

Warszawa dn. 20.08.2023 r.

dr hab. inż. Daniel Pieniak, prof. ucz.
Katedra Techniki Pożarniczej
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności
Akademia Pożarnicza
01-629 Warszawa
ul. J. Słowackiego 52/54

Centrum Tribologii
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji
26-600 Radom
ul. K. Pułaskiego 6/10



RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Jacka Marcinkiewicza

pt. *Modelowanie sił kontaktowych w układzie ziarno roślinne–powierzchnia zespołu roboczego w aspekcie zjawisk o przebiegu dynamicznym*

Podstawa opracowania:

Zlecenie nr 0600/2023/107

Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej

dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP

1. Uwagi dotyczące tematu rozprawy, celu, tezy i zakresu pracy

Praca obejmuje zagadnienia modelowania sił kontaktowych w układzie ziarno roślinne–powierzchnia zespołu roboczego, w zakresie zderzenia na kierunku prostopadłym. Praca zawiera ocenę właściwości mechanicznych ziarna pszenicy ozimej odmiany Memory w warunkach obciążeń dynamicznych, głównie o charakterze impulsowym. W dysertacji zawarto rozbudowany przegląd literatury, który stanowi podstawę opracowania części teoretycznej. W tej części pracy zawarto również wiele elementów, które mają charakter autorski. Dalej na materiał dysertacji składają się badania doświadczalne o szerokim zakresie, modelowanie kontaktu ziarno–element maszyny rolniczej oraz przykład zastosowania opracowanego modelu w oprogramowaniu komercyjnym.

Tytuł pracy jest zgodny z treścią pracy. Odnosi się do współpracy materiału roślinnego z elementami roboczymi maszyn rolniczych. Współpraca ta ma charakter mechaniczny i może prowadzić do uszkodzenia materiału roślinnego. Występuje w szeregu etapach procesu produkcyjnego, podczas siewu, zbioru, omłotu, magazynowania, pakowania i przetwarzania. Temat pracy obejmuje zagadnienia, które mieszczą się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna (Budowa i Eksploatacja Maszyn) i mają użyteczne znaczenie w inżynierii rolniczej. Problematyka pracy jest aktualna i ważna z punktu widzenia naukowego i inżynierskiego. Autor oczekuje, że prace inżynierów powinny być wspierane przez badania doświadczalne i odpowiednio dopracowane modele obliczeniowe.

Głównym celem pracy była budowa modelu matematycznego. Cele szczegółowe dot. identyfikacji parametrów modelowych w sposób doświadczalny. Tak sformułowany cel pracy spowodował, że zakres rozprawy był szeroki. Autor wykonał kompleksową analizę opublikowanych wyników prac teoretycznych i doświadczalnych oraz dokonał syntezy modeli kontaktu udarowego ziarna z elementami maszyn. Zaplanował i zrealizował szereg zadań doświadczalnych, które są zgodne ze standardem prac doktorskich. Ich wyniki były podstawą opracowania modelu matematycznego. Przyjęty zakres prac doświadczalnych pozwolił na osiągnięcie celu. Teza pracy została sformułowana prawidłowo, ale w złożony sposób. Autor odwołał się do wielkości i charakterystyk, próbując na etapie formułowania

tezy wskazać wszystkie te, które okazały się właściwymi do opracowania modelu matematycznego.

2. Struktura i charakterystyka pracy

Praca składa się z ośmiu rozdziałów głównych, spisu literatury, spisu ważniejszych oznaczeń, streszczenia w językach polskim i angielskim. Praca liczy 159 stron. W spisie literatury zawarto 227 pozycji literaturowych. Źródła stanowią pozycje zwarte i artykułu w periodykach naukowych. Są to głównie pozycje o zasięgu międzynarodowym. Nie ma odwołań do norm technicznych.

Układ pracy jest prawidłowy. Kolejność rozdziałów jest właściwa. Podział treści i prezentacja zagadnień są logiczne.

W rozdziale pierwszym, Autor wprowadza odbiorcę pracy do zagadnień związanych z tematem, uzasadniając podjęcie tematyki. Formułuje problem badawczy, cel pracy i prezentuje przedmiot badań.

