

dr hab. inż. Sławomir Obidziński, prof. PB
Politechnika Białostocka
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Katedra Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Styksa na temat: „**Wpływ geometrii kanału matrycy na jakość peletu uzyskiwanego z biomasy**”

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie umowy o dzieło (sygnatura K/1144/2023/WiPiE z dnia 25.07 IM 5100/2/2023), zawartej z Uniwersytetem Rolniczym im. H. Kołłątaja w Krakowie, reprezentowanym przez prof. dr hab. inż. Andrzeja Lepiarczyka Prorektora ds. Ogólnych na podstawie pełnomocnictwa udzielonego przez JM Rektora prof. dr hab. inż. Sylwestra Tabora, podpisanej w związku z decyzją Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie z dnia 24.07.2023.r., która zaakceptowała moja osobę jako recenzenta w/w pracy doktorskiej.

1. Charakterystyka podjętego problemu

W ostatnich latach coraz większą uwagę poświęca się w krajach Unii Europejskiej problematyce ochrony klimatu, co związane jest między innymi z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych, ze zmniejszeniem ilości szkodliwych substancji takich jak tlenki siarki (SO_x), dwutlenek azotu (NO₂), dwutlenek węgla (CO₂), benzopiren, węglowodory oraz pyły powstające w procesie spalania paliw kopalnych. Związki te są niebezpieczne i tworzą bezpośrednie zagrożenie dla środowiska, zdrowia i życia ludzkiego. Ich negatywny wpływ uwidacznia się przez zmiany klimatyczne tj. opady, temperaturę, bilans wodny i inne czynniki warunkujące życie na naszej planecie.

W związku z tym, coraz bardziej uwidacznia się tendencja korzystania z odnawialnych źródeł energii, w tym paliw w postaci peletu lub brykietu wytwarzanych z biomasy, w tym roślin energetycznych. Ta szeroka gama roślin daje też niestety, co potwierdza Doktorant, surowiec o zróżnicowanych właściwościach, mający wpływ na proces jej ciśnieniowej aglomeracji.

Przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji biomasy oraz jakość otrzymanego produktu, zależy, oprócz właściwości surowca, od wielu innych różnych zmiennych czynników procesowo-konstrukcyjnych. W zależności od zastosowanego surowca czynniki te najczęściej dobierane są indywidualnie, m.in. również geometria kanału (otworu) matrycy peletarki. Nie ma wielu prac, co potwierdza Doktorant, w których można znaleźć wytyczne odnośnie doboru geometrii otworów w matrycy w kontekście otrzymania (wytworzenia) paliwa (pelletu), zgodnego z wymaganymi normami poziomami cech jakościowych tj. gęstości i wytrzymałości kinetycznej.

Przedstawiona praca doktorska mgr inż. Jakuba Styksa wpisuje się doskonale w naukowe działania zmierzające do znalezienia, na drodze eksperymentalnej uniwersalnych relacji materiał-geometria-jakość pelletu, pozwalających na dobór najkorzystniejszej geometrii kanału (otworu) zagęszczającego pozwalającej na maksymalizację parametrów jakościowych przy minimalnym ciśnieniu zagęszczania.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Styksa została zredagowana na 161 stronach i składa się ze streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu treści, spisu oznaczeń użytych w pracy, 7 rozdziałów, bibliografii, spisu tabel i spisu rysunków.

We wstępie (rozdziale pierwszym) Doktorant wprowadza Czytelnika w tematykę rozprawy.

Rozdział drugi pracy stanowi przegląd literatury dotyczący: biomasy i jej wykorzystania w energetyce, potencjału biopaliw stałych w Polsce, klasyfikacji biopaliw stałych, procesowi ciśnieniowego zagęszczania, sił w nim występujących, czynników wpływających na proces ciśnieniowego zagęszczania oraz przeglądu modeli procesu zagęszczania materiałów roślinnych.

W rozdziale trzecim Autor przedstawił uzasadnienie podjęcia badań przedstawionych w pracy, cel główny pracy, hipotezy badawcze oraz cel naukowy pracy.

W rozdziale czwartym zaprezentowane zostały surowce badawcze wykorzystane w trakcie badań.

Rozdział piąty stanowi prezentację metodyki badawczej: przygotowania surowców do badań, metodyki oznaczania właściwości materiałów badawczych, przebieg prowadzenia badań wstępnych oraz metodykę oznaczania parametrów jakościowych uzyskanego produktu. W dalszej części Doktorant opisał kolejno przebieg prowadzenia badań właściwych, w tym zaprojektowane przez niego stanowisko badawcze, metodykę oznaczania parametrów jakościowych uzyskanego produktu oraz metodykę tworzenia map zmian parametrów jakościowych uzyskanego pelletu na tle ciśnienia zagęszczania.

W rozdziale szóstym Autor zaprezentował wyniki swoich badań: właściwości fizycznych i energetycznych (analizę sitową, kąt zsypu, kąt usypu, gęstość utrzęsioną, wilgotność) badanych surowców, wyniki badań wstępnych (ujednoliconego składu ziarnowego oraz wytrzymałości mechanicznej pelletów), wyniki badań właściwych procesu zagęszczania na autorskim stanowisku badawczym oraz utworzonych mapy zmian parametrów jakościowych uzyskanego pelletu.

W rozdziale siódmym Doktorant zaprezentował podsumowanie wraz dyskusją swoich wyników badań z wynikami innych autorów oraz wnioski.

W dalszej części Autor prezentuje spis bibliografii wykorzystanej w pracy.

Ostatnią część pracy stanowi spis tabel i rysunków występujących w pracy.

3. Ocena pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Styksa napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem. Pomimo sporej ilości drobnych uchybień edytorskich, od strony formalnej nie budzi większych zastrzeżeń. Należy uznać, że jest przejrzysta i przedstawia wartościowy wkład naukowy, uzupełniający wiedzę w obszarze inżynierii mechanicznej.

