

prof. UPP. dr hab. inż. Krzysztof Pilarski

Poznań, 25.05.2023 r.

Katedra Inżynierii Biosystemów

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Karola Kupryaniuka

pt.:

Zastosowanie techniki ekstruzji materiałów lignocelulozowych w aspekcie ich wykorzystania w biogazowniach

Praca została wykonana pod kierunkiem

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Oniszcuk
Promotor pomocniczy: dr inż. Maciej Combrzyński

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Naukowej dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Pana prof. dr hab. Dariusza Andrejko, z dnia 5 maja 2023 roku (nr pisma RD IM/5100/2023). Podstawę formalno - prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Kupryaniuka na temat: „Zastosowanie techniki ekstruzji materiałów lignocelulozowych w aspekcie ich wykorzystania w biogazowniach” stanowi Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie z dnia 28 kwietnia 2023 roku.

2. Tematyka rozprawy

Celem ocenianej rozprawy doktorskiej było zweryfikowanie możliwości wykorzystania ekstruzji jako procesu obróbki wstępnej odpadowych surowców lignocelulozowych do zastosowania w biogazowniach rolniczych. W tym celu w badaniach wykorzystano wybrane surowce lignocelulozowe, tj.: słomę kukurydzianą, słomę pszenną, łodygi słonecznika bulwiastego (topinamburu), siano, otręby kukurydziane, słomę gryczaną oraz rzepakową. Następnie surowce rozdrobiono do wielkości cząstek maks. 10 mm, a następnie dowilżono do założonych poziomów 20, 25, 30, 35, 40, oraz 50 % wilgotności. W kolejnym etapie biomasę lignocelulozową poddano obróbce ciśnieniowo - termicznej z wykorzystaniem ekstrudera jednoślimakowego TS-45 z zastosowaniem trzech rodzajów elementów roboczych (ślimaków). Otrzymane ekstrudaty poddano wybranym badaniom jakościowym. Określono wpływ zmiennych warunków procesowych (poziomu dowilżenia, prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera oraz modyfikacji układu plastyfikującego) na wybrane właściwości fizykochemiczne ekstrudatów. Badania procesu ekstruzji wybranych surowców lignocelulozowych obejmowały określenie jego wydajności i energochłonności oraz wyznaczenie uzysku biogazu i zawartości metanu z otrzymanych ekstrudatów.

3. Ocena formalna

Rozprawę doktorską stanowią następujące publikacje:

- 1. Kupryaniuk K.,** Wójtowicz A., Oniszczyk T., Kasprzak K. 2018. *Charakterystyka i możliwości wykorzystania surowców lignocelulozowych na cele energetyczne*. Wybrane zagadnienia z zakresu ergonomii, bezpieczeństwa i higieny pracy: monografia naukowa / red. A. Buczaj, A. Pecyna, Towarzystwo Wydawnictw Naukowych Libropolis, Lublin, 177-185, 978-83-65943-03-3.
- 2. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Lisiecka K., Kłapsia S. 2019. *Wpływ techniki ekstruzji na biomasę lignocelulozową (Impact of extrusion-cooking technique on lignocellulosic biomass)*. Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Uprawa roślin i ochrona środowiska, Młodzi Naukowcy, Poznań, 33-39, 978-83-66392-47-2.
- 3. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Combrzyński M., Dach J., Czekala W. 2020. *Process efficiency and energy consumption during the extrusion of lignocellulosic materials*. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, Vol. 505 Article number 012040, 1-8, DOI: 10.1088/1755-1315/505/1/012040
- 4. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Combrzyński M., Wójtowicz A., Mitrus M. 2020. *Effect of extrusion-cooking conditions on the physical properties of Jerusalem artichoke straw*. Int. Agrophys. Vol. 34, Iss. 4, 441-449, DOI: 10.31545/intagr/127804.

- 5. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Combrzyński M., Czeakała W., Matwijczuk A. 2020. *The influence of corn straw extrusion pretreatment parameters on methane fermentation performance.* Materials Vol. 13, Iss. 13, 3003, 1-16, DOI: 10.3390/ma13133003.
- 6. Kupryaniuk K.,** Wójtowicz A., Mazurkiewicz J., Słowik T., Matwijczuk A. 2021. *The influence of the pressure-thermal agglomeration methods of corn bran on their selected physicochemical properties and biogas efficiency.* Energies, Vol. 14, Iss. 21, 6997, DOI: 10.3390/en14216997.
- 7. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Combrzyński M., Lisiecka K., Janczak D. 2022. *Influence of modification of the plasticizing system on the extrusion-cooking process and selected physicochemical properties of rapeseed and buckwheat straws.* Materials, Vol. 15, Iss. 14 , 5039, DOI: 10.3390/ma15145039.
- 8. Kupryaniuk K.,** Oniszczyk T., Combrzyński M., Matwijczuk A., Pulka J. 2023. *Physical and thermal modification of selected lignocellulosic raw materials.* Int. Agrophys. 2023, 37(2), 141–149, DOI: 10.31545/intagr/161612.