W drugim rozdziale rozprawy, Autor opisał Metodę Elementów Dyskretnych (DEM), jako narzędzie numeryczne przewidziane do rozwiązywania zadań z zakresu mechaniki materiałów sypkich. Przedstawił sposób modelowania sił kontaktowych w tzw. sztywnym kontakcie i z przenikaniem (tzw. soft contact), co w metodzie DEM ma odzwierciedlać odkształcenie elementów zderzających się. Ten drugi sposób analizy opisał szerzej prezentując algorytm obliczeniowy.

W rozdziale trzecim, Autor zaprezentował wybrane metody i wyniki identyfikacji cech mechanicznych nasion. Jest to przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie badań mechanicznych masy ziarnistej i pojedynczych ziaren w warunkach obciążeń quasi-statycznych i dynamicznych. Odniósł się również do metod badań zmęczeniowych. Opis metod badań, Autor uzupełnił analizą ich ewolucji i przydatności w obecnie realizowanych zadaniach badawczych.

Rozdział czwarty został poświęcony na przegląd matematycznych modeli sił kontaktowych. Autor opisał zagadnienie kontaktu, uwzględniając równania ruchu dla zderzenia bezpośredniego oraz zależności siłowo-odkształceniowe dla przypadków zderzeń. Przedstawił szerzej opis energetyczny zderzenia niesprężystego i współczynnik restytucji, który dobrano, jako jeden z parametrów opisujących zachowanie mechaniczne ziarna podczas zderzenia w badaniach eksperymentalnych. Dużą część rozdziału stanowi solidne opracowanie liniowych i nieliniowych modeli kontaktu oraz krytyczne podsumowanie stanu wiedzy, gdzie Autor wykazał braki. W szczególności brak opracowania modelu matematycznego zjawiska zderzenia ziarna z powierzchnią metalową.

Rozdział piąty to badania doświadczalne przebiegu sił kontaktowych w układzie ziarno–powierzchnia elementu roboczego maszyny rolniczej. Badania były podzielone na etapy. W pierwszej części rozdziału autor przedstawił badania wstępne. Opisał metodę badania na wierzy zrzutowej i przedstawił wyniki badań wstępnych sił kontaktowych dla zjawiska zderzenia ziarna pszenicy z płaską powierzchnią metalową. Następnie zaprezentował autorskie stanowiska badawcze właściwości wytrzymałościowych ziaren, elektrodynamiczne do ściskania ziaren oraz młot wahadłowy. Wyniki badań, Autor zamieścił na wykresach, które umożliwiają porównywanie pomiędzy grupami. Zaprezentował również wyniki analiz statystycznych, w tym statystyki opisowe, korelację Spearmana oraz wyniki testu post-hoc.

Rozdział szósty pracy Doktorant poświęcono na modelowanie procesu zderzenia ziarna ze sztywną powierzchnią. Ze względu na założony temat pracy, rozdział ten jest najważniejszy w pracy doktorskiej. Autor w kolejnych krokach założonego algorytmu dobiera model reprezentujący badane zjawisko. W toku analizy przedstawił równania i dokonał

identyfikacji przebiegu funkcji sprawdzając jakość ich dopasowania do danych empirycznych. Weryfikacja modelu i analiza pozwoliły Autorowi na wyznaczenie pętli histerezy opisujących relację siła–odkształcenie dla każdego z poziomów wilgotności ziaren.

W rozdziale siódmym, Autor przedstawił przykład zastosowania opracowanego modelu kontaktu w oprogramowaniu komercyjnym PFC 3D. Weryfikacja umożliwiła sprawdzenie przydatności opracowanego na podstawie danych empirycznych równania i współczynników do tworzenia symulacji komputerowych. Doktorant potwierdził, że zgodność dopasowania autorskiego modelu do charakterystyk empirycznych jest lepsza od modelu zaimplementowanego do oprogramowania komercyjnego.