We wstępie (rozdziale pierwszym) Doktorant wprowadza Czytelnika w tematykę wykorzystania biomasy (w tym z upraw energetycznych) w energetyce w Polsce i na świecie, w związku z koniecznością redukcji wydzielania gazów cieplarnianych i przeciwdziałanie zmianom klimatycznym. W rozdziale tym Doktorant wprowadza również Czytelnika w tematykę problemów występujących przy wykorzystaniu surowców pochodzenia roślinnego (związanych z ich dużą zmiennością) jako surowców do produkcji paliwa stałego w postaci granulatu lub brykietów.

We wstępie Doktorant wprowadza również Czytelnika w tematykę swojego doktoratu związaną z bardzo ambitnym planem ustalenia relacji „materiał-geometria-jakość produktu”,

który zdaniem Doktoranta „...może być na tyle uniwersalny by pozwalał na dobór optymalnej geometrii kanału zagęszczającego (maksymalizującej parametry jakościowe przy minimalnym ciśnieniu zagęszczania), w zależności od wielu czynników: wilgotność surowca, jego skład ziarnowy, dodatek lepiszczy, temperatura procesu, dawka materiału itp.”

Rozdział drugi pracy stanowi przegląd literatury, w którym Doktorant scharakteryzował wybrane surowce biomasowe, źródła ich pochodzenia i ich udział w strukturze wykorzystania energii odnawialnej (rozd. 2.1), potencjał biopaliw stałych (rozd. 2.2.) i ich klasyfikację (rozd. 2.3).

W mojej opinii rozdziały „2.5. Połączenia międzycząsteczkowe i czynniki na nie wpływające” oraz „2.6. Czynniki wpływające na proces zagęszczania ciśnieniowego” można było włączyć jako podrozdziały do rozdziału „2.4. Zagęszczanie ciśnieniowe”, gdyż wszystkie dotyczą procesu zagęszczania ciśnieniowego.

Autor w kolejnych podrozdziałach rozdziału „2.6. Czynniki wpływające na proces zagęszczania ciśnieniowego” prezentuje i bardzo szczegółowo charakteryzuje wpływ wybranych czynników materiałowych, procesowych i konstrukcyjnych na przebieg procesu zagęszczania i jakość otrzymanego produktu. W moim odczuciu kolejność omawianych czynników jest trochę chaotyczna. Jeden z podrozdziałów Doktorant tytułuje: „2.6.6 Szybkość procesu”, natomiast w tekście podrozdziału używa wyłącznie nazewnictwa: „prędkość”. W związku z tym należałoby rozdział ten zatytułować „2.6.6 Prędkość procesu”.

W rozdziale „2.7. Modele zagęszczania” Doktorant zaprezentował w bardzo syntetyczny (tabelarycznie – tabela 3 – str. 30-32), ale jednocześnie w sposób wyczerpujący, matematyczne modele zagęszczania dla różnych materiałów pochodzenia roślinnego. **Doktorant słusznie zauważa, że: „Wszystkie modele matematycznie opisują proces zagęszczania materiału, gdzie głównymi elementami równania są ciśnienie oraz gęstość danego materiału...” oraz „...Żaden z modeli nie podejmuje tematu zmiany geometrii kanału zagęszczającego, w którym kompaktowany jest materiał. Żaden też nie mówi co z wytrzymałością aglomeratu, a to ona jest, oprócz gęstości, parametrem jakościowym najważniejszym zależnym właśnie od procesu aglomeracji.”** W rozdziale Doktorant przedstawia wymogi jakościowe jakie musi spełnić pelet opałowy wytworzony z biomasy. Jako mierniki jakości podaje, że wymaga się by doprowadził surowiec do odpowiedniej gęstości *DE* i odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej *DU* (zgodnie z normami PN-EN ISO 17225-2:2021-10 – w przypadku peletu drzewnego i PN-EN ISO 17225-6:2021-12 – w przypadku peletu niedrzewnego). Jednak oznaczenia przyjęte zgodnie z w/w normami mocno kontrastują z typowymi oznaczeniami gęstości występującymi w modelach zagęszczania (tabeli 3).

W rozdziale trzecim zatytułowanym „3. Cel” Doktorant przedstawił na początku długie 2,5 stronicowe treściwe wprowadzenie, będące niejako podsumowaniem części teoretycznej, związanej z procesem ciśnieniowego zagęszczania. W tym wprowadzeniu Doktorant stwierdza, m.in. że: „...autorzy badań dotyczących procesu zagęszczania proponują wiele modeli matematycznych opisujących proces zagęszczania (Tabela 3).” „...modele o których mowa, w głównej mierze opisują zmianę objętości materiału pod wpływem badanych czynników (głównie ciśnienia, temperatury i wilgotności) i odnoszą się głównie do gęstości otrzymanego granulatu całkowicie pomijając kwestię najważniejszego z parametrów jakościowych, czyli wytrzymałości mechanicznej granulatu.” „...modele te nie zawierają informacji, jaka powinna być geometria kanału zagęszczającego oraz jak ona wpływa zarówno na proces jak i jakość produkowanego granulatu.” W ten sposób Doktorant nawiązuje do celu pracy, którym według Niego jest: „...określenie wpływu geometrii kanału zagęszczającego na jakość peletu uzyskanego z wybranych rodzajów biomasy zielnej.”

W dalszej części Doktorant stawia dwie hipotezy badawcze:
„H1: Geometria kanału zagęszczającego matrycy ma istotny wpływ na *DE* i *DU* peletu,

H2: Uzyskanie wysokiej jakości peletu wymaga geometrii kanału zagęszczającego dostosowanej do biomasy danego gatunku roślin.” oraz cel naukowy pracy, którym według Doktoranta było: „... wyznaczenie powiązań pomiędzy właściwościami surowca roślinnego, geometrią kanału zagęszczającego a parametrami jakościowymi (DE i DU) granulatu powstałego wskutek procesu zagęszczania ciśnieniowego”.

