

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Klaudii Olejniczak

Tytuł rozprawy: "*Wykorzystanie rzeczywistej powierzchni tarcia do prognozowania zużywania elementów roboczych w glebowej masie ściernej*"

Recenzja została przygotowana na podstawie zlecenia prof. dr. hab. inż. Adama Lipińskiego, dziekana Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

1. Charakterystyka ogólna

Rozprawa liczy ogółem 170 stron i składa się z 7. rozdziałów, podzielonych na zwarte tematycznie podrozdziały. Zacytowano 257 pozycji bibliograficznych.

2. Ocena podjętego tematu

Podjęcie problematyki, którą zajęła się Autorka recenzowanej pracy, jest w pełni uzasadnione z technicznego punktu widzenia.

Rozwój technologii materiałowych, od kilkunastu lat bardzo intensywny w związku z rozwojem instrumentarium badawczego, zarówno pomiarowego, jak i eksperymentalno-testowego, a także w związku z szybko rosnącym poziomem wiedzy naukowej w zakresie inżynierii materiałowej, pozwalają na uzyskiwanie coraz wyższego poziomu eksploatacyjnych właściwości obiektów technicznych. Efektywność wykorzystania powyższych możliwości jest większa, jeśli uwzględniana jest specyfika budowy i warunków pracy poszczególnych systemów technicznych; wspiera to aprioryczne określanie stawianych wymogów. Z tym zmierzyć się postanowiła Autorka recenzowanej rozprawy w odniesieniu do właściwości tribologicznych elementów roboczych pracujących w masie glebowej.

3. Tytuł pracy

Tytuł rozprawy: "*Wykorzystanie rzeczywistej powierzchni tarcia do prognozowania zużywania elementów roboczych w glebowej masie ściernej*" został sformułowany trafnie w sensie problemu badawczego, ale nie w pełni adekwatnie do zawartości rozprawy, bo jego sformułowanie kontekstowo zapowiada nie w pełni uzasadnione uogólnienie.

4. Problem badawczy, cel, teza, zakres pracy

Ogólnie należy stwierdzić, że postawiony problem jest zasadny z punktu widzenia technicznego (praktycznego). Tak samo uzasadnione jest jego rozwiązanie na drodze naukowo-badawczej.

Poniżej kilka uwag metodologicznych.

Jako cel pracy przyjęto opracowanie metody prognozowania zużycia elementów roboczych w glebowej masie ściernej z wykorzystaniem rzeczywistej powierzchni tarcia. Jest to właściwie

powtórzenie tytułu, co nie jest błędem. Jego sformułowanie, podobnie jak tytułu, a także hipotez (łącznie - pierwszej i drugiej, niepotrzebne jest ich rozdzielanie) wynika ze sposobu ujęcia problemu badawczego: *Czy istnieje możliwość wykorzystania rzeczywistej powierzchni tarcia do prognozowania zużycia elementów roboczych w glebowej masie ścierniej?*

Studiując treść rozprawy, wydaje się, iż bardziej właściwy byłby taki sekwens tworzenia zapisów:

- problem badawczy – nieco inaczej, ogólniej ujęty, np.: czy istnieje możliwość opracowania sposobu prognozowania zużycia elementów roboczych maszyn w glebowej masie ścierniej lepszego od istniejących?
- po gruntownym przygotowaniu - analizie stanu wiedzy naukowej i technicznej – można postawić hipotezę – tak, jak to zrobiła Autorka, ale łącząc pierwszą hipotezę z drugą, rugując przy tym niejednoznaczność sformułowania „zlokalizowanie zużycia ...” - bo chodzi o nieokreśloną lokalizację, ale jednoznaczne określenie rozkładu wielkości zużycia w poszczególnych punktach elementu,
- po tym można postawić sobie cel badań – nb. tak, jak został ujęty – „opracowanie metody”. Jego osiągnięcie będzie rozwiązaniem problemu, uważając (po dokonanej analizie), iż jest to możliwe w sposób jaki przedstawiony w hipotezie,
- następnie przyjąć zakres niezbędnych do tego prac, ujmujących przede wszystkim udowodnienie hipotezy.

Zakres prac powinien ujmować także inne aspekty, których zabrakło, a które powinny być wzięte pod uwagę w opracowaniu o charakterze metodologicznym (przyjętym celem jest metoda). Dotyczy to w szczególności określenia zakresu obowiązywania (stosowności) opracowanej metody oraz porównania jej ze sposobami stosowanymi obecnie.

Poza tym przyjęty zakres pracy jest poprawny; warto było do jego prezentacji (s. 78) dodać dyskusję wyników i ich syntezę, która zresztą przejawia się we wnioskach końcowych (ich sformułowanie jest ważną częścią zarówno pracy w sensie raportu z badań, jak też ważnym elementem ocennym dysertacji jako rozprawy kwalifikacyjnej).

5. Układ pracy, redakcja, literatura

Układ pracy należy określić jako bardzo poprawny. Rozprawę rozpoczyna wprowadzenie ujmujące wyzwania techniczne i naukowe stojące przed twórcami i producentami elementów maszyn urabiających glebę, z których wyłania się planowany do podjęcia problem. Został on sformułowany dopiero na s. 77 w rozdz. 3, po gruntownym state of the art. (rozdz. 2). Analiza stanu wiedzy oparta o nieco przesadną liczbę 257 pozycji literatury przedmiotu (acz dobrze dobranej) prowadzi do sformułowania celu, postawienia hipotez oraz określenia zakresu prac i metodyki badań. Wnioski końcowe poprzedza rozdział przedstawiający wyniki badań oraz ich dyskusję.