Rozdział ósmy to ostatni rozdział pracy. Autor zawarł w nim podsumowanie i wnioski. Są to głównie uwagi do opracowanego modelu. Ponadto Autor odniósł się do tezy i celu pracy. Zaprezentował również uwagi krytyczne oraz opisał możliwość wykorzystania efektów pracy i zadania do rozwiązania w przyszłości. Cały rozdział stanowi zbiór interesujących spostrzeżeń i uwag autora, które dopełniają pracę doktorską.

Na końcu dysertacji zamieszczono spis literatury.

3. Ocena i ogólne uwagi do rozprawy

Podjęta przez Autora tematyka pracy jest istotna naukowo i ma znaczenie użytkowe, ponieważ projektowanie elementów maszyn rolniczych, przy konstruowaniu, których uwzględnia się nieuszkodzenie ziarna, wpłynie w zasadniczy sposób, na jakość planów. Temat i podejście do jego realizacji zaprezentowane przez Autora doskonale wpisują się w działania badawcze i naukowe, których celem jest możliwie dokładne poznanie zjawisk, także zachodzących na poziomie pojedynczej cząstki większego zbioru materiału sypkiego pochodzenia roślinnego oraz opis zależności mechanicznych, w tym wytrzymałości.

W pierwszej części pracy Autor dokonał wyboru obiektu badań, uzasadniając jego znaczenie. We wprowadzeniu określił miejsce podjętego problemu w procesie zabiegów uprawowych realizowanych z użyciem maszyn rolniczych. Wyjaśnił, że nadmierne obciążenia statyczne i dynamiczne nasion mogą doprowadzić do uszkodzeń, które uniemożliwiają ich prawidłowe kiełkowanie i wzrost. I już na tym etapie jasno sprecyzował, jakimi narzędziami numerycznymi zamierza się posłużyć i dlaczego one są przydatne w analizie cząstek materiałów sypkich. Formułując problem badawczy stwierdził, że zamierza zajmować się wymuszeniami dynamicznymi. Doprecyzował, że chodzi o udary mechaniczne. Na tej podstawie sformułował problem badawczy, a więc: *„brak jest w literaturze przedmiotu opisanych modeli matematycznych opisujących relację siła–odkształcenie dla ziarna zbożowego uwzględniających wpływ złożonych zjawisk występujących podczas zderzenia ziarna z elementem roboczym, kierunku normalnym oraz brak zweryfikowanych metod identyfikacji parametrów modeli matematycznych tego typu”*. Z podstaw metodyki naukowej wiadomo, że formułowanie problemu powinno być oparte na pewnych zasadach. Określenie go to opis celów i uwarunkowań danego problemu, przedstawionych na tyle szczegółowo, aby można było odpowiednio zaplanować badanie. Poprawność sformułowania problemu polega na: wyczerpaniu jego zakresu, uwzględnieniu zależności między zmiennymi, zastosowaniu rozstrzygnięcia empirycznego. Wydaje się, że Autor zastosował się to do tych zaleceń. Niestety to rozbudowane zdanie, w którym trudno wyróżnić część nadrzędną i podrzędną, jest także nieprawidłowo sformułowane stylistycznie, a odbiorca jest zmuszony przeczytać je kilka razy, aby zrozumieć zamysł Autora.

Równie szczegółowo i szeroko sformułowany jest cel pracy, w brzmieniu: *„celem pracy jest budowa modelu matematycznego wiążącego siłę z odkształceniem dla ziarna zbożowego oraz opracowanie metod identyfikacji parametrów tego modelu, uwzględniającego zjawisko pochłaniania energii podczas zderzenia ziarna zbożowego*

z powierzchni metalową w kierunku normalnym". Wydaje się oczywiste, że budowa modelu matematycznego sama w sobie wymaga opracowania metod identyfikacji parametrów tego modelu. Dlatego tę część można było pominąć. Ponadto nie ma potrzeby stosowania podmiotu dwa razy w tym samym zdaniu. Generalnie Autor pracy posługuje się poprawnym językiem. Pisze jasno i zrozumiale. Wydaje się, że treści problemu badawczego i celu pracy, wynikają z wielokrotnego poprawiania, prób doprecyzowania i dopasowania do zakresu pracy.