Rozdział czwarty, stanowi bardzo szczegółowa charakterystyka materiału badawczego, którym są trzy rośliny energetyczne, które wg klasyfikacji biomasy zawartej w normie (PN-EN ISO 17225-1:2021, 2021) należą do biomasy zielnej: miskant olbrzymi *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu, ślazier pensylwański *Sida hermaphrodita* L. Rusby oraz różnik przerośnięty *Silphium perfoliatum* L, pozyskanych z plantacji roślin energetycznych znajdującej się na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Doktorant bardzo szczegółowo wyjaśnia w tym rozdziale wybór materiału badawczego oraz, co wymaga podkreślenia, przedstawia bardzo bogaty wykaz pozycji literaturowych dotyczących wybranych roślin energetycznych, a w kolejnych podrozdziałach 4.1 – 4.3 przedstawia bardzo szczegółową charakterystykę w/w roślin (systematykę, morfologię - fotografie poszczególnych części roślin, warunki uprawy itd.).

W mojej opinii rozdział „4. Materiał badawczy” można z powodzeniem umieścić jako jeden z podrozdziałów w rozdziale „5. Metodyka badań”.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawia w bardzo szczegółowy sposób metodykę prowadzonych przez siebie badań, które dzieli na trzy etapy:

- etap I – czynności związane z przygotowaniem surowców do badań oraz badania związane z oznaczeniem ich właściwości, istotnych z punktu widzenia ich energetycznego wykorzystania,
- etap II – badania wstępne, pozwalające na ustalenie parametrów i ich zakresów jakie zostały przyjęte do badań w etapie III,
- etap III – badania właściwe wpływu geometrii kanału matrycy na jakość granulatu.

W tym miejscu na podkreślenie zasługuje, że każdy z etapów badań Doktorant zilustrował czytelnymi schematami (rys. 9, rys. 15, rys. 19). Warto podkreślić jest również bardzo szczegółowe opisanie metodyki badań w każdym etapie, bazującej na najnowszych normach wykorzystywanych przez Laboratorium Technologii Produkcji i Oceny Jakości (LABIOM) Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, gdzie prowadzone były badania, które w 2016 roku uzyskało i utrzymuje akredytację Polskiego Centrum Akredytacji jako laboratorium badawcze (nr akredytacji AB 1585).

Rozdział 5.2 Doktorant tytułuje „5.2 Charakterystyka materiału badawczego”, podczas gdy dotyczy on oznaczenia parametrów istotnych z punktu widzenia ich energetycznego wykorzystania (zawartość popiołu, ciepło spalania) jak i parametrów mogących potencjalnie mieć wpływ na proces zagęszczania (gęstość właściwa i bezwzględna, skład ziarnowy, współczynnik tarcia). Moim zdaniem bardziej adekwatnym byłby tytuł: „5.2 Metodyka oznaczania właściwości surowców”.

W podrozdziale „5.3.4 Oznaczenie parametrów jakościowych” Doktorant opisuje oznaczanie wytrzymałości kinetycznej granulatu według zmodyfikowanej przez Wróbla metody. Na ile wyniki testów według tej metody są tożsame/inne niż według normy PN-EN ISO 17831-1:2016-02? I z czego to może w głównej mierze wynikać? Ze zmienionego czasu testu? Dlaczego zmieniono ten czas? Masa próby jest zgodna z normą.

W rozdziale „5.4.1. Projekt stanowiska badawczego oraz zagęszczanie ciśnieniowe” Doktorant prezentuje (rysunki 20-23) i szczegółowo opisuje koncepcję budowy własnego, bardzo pomysłowego i uniwersalnego stanowiska badawczego, o budowie modułowej, co umożliwiła składanie kanału z modułu cylindrycznego i stożkowego. Oprócz modułów

formujących stanowisko składa się jeszcze z modułu wprowadzającego, modułu odbierającego pelet, korpusu łączącego wymienione powyżej moduły oraz z grzałki.

Podrozdział „5.4.3. *Mapy zmian parametrów jakościowych peletu*” stanowi opis metodyki tworzenia bardzo ciekawej, zaproponowanej przez Doktoranta, propozycji tworzenia mapy zmian parametrów jakości peletu na tle zmian ciśnienia zagęszczania, w postaci jednego wykresu powstałego z połączenia wykresów warstwicznych, niezależnie od analizowanych parametrów (P , DE , DU), obejmujących „obszar” badanej długości sekcji cylindrycznej matrycy L (5-45mm) i kąta tworzącej sekcji stożkowej α (10-40°).

Co do tego rozdziału, to uważam, że opis metodyki tworzenia ostatecznej wersji wykresów (map) powinien być opisany bardziej szczegółowo (krok po kroku), z podaniem, z wykorzystaniem jakiego programu mapy te były tworzone i z podaniem kolejnych kroków w tym programie. Przedstawiony w podrozdziale 5.4.3 opis jest tylko przedstawieniem idei ich tworzenia i nie każdy czytelnik pracy będzie w stanie to zrozumieć.

W rozdziale szóstym Doktorant prezentuje rozległe wyniki swoich badań, w tym: w rozdziale 6.1 - właściwości fizycznych i energetycznych przyjętych do badań surowców, w rozdziale 6.2 - wyniki badań w etapie wstępnym i w rozdziale 6.3 - wyniki badań właściwych, zrealizowanych na własnej konstrukcji stanowisku badawczym. Swoje wyniki Autor zaprezentował w postaci tabelarycznej jak i graficznej, ze szczegółową ich analizą. Większość wyników badań jest opatrzona bogatą dyskusją z wynikami badań innych autorów.

W odniesieniu do podrozdziału 6.1 dotyczącej właściwości surowców przyjętych do badań, to szkoda, że Doktorant poprzestał na tabelarycznym i opisowym zaprezentowaniu wyników i nie pokusił się o ich graficzną interpretację. Byłoby to bardziej czytelne i przejrzyste.

