



Dr hab. inż. Dorota Czarnecka-Komorowska, prof. PP
Instytut Technologii Materiałów
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Poznań, 12.09.2022r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Daniela Łącznego

pt. „*Wpływ wybranych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielokrawędziowego na charakterystyki użytkowe procesu rozdrabniania materiałów włóknistych wykorzystywanych jako napelniacz materiałów polimerowych*”

przygotowanej w Wydziale Mechatroniki
Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy,
wykonanej pod kierunkiem promotora dra hab. inż. Marka Macko, prof. UKW
oraz promotora pomocniczego dra hab. inż. Krzysztofa Morczewskiego, prof. UKW.

PODSTAWA OPRACOWANIA RECENZJI

Recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dziedziny Nauk Inżynierijsko-Technicznych prof. dra hab. inż. Mieczysława Cieszko, prof. uczelni UKW w Bydgoszczy z dnia 05.07.2022 r.

Ocenę pracy oparto na przekazanej w wersji drukowanej rozprawie doktorskiej.

1. ZAKRES I CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Podstawowym osiągnięciem naukowym jest przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, zawierająca 8 rozdziałów. Recenzowana praca obejmuje 145 stron, w tym 2 strony spisu treści, 3 strony spisu ważniejszych symboli i akronimów, 48 stron wstępu, 73 stron części eksperymentalnej, 5 stron wniosków poznawczych i aplikacyjnych, oraz 15 stron spisu literatury. W skład pracy wchodzi 203 pozycje literatury, 91 rysunków i 26 tabel. Dysertacja składa się z części teoretycznej, konstrukcyjnej, technologicznej i badawczej. W rozprawie zabrakło streszczenia pracy w językach: polskim i angielskim, spisu tabel i rysunków.

Rozdział pierwszy to wstęp, w którym Doktorant ogólnie scharakteryzował obszar współczesnej, globalnej gospodarki materiałami polimerowym, w tym biopolimerami, tj. poli(kwas mlekowy) (PLA) i biokompozytami zmierzającej w kierunku zrównoważonej gospodarki odpadami z tworzyw sztucznych. Przedstawiono zasadność prowadzenia prac badawczych nad procesem rozdrabniania w tym, konstrukcji rozdrabniacza w kontekście finalnych właściwości rozdrobnionego materiału. Rozdział zakończony jest podsumowaniem, które mogłoby być streszczeniem pracy, które pominięto w rozprawie.

Kontynuacją pracy jest bardzo obszerny **rozdział drugi**, będący analizą stanu wiedzy i techniki w zakresie modyfikacji cech konstrukcyjnych rozdrabniaczy podczas rozdrabniania materiałów. Przy uwzględnieniu najniższych nakładów energetycznych na proces, zdefiniowano rozdrabniacze wielokrawędziowe, w tym rozdrabniacz tarczowy; opisano wpływ czynników materiałowych, maszynowych i procesowych na parametry procesu rozdrabniania wielokrawędziowego, pokazano kilka rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniaczy (rębak talerzowy, bębnowy, ślimakowy oraz młyn bijakowy i nożowy) przeznaczonych do rozdrabniania materiałów roślinnych. W tej części rozprawy Autor scharakteryzował słownie i opisał równaniami cechy użytkowe rozdrabniacza wielokrawędziowego, tj. zapotrzebowanie na moc i wydajność rozdrabniania. W celu porównywania zjawisk zachodzących podczas rozdrabniania materiałów stosował wskaźniki energetyczne, tj. wskaźnik efektywności energetycznej Fuerstenau i Abouzeid, jednostkowe zapotrzebowanie na energię, wskaźnik skuteczności procesu rozdrabniania powiązany z energią rozdrabniania. Autor w oparciu o źródła literatury przyjął rozmiar ziaren, stopień rozdrobnienia, rozkład granulometryczny i gęstość nasypową oraz kąt usypu, jako podstawowe kryteria oceny jakości produktu rozdrabniania. W części końcowej rozdziału odniósł się do oceny środowiskowej na etapie projektowania maszyn i procesów technologicznych, jako konieczności wymaganej postanowieniami UE w zakresie zrównoważonego i inteligentnego rozwoju. Rozdział kończy obszerna analiza stanu literatury na temat polilaktydu (PLA), właściwości i struktury stosownej przez Autora, jako biodegradowalnej osnowy polimerowej oraz jego kompozytów wzmacnianych włóknami roślinnymi o zastosowaniach technicznych.

