

Warszawa, 21.11.2025

dr hab. inż. Adam Ekielski
Instytut Inżynierii Mechanicznej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Soi pt. „Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolnospożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji”.

1. Ocena formalna pracy

Rozprawa doktorska Pana Jakuba Soi zatytułowana „Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolnospożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji”, została wykonana w Katedrze Inżynierii Procesowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tomasza Oniszczyka i dr hab. inż. Macieja Combrzyńskiego, profesora Uczelni. Rozprawę tę stanowi spójny tematycznie cykl pięciu publikacji, w skład którego włączono następujące pozycje:

P1: Jakub Soja, Özge Özmen, Marta Krajewska, Kamila Kasprzak-Drozd: Effect of apple pomace (*Malus domestica* ‘Gala’) addition on the processing conditions and antioxidant potential of extruded snacks. *International Agrophysics*, 2023, 37, 401 – 413.
<https://doi.org/10.31545/intagr/171927> (IF 1,70; 100 pkt. MNiSW)

P2: Jakub Soja, Maciej Combrzyński, Tomasz Oniszczyk, Marek Gancarz, Renata Różyło: Analysis of the influence of different plasticizing systems in a single-screw extruder on the extrusion-cooking process and on selected physical properties of snack pellets enriched with selected oilseed pomace. *Processes*, 2025, 13, 4, 1247. <https://doi.org/10.3390/pr13041247> (IF 2,80; 70 pkt. MNiSW)

P3: Jakub Soja, Maciej Combrzyński, Tomasz Oniszczyk, Agnieszka Wójtowicz: Management of selected fruit and vegetable pomace in fortified snack pellets through the single-screw extrusion-cooking under various process conditions. *Journal of Ecological Engineering*, 2025, 26, 11. <https://doi.org/10.12911/22998993/207256> (IF 1,50; 70 pkt. MNiSW)

P4: Jakub Soja, Maciej Combrzyński, Tomasz Oniszczyk, Marek Gancarz, Anna Oniszczyk: Extrusion-cooking aspects and physical characteristics of snacks pellets with addition of

selected plant pomace. Applied Science, 2024, 14, 19, 8754.

<https://doi.org/10.3390/app14198754> (IF 2,50; 100 pkt. MNiSW)

P5: Jakub Soja, Tomasz Oniszczyk, Iryna Vaskina, Maciej Combrzyński, Agnieszka Wójtowicz: Integration of plant pomace into extruded products: analysis of process conditions, post-production waste properties and biogas potential. Energies, 2024, 17, 24, 6476. <https://doi.org/10.3390/en17246476> (IF 3,20; 140 pkt. MNiSW)

Publikacje te powstały w latach 2023-2025, a ich jakość potwierdza prestiż czasopism, w których się ukazały – Processes, International Agrophysics, Journal of Ecological Engineering, Applied Science, Energies. Zgodnie z deklaracją Doktoranta, sumaryczna wartość współczynnika IF tych prac wynosi **11,70**, zaś liczba punktów na dzień złożenia rozprawy to **480** pkt. We wszystkich publikacjach Doktorant jest pierwszym autorem, co może być dowodem wiodącej roli Autora w ich powstaniu.

Przedstawiony do recenzji zbiór publikacji został uzupełniony o 175 stronicowe opracowanie, w którym w 8 rozdziałach zawarto: streszczenia pracy w języku polskim i angielskim, wprowadzenie do podjętej problematyki badawczej, założenia badawcze i cele naukowe, materiał i metodykę badawczą, a także omówienie głównych wyników badań. Opracowanie kończy się wnioskami i spisem literatury. Do pracy dołączone zostały także oświadczenia współautorów publikacji. Ostatni rozdział zawiera kopie przedstawionych do rozprawy doktorskiej publikacji. Forma „zbioru publikacji” jest w pełni uzasadniona i efektywnie zastosowana. Artykuły prezentują postępujący, logiczny ciąg badań, od badań wstępnych (publikacja P1) poprzez pogłębioną analizę wpływu różnych czynników (publikacje: P2, P3, P4) aż do oceny aspektu środowiskowego i energetycznego (publikacja P5).

Do pracy dołączono kompletne i prawidłowo wypełnione oświadczenia wszystkich współautorów, które w sposób precyzyjny i przejrzysty określają indywidualny wkład mgr. inż. Jakuba Soi w powstanie każdej z publikacji. Z oświadczeń tych wynika, że **Kandydat był głównym pomysłodawcą, wykonawcą i autorem** wszystkich prac, a jego udział w poszczególnych artykułach wynosi od 65% do 80%. Taka dominująca rola w cyklu publikacyjnym w pełni upoważnia do przedstawienia tej serii jako jego indywidualnej rozprawy doktorskiej. Formalnie, praca spełnia wszystkie wymagane warunki.