Teza pracy została sformułowana jasno i precyzyjnie, w brzmieniu: „*zastosowanie do opisu relacji siła–odkształcenie modelu matematycznego ujmującego łączny wpływ złożonych zjawisk występujących podczas zderzenia ziarna z elementem roboczym umożliwia odzwierciedlenie rzeczywistych parametrów zderzenia – siłą, czasem kontaktu i współczynnikiem restytucji*”.

Pierwszą część pracy zawiera również podrozdział pt. „*Przedmiot badań*”. Wydaje się, że tytuł tego podrozdziału powinien brzmieć „*Obiekt badań*”. W tym podrozdziale, Autor opisuje budowę ziarniaka pszenicy odmiany Memory. Ta odmiana jest jednym z najczęściej uprawianych zbóż w naszym kraju. Autor skupił się na budowie biologicznej, opisując szczegółowo warstwy i kształt ziarna. Jednak pominął w opisie istotne dla tematu pracy właściwości mechaniczne i sprężyste obiektu badań. Nie opisał także przekładających się na właściwości mechaniczne cech fizycznych, jak m.in. wilgotność (którą opisał w kolejnych rozdziałach), gęstość i szklistość ziarna. Na przykład szklistość jest wysoko skorelowana z wytrzymałością mechaniczną i pracą do zniszczenia ziarna.

Rozdziały drugi, trzeci i czwarty pełnią funkcję przeglądu stanu wiedzy związanej ściśle z tematem pracy doktorskiej. W trzech rozdziałach zgromadzono obszerny materiał dotyczący badań i modelowania właściwości mechanicznych cząstek materiałów sypkich w kontakcie z elementami sztywnymi.

Opis numerycznej metody elementów dyskretnych w rozdziale drugim, a w jej ramach algorytmu miękkiego kontaktu jest syntetyczny. Autor słusznie skupia się na zagadnieniach i metodach bezpośrednio dot. tematu pracy.

W kolejnym rozdziale, Autor szeroko opisuje metody badań właściwości mechanicznych ziaren, przedstawia stanowiska badawcze, zasady pomiaru i interpretacji wyników badań. Prezentuje zgodnie z osią czasu, rozwiązania od najstarszych po nowsze i bardziej złożone konstrukcyjnie urządzenia badawcze, umożliwiające m.in. rejestrację sił i odkształcenia w czasie rzeczywistym oraz filtrowanie widma drgań własnych elementów aparatury pomiarowej od widma pracy ziarniaka. Takie podejście wydaje się słuszne, ponieważ ten rozdział pełni funkcję przeglądową, niewątpliwie jest interesujący i wartościowy dla osób prowadzących prace doświadczalne i zarazem budujących aparaturę pomiarową. Co jest typowe dla reprezentantów dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Zaproponowana metoda postępowania doświadczalnego prowadząca do opracowania modelu procesu zderzenia ziarna ze sztywną powierzchnią, jest oryginalnym rozwiązaniem Doktoranta. Opracowanie modelu zostało poparte oryginalnymi badaniami oraz zweryfikowane numerycznie w oprogramowaniu komercyjnym.

Rozdział czwarty zawiera przegląd matematycznych modeli sił kontaktowych. Został w nim zgromadzony szeroki materiał, zawierający szereg autorskich ilustracji Doktoranta, które doskonale uzupełniają opis zjawisk i wyprowadzone wzory matematyczne. Autor prezentuje zagadnienie kontaktu szeroko i wyczerpująco. Przedstawia powszechnie znane z mechaniki ciała stałego modele kontaktu Hooke'a i Hertz'a. Jest to zabieg słuszny ze względu na przeglądowy i popularyzatorski charakter rozdziału. Jednak praca doktorska jest kierowana do odbiorców znających większość tych zagadnień i można część z nich pominąć. Jednocześnie wydaje się, że intencją Autora było wprowadzenie do bardziej złożonych modeli, w szczególności do modelu sprężysto–plastycznego kontaktu adhezyjnego

(EEPA), który jest nieliniowy i dedykowany do odwzorowania pętli histerezy pracy siły na odkształceniu dla przypadku zderzenia elementów sferycznych. Mimo uwag do rozdziałów stanowiących przegląd literatury, tę część pracy oceniam pozytywnie.

