

Wrocław 07.10.2023r.

Dr hab. inż. Dominika Grygier, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii Pojazdów
ul. Smoluchowskiego 25
50-372 Wrocław
tel. 694 054 192
e-mail: dominika.grygier@pwr.wroc.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Klaudii Olejniczak
pt. Wykorzystanie rzeczywistej powierzchni tarcia do prognozowania zużycia
elementów roboczych w glebowej masie ścierniej.
Promotor pracy: dr hab. inż. Aleksandr Vrublevskyi, prof. UWM
Promotor pomocniczy: dr inż. Jarosław Krzysztof Gonera

Recenzja rozprawy doktorskiej została opracowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 29 czerwca 2023 roku (pismo WNT-DZ.DR-IM. .2023).

1. Ocena doboru tematyki oraz celu i zakresu pracy

Ośrodkiem, w którym użytkowane są elementy robocze uprawowych narzędzi i maszyn rolniczych, jest gleba. Obecnie większość maszyn i narzędzi rolniczych stosowanych podczas uprawy gleby posiada dobrze spełniające swoją funkcję zabezpieczenia chroniące elementy robocze przed przeciążeniem powstającym z reguły w wyniku uderzenia o osadzone w glebie kamienie. Stąd najczęstszą przyczyną stanu granicznego zużycia elementów jest zmiana geometrii wywołana zużyciem ściernym zachodzącym podczas ich pracy w masie ścierniej, jaką stanowi gleba. Elementarnymi formami zużycia ściernego są mikroskrwanie, rysowanie i brzdowanie, przy czym udział poszczególnych form i wzajemne ich interakcje mogą być różne w zależności od składu granulometrycznego gleby, jej stanu oraz sposobu oddziaływania elementów na glebę. Nie bez wpływu na zużycie elementów roboczych pozostają również właściwości materiału, z którego są one wykonane.

W Polsce przez wiele lat zalecaną stalą na elementy robocze narzędzi rolniczych przeznaczonych do uprawy gleby była stal 40GS, którą w latach 80 ubiegłego wieku zastąpiono stalą 38GSA. Poszukiwano również nowych rozwiązań materiałowych na elementy robocze narzędzi uprawowych. Między innymi eksperymentowano z zastosowaniem żeliw ADI, staliwa L30GS, L35GSM i staliwa chromowo-niklowo-molibdenowego. Podejmowano również badania dotyczące oceny wpływu hartowania bainitycznego i hartowania powierzchniowego przez naświetlanie laserem na zużycie ściernie wybranych gatunków stali pracujących w glebie oraz zastosowania procesu napawania. Obecnie na rynku krajowym coraz szerzej dostępne są blachy wykonane z niskostopowych i niskowęglowych stali z borem, określanych przez producentów jako stale odporne na ścieranie. Do stali tych należą między innymi stale Hardox (wytwarzane przez szwedzki koncern hutniczy SSAB Oxelösund) stale B13S, B24, B27 i stale Raex (produkowana przez fińską korporację Rautaruukki), a także stal 28MCB5 (produkowana przez włoską spółkę Zeneri Acciai Company).

Zmienne interakcje między parami układu tribologicznego sprawiają, że ocena odporności na zużywanie wymusza rozważenie złożonych i różnorodnych czynników przy procesie racjonalnego doboru materiału na element konstrukcyjny. Najobszerniejsze obrazy przebiegu procesów tribologicznych są uzyskane po przeprowadzeniu testów eksploatacyjnych, a ich rezultaty bezpośrednio określają użyteczność danego zespołu lub urządzenia. Ich nadrzędnym celem jest ustalenie intensywności zużywania najbardziej obciążonych elementów, a warunki badań są w tym przypadku typowe dla pracy danej maszyny, uwzględniając losowy charakter parametrów zewnętrznych.

