



Wrocław, 2.04.2025 r.

Prof. dr hab. Anna Michalska-Ciechanowska

Katedra technologii Owoców, Warzyw
i Nutraceutyków Roślinnych
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

RECENZJA

osiągnięcia naukowego w postaci cyklu tematycznie powiązanych artykułów naukowych pt. **„Metody sztucznej inteligencji do oceny parametrów jakościowych proszków z wybranych owoców jagodowych”** stanowiących wskazane osiągnięcie naukowe oraz pozostałych osiągnięć naukowych, współpracy naukowej, działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę

Pana dr inż. Krzysztofa Damiana Przybyła

w związku ze wszczęciem postępowania w celu nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia

Podstawą wykonania recenzji jest Uchwała nr. 2/VI/2025 podjęta przez Radę Naukową Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 23 stycznia 2025 roku w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż. Krzysztofowi Przybyłowi w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia.

Recenzję opracowano na podstawie przedłożonej dokumentacji:

Załącznik 1: Wniosek z dnia 10.09.2024 roku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia

Załącznik 2: Dane Wnioskodawcy

Załącznik 3: Autoreferat

Załącznik 4: Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia

Załącznik 5: Kopie publikacji

Załącznik 6: Oświadczenie współautorów prac

Załącznik 7: Potwierdzenia kopii pozostałych dokumentów

Załącznik 8: Kopia odpisu dyplomu doktora

przyjmując kryteria oceny wynikające z art. 219 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r (t.j., Dz. U. 2024, poz. 1571, ze zm.)

Sylwetka habilitanta

Dr inż. Krzysztof Przybył jest absolwentem Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. W 2022 roku ukończył studia drugiego stopnia na kierunku inżynieria rolnicza uzyskując tytuł magistra (temat pracy magisterskiej: *„Zastosowanie sieci neuronowej typu Kohonena jako klasyfikatora bezwzorcowego w wybranych zagadnieniach inżynierii rolniczej”*) pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Bronieckiego. Stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza uzyskał w 2015 roku po obronie pracy doktorskiej pt. *„Klasyfikacja uszkodzeń ziemniaków w procesie przechowywania za pomocą analizy obrazu”* wykonanej pod opieką prof. dr hab. inż. Piotra Bronieckiego oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Krzysztofa Koszeli.

Od 2015 roku do 2021 roku Pan dr inż. Krzysztof Przybył był zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego na Wydziale Nauk o Żywności i Żywienia Uniwersytetu Przyrodniczego z Poznaniu. Od 2021 roku pracuje na tym samym stanowisku w Katedrze Mleczarstwa i Inżynierii Procesowej na Wydziale Nauk o Żywności i Żywienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Od 2012 roku jest zatrudniony na stanowisku informatyka w Bibliotece Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, gdzie pracuje do chwili obecnej.

Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Pan dr inż. Krzysztof Przybył jako podstawę złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego wskazuje osiągnięcie naukowe w postaci cyklu 5 powiązanych tematycznie artykułów, które ukazały się w czasopismach z listy JCR w latach 2021-2024. Publikacje te zostały ujęte pod wspólnym tytułem **„Metody sztucznej inteligencji do oceny parametrów jakościowych proszków z wybranych owoców jagodowych”**, który zgodnie z art. 129 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.) może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. W przedstawiony cykl publikacji wchodzi

następujące pozycje, które w danym roku opublikowania były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 lit. B:

- 1) Przybył K., Samborska K., Koszela K.*, Masewicz L., Pawlak T. (2021) Artificial neural networks in the evaluation of the influence of the type and content of carrier on selected quality parameters of spray dried raspberry powders. *Measurement*, 186, 110014 (doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110014) – publikacja oznaczona we wniosku numerem **4.1.1.**
(200 pkt MNiSW/MEiN, IF₂₀₂₁ 5,131; WoS: 18, Scopus: 22).
- 2) Przybył K., Koszela K.*, Adamski F., Samborska K., Walkowiak K., Polarczyk M. (2021) Deep and machine learning using SEM, FTIR, and texture analysis to detect polysaccharide in raspberry powders. *Sensors*, 21(17), 5823 (doi.org/10.3390/s21175823) – publikacja oznaczona we wniosku numerem **4.1.2.**
(100 pkt MNiSW/MEiN, IF₂₀₂₁ 3,847; WoS: 21, Scopus: 25)
- 3) Przybył K., Walkowiak K., Jedlińska A., Samborska K.*, Masewicz L., Biegalski J., Pawlak T., Koszela K. (2023) Fruit powders analysis using machine learning based on color and FTIR-ATR spectroscopy. Case study: black currant powders. *Applied Sciences*, 13(5), 2965 (doi.org/10.3390/app13169098) – publikacja oznaczona we wniosku numerem **4.1.3.**
(100 pkt MNiSW/MEiN, IF₂₀₂₃ 2,5; WoS: 4, Scopus: 4)
- 4) Przybył K.*, Walkowiak K., Kowalczewski P.L. (2024) Efficiency of identification of blackcurrant powders using classifier ensembles, *Foods* 13(5), 697 (doi.org/10.3390/foods13050697) – publikacja oznaczona we wniosku numerem **4.1.4.**
(100 pkt MNiSW/MEiN, IF₂₀₂₃ 4,7; WoS: 1, Scopus: 1)
- 5) Przybył K*. (2024) Explainable AI: Machine learning interpretation in blackcurrant powders, *Sensors*, 24(10), 3198 (doi.org/10.3390/s24103198) – publikacja oznaczona we wniosku numerem **4.1.5.**
(100 pkt MNiSW/MEiN, IF₂₀₂₃ 3,4; WoS: 0, Scopus: 0)

* autor korespondencyjny

Pozycje 3 i 4 były finansowane w ramach działania badawczego MINIATURA, którego kierownikiem był dr inż. Krzysztof Przybył.