Na początku rozdziału piątego zaprezentowano syntetycznie przebieg prac badawczych związanych z modelowaniem sił kontaktowych w układzie ziarno–powierzchnia elementu maszyny rolniczej. Następnie sposób pozyskania próbek i pomiary geometrii ziarna. Badania wstępne, przeprowadzono na autorskim stanowisku, wykonanym w Politechnice Poznańskiej. Była to wieża zrzutowa z odpowiednią instrumentacją i systemem akwizycji danych. Wyniki badań wstępnych są opisane pobieżnie. Nie podano m.in. liczebności próbek w grupach, czytający pracę dowie się, że badano po pięć próbek w serii dopiero po zliczeniu liczby krzywych na wykresach. Ponadto Autor nie objaśnił w odpowiednim miejscu rozdziału kierunku prostopadłego zderzenia ziarnika z czujnikiem siły. Dopiero 23 strony dalej znajduje się ilustracja przedstawiające obciążenie poziome ziarniaka. Wyniki badań wstępnych zostały opisane w wyodrębnionym podrozdziale 5.1.2., ale w tym samym podrozdziale prezentowane są wyniki badań „kompleksowych”, które wykonano na próbie 400 ziaren. Autor prezentuje wyniki tych badań w odmienny sposób i od razu przechodzi do analizy statystycznej wyników, nie wyjaśniając czy zostały uzyskane tą samą metodą, co wyniki badań wstępnych. Chociaż prezentacja rezultatów została wykonana bardzo starannie, nie jest do końca jasne, czemu służą te wyniki. Czy to jest kontynuacja badań wstępnych? Duża liczebność próby może wskazywać, że tak nie jest. Dodatkowo niejasny jest brak numeracji kolejnych trzech podrozdziałów. W tej części pracy, warte wyróżnienia jest opracowanie metody i oszacowanie niepewności pomiarowej.

Kolejny podrozdział rozdziału piątego (5.2.) zawiera wyniki badań dynamicznych ziaren zbóż. Opis metod badań i ich program zostały przedstawione bardzo starannie. Jedyne brak w opisie stanowisk przedstawionych na rysunkach 77 i 83 informacji o prędkości narastania obciążenia, jest zastanawiający. Autor podaje, że wynosiły od 0,8 m/s do 2 m/s. Jak te prędkości korespondują z wartością odniesienia podaną na stronie 74 (4,5 m/s)? Dalej prezentowane w rozdziale piątym opracowanie wyników badań oceniam pozytywnie. Przedstawiono je starannie i jasno. Duża liczebność prób i odpowiednie opracowanie statystyczne nie budzą wątpliwości, co do wiarygodności wyników. W opinii recenzenta, Autor mógł dodać podrozdział podsumowujący cały rozdział 5. Stosując podobną konwencję do zaprezentowanej w rozdziale czwartym.

Rozdział szósty poświęcony został modelowaniu matematycznemu wyników badań doświadczalnych. Autor skupił się na poszukiwaniu funkcji o przebiegu zbliżonym do danych empirycznych, które poprzez obliczenia numeryczne potwierdzałyby prawidłowość opracowania. Do tego zagadnienia doktorant podszedł bardzo starannie. Identyfikował kolejne przydatne równania teoretyczne oraz współczynniki weryfikujące poprawność dopasowania funkcji aproksymującej. Dobrał odpowiedni typ funkcji i współczynniki modelowe. W dedykowanym oprogramowaniu wyznaczył dodatkowo zestaw współczynników opisujących zależności energetycznie. Weryfikację modelu wykonał dla czterech poziomów obciążenia. W tej części pracy, z naukowego i inżynierskiego punktu widzenia najbardziej interesujące są pętli histerezy, ilustrujące współpracę mechaniczną ziarna z powierzchnią elementu roboczego maszyny rolniczej, co udało się uzyskać Autorowi.