W **rozdziale trzecim** rozprawy Autor jasno sprecyzował cel i problem badawczy, a w **rozdziale czwartym** w oparciu o analizę literatury, cech konstrukcyjnych rozdrabniacza jednotarczowego sformułował plan badawczy. W części metodycznej pracy brakuje jasnego schematu postępowania (algorytmu), dla którego właściwym miejscem byłaby część metodyczna pracy, czyli rozdział 5 rozprawy.

W **rozdziale piątym** Autor przedstawił metodykę badań procesu jednotarczowego, wielokrawędziowego rozdrabniania materiałów. Opisał zależności wielkości zmiennych niezależnych Z_N , wejściowych (prędkość obwodowa tarczy ruchomej, materiał elementów konstrukcyjnych, sumaryczne pole powierzchni otworów tarczy ruchomej) oraz zmiennych zależnych, Z_z -wyjściowe, tj. zapotrzebowanie na moc użyteczną rozdrabniania, wydajność masową rozdrabniania, jednostkowe zapotrzebowanie na energię, średni stopień rozdrabniania czy ocenę oddziaływania na środowisko procesu rozdrabniania, w analizowanym układzie rozdrabniającym. Szczegółowo opisał również stanowisko badawcze uniwersalnego rozdrabniacza zaprojektowanego i zbudowanego w zespole promotora prof. Marka Macko w Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, które następnie Doktorant zmodyfikował, celem zwiększenia momentu obrotowego koła napędzanego przy jednoczesnym zmniejszeniu prędkości obrotowej. W dalszej części rozdziału Autor zdefiniował i scharakteryzował materiał poddany rozdrabnianiu. W mojej opinii opisy te powinny być zapisane przez Doktoranta w osobnych podpunktach 5.2, 5.3 i zatytułowane odpowiednio *Stanowisko badawcze, przedmiot badań*.

W **rozdziale piątym** Autor dokładnie zilustrował na rysunkach 5.7-5.10 i opisał zespół jednotarczowego rozdrabniacza dla 3 różnych wariantów tarczy ruchomej o zmiennej geometrii ruchomej oraz pomiar zapotrzebowania na moc, wydajność zapotrzebowanie na energię, wraz z analizą zmiany chwilowego pola powierzchni otworu przelotowego. Rozdział 5 Doktorant zakończył metodologią badań właściwości granulometrycznych dotyczących

rozkładu, wielkości frakcji i kształtu ziarna produktu rozdrabniania (w tym przypadku słomy kukurydzy) wraz z oceną właściwości mechanicznych dokonaną w próbie statycznego rozciągania, uderzenia, DMA, gęstości) oraz oceną struktury (SEM, rentgenowski tomograf komputerowy) wytworzonych kompozytów z zastosowaniem słomy, jako wypełniacza matrycy polimerowej.

W **rozdziale szóstym** Doktorant przedstawił wyniki badań zapotrzebowania mocy, wydajności i jednostkowego zapotrzebowania na energię dla 3 wariantów tarcz ruchomych o geometrycznie zróżnicowanych kształtach, wyniki badań zmiany pola powierzchni otworu przelotowego oraz wyniki oceny jakości zarówno rozdrobnionych łodyg kukurydzy, jak i wyniki badań wytworzonych biokompozytów. Rozdział ten, ma kluczowe znaczenie dla całej pracy, ponieważ skupia się na metodyce badań procesu rozdrabniania w kontekście charakterystyk użytkowych procesu dla słomy kukurydzy, a następnie wytworzonych z niej biokompozytów.

Rozprawę kończy **rozdział siódmy**, gdzie w syntetyczny sposób Doktorant podsumował uzyskane w rozprawie wyniki badań oraz sformułował szczegółowo wnioski o charakterze poznawczym i aplikacyjnym. Nakreślił również plany dalszych działań w zakresie zmian konstrukcji obudowy korpusu w kierunku zredukowania masy, a tym samym obniżenia negatywnych oddziaływań obudowy korpusu na środowisko. **Rozdział ósmy** został przypisany przez Doktoranta do literatury, a zwyczajowo przyjmuje się ten zapis bez numeracji.