Zakres tematyczny przedstawionych artykułów odpowiada tytułowi osiągnięcia zaproponowanemu przez dr inż. Krzysztofa Przybyłę.

Prace zostały opublikowane w indeksowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Sumaryczny *Impact factor* prac (zgodny z rokiem wydania) wynosi 19,58 (od 2,5 do 5,131), a sumaryczna liczba punktów wg MNiSW/MEiN wynosi 600. Pierwsze dwie publikacje zostały zacytowane ok. 20 razy, co wskazuje, że tematyka dotycząca sztucznej inteligencji w dyscyplinie technologia żywności i żywienia wzbudza zainteresowanie środowiska naukowego.

Przedstawiony cykl artykułów w czterech przypadkach jest efektem pracy zespołów składających się z pięciu (praca 4.1.1), sześciu (praca 4.1.2), ośmiu (praca 4.1.3) i trzech (praca 4.1.4) autorów.

Publikacja (praca 4.1.5) jest pracą jedno autorską. We wszystkich wyżej wymienionych pracach dr inż. Krzysztof Przybył jest pierwszym autorem i w dwóch artykułach jest autorem korespondencyjnym. Jego udział w pracach, potwierdzony przez współautorów, obejmował, m.in., opracowanie koncepcji badań, opracowanie hipotez badawczych, metodologię, udział w wykonaniu doświadczeń, opracowanie manuskryptów i jak wskazuje Habilitant – opracowanie recenzji. Na podstawie opisu można założyć, że udział w opracowaniu prac stanowiących osiągnięcie naukowe dr inż. Krzysztofa Przybyła był znaczący, choć bardzo zbliżone opisy oraz określenia, np. „przygotowanie oprogramowania we współpracy z zespołem” nie doprecyzowują stopnia zaangażowania w te konkretne obszary.

Obecnie sztuczna inteligencja (SI) odgrywa coraz większą rolę w różnych sektorach, w tym w przemyśle spożywczym. Wykorzystanie narzędzi SI umożliwia optymalizację i automatyzację procesów produkcyjnych, usprawnienie przetwarzania żywności oraz zwiększenie jej bezpieczeństwa. Ponadto SI wspiera personalizację produktów spożywczych, dostosowując je do indywidualnych potrzeb konsumentów, a także przyczynia się do bardziej efektywnej dystrybucji żywności. Dzięki zastosowaniu technologii takich jak analiza danych, uczenie maszynowe i systemy predykcyjne, SI pozwala na precyzyjne prognozowanie popytu, redukcję marnotrawstwa oraz doskonalenie receptur i składu produktów, co prowadzi do bardziej zrównoważonej i wydajniejszej produkcji żywności. Dodatkowo, sztuczna inteligencja umożliwia bieżącą kontrolę jakości produktów, wykrywając odchylenia od norm i minimalizując ryzyko wprowadzenia wadliwych partii na rynek. Automatyzacja procesów oparta na SI pomaga także eliminować błędy ludzkie, które mogą prowadzić do strat finansowych, zwiększając tym samym efektywność i rentowność przedsiębiorstw spożywczych. Proszki owocowe stanowią jeden z nowszych rodzajów produktów spożywczych, które mogą spełniać kryteria żywności wygodnej i/lub funkcjonalnej. Żywność typu instant, w tym proszki uzyskane na bazie owoców, warzyw czy ziół, to atrakcyjna opcja dla konsumentów, oferująca szerokie możliwości zastosowania. Produkcja tego typu produktów może być również skuteczną alternatywą dla sezonowości surowców, pozwalając na ich dłuższą dostępność i wykorzystanie w różnych okresach roku. Sztuczna inteligencja może odgrywać ważną rolę w procesie produkcji roślinnych proszków spożywczych, wspierając dobór odpowiednich parametrów obróbki wstępnej surowców, suszenia, takich jak temperatura czy czas procesu, co pozwala zachować wysoką jakość i wartość odżywczą końcowego produktu. Algorytmy SI mogą analizować właściwości surowców oraz przewidywać odpowiednie warunki ich przetwarzania, przykładowo minimalizując straty składników bioaktywnych lub minimalizować powstawanie zanieczyszczeń procesowych. Ponadto systemy AI mogą monitorować skład i teksturę proszków w czasie rzeczywistym, zapewniając ich stałą jakość oraz eliminując ewentualne wady produktów. Dzięki zastosowaniu analizy predykcyjnej możliwe jest także dostosowanie łańcucha dostaw i zarządzanie zapasami, co wpływa na efektywność logistyczną oraz redukcję kosztów produkcji.

Na wstępie opracowania, dr inż. Krzysztof Przybył uzasadniając wybór tematyki badawczej odnosi się do owoców jako atrakcyjnych składników diety. Niestety, trudno się zgodzić z niektórymi stwierdzeniami, np. „*Owoce są podstawowymi składnikami prozdrowotnymi w diecie człowieka, czego potwierdzeniem jest łatwe ich przyswajanie w organizmie*” (Autoreferat, str. 8). Dalej Autor wskazuje,

że owoce „dostarczają dużo składników odżywczych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu (węglowodany, białko, witaminy), a także składniki mineralne, błonnik, antyoksydanty czy wodę”. Warto zaznaczyć, że woda jest w większości owoców przeważającym składnikiem, a z kolei zawartość białka jest relatywnie niska. To stwierdzenie poparte literaturą z 2013 i 2019 roku, powinno być zweryfikowane.