Biorąc pod uwagę fakt, że użytkownicy sprzętu rolniczego oczekują takich rozwiązań konstrukcyjnych elementów roboczych narzędzi pracujących w glebie, które charakteryzować się będą dużą trwałością i niską ceną, przy jednoczesnej możliwości prognozowania zużycia, podjęcie przez Autorkę rozprawy doktorskiej tematu pracy jest w pełni uzasadnione. Temat jest trafny pod względem naukowym, ponieważ w aktualnym stanie wiedzy brakuje precyzyjnej i skutecznej metody modelowego prognozowania zużycia elementów roboczych maszyn rolniczych. W dostępnej literaturze opisanych zostało wiele modeli, ale nadal brakuje uogólnienia na poziomie zużycia, uwzględniającego stan powierzchni, zastosowany materiał, postać geometryczną oraz warunki pracy.

Cel pracy został jasno i precyzyjnie zdefiniowany i obejmuje opracowanie metody do prognozowania zużycia elementów roboczych w glebowej masie ścierniej z wykorzystaniem rzeczywistej powierzchni tarcia. Do realizacji celu dodatkowo Autorka wskazała dwie, prawidłowo sformułowane, hipotezy badawcze:

- Do prognozowania zużycia w glebowej masie ścierniej można wykorzystać rzeczywistą powierzchnię tarcia uzyskaną za pomocą metody skanowania 3D.
- Do zlokalizowania zużycia dla materiałów o różnych właściwościach można wykorzystać model numeryczny rzeczywistej powierzchni tarcia, który umożliwi uzyskanie oryginalnych charakterystyk zużycia objętościowego.

Zakres pracy jest poprawnie dobrany do celu rozprawy oraz odpowiada jej tytułowi.

W ramach pracy przeprowadzono:

- analizę stanu zagadnienia,
- przegląd modeli do prognozowania zużycia elementów roboczych w glebie,
- dobór obiektów badań, wraz z doborem materiału,
- badania w warunkach laboratoryjnych i naturalnych,
- uzyskanie rzeczywistych powierzchni tarcia oraz opracowanie nowych charakterystyk zużycia z wykorzystaniem metod skanowania 3D,
- ocena powierzchni tarcia badanych materiałów,
- modelowanie elementów roboczych w interakcji z masą glebową na podstawie wykorzystanych zasad mikromechaniki.

Praca wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna w zakresie opracowania metody do prognozowania zużycia elementów roboczych maszyn rolniczych w glebowej masie ścierniej z wykorzystaniem rzeczywistej powierzchni tarcia.

2. Ocena struktury pracy

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje 170 stron, w tym strona tytułowa, oświadczenia (promotora, promotora pomocniczego oraz Autorki), 2 strony spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, 2 strony z wykazem ważniejszych oznaczeń, 2 strony ze słownikiem podstawowych pojęć, 129 stron zajmuje zasadnicza część pracy, na 19 stronach przedstawiono spis literatury (257 pozycji oraz 4 normy przedmiotowe), 2 strony zajmuje wykaz tabel, 4 strony zajmuje wykaz rysunków oraz dodatkowo dołączono Aneks przedstawiający sprawozdanie z badań gleby nr GX/169/2022.

Rozprawa doktorska składa się z 7 głównych rozdziałów. Najważniejsze merytorycznie dla pracy to rozdziały 5 i 6, w których Doktorantka przedstawia wyniki analiz rzeczywistej powierzchni tarcia uzyskane w warunkach laboratoryjnych i naturalnych oraz wyniki zużycia uzyskane w oparciu o modelowanie. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów oraz podział treści tworzą spójny i logiczny układ pracy. Praca napisana jest na dostatecznym poziomie

językowym z widoczną liczbą błędów stylistycznych, interpunkcyjnych i edycyjnych. Szata graficzna pracy została prawidłowo przygotowana i obejmuje liczne ilustracje, rysunki, fotografię oraz tabele i wykresy, wyraźnie podnoszące walory poznawcze pracy.

3. Ocena części merytorycznej rozprawy

3.1. Ocena aktualnego stanu wiedzy

Aktualny stan wiedzy zamieszczono w rozdziale drugim, w którym Autorka dokonuje przeglądu literatury, omawiając teorię zagadnień podejmowanych w rozdziałach opisujących badania własne. W tej części pracy Pani mgr inż. Klaudia Olejniczak charakteryzuje procesy zużywania elementów roboczych, uwzględniając definicję zużycia, klasyfikacje procesów zużywania oraz skutki procesów tarcia i zużywania na zmiany w warstwie wierzchniej elementów. W trakcie lektury odnosi się niestety wrażenie braku konsekwencji w systematyce procesów zużycia. Mało precyzyjnie jest zdefiniowana warstwa wierzchnia, a opisane właściwości warstwy są poza kontekstem podrozdziału. W pracy poruszone jest również zagadnienie zużywania w glebowej masie ścierniej. Brak jednak szczegółowych opisów elementów roboczych pracujących w kontakcie z glebą oraz zależności pomiędzy kształtem, rodzajem czy typem elementu roboczego, a zużyciem w różnych typach gleby.