Język pracy jest fachowy, precyzyjny i zgodny z terminologią naukową z zakresu inżynierii żywności, technologii ekstruzji oraz inżynierii mechanicznej. Streszczenia w języku polskim i angielskim są poprawne merytorycznie i stylistycznie.

2. Ocena merytoryczna pracy

Aktualność i znaczenie podjętej problematyki

Tematyka pracy jest niezwykle aktualna i wpisuje się w najważniejsze współczesne wyzwania: gospodarkę o obiegu zamkniętym (GOZ), zrównoważony rozwój oraz zmniejszenie negatywnego wpływu przemysłu spożywczego na środowisko. Zagospodarowanie produktów ubocznych, takich jak wyłoki roślinne, stanowi palący problem zarówno ekonomiczny, jak i środowiskowy. Praca proponuje kompleksowe, innowacyjne podejście łączące wytworzenie żywności funkcjonalnej z odzyskiem energii, co nadaje jej wysoką rangę aplikacyjną i poznawczą. Wykorzystanie techniki ekstruzji, będącej jedną z najważniejszych metod przetwórstwa żywności, do realizacji tych celów jest znakomicie uzasadnione i świadczy o praktycznym wymiarze badań.

Sformułowanie problemu badawczego, hipotez i celów

Problem badawczy został sformułowany jasno i konkretnie: *"Zagospodarowanie wybranych produktów ubocznych przetwórstwa rolno-spożywczego jako dodatków wzbogacających decyduje o przebiegu procesu ekstruzji i ma wpływ na kształtowanie wybranych właściwości fizykochemicznych i funkcjonalnych uzyskiwanych pelletów przekąskowych"*.

Hipotezy badawcze (H1-H3) są logiczną odpowiedzią na postawiony problem i mają charakter weryfikowalny:

H1: Zastosowanie procesu ekstruzji pozwala na zagospodarowanie produktów ubocznych w postaci wyłoków owocowo-warzywnych i oleistych do uzyskania nowej gamy produktów ekstrudowanych w postaci pelletów przekąskowych ograniczając tym samym konieczność ich utylizacji.

H2: Ilość i rodzaj dodatku wyłoków roślinnych do mieszanek skrobiowych oraz konfiguracja układu plastyfikującego ekstrudera, prędkość obrotowa ślimaka i zastosowana matryca formująca determinują przebieg procesu ekstruzji oraz kształtują wybrane właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne ekstrudatów, co może przyczynić się do uzyskania nowych wyrobów o zdefiniowanych cechach przy minimalizacji zapotrzebowania energetycznego.

H3: Materiały powstałe w procesie ekstruzji zawierają znaczną ilość łatwo rozkładalnych związków organicznych umożliwiających ich wykorzystanie jako substratu do przeprowadzenia fermentacji beztlenowej i produkcji biogazu, co przynosi pozytywny efekt środowiskowy. Hipoteza 3 poszerza zakres pracy o aspekt energetyczny i środowiskowy, badając potencjał biogazowy frakcji poprodukcyjnych.

Cele szczegółowe (1-4) zostały precyzyjnie przypisane do poszczególnych publikacji (P1-P5), co świadczy o doskonałym zaplanowaniu i realizacji projektu badawczego. Cele te są spójne z hipotezami i w pełni je weryfikują.