Niepoprawnym jest również wskazanie, że zalecane jest spożywanie owoców w ilości co najmniej 400 g dziennie, bazując na publikacji z 2018 roku dotyczącej właściwości antyoksydacyjnych niskosłodzonych dżemów wzbogacanych dodatkami z wybranych roślin. W literaturze jest dużo doniesień naukowych wskazujących na aktualne zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization*, WHO) oraz analizujących rzeczywisty stan rzeczy (<https://doi.org/10.1093/jn/nxz040>). Mam również wątpliwości co do stwierdzenia zawartego w Autoreferacie (str. 9), że „owoce są bardzo atrakcyjne jako surowiec do bezpośredniego spożycia, jak i do przerobu ze względu na budowę oraz atrakcyjne walory sensoryczne”. Przetwarzanie owoców wynika przed wszystkim z: (1) ich krótkiego okresu dostępności w stanie świeżym oraz sezonowości, a także (2) ze względu na występujące w nich związki bioaktywne. Kwestia „budowy” – to raczej odniesienie do ich budowy anatomicznej, która nie zawsze ułatwia ich przetwarzanie (np. w przypadku produkcji soków owocowych, gdzie z tego względu może być wymagane, np. zastosowanie obróbki enzymatycznej w celu zwiększenia wydajności procesu tłoczenia). Ponadto warto podkreślić, że niektóre owoce poddawane są przetwarzaniu nie tylko ze względu na ich właściwości technologiczne, ale również ze względu na nieakceptowalny przez konsumentów smak w postaci nieprzetworzonej. Mam również wątpliwości co do stwierdzenia, że „dieta oparta na spożywaniu większych ilości owoców i warzyw ma wpływ na obniżenie ryzyka zachorowania na m.in. cukrzycę, nadciśnienie czy nadwagę” – biorąc pod uwagę ilość węglowodanów obecnych w owocach zaleca się mniejsze ich spożycie na rzecz warzyw. Oczywiście można uznać to za skrót myślowy, który zapewne dotyczy zawartości w nich cennych związków bioaktywnych.

W dalszej części Autoreferatu Habilitant stwierdza, że „zmiany przemiany metabolicznej owoców uzależnione są od działania wysokiej temperatury. Owoce pozostawione już w temperaturze pokojowej pogarszają swój turgor poprzez degradację związków (m. in. w procesie utleniania), zwiększenie wilgotności i aktywności wody prowadząc nawet do ich zepsucia mikrobiologicznego” (str. 9). Trudno zgodzić się z tym, że pozostawienie owoców w temperaturze pokojowej wpływa na wyższą wilgotność czy aktywność wody tych surowców.

W kolejnej części wprowadzenia, dr inż. Krzysztof Przybył wskazuje na argumenty związane z wyborem surowców do badań, tj. maliny czerwonej (*Rubus idaeus* L.) i czarnej porzeczki (*Rubus nigrum* L.). Oba surowce są powszechnie uprawiane w naszym kraju i są przede wszystkim popularnym składnikiem diety. I tu również pojawiają się wątpliwości, przykładowo w kwestii informacji dotyczących zbiorów np. truskawek czy agrestu. Zgodzę się, że maliny jak i czarna porzeczka to surowce o wysokiej zawartości związków biologicznie aktywnych, w tym związków polifenolowych, witamin, błonnika, etc. Natomiast wspomniane w Autoreferacie kilkakrotnie przez Habilitanta składniki odżywcze nie wskazują na konkretne związki, dla których warto zająć się tymi surowcami. Co więcej, przedstawienie uzasadnienia wyboru tych surowców ze względu na ich „właściwości rozgrzewające” – być może jest nietrafnym uogólnieniem. Moim zdaniem jest to kwestia występowania w ich składzie związków

biologicznie aktywnych, które determinują specyficzne właściwości prozdrowotne tych surowców, oczywiście w zależności od ich specyficznego składu wyjściowego. W dalszej części Habilitant wskazuje, że „*wobec potencjału zdrowotnego oraz zapobiegania przemianom metabolicznym (wyeliminowanie ich zepsucia, rozwoju bakterii oraz innych drobnoustrojów), szczególnie przy tych owocach (dot. malin i czarnej porzeczki) zbieranych sezonowo poszukuje się odpowiedniej metody w celu utrwalenia ich stanu jakościowego i wydłużenia okresu przydatności do spożycia. Kluczowym okazuje się kontrola zawartości wody w owocach wydłużając ich okres trwałości podczas przechowywania*” – i tu ponownie, nie jest jasne co Habilitant rozumie pod pojęciem „stanu jakościowego” i czy sama w sobie kontrola zawartości wody może determinować okres przechowywania owoców? W dalszej części Habilitant przechodzi do uzasadnienia związanego z zastosowaniem metod „*które mogą ingerować na zawartość wody w owocach, nie wpływając na proces degradacji związków bioaktywnych*”, do których „*zalicza się suszenie, które poza utrwaleniem prowadzi również do otrzymania korzystnej formy, łatwej do zastosowania w wielu ostatecznych produktach*” (Autoreferat, str. 10). W tym fragmencie chciałabym zwrócić uwagę na prawdopodobne kwestie związane z tłumaczeniem, które mogą wpływać na precyzję i stylistykę tekstu. W literaturze występuje dużo doniesień naukowych potwierdzających znaczne modyfikacje składu surowców roślinnych poddawanych procesom suszenia, które mogą prowadzić z jednej strony nawet do całkowitej degradacji związków biologicznie aktywnych, jak i z drugiej strony powodować występowanie związków bioaktywnych, które nie zostały zidentyfikowane w surowcu ze względu np. na ich uwalnianie ze struktur komórkowych w wyniku przetwarzania. W dalszej części wstępu omówiono suszenie rozpyłowe, określone jako jedną z najczęściej stosowanych technik do suszenia produktów owocowych. W mojej ocenie technika ta zyskuje na popularności przede wszystkim ze względu na możliwość uzyskania produktów o jakości porównywalnej do tych otrzymywanych w wyniku droższego procesu, jakim jest liofilizacja. To te dwa argumenty (jakość i koszty produkcji) przemawiają za jego stosowaniem, ale tak jak wspomina Habilitant dotyczy to tylko produktów płynnych. Wątpliwość budzi stwierdzenie, że „*w typowym procesie suszenia niektóre kluczowe parametry, takie jak, warunki suszenia oraz skład produktu regulują jakość gotowego produktu*”. Wydaje się, że Habilitant miał na myśli parametry procesowe oraz że te dwa czynniki (czyli parametry procesowe i skład wyjściowy surowca czy dalej właściwości fizyko-chemiczne roztworów, z uwzględnieniem rodzaju i ilości nośników, przeznaczonych do suszenia) mają wpływ na właściwości fizyko-chemiczne uzyskanych suszonych produktów, a w przypadku suszenia rozpyłowego – proszków. Zgodzę się, że modelowanie, zastosowanie metod sztucznej inteligencji, optymalizacji procesów, prowadzenie kontroli jakości to czynniki, które mogą determinować jakość ich produkcji, natomiast nie jest jasne co na myśli ma Habilitant wskazując, że „*rozumienie i modelowanie wszystkich tych relacji ma znaczenie w technologii suszenia w celu spełnienia wymagań dotyczących konsumpcji lub dalszego przetwarzania*”.