Kolejne akapity podrozdziału „6.3.1. *Proces zagęszczania na autorskim stanowisku badawczym*”, prezentowane na stronach 88-90, są częściowo powtórzeniem informacji podanych w metodyce badań (w rozdziale 5.4.1), a pozostałe informacje z tych stron są typowymi informacjami związanymi z metodyką badań w procesie zagęszczania na własnej konstrukcji stanowisku i też powinna się tam znaleźć, zamiast w rozdziale z wynikami badań.

Na podstawie przedstawionych w rozdziałach 6.3.1-6.3.3 zależności (rysunki 34-61) Doktorant w rozdziale 6.4 przedstawił mapy zmian parametrów jakościowych peletu na tle przebiegu zmian ciśnienia zagęszczania towarzyszącego procesowi, wykonane dla peletów wytworzonych z badanych materiałów (miskant, różnik, ślazowiec): 1) przy średnicy otworu wlotowego do stożka 12 mm oraz 10 mm, przy wilgotności 13%, przy temperaturze tulei 20°C, 2) przy średnicy otworu wlotowego do stożka 12 mm oraz 10 mm, przy wilgotności 13% i przy tulei podgrzanej do 100°C.

Zwieńczeniem tego podrozdziału było dobranie przez Doktoranta uniwersalnej geometrii kanału matrycy poprzez wykonanie wspólnej mapy dla wszystkich materiałów, naniesienie linii granicznych progu jakości peletu klasy A, oraz B i następnie zestawienie graficzne wspólnych zakresów parametrów, które odpowiadają klasom jakości A oraz B.

Doktorant wykazał, że dane zawarte na mapach potwierdzają fakt, że bez uwzględnienia temperatury w procesie ciśnieniowej aglomeracji, trudno jest lub w ogóle nie da się uzyskać peletu o wymaganej jakości. W związku z tym wskazane przez Doktoranta, jak twierdzi „optymalne” parametry geometrii kanału zagęszczania, zostały określone tylko dla wariantu z temperaturą, bo tylko taki wchodzi w grę w praktyce przemysłowej, co podkreśla Doktorant.

W tym miejscu pojawia się mój pewien niedosyt związany z użyciem w tym rozdziale słowa „optymalne”. Ani w metodyce, ani w wynikach, gdzie Doktorant, wyznacza „optymalne” parametry geometrii kanału zagęszczania, nie zauważyłem żadnych operacji związanych z optymalizacją. Czy za działania optymalizacyjne Doktorant uznaje wybranie/określenie, na podstawie przeprowadzonych badań i następnie uzyskanych mapach,

najkorzystniejszego zakresu parametrów geometrii kanału zagęszczania, które pozwalają na uzyskanie peletu o wymaganej jakości?

W rozdział 7 pracy Autor prezentuje w początkowej jego części podsumowanie, które jest odpowiedzią na postawione w pracy hipotezy i problemy badawcze. W rozdziale tym Doktorant stwierdza, z czym należy się zgodzić, że „... w świetle uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że postawione w celu pracy hipotezy zostały potwierdzone: tj. dla potwierdzenia hipotezy H1 Doktorant wykazał że: „... zmiana konfiguracji geometrii matrycy powoduje zmiany zarówno gęstości właściwej jak i wytrzymałości mechanicznej.” oraz dla potwierdzenia hipotezy H2 że: „... każdy z badanych materiałów wymaga dedykowanej konfiguracji bo tylko wtedy ciśnienie zagęszczania towarzyszące procesowi uzyskuje wartość minimalną. Zatem mimo podobieństw pochodzenia (biomasa zielna), mimo ujednolicenia wszystkich pozostałych czynników (wilgotność, temperatura oraz skład ziarnowy), badana biomasa nie zagęszcza się w ten sam sposób.”

W drugiej części tego rozdziału Doktorant prezentuje swoje szczegółowe wnioski, odnoszące się przede wszystkim do badań właściwych i doboru optymalnej (najkorzystniejszej) geometrii kanału zapewniającej uzyskanie progów jakościowych pelletu z poszczególnych surowców. We wnioskach Doktorant przedstawia również swoje praktyczne rekomendacje, odnośnie zastosowania połączenia map wszystkich badanych materiałów i wynikającej z tego możliwości wskazania uniwersalnej dla wszystkich badanych materiałów geometrii kanału zagęszczającego, które, według Doktoranta „...mogą mieć konfiguracje geometrii z zakresów: $D_1 = 12 \text{ mm}$ zakres kątów ($10 - 34^\circ$), w przypadku $D_1 = 10 \text{ mm}$ ($10 - 29^\circ$) z odpowiednio dobranymi długościami kanałów L ”.

Literatura wykorzystana w rozprawie (nie numerowana jako rozdział), składająca się ze 217 pozycji (w tym 125 zagranicznych autorów) jest wyczerpująca i odpowiada zagadnieniom poruszonym w pracy. Warty podkreślenia jest fakt, że w 2 pozycjach cytowanej literatury współautorem jest Doktorant. W skład pozycji literaturowych wchodzi 2 pozycje w postaci stron www i 13 pozycji w postaci norm. Pozostałe pozycje to artykuły naukowe oraz pozycje książkowe. Spis literatury wyglądałby bardziej przejrzysto, gdyby Doktorant wyodrębnił z niego dodatkowo spis stron www, spis norm i spis aktów prawnych. W spisie literatury pojawiają się również pewne niedoskonałości w postaci ich niealfabetycznego ustawienia.