Na uwagę zasługują szczegółowy opis materiałów odpornych na zużycie ściernie, uwzględniający przegląd nowoczesnych gatunków stali, metod nanoszenia warstw napawanych oraz zastosowanie materiałów spiekanych. Autorka wykazała się wiedzą zarówno z zakresu materiałoznawstwa jak i inżynierii powierzchni. Zawarty w tym podrozdziale opis stanowi bardzo dobre wprowadzenie do przedmiotu podjętych w rozprawie badań.

W rozdziale drugim omówiono również modele do prognozowania zużycia, zastosowanie metody elementów dyskretnych do badań uprawowych oraz wykorzystanie metody skanowania 3D w tribologii. Podrozdział ten został przygotowany bardzo dobrze i wyczerpująco opisuje zagadnienia modelowania. Na uznanie zasługuje dobór aktualnej literatury oraz interdyscyplinarne podejście do zagadnienia.

Przegląd piśmiennictwa, wykorzystany w rozprawie doktorskiej, stanowi 257 pozycji literaturowych, w większości prawidłowo dobranych i zacytowanych, z czego 2 odniesienia stanowią cytowanie artykułów z udziałem Autorki rozprawy doktorskiej. Wyraźne zastrzeżenie budzą pozycje z poprzednich wieków, z lat: 1860r., 1882r., 1785r., 1699r., oraz pozycje

obcojęzyczne, między innymi publikowane w językach: szwedzkim czy rosyjskim. W spisie literatury jest niestety dużo błędów oraz niekonsekwencji cytowania prac np.: zamienne wskazywanie roku wydania na początku lub na końcu cytowania, brak wydawnictwa czy brak konsekwencji w numeracji czasopism. Wątpliwość również budzą ostatnie pozycje w bibliografii [250-257] będące poza układem alfabetycznym.

Podsumowując, uważam, że przegląd aktualnego stanu wiedzy jest przygotowany poprawnie i dobrze wprowadza w czytelnika w tematykę rozprawy doktorskiej.

3.2. Ocena zastosowanej metodyki badawczej

Opis aparatury badawczej oraz przedmiotu badań zamieszczono w rozdziale czwartym. Materiał badawczy, opisany przez mgr inż. Klaudię Olejniczak, to trzy rodzaje próbek, wykonanych ze stali 38GSA i kolejno badanych jako stal, stal pokryta warstwą napawaną i stal z dolutowanym węglikiem spiekany. W części materiałowej zawarto skromny opis składu chemicznego, struktury oraz wartości twardości badanych materiałów. Autorka nie uzasadniła doboru przedmiotu badań oraz procesu przygotowania próbek do eksperymentów tribologicznych.

W metodyce badań wskazano: badania makroskopowe, badania mikroskopowe z zastosowaniem metod mikroskopii świetlnej i elektronowej, pomiary mikrotwardości, analizę składu chemicznego, skanowanie 3D, modelowanie, analizę statystyczną oraz eksperymenty tribologiczne. Opisy są raczej minimalistyczne, poza opisem procesu modelowania oraz eksperymentów tribologicznych, którym Autorka poświęciła więcej miejsca. W opisie metodyki brakuje szczegółów technicznych, rozwinięcia parametrów oraz ilustracji zastosowanej aparatury badawczej oraz metod przygotowania próbek do poszczególnych badań.

Podsumowując, uważam, że pomimo minimalistycznych opisów metodyka badawcza została prawidłowo dobrana do realizacji celu i zakresu pracy.