Ze względu na złożone reakcje zachodzące podczas suszenia produktów płynnych na proszki, z uwzględnieniem wieloskładnikowej matrycy owocowej oraz na nowe podejście do określenia ich jakości, zwłaszcza pod kątem otrzymywania produktów o określonych właściwościach fizyko-chemicznych, zastosowanie metod sztucznej inteligencji wydaje się dobrym rozwiązaniem w kontekście produkcji proszków owocowych. Wykorzystanie nowoczesnych narzędzi do oceny jakości proszków owocowych, zwłaszcza z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji jest zdecydowanie

przyszłościowym rozwiązaniem, nie tylko z punktu widzenia efektywniejszej produkcji i kontroli ich jakości, ale przede wszystkim ze względu na możliwości np. produkcji spersonalizowanych produktów pod kątem określonych wymagań konsumentów czy przemysłu (np. dotyczących specyficznego składu czy właściwości fizycznych w kontekście dalszego ich zastosowania).

W tym miejscu chciałabym podkreślić nowy charakter badań prowadzonych przez dr inż. Krzysztofa Przybyłę dotyczących proszków na bazie produktów owocowych, które koncentrują się na opracowaniu skutecznych narzędzi do nieinwazyjnego rozpoznawania i analizy jakości wybranych proszków. W przedstawionym cyklu prac naukowych, który stanowi podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, zdefiniowany cel główny Habilitant realizował poprzez cele szczegółowe:

- Cel 1:** Ocena różnic w wielkości mikrocząstek wybranych rodzajów proszków z soku malinowego z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), analiz fizycznych (aktywność wody i wilgotność) oraz sztucznych sieci neuronowych typu MultiLayer Perceptron (4.1.1).
- Cel 2:** Określenie wpływu ilości i rodzaju nośnika zawartego w roztworze malinowym z wykorzystaniem CNN, sieci neuronowych typu MultiLayer Perceptron oraz spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (4.1.2).
- Cel 3:** Ocena różnic w sile barwienia proszków z soku porzeczkowego z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego oraz spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (4.1.3).
- Cel 4:** Ocena stanu jakościowego proszków porzeczkowych z wykorzystaniem tekstury obrazu (GLCM) i określenie skuteczności rozpoznawania tych proszków z wykorzystaniem uczenia maszynowego (zespołów klasyfikatorów) (4.1.4).
- Cel 5:** Interpretacja podejmowania decyzji przez algorytmy uczenia maszynowego w ramach rozpoznawania typów proszków z soku porzeczkowego wspomagane *Local Interpretable Model-agnostic Explanations* (4.1.5).

a także hipotezy badawcze:

- Hipoteza 1:** Zmiany w doborze nośnika oraz w wielkości mikrocząstek proszków z soku malinowego wpływa na ich właściwości fizyczne tj. aktywność wody, wilgotność oraz kształt mikrocząstek.
- Hipoteza 2:** Głębokie uczenie z wykorzystaniem sieci konwolucyjnych (CNN), sieci neuronowe typu Multi-Layer Perceptron (MLP) oraz spektroskopia fourierowska w podczerwieni (FTIR) pozwalają na ocenę jakościową proszków owocowych.
- Hipoteza 3:** Metody uczenia maszynowego i analiza FTIR pozwalają na rozpoznawanie siły barwienia w proszkach owocowych, biorąc pod uwagę ilość oraz rodzaj nośnika zawartego w roztworze owocowym.
- Hipoteza 4:** Meta klasyfikator oraz zespoły klasyfikatorów poprawiają skuteczność identyfikowania struktury morfologicznej proszków z soku porzeczkowego przy pomocy tekstury obrazu (ang. *Gray-Level Co-occurrence Matrix, GLCM*).
- Hipoteza 5:** Wykorzystanie modelu agnostycznego (ang. *Local Interpretable Model agnostic Explanation, LIME*) umożliwia zinterpretowanie typy proszków z soku owocowego na podstawie cech struktury obrazu (GLCM).

które powiązane są z poszczególnymi pracami naukowymi stanowiącymi cykl.