W mojej opinii na uwagę i podkreślenie w pracy zasługuje:

1. Opracowanie szczegółowej i wyczerpującej metodyki badań (w każdym z trzech etapów – zilustrowanej dodatkowo czytelnymi schematami (rys. 9, rys. 15, rys. 19), bazującej na najnowszych normach wykorzystywanych przez Laboratorium Technologii Produkcji i Oceny Jakości (LABIOM) Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, gdzie prowadzone były badania, które utrzymuje akredytację Polskiego Centrum Akredytacji jako laboratorium badawcze.
2. Opracowanie koncepcji budowy oraz wykonanie własnego bardzo pomysłowego i uniwersalnego stanowiska badawczego o budowie modułowej, które umożliwia składanie kanału z modułu cylindrycznego i stożkowego i modułów dodatkowych: wprowadzającego, odbierającego pelet, korpusu łączącego w/w moduły oraz grzałki.
3. Opracowanie własnej, zmodyfikowanej metody oznaczania wytrzymałości mechanicznej pelletów.
4. Opracowanie metodyki tworzenia i stworzenie własnych mapy zmian parametrów jakości pelletu na tle zmian ciśnienia zagęszczania, które mogą być wykorzystywane jako uniwersalnym narzędziem do analizy procesu zagęszczania biomasy z uwzględnieniem wszystkim czynników na niego wpływających. Zaproponowane mapy stanowią nowe podejście do analizy wpływu geometrii kanału zagęszczającego na jakość uzyskiwanego

peletu i pozwalają na dobór tej geometrii dla badanego materiału, wilgotności, temperatury procesu i innych parametrów.

5. Przedstawienie swoich praktycznych rekomendacji (przydatnych dla ośrodków badawczych jak i przedsiębiorstw przemysłowych zajmujących się ciśnieniową aglomeracją biomasy z roślin energetycznych na cele opałowe) odnośnie:
 - doboru optymalnej (najkorzystniejszej) geometrii kanałów zapewniających uzyskanie progów jakościowych pelletu z poszczególnych surowców,
 - uniwersalnej dla wszystkich badanych materiałów geometrii kanału zagęszczającego.

4. Uwagi krytyczne oraz dyskusyjne

Analizując przedstawioną do recenzji pracę, zwróciłem uwagę, że zarówno w części teoretycznej jak i badawczej można dostrzec drobne błędy redakcyjne (notoryczny brak przecinków w tekście poszczególnych podrozdziałów, co zmienia czasami sens zdania, brak kropek przy numeracji rozdziałów, itp.). Równie dużo uwag mam w odniesieniu do błędów stylistycznych w pracy, będących następstwem stosowania przez Autora dużej ilości „skrótów myślowych”.

Poniżej zwracam uwagę na niektóre uchybienia oraz nieścisłości, które przedstawiam, w kolejności w jakiej występują w pracy:

Str. 7 - wykaz oznaczeń wykonany jest zbyt małą czcionką, co czyni go mało czytelnym,

Str. 5-6 - w spisie treści brakuje streszczeń w języku polskim (str. 3) i angielskim (str. 4) oraz przedstawionego na stronie 7 „Wykazu oznaczeń”,

Str. 9 – pierwsze zdanie ostatniego akapitu na tej stronie: „*Tematy podjęte w literaturze nie określają w pełni wpływu technologii na jakość surowca, procesu zagęszczania czy produktu końcowego.*”, nie jest do końca zrozumiałe. Co Doktorant miał na myśli przez „wpływ technologii”?

Str. 13 – podana w pierwszym wierszu 2 akapitu na tej stronie nazwa „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” to nazwa własna aktu i powinna być napisana wielkimi literami,

Str. 16 - w dwóch miejscach na tej stronie Doktorant podając odsyłacz do literatury podaje raczej tytuł opracowania i rocznik (Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce, 2000), podczas gdy powinien raczej podawać autora i rocznik pozycji (Europejskie Centrum Energetyki Odnawialnej, 2000),

Str. 16 - w ostatnim akapicie na tej stronie Doktorant podając odsyłacz do literatury podaje cały link do strony [www](https://www.lasy.gov.pl/pl/nasze-lasy/polskie-lasy) (<https://www.lasy.gov.pl/pl/nasze-lasy/polskie-lasy>, 2021). Przejrzysiej byłoby podać odsyłacz w postaci ([www.1](#)), a dopiero w spisie literatury wyjaśnić do jakiej strony [www](#) odnosi się ten odsyłacz.

Str. 19 - w dwóch ostatnich akapitach na tej stronie przydałby się odsyłacz do literatury,

Str. 23 - ostatni akapit podrozdziału 2.6.3 brzmi: „*Optymalne warunki produkcji biopaliw z biomasy celulozowej pod kątem wilgotności surowca uważane są za przedziały 8–12% w zależności od gatunku...*” Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „*Optymalnym przedziałem wilgotności biomasy celulozowej, w zależności od gatunku, używanej do produkcji biopaliw jest przedział 8–12% ...*”,

Str. 24 – jedno ze zdań (od 9 wersu od końca strony) ostatniego akapitu podrozdziału 2.6.4 brzmi: „*Tabil (Tabil, 2022) zaobserwował wzrost trwałości peletów, które powstały z lucerny, po dodaniu do procesu zagęszczania czynnika temperatury powyżej 90°C.*” Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „*Tabil (2022) zaobserwował wzrost trwałości peletów z lucerny, po przekroczeniu temperatury procesu zagęszczania powyżej 90°C*”,

Str. 25 – pierwsze zdanie w podrozdziale „2.6.6 Szybkość procesu” brzmi: „*Naukowcy badają również prędkość przeprowadzanego procesu ciśnieniowej aglomeracji ...*”. Znacznie

lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Naukowcy badali również wpływ prędkości prowadzenia procesu ciśnieniowej aglomeracji na...”,

Str. 25 – ostatnie zdanie w podrozdziale „2.6.6. Szybkość procesu” brzmi: „Prędkość, z jaką obraca się matryca pelecarki ma również wpływ na zużycie energetyczne”. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Prędkość, z jaką obraca się matryca pelecarki ma również wpływ na zużycie energii potrzebnej na realizację procesu”,

Str. 25 – pierwsze zdanie w podrozdziale „2.6.8. Współczynnik tarcia”, które brzmi: „Wpływ współczynnika tarcia na proces zagęszczania oraz jakość granulatu powstałego w jego skutek jest badany w wielu ośrodkach badawczych dla różnych materiałów...”, jest mało precyzyjne. Doktorant nie określa o jaki współczynnik chodzi. Czy tarcia zewnętrzne? Czy może wewnętrzne?

