniem mikrobiologicznym w trakcie przechowywania na jakość żywności*”.

- **Piechowiak T.**, Droba M., Balawejder M. Enzymos – Enzymy w nauce i przemyśle. Lublin, 17.11.2018. Współautorstwo i wygłoszenie referatu: „*Wpływ ekstraktu z łuski cebuli na poziom markerów stresu oksydacyjnego w komórkach drożdży Saccharomyces cerevisiae narażonych na pro-oksydacyjne działanie kadmu*”.
- **Piechowiak T.**, Skrobacz K., Balawejder M. VII Krajowe Sympozjum. Naturalne i syntetyczne produkty zapachowe i kosmetyczne. Łódź, 2-4.07.2018. Współautorstwo i wygłoszenie referatu: „*Wpływ ozonowania na wybrane parametry biochemiczne i mikrobiologiczne orzechów włoskich*”.
- **Piechowiak T.**, Antos P., Balawejder M. International Scientific Conference: Chemical Technology & Engineering. Ukraine - Lviv, 26-30.07.2017. Współautorstwo i wygłoszenie referatu: „*Utilization of ozonation process in the fluidized bed reactor for modification of some parameters of wheat flour*”.

W trakcie mojej pracy naukowej prowadziłem warsztaty laboratoryjne dla uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych tj.:

- 22.03.2022 r. Dzień Technologa Żywności. Dni Otwarte Instytutu Technologii Żywności i Żywnienia w Uniwersytecie Rzeszowskim. Prowadzenie warsztatów (laboratoriów) pt. „Owoce jagodowe jako źródło substancji prozdrowotnych”.
- 21.06.2017 r. Warsztaty laboratoryjne dla uczestników Pierwszego Międzyszkolnego Konkursu „Doświadczenia wokół nas” w Katedrze Chemii i Toksykologii Żywności Uniwersytetu Rzeszowskiego. [załącznik 43]

W ramach działalności popularyzatorskiej, udzieliłem wywiadu do Polskiego Radia Rzeszów, który dotyczył wykorzystania ozonu w przechowywaniu owoców jagodowych i realizacji projektu OPUS 18 „Rola metabolizmu energetycznego mitochondriów w kształtowaniu jakości owoców jagodowych przechowywanych w atmosferze ozonu” (11.08.2021 r.).

Od września 2021 r. pełnię funkcję edytora gościnnego wydania specjalnego „*Postharvest Physiology and Disease of Fruits*”, w czasopiśmie *Horticulturae* (IF = 2,923²⁰²¹, wydawnictwo MDPI) oraz edytora recenzującego w sekcji „*Plant Physiology*” w czasopiśmie *Frontiers in Plant Science* (IF = 6,627²⁰²¹, wydawnictwo Frontiers Media) [załącznik 44].

Przez cały okres dotychczasowej pracy naukowej, na zaproszenie edytorów, byłem recenzentem wielu artykułów naukowych, w czasopismach wydawanych przez ELSEVIER (*Postharvest Biology and Technology* – 5 recenzji; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* - 4 recenzje), Springer (*Food Analytical Methods* – 1 recenzja; *Plant Foods for Human Nutrition* – 1 recenzja) oraz MDPI (*Foods* – 12 recenzji; *Sustainability* – 6 recenzji; *Plants* – 5 recenzji; *Molecules* – 3 recenzje; *International Journal of Environmental Research and Public Health* – 3 recenzje; *Antioxidants* – 2 recenzje; *International Journal of Molecular Sciences* – 2 recenzje; *Energies* – 2 recenzje; *Agronomy* – 2 recenzje; *Pharmaceuticals* – 1 recenzja; *Journal of Marine Science and Engineering* – 1 recenzja; *Ecologies* – 1 recenzja; *Atmosphere* – 1 recenzja; *Biology and Life Science Forum* – 1 recenzja. Ponadto, od sierpnia 2022 r. pełnię funkcję stałego recenzenta-wolontariusza w czasopismach wydawanych przez MDPI (*Antioxidants*, *Foods*, *Molecules*). [załącznik 45]

7. Informacje dodatkowe dotyczące kariery naukowej

7.1. Kierowanie projektami badawczymi

W 2020 roku otrzymałem finansowanie z Narodowego Centrum Nauki na realizację projektu badawczego pt. „Rola metabolizmu energetycznego mitochondriów w kształtowaniu jakości owoców jagodowych przechowywanych w atmosferze ozonu”, w ramach programu OPUS (nr projektu: 2019/35/B/NZ9/01552). W projekcie tym pełniłem funkcję kierownika.