Moje uwagi dotyczące wstępu w Autoreferacie w kontekście „owoców”, „związków bioaktywnych”, „przetwarzania” oraz „suszenia” związane są przede wszystkim z błędnym przedstawieniem matrycy owocowej. Mianowicie Habilitant wskazuje literalnie, przykładowo w hipotezie 1 i 4 oraz celu 1, 3 i 5 na soki owocowe, natomiast badania skupiają się na proszkach uzyskanych z koncentratów soków tych surowców (zgodnie z informacjami podanymi w publikacji 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4 oraz 4.1.5). W kontekście otrzymywania proszków owocowych stanowi to kluczową różnicę, przede wszystkim ze względu na istotne różnice w zawartości podstawowych składników występujących w soku owocowym, tj. zawartość wody, węglowodanów i kwasów organicznych a koncentratem z soku owocowego. W wyżej wymienionych publikacjach, np. w przypadku koncentratu soku malinowego, w części dotyczącej opisu Materiału i metod, wskazano, że do suszenia przeznaczono koncentrat soku o 65 °Brix, wskazując tym samym na znacznie wyższe stężenie rozpuszczalnych w wodzie substancji, głównie cukrów, w koncentracie. Matryca o takim składzie determinuje minimalny dodatek nośników oraz wpływa na zastosowane parametry suszenia, co jest również kluczowe w kontekście właściwości fizyko-chemicznych proszków.

W odniesieniu do hipotezy 1 i celu 1 (pozycja 4.1.1), Habilitant w pierwszej pracy przedstawił wyniki badań dotyczące proszków uzyskanych poprzez zastosowanie niskotemperaturowego suszenia rozpyłowego z zastosowaniem osuszonego powietrza, które pozwalało na przeprowadzenie tego procesu w temperaturze wlotu 80 °C oraz temperaturze wylotu 50 °C. W przypadku brzmienia hipotezy 1 zasugerowałabym zmianę na: Rodzaj nośnika oraz jego stężenie wpływa na właściwości fizyczne oraz kształt mikrocząstek proszków na bazie koncentratu soku malinowego. W przedstawionym opisie tej publikacji ponownie można zauważyć prawdopodobne błędy wynikające z tłumaczenia. Przykładowo, Habilitant wskazuje, że zastosowanie niskotemperaturowego suszenia rozpyłowego z użyciem osuszonego powietrza „*pozwała zwiększyć odzysk proszku*” - w rzeczywistości prawdopodobnie chodzi o zwiększenie wydajności procesu produkcji. Dalej Habilitant wskazuje na próby „*które różnią się doborem nośnika*” – chodzi zapewne o rodzaj nośnika. W opisie tej pracy Habilitant stwierdza, że 30% (w/w) dodatek inuliny do koncentratu soku malinowego powoduje, że otrzymane w wyniku suszenia rozpyłowego proszki cechują się najniższymi wartościami aktywności wody spośród analizowanych prób. Według Habilitanta „*to skutkuje potencjalnie wyższą trwałością mikrobiologiczną oraz lepszą rozpuszczalnością w wodzie*”. Biorąc pod uwagę rodzaj inuliny stosowanej w tej pracy, czyli GR, produkt ten charakteryzuje się relatywnie niską rozpuszczalnością w odniesieniu do pozostałych zastosowanych nośników, że względu na właściwości fizyko-chemiczne samego nośnika (dane na stronie producenta). Idąc dalej, Habilitant wskazuje, że „*we wszystkich próbach badawczych zaobserwowałem, że wraz ze wzrostem wilgotności i aktywności wody zmniejsza się ich trwałość biologiczna zawartość wody*”. Mając na uwadze, że zgodnie z publikacją 1 (4.1.1) wilgotność analizowanych prób nie przekraczała 9%, a aktywność wody była poniżej wartości 0.285 – na jakiej podstawie wysunięto taki wniosek?

W dalszej części opisu Habilitant skupia się na nowym aspekcie, związanym z analizą obrazu, który w kontekście proszków roślinnych jest szczególnie interesujący, zwłaszcza w odniesieniu do rozróżniania próbek pod kątem zastosowania wybranych nośników. Niemniej jednak pozostaje kwestia związana ze stwierdzeniem, że „*nie zaobserwowano wpływu kształtu mikrocząstek na warunki suszenia, ilość lub rodzaj nośnika w proszkach*” – w takim ujęciu badania dotyczące kształtu mikrocząstek powinny być przeprowadzone przed procesem suszenia próbek, co, jak wynika z opisu w publikacji, nie miało miejsca w przypadku analizowanych proszków. Habilitant wskazuje, że parametry suszenia mogą mieć wpływ na wielkość cząstek. Aspekt ten jest szeroko opisany w literaturze, a w publikacji 1 (pozycja 4.1.1) podano, że temperatura wlotu i wylotu powietrza jest identyczna, niezależnie od rodzaju prób poddawanych suszeniu (rodzaju i ilości dodawanych nośników). Zastosowanie dedykowanych sieci neuronowych wspomaganych analizą obrazu to zdecydowanie ciekawy aspekt badań. Założenie możliwości klasyfikacji proszków roślinnych, w tym przypadku na bazie koncentratu soku malinowego z dodatkiem 3 różnych nośników zastosowanych w wybranych stężeniach może mieć duże znaczenie aplikacyjne, np. do weryfikacji udziału nośników w produkcie końcowym.