Weryfikacja modelu autorskiego zaprezentowana w rozdziale siódmym w porównaniu do modelu EEPA i pętli empirycznej przebiegła pozytywnie. Model autorski Doktoranta w większym stopniu odwzorowuje nieliniowość, w szczególności w fazie odciążenia (zaniku wymuszenia). Rezultaty zamieszczone w tym rozdziale są oryginalne i mają istotne znaczenie poznawcze w zakresie modelowania numerycznego oraz cechują się nowością w dyscyplinie. Ponadto materiał zgromadzony w tym rozdziale jest ważny ze względu na zastosowanie inżynierskie. Na podkreślenie zasługuje dobra znajomość specyfiki badań doświadczalnych,

analiz statystycznych i szacowania niepewności pomiaru oraz modelowania matematycznego wraz weryfikacją i krytyczną analizą otrzymanych wyników.

Końcowy rozdział pracy zawiera podsumowanie i wnioski. Zgadzam się z Autorem, że realizacja założonych zadań cząstkowych, które tworzyły algorytm postępowania, doprowadziła do osiągnięcia przyjętego celu pracy. Niezręcznością było zapisanie nazwiska Newtona od małej litery w odwołaniu do drugiej zasady dynamiki. Warte podkreślenia są uwagi krytyczne przedstawione przez Autora, w których zawarto ograniczenia opracowanego modelu do odmiany pszenicy Memory oraz praktyczne zastosowanie w zadaniach inżynierskich.

Sformułowana przez Doktoranta teza została udowodniona, a założony cel został w pełni osiągnięty.

4. Uwagi szczegółowe do rozprawy

- a. Jakość materiału ilustracyjnego i tabel jest wysoka. Rysunki są wykonane starannie, ich opis jest prawidłowy. Rysunki 50 i 51 oraz 52 i 54 są identyczne.
- b. Układ redakcyjny pracy nie jest jednolity. Obecnie preferowany jest podział na rozdziały i podrozdziały. Czyli tak jak w rozdziale pierwszym, po „1. Sformułowanie tematyki badawczej”, następuje od razu podrozdział „1.1. Wprowadzenie” i potem tekst zasadniczy pracy. Ale począwszy od rozdziału drugiego, Autor nie stosuje tej konwencji, od razu po tytule rozdziału następuje tekst zasadniczy. A dopiero później wyodrębnione zostają pierwsze podrozdziały. Ponadto część podrozdziałów nie jest w ogóle numerowana.
- c. Dokonano sprawdzenia pracy pod względem językowym. Pomimo ogólnej pozytywnej oceny treści rozprawy, Autor nie ustrzegł się drobnych błędów. Niektóre zauważone błędy to:
 - błędy w składzie tekstu występujące na większości stron dysertacji, polegające na pozostawieniu na końcu wiersza krótkiego słowa jednoliterowego, tzw. „sierotki”,
 - błędy interpunkcyjne, np. str. 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 27 i kolejne. Głównie brak przecinków między zdaniem nadrzędnym a podrzędnym, znajdującym się wewnątrz zdania nadrzędnego,
 - str. 8 zamiast *w pływ* powinno być: *wpływ*,
 - str. 8 błąd stylistyczny w problemie badawczym ... *opisanych modeli matematycznych opisujących* ... ,
 - str. 9 - czy zamiast ... *zderzenia ziarna z elementem roboczym, kierunku normalnym* ... nie powinno być ... *zderzenie ziarna z elementem roboczym na kierunku normalnym* ... ? ,
 - str. 10 w. 10 zamiast *uwzględniających* powinno być: *uwzględniające*,
 - str. 17 w. 1 od d. zamiast *zborze* powinno być: *zbiornice*,
 - str. 24 w. 3 zamiast *rozładowania* powinno być: *odciążenia*,
 - str. 27 w. 4 od d. zamiast *pomierzenia* powinno być: *zmierzenia*,
 - str. 29 w. 11 od d. zamiast *Zareb* powinno być: *Zoerb*,
 - str. 30 w. 7 zamiast *w szczękach* powinno być: *na płytach naciskowych*. Termin „szczęki”, jest wyrażeniem żargonowym. W terminologii fachowej wytrzymałości materiałów raczej nie stosuje się tego terminu. To samo na str. 31,
 - str. 32 w. 6 od d. zamiast *uchwyty* powinno być: *płyty naciskowej*,
 - str. 35 w. 7 zamiast *ramie* powinno być: *ramię*,
 - str. 36 w. 5 zamiast *podejmującym* powinno być: *podejmujących*,
 - str. 37 w. 1 zamiast *Wpóśród* powinno być: *Wśród*,