Przedstawione publikacje są z afiliacją Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Rozważany problem naukowo - badawczy obejmuje zagadnienia z zakresu: możliwości przeprowadzenia obróbki wybranych materiałów lignocelulozowych za pomocą ekstrudera jednoślimakowego TS-45, jak zmienne procesowe wpływają na przebieg procesu oraz właściwości fizyczne otrzymanych ekstrudatów oraz wpływ różnych układów plastyfikujących na różnice w ilości uzysku biogazu czyli na biochemiczny potencjał metanogeny.

Zrealizowanie postawionych problemów naukowo – badawczych i osiągnięcie określonego celu pracy wymagało przeprowadzenia wielu zadań badawczych, którymi były: stosowano zmienne parametry procesu ekstruzji do wytworzenia ekstrudatów przy użyciu układu plastyfikującego L/D = 12 i 16, ekstrudera jednoślimakowego TS-45 oraz zmiennych poziomów dowilżenia surowców. Zmodyfikowano konstrukcję ślimaka ekstrudera w celu możliwości jego wykorzystania w przetwórstwie materiałów lignocelulozowych. To z kolei spowodowało wykonanie badań eksploatacyjnych procesu ekstruzji w zależności od zastosowanych zmiennych procesowych. W kolejnym etapie Autor badań wykonał analizę podstawowych właściwości fizycznych ekstrudatów w celu przeprowadzenia badań pod kątem pozyskiwania metanu oraz kinetyki procesu fermentacji metanowej. W ostatnim etapie otrzymane wyniki zostały poddane analizie statystycznej.

Kompleksowe podejście do analizowanego zagadnienia pozwoliło na zrealizowanie pracy i przedłożenie jej do recenzji.

4. Ocena merytoryczna

Podstawowe badania przedstawione w ocenianej pracy zostały wykonane w Katedrze Techniki Ciepłej i Inżynierii Procesowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Badania potencjału energetycznego i procesu peletyzacji przeprowadzono w Katedrze Energetyki i Transportu, analizy mikroskopowej dokonano w Katedrze Inżynierii i Maszyn Spożywczych, badania spektroskopowe w podczerwieni z transformatą Fouriera dokonano we współpracy z Zakładem Biofizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Wydajność biogazową ekstrudatów przeanalizowano w Pracowni Ekotechnologii działającej przy Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. W powyższych jednostkach został wykonany szereg badań, analiz i obliczeń statystycznych. Do realizowanych badań, które umożliwiły przedłożenie pracy należą między innymi: przygotowanie surowców oraz stanowiska do procesu ekstruzji, modyfikacja układu plastyfikującego, badanie wilgotności i wydajności procesu ekstruzji, analiza energochłonności procesu ekstruzji i procesu peletowania, pomiar wskaźnika absorpcji wody i rozpuszczalności w środowisku wodnym, badanie gęstości usypowej, potencjał energetyczny, właściwości pastowe, biochemiczny potencjał metanogeny (fermentacja metanowa), analiza mikroskopowa, pomiary widm w podczerwieni i analizę statystyczną.

W rozdziale: 4 pt "OMÓWIENIE GŁÓWNYCH WYNIKÓW" zostały przedstawiono badania i omówione wyniki z publikacji składających się na recenzowaną pracę.

Publikacja 1

pt. „Charakterystyka i możliwości wykorzystania surowców lignocelulozowych na cele energetyczne”

Autor pracy podkreśla, że w Polsce zalegają duże ilości biomasy lignocelulozowej, którą można byłoby wykorzystać w biogazowniach rolniczych, a fermentowany odpadowy materiał biomasy lignocelulozowej mógłby stanowić alternatywę dla kiszzonek.

Publikacja 2

pt. „Wpływ techniki ekstruzji na biomasę lignocelulozową”.