W publikacji 2 (pozycja 4.1.2), w odniesieniu do hipotezy 2 i celu 2, te same próbki proszków uzyskanych na bazie koncentratu soku malinowego z dodatkiem maltodekstryny, gumy arabskiej i inuliny (50, 60, 70%; w/w) zostały poddane analizie skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Opracowane nowe, w kontekście analizy proszków roślinnych, modele neuronowe zdolne do szybkiego i bezinwazyjnego identyfikowania rodzaju i ilości nośnika w tego typu produktach są nowością o dużym znaczeniu praktycznym. Zaproponowanie tego typu rozwiązań byłoby przydatne do kontroli jakości proszków stosowanych jako np. dodatki do żywności, ponieważ często producenci nie podają na etykiecie konkretnego składu proszków roślinnych, zwłaszcza jeśli chodzi o dodatek nośników (ich ilość w produkcie końcowym). W badaniach tych przeprowadzono także analizę zmian w strukturze chemicznej suszonego rozpyłowo koncentratu soku malinowego (analiza FTIR) oraz określono sieci neuronowe. Habilitant zastosował algorytm BGFS podczas maszynowego uczenia sieci, uzasadniając jego wybór w kontekście zastosowania poprzednich algorytmów. Co więcej, dr inż. Krzysztof Przybył wskazał w badaniach na różnicę pomiędzy uczeniem maszynowym a uczeniem głębokim stosowanymi dla określenia jakości proszków na bazie koncentratu soku malinowego. Interesującym aspektem tych badań jest próba wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do kontroli jakości proszków na bazie produktów owocowych w trybie on-line. Takie rozwiązania na pewno mają charakter przyszłościowy i będą stanowić ważny element kontroli jakości, zwłaszcza kiedy jest możliwość ich charakterystyki za pomocą bezinwazyjnych metod. Niestety nie zgodzę się z podsumowaniem (Autoreferat, str. 25), że zmniejszenie kosztów oceny jakościowej wpłynie na zmniejszenie kosztów produkcji proszków i tym samym, w mojej ocenie, nie przełoży się to zwiększenie popularności tego typu produktów wśród producentów żywności.

W kolejnej pracy (3) wchodzącej w skład cyklu publikacji (pozycja 4.1.3), badania skupiały się wokół proszków uzyskanych poprzez suszenie rozpyłowe koncentratu z soku z czarnej porzeczki z dodatkiem nośników: maltodekstryny, inuliny, celulozy, gumy arabskiej, błonnika oraz koncentratu białek serwatkowych w proporcjach 50% i 30% (w/w). We wprowadzeniu Habilitant oparł się na zbliżonych informacjach, które wskazał we wstępie Autoreferatu. Ponownie pojawiły się nietrafnie

dobrane określenie, tj. „działanie na rzecz konserwacji (w domyśle owoców)”, „ewakuacji wody”, „widma badanych próbek o masie $0,005 \pm 0,005$ g”, „proszki z soku malinowego z dodatkiem inuliny osiągnęły w obecnych badaniach proszków z soku porzeczkowego równie niski poziom wilgotności”, „w badaniach pozyskano niski poziom aktywności wody”, etc. W badaniach tych skupiono się na zastosowaniu metod sztucznej inteligencji do opracowania inteligentnego systemu oceny jakości przy uwzględnieniu barwy proszków, na którą wpływ ma rodzaj i ilość dodawanych nośników stosowanych do ich produkcji. Badania te wzbogacano o analizę FTIR, co stanowi cenny aspekt prowadzonych badań, zwłaszcza w kontekście proszków. W pracy tej Habilitant zastosował metody uczenia maszynowego w celu identyfikacji proszków otrzymanych na bazie koncentratu soku z czarnej porzeczki na podstawie barwy w systemie CIEL*a*b*. Podejście to jest atrakcyjne z punktu widzenia kontroli jakości proszków, a szczególnie z perspektywy dodatku nośników, które modyfikują skład matrycy poddawanej suszeniu. Trudno jest mi zgodzić się ze stwierdzeniem (Autoreferat, s. 27), że wilgotność proszków z koncentratu soku porzeczkowego „osiągnęła” wilgotność proszków z koncentratu soku malinowego, ponieważ zależy to od właściwości składników występujących w matrycy koncentratu oraz nośników, które mogą być modyfikowane poprzez zastosowane parametry procesowe. W związku z tym, wilgotność proszków na tym poziomie była wynikiem tych czynników, które nie zostały poddane dyskusji ani dokładniejszemu zbadaniu w kontekście tego zagadnienia. Idąc dalej, w badaniach tych pomięto wpływ dominujących składników odpowiadających za barwę tego typu produktów, tj. np. antocyjanów. To przede wszystkim ich obecność wpływa na barwę, a zachodzące interakcje pomiędzy tymi składnikami a nośnikami determinują barwę otrzymanych proszków, zwłaszcza na bazie surowców jakimi są owoce. Koncepcja manuskryptu dotyczy opracowania narzędzi sztucznej inteligencji służących do identyfikacji proszków z koncentratu soku porzeczkowego, otrzymanych z użyciem różnych nośników, w tym węglowodanowych i białkowych. Jest to interesujące podejście, szczególnie w kontekście potwierdzania autentyczności składu proszków, które stanowi zdecydowaną nowość w ocenie ich jakości. Zastosowanie sztucznej inteligencji w tym obszarze otwiera nowe możliwości w zakresie precyzyjnej analizy i weryfikacji składu, co może przyczynić się do poprawy transparentności procesów produkcyjnych oraz zapewnienia spójności jakościowej produktów. Tego rodzaju innowacje mogą stanowić ważny krok w kierunku automatyzacji procesów kontrolnych oraz skuteczniejszego zarządzania jakością, a także w walce z oszustwami dotyczącymi składu produktów.

W kolejnej pracy (publikacja 4, pozycja 4.1.4) skupiono się na aspektach związanych ze wsparciem sztucznej inteligencji do oceny jakości proszków roślinnych. Przedstawiono wybrane struktury algorytmów uczenia maszynowego pozwalające ocenić efektywność identyfikowania proszków z koncentratu soku porzeczkowego na podstawie informacji ze zdjęć mikroskopowych SEM. Wyniki pozwoliły na opracowanie sposobu rozpoznawania rodzajów proszków ze względu na różnice w rodzaju zastosowanych do ich produkcji nośników. To podejście dotyczy jednej wyjściowej matrycy (koncentrat soku porzeczkowego), jednego sposobu suszenia (te same parametry procesowe) oraz różnych rodzajów nośników. Bez wątpienia ciekawym aspektem byłoby rozszerzenie badań w kontekście różnych metod suszenia, które są powszechnie stosowane w przemyśle, ponieważ zmiany strukturalne proszków zależą głównie od technologii, którą wykorzystuje się do ich produkcji.