W chwili obecnej jestem liderem zespołu badawczego, realizującego grant „Badania nad wykorzystaniem młodych pędów sosny jako źródła związków bioaktywnych do wytwarzania prozdrowotnych wyrobów cukierniczych”, w ramach projektu Regionalna Inicjatywa Doskonałości, „Rozwój potencjału badawczego w obszarze nauk rolniczych UR szansą dla gospodarki żywnościowej”. Nazwa zadania: Badania nad modyfikacją procesów wytwarzania i składu w celu zwiększenia potencjału biologicznego żywności.

7.2. Działalność wynalazcza

Efektem prowadzenia prac badawczo-rozwojowych, wspólnie z pracownikami z innych jednostek, jestem głównym autorem lub współautorem kilku zgłoszeń patentowych:

- P.441917. **Piechowiak T.**, Balawejder M., Matłok N. 2022. Sposób otrzymywania prozdrowotnych wyrobów cukierniczych w postaci żelków owocowych. [załącznik 46]

- P.441824. Matłok N., Balawejder M., Zardzewiały M., **Piechowiak T.** 2022. Sposób modyfikacji właściwości biologicznych roślin żyworódki. [załącznik 47]
- P.434648. Balawejder M., Matłok N., **Piechowiak T.** 2022. Sposób otrzymywania surowca z młodych pędów sosny, produkt o podwyższonej wartości farmaceutycznej i jego zastosowanie. [załącznik 48]
- P.436578. Balawejder M., **Piechowiak T.**, 2020. Sposób otrzymywania powłoki antyoksydacyjnej oraz sposób przedłużania trwałości przechowalniczej olejów roślinnych lub produktów je zawierających podczas przechowywania ich w opakowaniu powleczonym tą powłoką. [załącznik 49]
- P.436581. Matłok N., Balawejder M., Zardzewiały M., **Piechowiak T.** 2020. Sposób uprawy roślin pomidora, sposób przesuwania okresu wegetacyjnego roślin pomidora, sposób przedłużania trwałości przechowalniczej owoców pomidora, sposób przesuwania czasu osiągnięcia dojrzałości pomidora zielonego po jego zbiorze oraz zastosowanie ozonu w realizacji tych sposobów. [załącznik 50]
- P.424683. Balawejder M., **Piechowiak T.** 2018. Sposób otrzymywania ekstraktu z łupin cebuli oraz ekstrakt z łupin cebuli otrzymany tym sposobem (prawa do tego wynalazku zostały skutecznie skomercjalizowane). [załącznik 51]

7.3. Działalność badawczo-rozwojowa

W trakcie całej pracy zawodowej byłem wykonawcą w projektach badawczo-rozwojowych, finansowanych przez różne źródła:

- 1.07.2022 r. – 30.09.2022 r. „Innowacyjna technologia produkcji owoców jagodowych na przykładzie maliny o podwyższonej zawartości związków bioaktywnych oraz zwiększonej wartości handlowej”. Program „WSPÓŁPRACA M16” ARiMR, umowa o przyznanie pomocy nr 00024.DDD6509.00014.2019.07 z dnia 18.02.2021.
- 1.07.2021 r. – nadal. „Opracowanie rozpuszczalnych ekstraktów roślinnych wzbogaconych w procesie ozonowania”. Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020. Działanie 2.3. Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw, poddziałanie 2.3.2. Bony na innowacje dla MŚP. POIR.02.03.02-12-0125/20. Źródło finansowania: Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości.

- 1.12.2019 - 31.12.2019 r. „Zaimplementowanie i dostosowanie do warunków klimatyczno-glebowych Polski innowacyjnej technologii produkcji owoców z zamkniętym systemem nawadniania i biofortyfikacji jodem i selenem na przykładzie żurawiny”. Nazwa programu: „WSPÓŁPRACA M16” ARiMR. Źródło finansowania: Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa.
- 5.06. 2019 – 30.11.2019 r. „Opracowanie i testowanie pochodnych polifenoli do żywności funkcjonalnej w Diatta”. Nazwa programu: Oś priorytetowa: II Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I. Działanie: 2.3. Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw. Poddziałanie: 2.3.2. Bony na innowacje dla MŚP. POIR.02.03.02-14-0144/18. Źródło finansowania: Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości.