Str. 27 – pierwsze zdanie w drugim akapicie w podrozdziale „2.6.8. Współczynnik tarcia”, brzmi: „Koval'chenko w swojej pracy przeprowadził serię badań dla newtonowskich i nienewtonowskich porowatych ciał stałych zagęszczanych w obecności temperatury”. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Koval'chenko w swojej pracy przeprowadził serię badań dla newtonowskich i nienewtonowskich porowatych ciał stałych zagęszczanych przy różnej temperaturze”,

Str. 28 – jedno ze zdań (począwszy od 9 wersu od góry strony) trzeciego akapitu podrozdziału 2.6.9 brzmi: „Okazało się, że 74% zużycia całej energii procesu zagęszczania zostało zużyte przez „elementy przepływowe” w czasie aglomeracji buka oraz 66% w przypadku kompaktowania sosny.” Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Okazało się, że za 74% zużycia całej energii procesu zagęszczania w czasie aglomeracji buka odpowiadają „elementy przepływowe” oraz 66% w przypadku kompaktowania sosny”,

Str. 29 - w pierwszym akapicie na tej stronie Doktorant podając odsyłacz do literatury podaje cały link do strony www (<http://pelet.atlibron.com/>, 2023). Przeczyściej byłoby podać odsyłacz w postaci (www.2), a dopiero w spisie literatury wyjaśnić do jakiej strony www odnosi się ten odsyłacz,

Str. 29 – pierwsze zdanie w trzecim akapicie w podrozdziale „2.6.9. Geometria matrycy”, które brzmi: „Doświadczenia Butlera i McColly (Butler McColly, 1958) dowiodły, że przy stałej dawce materiału i określonym ciśnieniu wytwarzania, gęstość oraz długość granuli były większe dla mniejszych komórek zagęszczających.” jest bardzo nieprecyzyjne. Co oznacza sformułowanie „dla mniejszych komórek zagęszczających”? Czy chodzi Autorowi o mniejsze ich średnice, czy może długości?

Str. 37 – w pierwszym akapicie rozdziału 4.1 pojawia się zdanie: „Swoją obecność w Europie zapoczątkował około 50 temu w charakterze rośliny ozdobnej.”, w którym brakuje słowa „lat”, aby zdanie miało sens,

Str. 37 – podpisy tabeli 4, 5 (str. 40) i 6 (str. 42) zlewają się z ich zawartością,

Str. 47 – na rys. 10 występuje inne oznaczenie kolejnych części rysunku: a), b), c) niż w podpisie: a-, b-, c-. Podobne uwagi mam do innych rysunków zaprezentowanych w rozdziale „5. Metodyka badawcza”, składających się z więcej niż jednej części,

Str. 47 – pod rys. 10 Doktorant podaje: „Źródło: własne”. Precyzyjniej byłoby napisać: „Źródło: fotografie własne”. Podobne uwagi mam do innych własnych fotografii zaprezentowanych na rysunkach w rozdziale „5. Metodyka badawcza”,

Str. 47 – obok zależności na wilgotność całkowitą, prezentowanej na tej stronie, powinna pojawić się jej jednostka, pomimo, że pojawia się w wyjaśnieniach symboli pod zależnością. Podobne uwagi mam do kolejnych zależności pojawiających się w rozdziale „5. Metodyka badań”,

Str. 48 – jedno ze zdań podrozdziału 5.1.2 brzmi: „Podobne do zaproponowanej temperatury stosuje się w celu powolnego, nieinwazyjnego suszenia np. liści tytoniu czy drewna.” Zdanie to nie ma sensu. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Podobne wartości

temperatury stosuje się w celu powolnego, nieinwazyjnego suszenia np. liści tytoniu czy drewna.”

Str. 50 – w pierwszym akapicie podrozdziału 5.2.2 Doktorant podaje definicję ciepła spalania. Według mnie metodyka badań nie jest właściwym miejscem do podawania definicji,

Str. 52 – przedstawiona na tej stronie rysunek 13 składa się z 2 części, jednak Autor nie oznacza ich a-, b-, zgodnie z podpisem rysunku, w którym precyzuje co przedstawiają,

Str. 52 – jedno ze zdań podrozdziału 5.2.6 odnosi się do norm, według których Doktorant oznacza skład ziarnowy brzmi: „Pierwsza z nich, dedykowana jest głównie dla zrębków oraz sieczeni i zawiera zestaw sit, których otwory...” Zdanie to nie ma sensu. Norma nie zawiera zestawu sit! Norma zaleca używanie sit. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Pierwsza z nich, dedykowana jest głównie dla zrębków oraz sieczeni i zaleca stosowanie zestawu sit, których otwory....”,

Str. 53 – podobnie jak w poprzedniej uwadze jedno ze zdań podrozdziału 5.2.6 odnosi się do normy, według której Doktorant oznacza skład ziarnowy brzmi: „Druga jest natomiast przeznaczona do biomasowych pyłów, trocin itp. Zawiera ona zestaw składający się z sita o otworach ...” Norma nie zawiera zestawu sit! Norma zaleca używanie sit. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Druga jest natomiast przeznaczona do biomasowych pyłów, trocin itp. Zaleca ona stosowanie zestawu składającego się z sita o otworach ...”,