Różne sposoby suszenia mogą wpływać na ostateczną jakość proszków, zarówno pod względem struktury, jak i właściwości fizykochemicznych. Rozważenie takich zmiennych mogłoby dostarczyć cennych informacji na temat wpływu sposobów suszenia na końcowy produkt, co w konsekwencji pozwoliłoby na precyzyjniejszą optymalizację procesów produkcyjnych. Zastosowanie różnych sposobów suszenia pozwoliłoby również na lepsze zrozumienie, jak poszczególne parametry suszenia wpływają na charakterystykę fizyczną i chemiczną proszków, co jest kluczowe w kontekście ich jakości i zastosowań w przemyśle spożywczym.

Z drugiej strony, opracowanie narzędzi umożliwiających bezpośrednie potwierdzenie autentyczności składu proszków byłoby z pewnością bardzo przydatnym narzędziem w kontroli jakości tych produktów. Weryfikacja składu w kontekście wykorzystanych nośników oraz składników bioaktywnych mogłaby pomóc w eliminowaniu nieprawidłowości w produkcji i zapewnieniu konsumentom produktów o wysokiej jakości. Takie narzędzia mogłyby również stanowić wsparcie w walce z nieuczciwą konkurencją na rynku, poprzez ułatwienie wykrywania ewentualnych prób oszustw w zakresie składu produktów. W publikacji 4 (pozycja 4.1.4) Habilitant zastosował i zweryfikował wybrane metaklasyfikatory, które okazały się być skuteczniejszym rozwiązaniem niż wcześniej zastosowane narzędzia modelowania neuronowego. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do przeprowadzenia kolejnych badań, ukierunkowanych na wdrożenie metod uczenia maszynowego, bazujących na ocenie pikseli obrazu, w celu oceny jakości proszków owocowych. Zastosowanie zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego w tym kontekście pozwoli na precyzyjniejszą analizę i ocenę jakości produktów, umożliwiając nie tylko lepszą klasyfikację proszków, ale także dostosowanie procesów produkcyjnych do zmieniających się wymagań rynkowych oraz technologicznych. Warto kontynuować prace nad dalszym rozwojem tych metod, które mają potencjał do usprawnienia sposobów monitorowania jakości w przemyśle spożywczym.

W piątej publikacji (pozycja 4.1.5), zamykającej cykl tematycznie powiązanych artykułów, Habilitant podjął się zagadnienia związanego z wyjaśnialnością sztucznej inteligencji (XAI). Wyjaśnialność w uczeniu maszynowym i głębokim uczeniu staje się istotnym obszarem badań, w szczególności w kontekście rosnącego zastosowania metod sztucznej inteligencji oraz potrzeby zrozumienia decyzji podejmowanych przez modele. Koncepcja Wyjaśnialnej Sztucznej Inteligencji (XAI) odpowiada na potrzebę transparentności w procesach AI, umożliwiając lepsze zrozumienie podejmowanych decyzji oraz zwiększając efektywność modeli.

W badaniach ujętych w tej pracy, dr inż. Krzysztof Przybył zastosował modele "szklanych skrzynek" (np. Drzewo Decyzyjne) oraz "czarnych skrzynek" (np. Random Forest) do identyfikacji proszków porzeczkowych. Modele zostały ocenione na podstawie wskaźników dokładności, precyzji, czułości oraz miary F1. Użyto również metody Local Interpretable Model Agnostic Explanations (LIMEs) do wizualizacji decyzji modeli, koncentrując się na deskryptorach tekstury, takich jak entropia, kontrast, korelacja, różnica i jednorodność.

Na podstawie wyników wykazano, że modele Bagging_100, Drzewo Decyzyjne (DT0) oraz Random Forest (RF7_gini) były najskuteczniejsze, osiągając dokładność powyżej 96%. Wykazano, że XAI umożliwiło bardziej dogłębną reprezentację wyznaczania modeli uczenia maszynowego opierając się o deskryptory struktury. Z mojej perspektywy praca ta stanowi dobre podsumowanie cyklu

przedstawionych prac oraz wskazuje na chęć podejmowania kolejnych działań naukowych związanych ze sztuczną inteligencją przez Habilitanta.

Podsumowując, potwierdzam, że Pan dr inż. Krzysztof Przybył realizuje badania, które stanowią wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia. Niemniej jednak, w mojej opinii, przydatne byłoby dokładniejsze zgłębienie składu surowców, co mogłoby przyczynić się do lepszego zrozumienia niektórych aspektów badanych procesów. Nowym podejściem jest rozpatrywanie tych produktów pod kątem zastosowania metod sztucznej inteligencji. Dysponując doświadczeniem oraz warsztatem badawczym z zakresu sztucznej inteligencji, Habilitant potrafi skutecznie publikować wyniki swoich badań.

Ocena pozostałych istotnych osiągnięć naukowych z uwzględnieniem aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej

Dorobek naukowy dr inż. Krzysztofa Przybyła obejmuje łącznie: 43 artykuły naukowe, w tym 5 zgłoszonych jako osiągnięcie naukowe w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego, 17 rozdziałów w monografii i 27 artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych, z czego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora ukazało się 31 artykułów naukowych, 16 rozdziałów w monografii i 12 artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych. Artykuły, które ukazały się po uzyskaniu stopnia naukowego doktora zostały opublikowane w języku angielskim, w większości w czasopiśmie z listy JCR (od 6 do 140 pkt - 2 prace) o średnim i wysokim współczynniku wpływu, w takich jak, m.in.: *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* oraz *Molecules* (MDPI)(1), *Scientific Reports* (1).