W mojej opinii treść pracy jest zgodna z jej przedmiotem i tytułami rozdziałów, wyjątek stanowi zapis dotyczący punkt ósmego *Literatury*. Literatura została przez Doktoranta odpowiednio dobrana według zakresu wymaganego tematem pracy i wykorzystana zgodnie z przyjętą koncepcją rozwiązywania problemu naukowego. Wybór metody opracowania programu badań, został poprawnie uzasadniony z punktu widzenia przyjętych do realizacji celów badań. Natomiast, poszczególne rozdziały pracy są zaplanowane prawidłowo i kończą się syntetyzującymi uogólnieniami, a zakończenie pracy ogólną syntezą i podsumowaniem o istotnym charakterze poznawczym i praktycznym.

2. SZCZEGÓŁOWA OCENA MERYTORYCZNA

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi spójną i logiczną całość, w której Doktorant realizuje zadania prowadzące do rozwiązania zdefiniowanych problemów badawczych, tj. analizy wpływu zmian cech konstrukcyjnych zespołu rozdrabniającego jednotarczowego na charakterystyki użytkowe procesu rozdrabniania łodyg kukurydzy, dobór parametrów procesu rozdrabniania z punktu widzenia uzyskania minimalnego jednostkowego zapotrzebowania na energię oraz opracowanie nowych materiałów kompozytowych na bazie PLA z wypełniaczem naturalnym w postaci łodyg kukurydzy.

Efektem tych działań jest stwierdzenie, że wzrost prędkości obrotowej tarczy ruchomej dla każdego jej wariantu powoduje wzrost poboru mocy niezbędnej do całkowitego rozdrobnienia, biegu jałowego i quasi ścinania. Najniższy poziom poboru mocy dla wszystkich wariantów tarczy ruchomej uzyskano dla najniższych wartości prędkości obrotowej. Ponad 50% udziału poboru mocy na rozdrabnianie dla wszystkich wariantów tarczy stanowiła moc pobrana na pracę podczas biegu jałowego rozdrabniacza. Doktorant stwierdził, że najwyższą wydajność masową uzyskano dla tarczy pierwszego wariantu tarczy ruchomej, a najmniejszą dla trzeciego wariantu tarczy ruchomej. Ponadto stwierdził, że suma chwilowych pól powierzchni otworów w tarczy dla 1 wariantu była największa. Doktorant udowodnił, że

pierwszy wariant konstrukcyjny tarczy ruchomej w porównaniu do pozostałych wariantów umożliwia uzyskanie produktu rozdrobnienia charakteryzującego się większym udziałem frakcji o mniejszej wielkości szczególnie frakcji w zakresie wielkości od 1 do 1,6 mm. Doświadczalnie pokazał, że wraz ze wzrostem prędkości obrotowej tarczy ruchomej następuje wzrost udziału frakcji mniejszych (1-1,6 oraz 1,6-2,0 mm) dla przy każdego zastosowanego wariantu kształtów otworów w tarczy ruchomej.

Ocena wpływu procesu rozdrabniania na jakość produktu uzyskanego w procesie rozdrabniania łodyg kukurydzy dla 3 wariantów kształtów otworów tarczy ruchomej, pokazała, że największą wartość średniego stopnia rozdrobnienia (3,12 mm uzyskano dla pierwszego wariantu tarczy ruchomej przy największej prędkości obrotowej tarczy ruchomej (1456 obr/min). Dodano, że wraz ze wzrostem prędkości obrotowej tarczy ruchomej zwiększa się wartość stopnia rozdrobnienia napełniacza roślinnego.

Ogólna analiza zależności średniego stopnia rozdrobnienia łodyg kukurydzy od prędkości obrotowych tarczy ruchomej i ich zmian wykazała prawidłowość występowania zwiększania wartości średniego stopnia rozdrobnienia wraz ze wzrostem prędkości obrotowej tarczy ruchomej dla wszystkich rodzajów wariantów konstrukcyjnych tarczy ruchomej. Pierwszy wariant konstrukcji tarczy ruchomej uzyskiwał najwyższe wartości średniego stopnia rozdrobnienia przy każdej zadanej prędkości obrotowej tarczy ruchomej.

Autor przedstawił wyniki badań analizy numerycznej oceny oddziaływania na środowisko dla trzech wariantów konstrukcyjnych tarczy ruchomej (układu rozdrabniającego jednotarczowego) i trzech rodzajów stali narzędziowej w programie Solidworks Sustainability dla czterech parametrów: materiału, produkcji, transportu i końca życia w czterech obszarach oddziaływania: śladu węglowego, całkowitego zużycia energii, zakwaszenia powietrza oraz eutrofizacji wód.