- str. 39 w. 1 zamiast *Uniwersytecie Krakowskim* powinno być: *Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie*,
- str. 44 w. 7 zamiast *rozładowania* powinno być: *odciążenia*,
- str. 45 w. 3 zamiast *dynami* powinno być: *dynamiki*,
- str. 48 w. 7 od d. zamiast ... *zjawisk towarzyszących rekacją* powinno być: ... *zjawisk towarzyszących reakcjom* ...,
- tzw. asterysk „*” (gwiazdka, w kodzie ASCII oznaczony, jako U+002A) nie powinien być stosowany, jako znak mnożenia. Należy stosować znak specjalny kropki środkowej „·” (U+2219).
- w opisie niektórych wykresów jest „u” zamiast „μ”.

5. Ocena końcowa

Po analizie treści i wyników badań zamieszczonych w rozprawie doktorskiej stwierdzam, że oceniana praca mieści się w dyscyplinie naukowej Inżyniera Mechaniczna (Budowa i Eksploatacja Maszyn). Problem badawczy jest aktualny i ma znaczenie użytkowe. Autor zrealizował postawione zadania badawcze prawidłowo, wykazał się przy tym wiedzą oraz praktycznymi umiejętnościami wykorzystania narzędzi inżynierskich i naukowych. Założone metody badań oraz sposoby tworzenia i weryfikacji modelu okazały się słuszne. Wyniki badań doświadczalnych, analizy oparte o model własny i komercyjny zostały zaprezentowane w sposób umożliwiający porównanie jakościowe ich zgodności. Ponadto obliczono współczynniki, które wyrażały ilościowo stopień dopasowania modeli matematycznych do danych doświadczalnych. Stopień dopasowania okazał się wysoki, co potwierdza wiarygodność opracowanego modelu i wyników analiz numerycznych. Rozwiązując postawiony problem badawczy, Autor wykazał się dobrą znajomością zagadnień dynamiki ciała stałego oraz umiejętnością modelowania i analizy właściwości materiału roślinnego w szczególnych warunkach kontaktu z elementami maszyn rolniczych. To pozwoliło mu ostatecznie rozwiązać zadania naukowe i osiągnąć cel pracy.

Autor wykazał się dobrą znajomością problematyki, z której wywodzi się temat rozprawy oraz samodzielnością formułowania i rozwiązania oryginalnych problemów naukowych.

Pod względem metodologicznym praca jest prawidłowa. Niefortunne sformułowanie problemu badawczego wobec prawidłowego sformułowania tezy w kolejnym podrozdziale nie umniejsza znacząco wartości pracy. Oceniając całość pracy, można stwierdzić, że Autor wykazał dobre przygotowanie w zakresie znajomości wymagań formalnych i metod badań naukowych, co wobec rozwiązania oryginalnego zadania badawczego, potwierdza przygotowanie Autora do samodzielnej pracy naukowej.

Stwierdzam, że przedstawiona do zaopiniowania rozprawa doktorska mgr. inż. Jacka Marcinkiewicza pt. *Modelowanie sił kontaktowych w układzie ziarno roślinne–powierzchnia zespołu roboczego w aspekcie zjawisk o przebiegu dynamicznym* spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t. Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późniejszymi zmianami). Zatem wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Jacka Marcinkiewicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Warszawa 20.08.2023 r.

dr hab. inż. Daniel Pieniak