Habilitant brał udział w konferencjach naukowych i popularnonaukowych, jak i w wydarzeniach promujących naukę, przy czym, w moim odczuciu, przedstawionych 11 wykładów na zaproszenie, nie dotyczy wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych, jeśli przykładowo w pozycji 7.1.1. wskazano Noc Naukowców w Szkole Podstawowej i w punkcie 7.1.2. XXVII Poznański Festiwal Nauki i Sztuki. Takiej aktywności jak wygłoszenie wykładów na konferencjach naukowych międzynarodowych nie wykazano (wykazano natomiast współautorstwo). Habilitant wykazał w swoim dorobku 28 wystąpień zaprezentowanych w formie referatów i posterów, przy czym po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wykazał udział w 21 doniesieniach w formie referatów i posterów w większości na krajowych, ale też międzynarodowych konferencjach. Dr inż. Krzysztof Przybył jest współautorem 1 patentu oraz 1 zgłoszenia patentowego.

W kontekście realizacji projektów badawczych, dr inż. Krzysztof Przybył nie był/nie jest kierownikiem projektu badawczego, natomiast był kierownikiem zadania badawczego MINIATURA (DEC-2021/05/X/NZ9/01014/2). Część wyników powstałych w ramach tego zadania zostało zgłoszonych jako osiągnięcie naukowe w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Habilitanci brał udział jako wykonawca w 4 projektach, przy czym wskazane zadania nie zawsze

dotyczyły działalności naukowej związanej z technologią żywności i żywienia, oraz uzyskał finansowanie w konkursie wewnętrznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Habilitant nie wykazał zagranicznych staży naukowych. Odbił staż naukowy w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (zadeklarowany 1 miesiąc) w 2021 roku. We współpracy z tym zespołem badawczym powstały artykuły naukowe ujęte cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora. Drugi staż odbył w przedsiębiorstwie *Corian*. Dr inż. Krzysztof Przybył brał udział w dwóch zagranicznych wizytach w *JK Machinery* oraz *Farmet*.

Podsumowując tą część opinii stwierdzam, że dr inż. Krzysztof Przybył wykazuje aktywność naukową realizowaną na więcej niż jednej uczelni (oprócz Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, jest to Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego), co przełożyło się na opublikowanie manuskryptów naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego będącego podstawą do nadania stopnia doktora habilitowanego. Habilitant jest naukowcem rozpoznawalnym w środowisku krajowym.

Ocena działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę oraz współpracy z otoczeniem gospodarczym

Pan dr inż. Krzysztof Przybył prowadzi/prowadził zajęcia na studiach stacjonarnych I i II stopnia, na kierunkach Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Informatyka Stosowana, Informatyka i Agrotechnologia realizowanych dla studentów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Habilitant był promotorem 2 prac magisterskich i 2 prac inżynierskich realizowanych w dyscyplinie Technologia Żywności i Żywnienia. Opracował recenzje 3 prac inżynierskich. Pan dr inż. Krzysztof Przybył uczestniczył/uczestniczy w pracach organizacyjnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Brał udział w organizacji dni promocyjnych Wydziału poprzez zorganizowanie warsztatów dla uczestników. Jest, m.in., członkiem: komisji ds. utworzenia nowego kierunku na Wydziale, komisji ds. Internetowej Promocji Wydziału, zespołu UP Bez Barrier Cyfrowych. Pan dr inż. Krzysztof Przybył ma również osiągnięcia związane z działaniem na rzecz promocji jednostki. Brał udział w projektowaniu grafik wektorowych, które znalazły się na pojazdach MPK w Poznaniu. Obsługuje stronę internetową i media społecznościowe WNoŻiŻ UP Poznań. Był koordynatorem przygotowania 70-lecia Biblioteki UP w Poznaniu

Podsumowując, dr inż. Krzysztof Przybył wykazuje aktywność dydaktyczną, organizacyjną oraz popularyzacyjną.

Wniosek końcowy

Wskazane przez dr inż. Krzysztofa Przybyła osiągnięcie naukowe „*Metody sztucznej inteligencji do oceny parametrów jakościowych proszków z wybranych owoców jagodowych*” stanowiące podstawę o ubieganie się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego otwiera nowe obszary



dotyczące analizy jakości proszków roślinnych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi, tj. sztucznej inteligencji. Rozpoczęcie tych działań zdecydowanie stanowi nowe podejście w kontekście próby opracowania narzędzi służących do szybkiej i bezinwazyjnej analizy proszków, które zdecydowanie wpisuje się w trendy związane z dyscypliną. Niemniej jednak rozpoznanie samego produktu, jego składu jak i zachodzących przemian podczas jego przetwarzania (w tym wypadku suszenia) od surowca do produktu końcowego jest niezbędne do szerszego zrozumienia i być może projektowania kolejnych lub doskonalszych narzędzi, które niewątpliwie mogłyby mieć zastosowanie w praktyce. Kandydat do stopnia naukowego doktora habilitowanego wykazuje działalność naukową, głównie na poziomie krajowym, realizowaną w więcej niż jednej jednostce, ma doświadczenie w pracy dydaktycznej oraz ma osiągnięcia organizacyjne i promujące naukę. Na tej podstawie stwierdzam, że Pan dr inż. Krzysztof Przybył spełnia wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego zawarte w ustawie prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 12 lipca 2018 roku (to t.j Dz.U. z 2024 pozycja 1571, ze zmianami) i mając powyższe na uwadze wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu o podjęcie dalszych czynności w postępowaniu w sprawie nadania Panu dr inż. Krzysztofowi Przybyłowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywnienia.

Anna Michalska-Ciechanowska

prof. dr hab. Anna Michalska-Ciechanowska