Analiza środowiskowa pokazała, że największy udział w każdym z czterech obszarów oddziaływania na środowisko ma produkcja elementów części. Natomiast parametr „użycie” ma znaczący wpływ w obszarze śladu węglowego oraz całkowitego zużycia energii. Ponadto Autor stwierdził, że poziom oddziaływania na środowisko łącznie we wszystkich czterech obszarach ma wariant I konstrukcyjny tarczy ruchomej wykonanej z stali narzędziowej 90MnCrV8 wynoszący 68.85% średniej arytmetycznej sumy czterech obszarów, natomiast największą wartość ma wariant II konstrukcyjny tarczy ruchomej wykonanej X40Cr14 wynoszący 128.70% średniej arytmetycznej sumy czterech obszarów oddziaływania na środowisko. Analiza wyników pokazała, że we wszystkich badanych obszarach transport miał najmniejszy (około 2%) wpływ na wartość oceny oddziaływania na środowisko natomiast największy wpływ wykazał materiał (około 71%). Potencjalnie największy negatywny poziom oddziaływań środowiskowych w procesie wytwarzania materiału miała całkowita zużyta energia. Doktorant opracował w pracy technologię wytwarzania biokompozytów, ale nie przedstawił dokładnego opisu składu i techniki sporządzania kompozycji.

2.1. Oryginalność rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalny przyczynek do analizy i projektowania złożonych procesów rozdrabniania materiałów w oparciu o cechy konstrukcyjne rozdrabniacza jednotarczowego, wielokrawędziowego po procesy wytwarzania biokompozytów polimerowych. Niewątpliwie podejście Doktoranta do badań jest kompleksowe i pozwala na wysoce praktyczne zastosowanie opracowanych rozwiązań procesu rozdrabniania łodyg kukurydzy z uwzględnieniem charakterystyk użytkowych procesu i ich wpływu na jakość rozdrobnionych surowców roślinnych.

2.2. Wartości poznawcze pracy

Recenzowana praca ma niewątpliwie charakter poznawczy, wynikający z aktualności poruszanych zagadnień dotyczących konstrukcji urządzenia do rozdrabniania w kontekście uzyskania efektywnych walorów tego procesu, a w następstwie aplikację rozdrobnionego materiału do opracowanego procesu wytwarzania biokompozytów o dobrze zdefiniowanych przez Doktoranta właściwościach mechanicznych i strukturze.

3. UWAGI KRYTYCZNE ROZPRAWY

Pod względem edytorskim praca została opracowana przez Autora starannie. W pracy występują pewne błędne i niedociągnięcia, niemające istotnego wpływu na końcową ocenę, niektóre z nich przywołuję według kolejności występowania w pracy:

Na stronie 54 w części metodycznej podano czas suszenia 1450 godz., co odpowiada 2 miesiącom suszenia w temperaturze 18°C. Jak uzasadnić wprowadzenie procesu suszenia kukurydzy w takich złożonych warunkach?

Str. 68. Rozdz. 5.21. napisano *...następnie w procesie formowania wytryskowego „na” wtryskarce*, poprawnie powinno być zapisane „przy użyciu” wtryskarki.

Str. 68. zapisano... *wytworzono próbki w kształcie „psiej kości”*, rozumiem, że jest to dosłowne tłumaczenie z j. angielskiego, lecz poprawna forma brzmi „wiosółko” lub „kształtka”.

Str. 68. Napisano „ciśnienie wtrysku” w barach powinno być poprawnie ciśnienie wtryskiwania i podane w jednostkach SI.

Str. 69. *Statyczne próby rozciągania zostały wykonane...* Poprawnie powinno być statyczna próba rozciągania, występująca w liczbie pojedynczej.

Str. 69, zapisano *Statyczne próby rozciągania zostały wykonane zgodnie z... na próbkach, ...na maszynie wytrzymałościowej*. Jak już wcześniej wspomniałam powinna być zastosowany zwrot odpowiednio „dla próbek” i „przy użyciu”.

Str. 69, Autor błędnie używa określenia „parametry” w odniesieniu do właściwości i cech materiałów, np. moduł sprężystości przy zginaniu, wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na rozciąganie, itd.

Def. parametru to zmienna (czas, temperatura, ciśnienie), którą przyjmuje się za stałą w danym zagadnieniu, aby podkreślić jej odmienną rolę w porównaniu z innymi zmiennymi.