Materiały i metodyka badawcza. Opis metodologii jest poprawny, co pozwala na pełną ocenę wiarygodności badań i umożliwia ich powtórzenie. Materiały: Dobór surowców (wytłoki z jabłek, aronii, dyni, czarnuszki, siemienia lnianego) oraz komponentów bazowych (mieszanki pszenno-kukurydziane i ziemniaczane) jest szeroki i dobrze uzasadniony. Lokalne pozyskiwanie wytlóków podkreśla aspekt zrównoważonego rozwoju. Proces ekstruzji: Bardzo istotnym atutem pracy jest analiza wpływu konfiguracji układu ślimaków ekstrudera ($L/D=16$ i $L/D=20$) oraz rodzaju matrycy (pierścieniowa i płaska). Wykracza to poza standardowe badania recepturowe i stanowi wartościowy wkład w inżynierię procesową. Kontrola parametrów procesu (temperatura, prędkość ślimaka) była prowadzona rzetelnie. Metody analityczne: Zakres zastosowanych metod oceny właściwości fizykochemicznych jest bardzo szeroki i kompleksowy i obejmuje: Parametry procesowe: wydajność (Q) i jednostkowe zapotrzebowanie energii (SME). Właściwości fizyczne: wskaźnik ekspandowania, wytrzymałość mechaniczna, gęstość nasypowa, wskaźniki WAI i WSI. Właściwości funkcjonalne: całkowita zawartość polifenoli (TPC), aktywność antyoksydacyjna (metody DPPH i FRAP). Ocena środowiskowa: potencjał biogazowy i metanowy frakcji poprodukcyjnych. Analiza statystyczna: Wykorzystanie metod statystycznych, takich jak ANOVA, test Tukeya, analiza korelacji Pearsona, analiza powierzchni odpowiedzi (RSM) oraz głównych składowych (PCA), pozwoliło na pogłębioną interpretację złożonych zbiorów danych i wyciągnięcie wiarygodnych wniosków.

Omówienie wyników i osiągnięć naukowych

Omówienie wyników jest szczegółowe i znakomicie integruje dane ze wszystkich pięciu publikacji, ukazując ewolucję badań i wypracowaną wiedzę. Analiza wyników badań umieszczonych w artykułach P1-P5 pozwalała na zweryfikowanie postawionych hipotez badawczych.

Weryfikacja hipotezy H1: Praca w sposób przekonujący wykazała, że ekstruzja jest technologią umożliwiającą efektywne zagospodarowanie nawet do 30% różnych wytlóków roślinnych w produkcji pelletów przekąskowych. Jest to znaczący postęp w kierunku realizacji idei GOZ w przemyśle spożywczym.

Weryfikacja hipotezy H2: Wpływ na parametry procesowe. Wydajność (Q): Wykazano, że wydajność procesu jest silnie zależna od rodzaju i ilości wytlóków, prędkości ślimaka oraz konfiguracji układu plastyfikującego. Wytloki bogate w tłuszcz (czarnuszka, siemię lniane)

często zwiększały wydajność, podczas gdy te bogate w błonnik (aronia) mogły ją ograniczać. Układ $L/D=16$ z matrycą pierścieniową ogólnie zapewniał wyższe wydajności.

Energochłonność (SME): Jednym z najważniejszych wniosków jest stwierdzenie, że dodatek wytlóków (szczególnie aroniowych, czarnuszki i siemienia lnianego) prowadzi do istotnego obniżenia jednostkowego zapotrzebowania na energię mechaniczną, zwłaszcza przy wyższych prędkościach ślimaka i przy użyciu krótszego układu plastyfikującego ($L/D=16$). Ma to bezpośrednie przełożenie na redukcję kosztów produkcji i śladu węglowego.

Redukcja zużycia wody: Zastosowanie wytlóków o naturalnie wysokiej wilgotności pozwoliło na ograniczenie dodatku wody technologicznej o 32-76%, co jest kolejnym, istotnym pozytywnym efektem środowiskowym i ekonomicznym.

Weryfikacja hipotezy H2: Wpływ na właściwości produktu: Udowodniono, że rodzaj i ilość wytlóków, a także parametry ekstruzji, w sposób istotny i kontrolowany kształtują kluczowe cechy ekstrudatów: gęstość nasypową, wskaźnik ekspandowania, wytrzymałość mechaniczną oraz właściwości hydratacyjne (WAI, WSI). Stwierdzono np., że układ $L/D=16$ sprzyjał niższej gęstości nasypowej, a matryca pierścieniowa z układem $L/D=20$ – wyższej. Właściwości funkcjonalne, badania (zwłaszcza P1) jednoznacznie wykazały, że proces ekstruzji nie degraduje, a wręcz może uwalniać związki bioaktywne. Dodatek wytlóków znacząco podniósł całkowitą zawartość polifenoli (TPC) oraz aktywność antyoksydacyjną (DPPH, FRAP) gotowych produktów. Co istotne, ekspandowanie w kuchence mikrofalowej okazało się korzystniejsze dla zachowania tych składników niż tradycyjne smażenie.

Weryfikacja hipotezy H3: Aspekt energetyczno-środowiskowy. Praca wnosi przełomowe podejście, zamykające pętlę obiegu materii. Wykazano, że frakcje poprodukcyjne i produkty niespełniające norm są doskonałym substratem do fermentacji metanowej. Szczególnie wysokim potencjałem biogazowym charakteryzowały się ekstrudaty z dodatkiem wytlóków z czarnuszki, gdzie przy 30% udziale uzyskano zawartość metanu w biogazie na poziomie 51,39%. Jest to wartość bardzo wysoka, potwierdzająca atrakcyjność energetyczną tych odpadów. To połączenie produkcji żywności funkcjonalnej z równoległym zagospodarowaniem odpadów na cele energetyczne stanowi modelowy przykład symbiozy przemysłowej i kompleksowej realizacji zasad 6R.