Praca ta dotyczy analizy potencjału ekstruzji jako technologii umożliwiającej pozyskanie taniego i wysokoenergetycznego substratu lignocelulozowego do stosowania w biogazowniach rolniczych. Badaniom poddano wybrane substraty lignocelulozowe m.in.: siano, słomę pszeną, łodygi topinamburu, otręby kukurydziane oraz słomę kukurydzianą.

Publikacja 3

pt. „Process efficiency and energy consumption during the extrusion of lignocellulosic materials”

Z uwagi na istotę zrównoważone rozwoju Autor pracy określa wydajność i energochłonność procesu ekstruzji wybranych materiałów lignocelulozowych w zróżnicowanych warunkach obróbki barotermicznej. W badaniach wykorzystuje wybrane surowce roślinne takie jak: otręby kukurydziane, słomę kukurydzianą, siano oraz słomę pszenną.

Publikacja 4

Pt. „*Effect of extrusion-cooking conditions on the physical properties of Jerusalem artichoke straw*”

W niniejszej publikacji Autor przedstawia wyniki badań, które dotyczą zmiennych parametrów procesu ekstruzji na właściwości fizyczne słomy topinamburu. Proces ekstruzji przeprowadzono z zastosowaniem ekstrudera jednoślimakowego TS-45 o L/D=12 ze zmodyfikowanym ślimakiem ekstrudera polegającym na zastosowaniu sekcji cofania materiału w końcowej fazie procesu. Badania w przedstawionej pracy szeroko opisują czynniki, które wpływają na zniszczenia kompleksów celulozowych.

Publikacja 5

pt. „*The influence of corn straw extrusion pretreatment parameters on methane fermentation performance*”

W celu potwierdzenia wpływu procesu ekstruzji na stopień dezintegracji biomasy lignocelulozowej Autor przeprowadził badania dotyczące wydajności biogazowej przeekstrudowanych surowców. W pierwszym etapie Doktorant określił energochłonność procesu ekstruzji słomy kukurydzianej przetworzonej przy zastosowaniu zmiennych procesowych (wilgotność i prędkość obrotowa ślimaka ekstrudera). W drugim etapie określono wpływ parametrów procesu ekstruzji słomy kukurydzianej na wydajności biogazową obrotowej.

Publikacja 6

pt. *„The influence of the pressure-thermal agglomeration methods of corn bran on their selected physicochemical properties and biogas efficiency”*

Jak wskazuje Autor w publikacji 5 obróbka wstępna surowców lignocelulozowych możliwych do zastosowania w biogazowniach rolniczych powinna być poprzedzona odpowiednią obróbką wstępną. Przedstawiona publikacja miała na celu porównanie dwóch metod aglomeracji otrąb kukurydzianych oraz określenie wpływu parametrów przetwórczych na wybrane właściwości fizykochemiczne i wydajność biogazową uzyskanych substratów. Jak wskazuje Autor przeprowadzone badania miały na celu określenie możliwości wykorzystania otrąb kukurydzianych jako substratu do celów energetycznych.

Publikacja 7

pt. *„Influence of modification of the plasticizing system on the extrusion-cooking process and selected physicochemical properties of rapeseed and buckwheat straws”*

W pracy tej Autor dokonał porównania wpływu modyfikacji układu plastyfikującego na wybrane właściwości fizykochemiczne słomy rzepakowej i gryczanej. Celem było dokonanie porównania wpływu modyfikacji układu plastyfikującego na wydajność biogazu i wykazanie, czy ekstruzja powinna być preferowaną metodą obróbki wstępnej tych surowców w przypadku potencjalnego wykorzystania w biogazowniach rolniczych.

Publikacja 8

pt. *„Physical and thermal modification of selected lignocellulosic raw materials”*

Przedstawione zagadnienia w publikacji 8 miały na celu określenie wpływu procesu ekstruzji wybranych surowców lignocelulozowych na wybrane ich właściwości fizyczne oraz wydajność biogazową. W badaniach wykorzystano pomiary spektroskopowe FTIR w celu określenia zmian zachodzących w próbkach podczas procesu ekstruzji na poziomie molekularnym. W badaniach wykorzystano słomę kukurydzianą, siano oraz słomę pszenną.

Pracę kończy rozdział Wnioski końcowe, w których Doktorant w sposób syntetyczny odnosi się do uzyskanych wyników badań, odpowiadając zarazem na postawiony cel pracy i problem badawczy. Również w tym rozdziale Doktorant odnosi się do postawionej hipotezy.