Str. 70. Autor opisał próbę, w której wyznaczono wytrzymałość dynamiczną kompozytów, lecz nie napisano, na jakiej podstawie obliczył udarność. Podobnie nie podał wymiaru próbek. Proszę, więc wyjaśnić te niedokładności.

Str. 72. Autor napisał, że obliczył gęstość, jako średnią arytmetyczną z 2 pomiarów. Uważam, że jest to za mała liczebność próby, stąd pomiary powinny być przeprowadzona przynajmniej dla 3 prób.

Str. 74. Zapisano *Na podstawie serie serii zdjęć przekrojów dwuwymiarowych...* raczej Autor chodziło o przełom przekroju poprzecznego próbki, co zilustrował na rys. 5.26.

Str. 100. ...w czterech obszarach oddziaływania: *węglowego ekoodcisku*, powinno być poprawnie zapisane śladu węglowego, a sformułowanie *koniec żywotności ...jako koniec życia*.

Str. 110. W tabeli 6.15 pokazano wyniki modułu zachowawczego w różnej temperaturze: 30, 50, 75 i 130°C. W temperaturze 75°C, np. w przypadku PLA zanotowano około 150-krotnie niższą wartość (22,13 MPa), niż w temp. 50°C (3205 MPa) dla tego samego materiału. Proszę wyjaśnić, z czego zatem wynika taka różnica wartości modułu zachowawczego.

Str. 111. Wykresy DMA przedstawione w całej pracy są bardzo niewyraźne, co utrudnia interpretację krzywych.

Str. 111. Autor w analizie często stosuje określenie lepszy/ gorszy, powinno być obniża się lub wzrasta.

Str. 112. W tabeli 6.16 podano wartości gęstości pomijając błąd pomiaru. Zwłaszcza istotne, że, liczebność próby to tylko 2 pomiary.

Str. 113. W części opisowej wyników badań mechanicznych Doktorant popełniał niemało błędów stylistycznych, a nawet ortograficznych, np. „pod etap”, powinno być podetap, „nie liniowo”, ale nieliniowo, „korelacje”-korelację oraz „po między” - pomiędzy.

Str. 113, jak rozumieć stwierdzenie, ...co spowodowane było niższą efektywnością blokowania procesów związanych z plastycznym odkształceniem matrycy polimerowej podczas fazy zarodkowania pęknięcia. Co rozumie Pan pod pojęciem „faza zarodkowania”, i czy więc istnieje zależność pomiędzy zjawiskiem mechanicznego pęknięcia kompozytów, a fazą zarodkowania?

Str. 118, co oznacza sformułowanie ...wzrost „punktów intensyfikacji naprężeń i defektów”...

Str. 121, Doktorant napisał, że obserwacje struktury metodą SEM przełomów dostarczyły wiele znaczących o tym informacji, w jaki sposób jak przebiegał proces zniszczenia oraz czynnikach materiałowych. Proszę, wyjaśnić zależności: struktura - przebieg procesu zniszczenia i struktura-czynniki materiałowe, które Pan przytoczył w w/w sformułowaniu.

Wymieniony zbiór uwag i uzupełnień, w dużej mierze dotyczący podłoża językowego oraz mylenia różnych dobrze zdefiniowanych w literaturze pojęć, nie zmienia faktu, że ta część pracy została przygotowana wnikliwie i spełnia oczekiwania, co do potencjalnych efektów i rezultatów badań.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W oparciu o przeprowadzoną ocenę pracy doktorskiej, z uwagi na wysoką wartość naukową rozprawy, oraz oryginalne podejście do rozwiązania problemu naukowego w zakresie przeprowadzonych prac konstrukcyjno-technologicznych, materiałowych, oraz wykazanie się przez Doktoranta dużą wiedzą teoretyczną w zakresie realizowanej tematyki rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

Rozprawa doktorska mgr inż. Daniela Łącznego, pt. „Wpływ wybranych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielokrawędziowego na charakterystyki użytkowe procesu rozdrabniania materiałów włóknistych wykorzystywanych jako wypełniacz materiałów polimerowych” spełnia wymagania art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) i art. 179. ust 1 z dn. 3 lipca 2018r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2016 r. poz. 1842, z późn. zm.), **wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dziedziny nauk inżyniero-technicznych i dyscypliny **Inżynieria Mechaniczna** według klasyfikacji dziedzin i dyscypliny określonej w rozporządzeniu z dnia 20 września 2018r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1888).

Dawid Czarnacki-Kornicki
Poznań, 12.09.2022.