7.4. Uzyskane stypendia i nagrody za osiągnięcia naukowe i badawczo-rozwojowe

W 2021 roku uzyskałem stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla wybitnych młodych uczonych (nr umowy 63.2021), z kolei w roku 2020 stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców decyzją MNiSW o numerze STYP/15/0765/E-546/2020. [załączniki 52-53]

W 2021 roku wspólnie z dr inż. Natalią Matłok, dr inż. Miłoszem Zardzewiałym oraz prof. dr hab. Maciejem Balawejderem za wynalazek: „Sposób uprawy roślin pomidora, sposób przesuwania okresu wegetacyjnego roślin pomidora, sposób przedłużania trwałości przechowalniczej owoców pomidora, sposób przesuwania czasu osiągnięcia dojrzałości pomidora zielonego po jego zbiorze oraz zastosowanie ozonu w realizacji tych sposobów”, otrzymaliśmy Złoty Medal na XIV Międzynarodowych Targach Wynalazków i Innowacji INTARG 2021. Ponadto, na 15 Międzynarodowych Targach Wynalazków i Innowacji INTARG, zorganizowanych w 2022 roku, za wspomniany wynalazek otrzymaliśmy wyróżnienie Ministra Edukacji i Nauki za wysokiej rangi nagrody uzyskane w związku z prezentacją w 2021 roku na XIV Międzynarodowych Targach Wynalazczości. [załącznik 54-55]

W 2021 roku otrzymałem nominację do Nagrody Naukowiec Przyszłości 2021 w kategorii „Nauka dla lepszego życia w przyszłości”, za realizację projektu „Rola metabolizmu energetycznego mitochondriów w kształtowaniu jakości owoców

jagodowych przechowywanych w atmosferze ozonu” przyznana przez Centrum Inteligentnego Rozwoju. [załącznik 56]

7.5. Pozostałe publikacje naukowe, nie wskazane w rozdziałach 4 i 5

Badania nad wykorzystaniem technologii ozonowania w przetwórstwie spożywczym rozpocząłem jeszcze na etapie studiów doktoranckich. Skupiały się one na ocenie skuteczności przeciwdrobnoustrojowej ozonu oraz jego wpływu na potencjał antyoksydacyjny owoców borówki wysokiej, maliny oraz czarnej porzeczki podczas przechowywania. Wyniki tych badań były podstawą do rozszerzenia problematyki związanej z wpływem ozonu na jakość owoców, która jest tematem przedstawianego dzieła habilitacyjnego. Efektem wspomnianych badań, było opublikowanie poniższych prac:

- **Piechowiak T.**, Antos P., Józefczyk R., Kosowski P., Skrobacz K., Balawejder M. **2018**. Impact of ozonation process on the microbiological contamination and antioxidant capacity of highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit during cold storage. *Ozone Science & Engineering*, 41(4): 376-385. DOI: 10.1080/01919512.2018.1540922. IF = 1,232²⁰¹⁷, MEiN* = 40 pkt. [załącznik 57]
- **Piechowiak T.**, Antos P., Kosowski P., Skrobacz K., Józefczyk R., Balawejder M. **2019**. Impact of ozonation process on the microbiological and antioxidant status of raspberries (*Rubus ideaus* L.) during storage at room temperature. *Agricultural and Food Science*, 28(1): 35-44. DOI: 10.23986/afsci.70291. IF = 1,2²⁰¹⁸, MEiN* = 70 pkt. [załącznik 58]
- **Piechowiak T.**, Balawejder M. **2019**. Impact of ozonation process on the antioxidant status of blackcurrant *Ribes nigrum* L. fruit. *Journal of Berry Research*, 9(4): 575-585. DOI:10.3233/JBR-190397. IF = 2,379²⁰¹⁸, MEiN* = 70 pkt. [załącznik 59]
- **Piechowiak T.**, Skóra B., Balawejder M. **2020**. Ozone treatment induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 13: 1240-1245. DOI: 10.1007/s11947-020-02450-9. IF = 3,356²⁰¹⁹, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 60]