Str. 53 – jedno ze zdań podrozdziału 5.2.6 (trzeci akapit od góry) brzmi: „Natomiast norma PN-EN ISO 17827-2:2016-07 stosowana w przypadku materiałów o wielkości cząstek $d_{95} < 3,15$ mm próbka powinna wynosić co najmniej 50 g ...”. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Natomiast zgodnie z normą PN-EN ISO 17827-2:2016-07, stosowaną w przypadku materiałów o wielkości cząstek $d_{95} < 3,15$ mm, próbka powinna wynosić co najmniej 50 g ...”,

Str. 55 – tytuł podrozdziału „5.2.8. Oznaczanie współczynnika tarcia” jest nieprecyzyjny. Doktorant opisuje w podrozdziale metodykę wyznaczania współczynnika tarcia zewnętrznego surowca o materiał podłoża, więc precyzyjniejszym byłby tytuł „5.2.8. Oznaczanie współczynnika tarcia zewnętrznego”,

Str. 57 – pod rys. 15 przedstawiającym schemat badań w etapie wstępnym Doktorant podaje: „Źródło: własne”. Precyzyjniej byłoby napisać: „Źródło: opracowanie własne”. Podobne uwagi mam do kolejnych rysunków pojawiających się w rozdziale „5. Metodyka badań” oraz rozdziale „6. Wyniki badań”,

Str. 58 – pod Tabelą 7 przedstawiającą ujednoczony skład ziarnowy rozdrobnionego surowca Doktorant podaje: „Źródło: własne”. Precyzyjniej byłoby napisać: „Źródło: opracowanie własne”. Podobne uwagi mam do kolejnych tabel pojawiających się w rozdziale „5. Metodyka badań” oraz rozdziale „6. Wyniki badań”,

Str. 59 – podsumowując podrozdział „5.3.3 Zagęszczanie w komorze zamkniętej” Doktorant pisze: „Po analizie uzyskanych wyników do etapu badań właściwych przyjęto, że materiał będzie w stanie suchym (jako materiał kontrolno porównawczy) oraz o wilgotności na poziomie 13%.”. Powyższe zdanie powinno się raczej znaleźć w rozdziale „Wyniki badań”.

Str. 63 – w drugim zdaniu pierwszego akapitu rozdziału 5.4 pojawia się zdanie: „Przyjęto, że zagęszczany będzie nawilżony do poziomu 13%, dodatkowo zagęszczany będzie również materiał w stanie suchym jako materiał kontrolno porównawczy”, w którym brakuje słowa „materiał”, aby zdanie miało sens.

Str. 66 – Doktorant podaje, że prędkość przemieszczania tłoka maszyny wytrzymałościowej, na której zamontowane było zaprojektowane stanowisko badawcze w trakcie badań wynosiła $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Dlaczego taka wartość prędkości, podczas gdy w trakcie zagęszczania w komorze zamkniętej wynosiła tylko $12,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$?

Str. 71 – w rozdziale 5.4.2 pomiędzy wierszem 3 a 4 tego rozdziału rozjechał się tekst (prawdopodobnie przypadkowo wciśnięty Enter),

Str. 77 – rozdział 6.1 Doktorant tytułuje jako „6.1 Charakterystyka materiału badawczego”. Bardziej precyzyjnym tytułem byłby: „6.1. Właściwości materiału badawczego”,

Str. 78 – na koniec ostatniego akapitu podrozdziału 6.1.3 przydałby się odsyłacz do źródła,

Str. 79 – w pierwszym zadaniu podrozdziału 6.1.5: „Wyniki pomiarów gęstości nasypowej BD wskazują, że najwyższą gęstością nasypową charakteryzuje się miskant – $215 \text{ kg} \times \text{cm}^{-3}$ ”, pojawia się błąd w jednostce. Chodzi oczywiście o „ $215 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ ”, co wynika też z tabeli 9,

Str. 80 – w pierwszym akapicie podrozdziału 6.1.7 (zdanie 4 i 5) brzmi: „Najliczniejszą grupą u miskanta była frakcja 2,8 mm i liczyła 21,2%. Rożnik najliczniejszą grupę odnotował we frakcji 0,5 mm i stanowiła ona 20,9% całego materiału badawczego.”. Są to typowe skróty myślowe. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Najliczniejszą grupą w przypadku miskanta była frakcja 2,8 mm i liczyła 21,2%. W przypadku rożnika najliczniejszą grupę stanowiła frakcji 0,5 mm, której udział wynosił 20,9% całego materiału badawczego”,

Str. 81 – ostatni akapit podrozdziału 6.1.7 (pod tabela 11) jest powtórzeniem 2 ostatnich zdań pierwszego akapitu w tym rozdziale (tuż nad tabelą 10),

Str. 81 – cały pierwszy akapit podrozdziału 6.2 jest powtórzeniem informacji podanych w metodyce badań w rozdziale 5.3.3, z tą różnicą, że tutaj Doktorant podaje zakres wilgotności 0-14%, a w rozdziale 5.3.2. podaje, że materiał dowilżono do wilgotności 8, 11, 13 i 14%,

Str. 84 – drugi akapit na tej stronie (wiersz 7) brzmi: „U peletów, po upływie 24h, zaobserwowano znaczny rozpręż tj...”. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „W przypadku peletów, po upływie 24h, zaobserwowano znaczny ich rozpręż tj...”. W tym samym akapicie Doktorant pisze (wiersz 10): „Granule rozklejały się...” Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Granule rozprężyły się...”,

Str. 85 – podpis rysunku 28 „Wytrzymałość mechaniczna peletów wykonanych z miskanta - badania wstępne” jest mało precyzyjny. Precyzyjniej byłoby napisać: „Zależność wytrzymałości mechanicznej peletów otrzymanych z miskanta od siły zagęszczania - badania wstępne”. Podobne uwagi mam do rysunku 29 i 30,