3.3. Ocena uzyskanych wyników badań i dyskusji

Wyniki badań własnych podzielono na dwa główne rozdziały: pierwszy, będący rozdziałem piątym pracy – odnoszący się do przeprowadzonych eksperymentów tribologicznych i drugi, będący rozdziałem szóstym pracy – dotyczący prognozowania zużycia na podstawie modelowania. Podsumowanie i wnioski zawarte zostały w osobnym, siódmym

rozdziale pracy. Zaproponowany przez Autorkę podział wyników badań i ich podsumowania jest spójny i czytelny.

W rozdziale piątym mgr inż. Klaudia Olejniczak przedstawiła bardzo szczegółowo wyniki badań uzyskane po przeprowadzeniu dwóch eksperymentów tribologicznych, w warunkach laboratoryjnych i polowych, wzbogaconych dodatkowo zastosowaniem dwóch rodzajów gleby: lekkiej i ciężkiej. W opisie wyników badań zabrakło jednak systematyki przedstawienia rezultatów dla wszystkich badanych próbek, wykazane są w większości przypadków wyniki tylko dla stali 38GSA, a pominięte wyniki dla próbek z warstwą napawaną i dolutowanym węglikiem spiekany. Badania zostały niewątpliwie przeprowadzone, szczególnie, że Autorka wyraźnie wskazuje, iż zastosowanie napawania wyraźnie spowalnia redukcję objętości badanych próbek. Największą wartość prezentowanych w tym rozdziale badań stanowi wyznaczenie korelacji pomiędzy kształtem rzeczywistej powierzchni badanych próbek, a rodzajem gleby. Uzyskane wyniki badań posłużyły Autorce do podziału rzeczywistej powierzchni tarcia na trzy strefy zużycia oraz wyznaczenia dla wszystkich stref kąta atakującego.

Druga część wyników badań własnych to rezultaty prognozowania zużycia na podstawie modelowania metodą elementów dyskretnych. Jest to zdecydowanie najbardziej wartościowy rozdział w całej dysertacji mgr inż. Klaudii Olejniczak. Uzyskane wyniki wyraźnie wykazują na możliwość uzyskania zbliżonych wartości zużycia do otrzymanych z eksperymentów tribologicznych, w tym, co jest niezwykle ważne, również z eksperymentów przeprowadzonych w warunkach naturalnych. Daje to możliwość dokładnego i precyzyjnego przewidywania zużycia elementów roboczych w glebowej masie ścierniej.

Podsumowując, uważam, że założony w rozprawie doktorskiej cel badań został osiągnięty, a hipotezy badawcze potwierdzone.

4. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

W toku lektury rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Olejniczak pojawiają się pewne uwagi krytyczne oraz spostrzeżenia dyskusyjne.

4.1. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- Autorka do badań dobrała trzy rodzaje próbek: stal 38GSE, stal 38GSE z warstwą napawaną i stal 38GSE z dolutowanym węglikiem spiekany. W pracy brakuje uzasadnienia dobranego

gatunku stali, zastosowanej obróbki cieplnej oraz metod modyfikacji powierzchni, szczególnie, że w analizie literatury ten gatunek stali jest ubogo opisany oraz pominięte jest zagadnienie obróbki cieplnej.

- W rozdziale czwartym szczegółowo opisany jest kształt i wymiary próbek, brakuje jednak uzasadnienia takiej postaci geometrycznej. Czy geometria przedmiotu badań została oparta o geometrię elementów roboczych uprawowych narzędzi i maszyn rolniczych?

- W trakcie opracowywania modelu gleby do modelowania interakcji gleba – element roboczy metodą DEM wykluczono obecność cząstek SiO_2 . Jednocześnie cząstki SiO_2 były obserwowane w eksperymencie tribologicznym. Z jakiego powodu zdecydowano się na pominięcie wskazanych cząstek? Czy pominięcie obecności ziaren SiO_2 wpłynęło na wyniki symulacji?

- Uzyskane wyniki z badania zużycia próbek metodą objętościową wskazują zużycie w [g] wyłącznie dla próbki 38GSA, czy dla pozostałych próbek badania nie zostały przeprowadzone? Czy brak tych badań nie utrudnił osiągnięcia zadowalających rezultatów prognozowania zużycia na podstawie modelowania metodą elementów dyskretnych?