Technologię ozonowania (w stanie fluidalnym) wykorzystałem również do modyfikowania właściwości enzymatycznych mąki pszennej i poprawy jej właściwości wypiekowych. Temat ten oraz wyniki uzyskanych badań przedstawiłem w artykule opublikowanym w *Journal of Cereal Science*. Z kolei przegląd literatury związany z wykorzystaniem ozonu w przechowywaniu i przetwórstwie ziarna zbóż opublikowałem w *Przeglądzie Zbożowo-Młynarskim*:

- **Piechowiak T., Józefczyk R., Balawejder M. 2018.** Impact of ozonation process of wheat flour on the activity of selected enzymes. *Journal of Cereal Science*, 84: 30-37. DOI: 10.1016/j.jcs.2018.09.010, IF = 2,303²⁰¹⁷, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 61]
- **Piechowiak T. Balawejder M. 2017.** Wykorzystanie ozonu w przechowywaniu ziarna zbóż. Cz. 1. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 61(2), 18-21. MEiN* = 20 pkt. [załącznik 62]
- **Piechowiak T. Balawejder M. 2017.** Wykorzystanie ozonu w przechowywaniu ziarna zbóż. Cz. 2. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 61(3), 22-26. MEiN* = 20 pkt. [załącznik 63]

Przed uzyskaniem stopnia doktora, prowadziłem również badania związane z charakterystyką właściwości prozdrowotnych ekologicznych płatków zbożowych, pozyskanych z różnych gatunków zbóż. Uzyskane wyniki badań dotyczące aktywności antyutleniającej oraz profilu kwasów tłuszczowych płatków zbożowych zostały przedstawione w poniższych artykułach:

- **Piechowiak T. Balawejder M. 2018.** Charakterystyka profilu kwasów tłuszczowych płatków zbożowych różnego pochodzenia. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 64(6), 34-36 MEiN* = 20 pkt. [załącznik 64]
- **Piechowiak T. Balawejder M. 2018.** Antyoksydacyjne właściwości płatków zbożowych różnego pochodzenia. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 62(3), 34-37 MEiN* = 20 pkt. [załącznik 65]

Głównym problemem badawczym, realizowanym w pracy doktorskiej, było poszukiwanie możliwości wykorzystania łuski cebuli jako źródła substancji o charakterze bioaktywnym, w produkcji żywności funkcjonalnej. Efektem tych prac była zarówno napisanie i obrona rozprawy doktorskiej „Pozyskiwanie związków bioaktywnych z łuski cebuli oraz ich wykorzystanie w produkcji żywności funkcjonalnej” (stopień doktora nauk

technicznych z wyróżnieniem nadany przez Radę Wydziału BiNoŻ P.Ł.), jak również opublikowanie części uzyskanych wyników w takich czasopismach jak *LWT. Food Science and Technology* (pkt. 5.1.), *Journal of Food Biochemistry* oraz *Polish Journal of Sustainable Development*:

- **Piechowiak T., Balawejder M. 2019.** Onion skin extract as a protective agent against oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* induced by cadmium. *Journal of Food Biochemistry*, 43(7): e12872. DOI: 10.1111/jfbc.12872, IF = 1,552²⁰¹⁸, MEiN* = 40 pkt. [załącznik 66]
- **Piechowiak T., Józefczyk R., Balawejder M. 2020.** Przetwarzanie odpadów z produkcji cebuli w żywność funkcjonalną. *Polish Journal for Sustainable Development*, 24(1): 103-116. DOI: 10.15584/pjsd.2020.24.1.11. [załącznik 67]

Temat związany z wykorzystaniem frakcji bioaktywnej z łuski cebuli w przetwórstwie żywności był kontynuowany również po obronie rozprawy doktorskiej. W pracy opublikowanej w *Food Packaging and Shelf Life* opisałem zdolność powłoki lecytynowo-flawonoidowej (zawierającej ekstrakt z łuski cebuli), aplikowanej na wewnętrzne ścianki butelki do przedłużania trwałości oksydacyjnej oleju lnianego, tłoczonego na zimno:

- **Piechowiak T., Balawejder M. 2021.** The study on the use of flavonoid-phosphatidylcholine coating in extending the oxidative stability of flaxseed oil during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 28: 100643. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100643. IF = 6,429²⁰²⁰, MEiN* = 100 pkt. [załącznik 68]

W ramach swojej pracy badawczej, realizowałem również temat związany z wykorzystaniem powłok jadalnych w przedłużaniu trwałości owoców jagodowych. W poniższej pracy, opublikowałem wyniki, które przedstawiają wpływ powłoki żelatynowo-skrobiowej, zawierającej olejek cytrynowy na stan mikrobiologiczny, jakość oraz potencjał antyoksydacyjny, w tym markery stresu oksydacyjnego owoców borówki podczas przechowywania:

- **Piechowiak T., Grzelak-Błaszczak K., Sójka M., Skóra B., Balawejder M. 2022.** Quality and antioxidant activity of highbush blueberry fruit coated with starch-based and gelatine-

based film enriched with cinnamon oil. *Food Control*, 138(4): 109015.
DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109015. IF = 6,652²⁰²¹, MEiN* = 140 pkt. [załącznik 69]

* - Punktacja wykazu czasopism MEiN z 1.12.2021 r.

8. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej

8.1. Dorobek publikacyjny z uwzględnieniem czasopism wraz z odpowiednią dla nich punktacją MEiN i współczynnikiem Impact Factor

Tabela 1. Zestawienie dotychczasowego dorobku publikacyjnego.

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	Sumaryczna liczba punktów MEiN	Sumaryczny IF (za rok wydania)
Po uzyskaniu stopnia doktora			
<i>Agriculture</i>	1	100	3,408
<i>Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology</i>	4	560	-
<i>Agronomy</i>	2	200	5,206
<i>Antioxidants</i>	1	100	7,675
<i>Applied Sciences</i>	2	200	5,313
<i>Biomedicine & Pharmacotherapy</i>	1	140	7,419
<i>Cells</i>	1	140	7,666
<i>European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics</i>	1	100	5,571
<i>Food Analytical Methods</i>	1	70	3,366
<i>Food and Bioprocess Technology</i>	3	300	12,295
<i>Food Chemistry</i>	1	200	5,399
<i>Food Control</i>	1	140	6,652
<i>Food Packaging and Shelf Life</i>	1	100	6,429
<i>International Journal of</i>	3	420	18,054

<i>Molecular Sciences</i>			
<i>Journal of Biotechnology</i>	1	70	3,595
<i>Journal of Berry Research</i>	1	70	2,379
<i>Journal of the Science of Food and Agriculture</i>	1	100	4,125
<i>LWT. Food Science and Technology</i>	1	100	4,006
<i>Molecules</i>	2	280	9,338
<i>Phytochemistry</i>	2	200	8,031
<i>Plants</i>	2	140	6,697
<i>Polish Journal for Sustainable Development</i>	1	-	-
<i>Postharvest Biology and Technology</i>	1	140	4,303
<i>Sustainability</i>	1	70	2,576
<i>Toxicology and Applied Pharmacology</i>	1	140	4,46
Przed uzyskaniem stopnia doktora			
<i>Agricultural and Food Science</i>	1	70	1,2
<i>Journal of Cereal Science</i>	1	140	2,303
<i>Journal of Food Biochemistry</i>	1	40	1,552
<i>Ozone Science & Engineering</i>	1	40	1,232
<i>Przegląd Zbożowo-Młynarski</i>	5	100	-
<i>Przemysł Spożywczy</i>	1	20	-
<i>Żywność. Nauka. Technologia. Jakość</i>	1	20	-
Sumaryczny IF publikacji = 150,25, w tym po uzyskaniu stopnia doktora: 143,963			
Sumaryczna liczba punktów MEiN = 4510, w tym po uzyskaniu stopnia doktora: 4080*,			
h-index: 9, cytacje: 296 (wg bazy Scopus)**			
h-index: 9, cytacje: 265 (wg bazy Web of Science)**			
h-index: 10, cytacje: 407 (wg bazy Google Scholar)**			

* - punktacja wykazu czasopism MEiN z 1.12.2021 r. **- stan na 30.11.2022 r.

8.2. Pozostały dorobek naukowy

Tabela 2. Zestawienie pozostałego dorobku naukowego.

Rodzaj działalności	Przed doktoratem	Po doktoracie	Razem
Kierowanie i udział w projektach badawczych	-	6	6
Oryginalne prace twórcze, w tym w czasopismach z IF	4	33	37
Oryginalne prace twórcze, w tym czasopisma bez IF i popularnonaukowe	9	4	13
Wygłoszone referaty na konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych	4	7	11
Recenzowanie prac naukowych	-	54	54
Zgłoszenia patentowe	1	5	6
Nagrody i wyróżnienia	-	5	5
Staże naukowe	-	1	1