3. Wkład w rozwój dyscypliny

Praca doktorska mgr. inż. Jakuba Soi wnosi znaczący i oryginalny wkład do dyscypliny inżynieria środowiska, a także do inżynierii mechanicznej. Główne elementy tego wkładu to:

- Opracowanie innowacyjnej, zrównoważonej koncepcji technologicznej łączącej wytwarzanie wzbogaconej żywności ekstrudowanej z odzyskiem energii z odpadów poprodukcyjnych.
- Pogłębienie wiedzy z zakresu inżynierii procesowej poprzez kompleksową analizę wpływu konstrukcji układu plastyfikującego ekstrudera na efektywność procesu przetwarzania mieszanek z wysokim udziałem produktów ubocznych.
- Ilościowe określenie korzyści środowiskowych, w tym redukcji energochłonności procesu ekstruzji oraz zużycia wody, a także waloryzacja potencjału energetycznego frakcji poprodukcyjnych.
- Dostarczenie praktycznych wskazówek dla przemysłu dotyczących optymalizacji receptur i parametrów procesu ekstruzji w celu produkcji wysokiej jakości ekstrudatów przekąskowych z dodatkiem wytlóków.

Wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy opublikowano w czasopismach międzynarodowych o uznanej pozycji, indeksowanych w bazach Web of Science i/lub Scopus. Wysoki łączny IF (11.70) świadczy o tym, że wyniki badań spotkały się z uznaniem międzynarodowej społeczności naukowej. Język artykułów, zastosowane metodyki oraz poziom merytoryczny prezentowanych wyników są na bardzo wysokim poziomie, charakterystycznym dla wiodących ośrodków badawczych.

4. Uwagi krytyczne

Pierwszym istotnym mankamentem, dostrzegalnym już na poziomie strukturalnym, jest pewna fragmentaryczność narracji wynikająca z formy „rozprawy przez publikacje”. Choć poszczególne artykuły (P1-P5) są ze sobą tematycznie powiązane, to odbiorca może odnieść wrażenie powtarzalności niektórych fragmentów, szczególnie w sekcjach wprowadzenia i metodologii w poszczególnych publikacjach, co w scalonym dokumencie dysertacji objawia się redundancją. Spójność tematyczna jest zachowana, ale płynność wyводу pomiędzy głównymi tezami mogłaby być lepiej zaakcentowana w części omawiającej wyniki. Brakuje syntetyzującego, krytycznego komentarza, który w jasny sposób łączyłby wnioski z wszystkich pięciu publikacji w jedną, spójną opowieść naukową, wykraczającą poza sumę poszczególnych części.

W warstwie metodologicznej, będącej kręgosłupem każdej pracy eksperymentalnej, dostrzega się kilka istotnych luk i niekonsekwencji. Podstawowym zarzutem jest brak pełnego uzasadnienia doboru konkretnych zakresów badanych parametrów procesu ekstruzji.

Dlaczego wybrano prędkości obrotowe ślimaka wynoszące: 40, 60, 80 obr/min, a w pracy wstępnej P1 60, 80, 100 obr/min?

Dlaczego wilgotność mieszanek ustalono na sztywno na poziomie 34% (P2), pomimo że procesowane wyłoki charakteryzowały się skrajnie różną wilgotnością początkową (20-65%)?

Ponadto, w pracy porównywano układy plastyfikujące o stosunku $L/D=16$ i $L/D=20$, co jest cenne, jednak opis różnic w konstrukcji ślimaków jest niewystarczający. Wspomniano, że w układzie $L/D=20$ zastosowano ślimak z „dodatkowym elementem mieszającym”, podczas gdy dla $L/D=16$ był to ślimak o „jednolitym ciągłym zwoju”. Różnica w geometrii ślimaka (ślimak mieszający vs. ślimak transportowy) ma fundamentalny wpływ na przebieg procesu (mieszanie, ciśnienie, stopień przetworzenia), a to zagadnienie nie zostało w pełni wyeksplorowane i przedyskutowane w kontekście uzyskanych wyników.