Przedstawione wyniki badań i ich opracowanie oraz wnioskowanie analityczne pozwalają na stwierdzenie, że Autor zrealizował postawiony w rozprawie cel naukowy, a wykorzystane metody badawcze były właściwe i odpowiadają aktualnemu stanowi wiedzy naukowej. Przedstawione w zakończeniu rozprawy wnioski dają odpowiedź na postawiony cel pracy. Oceniana praca posiada duże walory naukowe i praktyczne.

Analizując przedstawiony materiał nasuwają się następujące pytania:

- str. 26. „Substraty lignocelulozowe muszą być poddane wcześniejszej obróbce wstępnej, która powoduje dezintegrację ligniny oraz uwolnienie celulozy i hemicelulozy” – na czym polega dezintegracja ligniny i w jaki sposób następuje uwolnienie celulozy i hemicelulozy?

- str. 27. „Najwyższe wydajności zaobserwowano w przypadku ekstruzji otrąb kukurydzianych, a najniższe w przypadku łodyg topinamburu, które charakteryzowały się najwyższym wskaźnikiem energochłonności procesu – dlaczego proces ekstruzji łodyg topinamburu charakteryzowały się najwyższym wskaźnikiem energochłonności?

- str. 27. „Dla użytych surowców zastosowano cztery stopnie dowlżenia (20, 25, 30 i 35%) oraz trzy prędkości obrotowe ślimaka ekstrudera (70, 90 i 110 obr min⁻¹). Zmienne procesowe miały istotny wpływ na przebieg procesu obróbki wstępnej ekstrudatów – jak jest korelacja między dowlżeniem, a prędkością obrotową ślimaka ekstrudera?

- str. 28. „Proces ekstruzji przeprowadzono z zastosowaniem ekstrudera jednoślimakowego TS-45 o L/D=12 ze zmodyfikowanym ślimakiem ekstrudera polegającym na zastosowaniu sekcji cofania materiału w końcowej fazie procesu – dlaczego sekcja cofania materiału w końcowej fazie procesu wpływa na proces ekstruzji?

- str. 30. „Zawartość skumulowanego biogazu we wszystkich badanych próbkach była wyższa niż w słomie kontrolnej, a produkcja skumulowanego biogazu była bardziej intensywna, zarówno dla suchej, jak i świeżej masy – jak wpływa na efektywność produkcji skumulowanego metanu i biogazu poziom dowlżenia?

- str. 33. „W wyniku wstępnej obróbki termicznej lub ciśnieniowej materiał rozpada się na mniejsze cząstki, co przyspiesza proces fermentacji metanu – dlaczego tak istotny jest rozmiar cząstki poddawanej procesowi fermentacji metanowej?

Kończąc ocenę merytoryczną pracy należy wspomnieć o drobnych brakach czy uwagach, które zamieszczam poniżej (uwagi szczegółowe):

Str. 9. „Badania wykazały, że stosując słomę pszenną poddaną ekstruzji można osiągnąć zwiększenie produkcji metanu w procesie fermentacji – powinno być - Badania wykazały, że stosując słomę pszenną poddaną ekstruzji można osiągnąć **zwiększenie** produkcji metanu w procesie fermentacji.

Str. 9. Udowodniono ponadto, że modyfikacja układu plastyfikującego ślimaka ma istotny wpływ na otrzymane wyniki badań, tj. pozwala otrzymać materiał o większej wydajności biogazowej – powinno być Udowodniono ponadto, że modyfikacja układu plastyfikującego ślimaka ma istotny wpływ na otrzymane wyniki badań, tj. pozwala otrzymać materiał o **większej** wydajności biogazowej.

Ponadto w pracy pojawiają się drobne błędy stylistyczne i interpunkcyjne, które nie wpływają na wartość merytoryczną pracy.

Proszę, aby Autor pracy w trakcie obrony ustosunkowywał się do uwag i pytań zawartych w recenzji. Uwzględnienie przez Doktoranta wymienionych w niniejszej recenzji uwag pozwoli na doskonalenie warsztatu pisarskiego.

5. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę walory naukowe, poznawcze oraz aplikacyjne recenzowanej rozprawy doktorskiej pt. „Zastosowanie techniki ekstruzji materiałów lignocelulozowych w aspekcie ich wykorzystania w biogazowniach” stwierdzam, że spełnia ona wszystkie wymagania określone w art. 13, ust. 1 stawiane rozprawom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669) oraz wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Karola Kupryaniuka do publicznej obrony przed Radą dyscypliny inżyniera mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

prof. UPP dr hab. inż. Krzysztof Pilarski