Str. 86 – dwa zdania od końca strony brzmią: „Można zauważyć, że w przedziale sił 15 - 37,5 kN mieszanki zwiększają swoją trwałość. Najniższym wzrostem jakości we wspomnianym przedziale charakteryzowała się mieszanka o nawilżeniu 13% ...”. W zdaniach tych chodzi nie o „mieszanki” lecz o „pellety”. Znacznie lepiej stylistycznie byłoby napisać: „Można zauważyć, że pellety otrzymane w przedziale sił 15 - 37,5 kN charakteryzują się coraz większą trwałością. Najniższym wzrostem jakości we wspomnianym przedziale charakteryzowała się pellet otrzymany z mieszanki o wilgotności 13%...”,

Str. 88-90 – kolejne akapity podrozdziału 6.3.1. prezentowane na tych stronach jest częściowo powtórzeniem informacji podanych w metodyce badań w rozdziale 5.4.1, lub też powinna się tam znaleźć, zamiast w rozdziale z wynikami badań (rozdział 6.3.1),

Str. 94-119 – podpisy kolejnych rysunków (np. „Rysunek 35. Wykres wpływu długości L kanału zagęszczającego oraz kąta stożka α na ciśnienie zagęszczania P miskanta w stanie suchym: a) redukcja 12 – 8 mm, b) redukcja 10 – 8 mm”) przedstawionych na tych stronach nie powinny zawierać słowa „wykres” (np. „Rysunek 35. Wpływ długości L kanału zagęszczającego oraz kąta stożka α na ciśnienie zagęszczania P miskanta w stanie suchym: a) redukcja 12 – 8 mm, b) redukcja 10 – 8 mm”),

Str. 101 – w ostatnim zdaniu pierwszego akapitu rozdziału „6.3.2 Gęstość właściwa peletów” brzmi: „Przyjęto jednak za (Wróbel, 2019), że pelet o gęstości usypowej $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ charakteryzuje się jednocześnie gęstością właściwą DE peletu powyżej $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.” Na jakie podstawie przyjęto takie założenie? Czy w tej pracy wyznaczono zależność gęstości usypowej od gęstości właściwej dla badanych w doktoracie surowców?,

Str. 101 – w ostatnim akapicie na tej stronie Autor pisze: „Wyniki zagęszczania miskanta przedstawiono na poniższych wykresach”, podczas gdy na poniższych wykresach przedstawia wyniki gęstości właściwej peletu z miskanta uzyskanego podczas zagęszczania,

Str. 140 – mam uwagi do stylistyki wniosków 5, 6, 7 i 8 przedstawionych na tej stronie,

Str. 145 – w spisie literatury na tej stronie pojawia się pozycja: „*Watts, K., Bilanski, W. (1991). Stress relaxation of alfalfa under constant displacement. Transactions of the ASAE, 34(6), 2491–2504. <https://doi.org/10.13031/2013.31897>”*. Pozycja ta powinna znaleźć się w innym miejscu, gdyż w ten sposób spis nie jest wykonany alfabetycznie.

Str. 150 – w spisie literatury na tej stronie pojawia się pozycja: „*Piotr Gradziuk. (1999). Możliwości wykorzystania surowców pochodzenia rolniczego na cele energetyczne. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 1(3)*”. Pozycja ta powinna znaleźć się w innym miejscu?

Str. 152 – w spisie literatury przy pozycji „*Shahab Sokhansanj, Sudhagar Mani, Xiaotao Bi, Parisa Zaini, Lope Tabil. (2005). Binderless Pelletization of Biomass. 2005 Tampa, FL July 17-20, 2005.*” Doktorant podaje pełne imiona i nazwiska autorów, podczas gdy w innych nie.

Doktoranta przedstawionych w rozprawie jak i niedociągnięć w niej zauważonych, rozprawę oceniam jednoznacznie pozytywnie.

4. Podsumowanie

Mając na uwadze złożony charakter procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów pochodzenia roślinnego, w którym tak wiele czynników może mieć znaczący wpływ na jego przebieg procesu oraz jakość produkowanego produktu (pelletu) i wymaga najczęściej specjalnego indywidualnego podejścia technologicznego w zależności od zastosowanego w procesie surowca, aby zoptymalizować energochłonność procesu przy jednoczesnym zachowaniu dobrej jakości otrzymanego produktu, uznaję, że praca doktorska mgr inż. Jakub Styksa wnosi oryginalny wkład naukowy, szczególnie istotny w obszarze techniki i technologii ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych. Uzyskane rezultaty mają wartości zarówno poznawcze jak i użytkowe, gdyż pozwoliły zarówno na dobór optymalnej (najkorzystniejszej) geometrii kanałów zapewniających uzyskanie progów jakościowych pelletu z poszczególnych badanych surowców, dobór uniwersalnej dla wszystkich badanych materiałów geometrii kanału zagęszczającego (z wykorzystaniem opracowanych map) oraz na poznanie i pogłębienie wiedzy z zakresu wpływu parametrów materiałowo-procesowo-konstrukcyjnych na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych. Opracowane mapy mogą być wykorzystywane zarówno do celów naukowo-badawczych jak również użytkowo przez zakłady, zajmujące się ciśnieniową aglomeracją biomasy.

Na podstawie przedłożonej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. Jakub Styks wykazał się wiedzą zarówno naukową jak i techniczną. Opracowanie autorskiego stanowiska badawczego, opracowanie metodyki badań prowadzenia procesu zagęszczania zarówno wstępnych jak i badań właściwych, metodyki oznaczania różnych właściwości fizykochemicznych surowców badawczych oraz otrzymanych produktów ciśnieniowej aglomeracji, opracowanie metodyki tworzenia map zmian parametrów jakościowych uzyskanego pelletu, przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników badań oraz opracowanie map zmian parametrów jakościowych uzyskanego pelletu świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz o dużej wiedzy Doktoranta z obszaru inżynierii mechanicznej.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Jakuba Styksa pt: „**Wpływ geometrii kanału matrycy na jakość pelletu uzyskiwanego z biomasy**” spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.) i może być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w postępowaniu prowadzonym na podstawie Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.