W sekcji dotyczącej omówienia wyników widać wyraźną tendencję do ich opisywania, a nie głębokiej, krytycznej interpretacji w szerszym kontekście literaturowym. Autor często stwierdza, że „zaobserwowano wzrost” lub „odnotowano spadek” danego parametru, a następnie powołuje się na pojedyncze, potwierdzające publikacje. Brakuje natomiast konfrontacji z wynikami sprzecznymi, lub próby wyjaśnienia mechanizmów stojących za obserwowanymi zjawiskami. Na przykład, wzrost zawartości polifenoli po ekstruzji w porównaniu do surowca wyjściowego (P1) tłumaczony jest ich uwalnianiem z matrycy roślinnej, co jest prawdopodobne, ale nie wyklucza się jednocześnie powstawania nowych związków (np. produktów reakcji Maillarda), które również mogą dawać reakcję z odczynnikami Folina-Ciocalteu.

Sformułowanie wniosków jest ogólne i w dużej mierze odzwierciedla cele pracy, ale brakuje im czasem precyzji i oparcia w konkretnych, kluczowych wynikach. Na przykład, wniosek 4 stwierdza, że najniższe SME zaobserwowano dla $L/D=16$ z matrycą pierścieniową i wyłokami aroniowymi przy najwyższej prędkości obrotowej. Jest to prawda, ale nie stanowi odkrywczego uogólnienia, a jedynie odtworzenie jednego z wielu wyników. Brakuje wniosków syntetyzujących, które np. rankowałyby badane wyłoki pod kątem ich przydatności technologicznej (np. „Wyłoki z siemienia lnianego i czarnuszki, ze względu na wysoką zawartość tłuszczu, są najlepszymi plastyfikatorami mieszanek, prowadząc do wysokiej wydajności i niskiego SME, podczas gdy wyłoki aroniowe, bogate w błonnik i polifenole, skutecznie wzbogacają produkt w składniki bioaktywne, lecz wymagają starannej optymalizacji parametrów ze względu na tendencję do zwiększania gęstości nasypowej”).

Wnioski dotyczące potencjału biogazowego są trafne, ale nie uwzględniają aspektów ekonomicznych czy logistycznych wdrożenia takiego rozwiązania w praktyce przemysłowej.

5. Wnioski końcowe i ocena spełnienia wymagań

Rozprawa doktorska mgr. inż. Jakuba Soi jest pracą bardzo dojrzałą pracą. Stanowi kompletne i oryginalne dzieło naukowe, które w sposób istotny wzbogaca wiedzę z zakresu zrównoważonego przetwórstwa żywności, inżynierii procesowej i gospodarki obiegu zamkniętego. Jej największą siłą jest praktyczne, kompleksowe ujęcie problematyki gospodarki obiegu zamkniętego w przetwórstwie rolno-spożywczym.

Praca spełnia wszystkie kryteria stawiane rozprawom doktorskim w stopniu znacznie wykraczającym poza minimalne wymagania:

- Wkład w rozwój dyscypliny jest znaczący i wieloaspektowy (technologiczny, środowiskowy, energetyczny).

- Metodyka badań jest nowoczesna, kompleksowa i rzetelna.

- Osiągnięcia badawcze zostały udokumentowane w postaci cyklu wysokiej jakości publikacji w renomowanych czasopismach międzynarodowych.

- Wkład własny Kandydata jest dominujący i decydujący dla kształtu całego dorobku, co zostało udokumentowane stosownymi oświadczeniami.

- Sposób prezentacji wyników jest jasny, logiczny i przejrzysty.

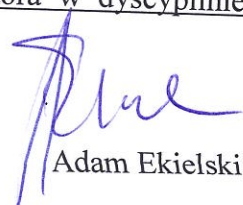
Praca świadczy o samodzielności badawczej, dużych umiejętnościach warsztatowych oraz dogłębnej wiedzy Kandydata. Zaprezentowane podejście, łączące optymalizację procesu technologicznego z analizą cyklu życia produktu i odzyskiem energii, ma charakter nowatorski i stanowi wzór do naśladowania w przyszłych badaniach.

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty formalne i merytoryczne, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Jakuba Soi pt. "Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji" w pełni spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2024 r. poz.1571, z późn. Zm.) i może być podstawą do nadania stopnia naukowego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinach inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz inżynieria mechaniczna.

W związku z powyższym, wyrażam opinię pozytywną i rekomenduję dopuszczenie mgr. inż. Jakuba Soi do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.



PODPIS ZAUFANY
ADAM
EKIELSKI
09.12.2025 12:49:55 GMT+1
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym


Adam Ekielski