- Autorka bardzo szczegółowo opisuje zmiany kształtu próbek w zależności od rodzaju gleby lub zastosowanego materiału. Czy rozważano w toku badań różne wersje geometryczne strefy wzmocnienia? Czy rozważano różne, alternatywne metody nanoszenia węgla spiekane?

- W rozdziale szóstym mgr inż. Klaudia Olejniczak wskazuje, że różnice w punkcie B pomiędzy poszczególnymi próbkami wynikają z różnic w powierzchni czołowej próbek. Czy większa powierzchnia czołowa próbki wzmocnionej węglkiem spiekany nie zaburza wyników badań i nie wprowadza dodatkowych zmiennych, które należy uwzględnić w procesie modelowania?

- Wyznaczenie zużycia modelem Oka przeprowadzono dla rzeczywistych powierzchni tarcia oraz próbek nominalnych uzyskanych techniką addytywną. Jaka technikę druku 3D zastosowano? Dlaczego wprowadzono próbki wykonane techniką addytywną? Brakuje opisu próbek nominalnych w metodyce badawczej.

4.2. Uwagi szczegółowe i edycyjne

- Zastosowana numeracja stron ma niestandardowy format: 17:8320746210.

- W streszczeniu, znajdującym się na początku pracy, brakuje informacji o celu i przedmiocie badań.

- Autorka często gubi sens zdań: „Wyróżnia się wiele definicji zużycia, które przyjmować może charakter stopniowy lub nagły w przypadku zużycia naturalnego.” (s.17), „Największe wartości

występują w miejscach występowania cząstek o rozmiarach największych, przez co dochodzi do kruszenia i drobnych zanieczyszczeń.” (s.21), „Warstwa wierzchnia w pierwszym etapie kształtowania jest w procesie technologicznym, następnie destrukcja podczas procesu eksploatacji.” (s.22) itp.

- Błędy literowe, szczególnie w rozdziale 2 np.: mikrostrawanie... zamiast mikroskrawanie, dla ciecz... zamiast dla cieczy, nie możliwe... zamiast niemożliwe, świadczy to, i z nie... zamiast świadczy to, iż nie, efektu twardej wtórnej... zamiast efektu twardości wtórej.

- Autorka często używa kolokwializmów dalekich do języka technicznego np.: nałożenie na materiał, temat ezoteryczny, model typu „czarna skrzynka”, po modelowaniu przeprowadzono, stwarzają zapotrzebowanie itp.

- W rozdziale piątym Autorka pomyliła numeracje tabel (s.106-107), w tekście powołane zostały tabele 5.2-5.5, a powinny zostać powołane tabele 5.1-5.4.

- Nieprawidłowy dobór literatury, pozycje [195, 44] nie dotyczą zużycia powierzchni roboczych w kontakcie z glebą, a badań zużycia maszyn górniczych.

- W bibliografii znajdują się pozycję o raczej historycznym charakterze [4, 13, 39, 73], czy Autorka korzystała z tych pozycji literaturowych podczas przygotowywania analizy stanu wiedzy? Czy dobór literatury podyktowany był brakiem aktualnych pozycji o zbliżonej tematyce?

- W bibliografii znajdują się ponadto pozycję w języku szwedzkim [80], francuskim [39], niemieckim [173] i rosyjskim lub ukraińskim [97, 183, 250-257], czy Autorka korzystała z wersji oryginalnych tych pozycji literaturowych, czy z tłumaczeń tekstów?

- Wskazana w literaturze norma PN-M-04250:1987 (s.163) została wycofana, terminologię dotyczącą warstwy wierzchniej można odnaleźć w licznych pozycjach literaturowych między innymi z zakresu inżynierii powierzchni lub inżynierii materiałowej.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że praca spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania zagadnienia naukowego, Autorka rozprawy doktorskiej wykazała się szeroką wiedzą z zakresu uprawianej dyscypliny naukowej oraz umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Wobec spełnienia wymogów artykułu 13 ust 1. Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późniejszymi zmianami) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca

2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 z późniejszymi zmianami) formułuję wniosek o dopuszczenie mgr inż. Klaudii Olejniczak do publicznej obrony opiniowanej pracy jako pracy doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.