Wzorowość układu dysertacji akcentuje treściwe podsumowanie, synteza rozważań każdej jej partii, a także wyartykułowanie elementów oryginalności i kierunków dalszych prac.

Redakcja pracy również staranna pod względem językowym, ze śladowymi określeniami mającymi charakter „języka mówionego” (np.: nadużycie określenia „doskonały” – vide s. 77 „...brakuje metody do doskonałego projektowania ...”, a także błędne rozumienie pojęcia „powierzchnia”, pisząc „zużycie powierzchni” - wielokrotnie). Do poprawności niektórych

sformułowań pod względem merytorycznym, oprócz uwag przedstawionych powyżej, kilka innych ujętych jest w dalszej części niniejszej recenzji.

Ilustracje – wykresy, fotogramy, schematy – czytelne, dobrej jakości. Poprawność strony redakcyjnej rozprawy podkreślają wykazy oznaczeń, słownik podstawowych pojęć oraz spisy (tabel, rysunków).

6. Uwagi merytoryczne

Autorka podjęła, z dobrym skutkiem, problem prognozowania zużywania elementów roboczych maszyn w glebowej masie ścierniej. Uznała, że Interakcję gleba–element roboczy można symulować za pomocą metody elementów dyskretnych (DEM), co w połączeniu z wykorzystaniem skanowania metodą 3D do wyznaczenia rzeczywistej powierzchni tarcia może pozwolić na lepsze, od obecnie stosowanych, prognozowanie zużywania takich narzędzi.

Słusznie uznała jako oryginalne wykazanie, iż do osiągnięcia założonego celu - opracowania metody prognozowania zużywania elementów roboczych maszyn w glebowej masie ścierniej - zasadne jest zastosowanie modelu Hertza-Mindlina oraz modelu Archarda i Oka, z wykorzystaniem rzeczywistej powierzchni tarcia określanej za pomocą skanowania 3D.

Poprawność zaproponowanego sposobu budowania charakterystyk zużycia objętościowego - poprzez analizę rzeczywistej powierzchni tarcia i zastosowanie proponowanych metod dyskretyzacji, dekompozycji i strefowania na podstawie kąta atakującego - została zweryfikowana w badaniach laboratoryjnych oraz eksploatacyjnych (naturalnych, polowych).

Duża zgodność proponowanego modelu prognozowania intensywności zużywania z wynikami zarówno badań laboratoryjnych jak i eksploatacyjnych pozwolić może na optymalizowanie technologii wytwarzania tych narzędzi – np. trwałość vs koszt. Wykorzystywanie opracowanego modelu wymaga tylko szybszych, łatwiejszych do realizacji i tańszych testów laboratoryjnych.

Proponowany sposób podejścia opracowany został przy użyciu właściwego zestawu aparatury do powierzchniowych badań mikroskopowych (optycznych, skaningowych), analitycznych (składu chemicznego - GDS) oraz mikrotwardości (metoda Vickersa).

Obiekt badań stanowiły trzy rodzaje próbek wykonanych ze stali 38GSA: jedna bazowa – bez powierzchniowych modyfikacji, druga - z tej samej stali z warstwą napawaną o grubości 4-5 mm (o zawartości 5% węgla) wykonaną elektrodą otuloną (EL-HARD70) oraz trzecia – również ze stali 38GSA, ale z dolutowanymi płytkami z węgla wolframu (typowy G10).

Tribologiczne badania zużywania w masie glebowej prowadzono z wykorzystaniem laboratoryjnego urządzenia nazwanego „wirująca misa”, umożliwiającego utrzymanie kontrolowanych warunków testów. Drugi eksperyment prowadzono w warunkach naturalnych, z wykorzystaniem kultywatora rolniczego.

Określania objętościowego zużycia dokonywano przez podział próbki na objętości elementarne i wykorzystanie techniki skanowania 3D; umożliwia to ocenę zużycia elementów o skomplikowanym kształcie i zróżnicowanych właściwościach. Sposób ten jest dokładniejszy w przypadku materiałów o zróżnicowanej gęstości od stosowanego powszechnie wyznaczania objętości strefy zużycia na podstawie pomiarów masy.

Wykonane badania laboratoryjne wyróżnia staranność o uzyskiwanie akceptowanej powtarzalności. Utrzymywanie parametrów konstrukcyjno-kinematycznych nie nastęrcza problemów; dotyczy to też gleby – właściwości chemicznych, wilgotności, ilości zawartego w niej materiału ściernego. Inaczej jest w przypadku rozmiarów i kształtu cząstek ziarnistych. Sprawie tej poświęcono sporo uwagi; przygotowano bibliotekę materiału ściernego wyróżniając 4 kształty oraz 2 rozmiary jego kulistych cząstek, dokonano też kalibracji przez pomiar kąta tzw. naturalnego usypu.

Eksperymenty laboratoryjne przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch rodzajów gleb: gliny piaszczystej (gleba ciężka, 82,4% frakcji ścierniej; 77% w warunkach testów polowych) oraz piasku gliniastego (gleba lekka – 51,5 % frakcji ścierniej – w warunkach polowych 33,6%). Wilgotność gleby w warunkach testowych i polowych była podobna (gleba lekka i ciężka odpowiednio 11% i 14%). Odczyn masy ścierniej w testach laboratoryjnych zawierał się w przedziale 6,3÷6,9 pH; jego wartości w badaniach polowych nie podano.

Wartościowe z punktu widzenia metodologicznego jest przeprowadzenie analizy dot. niepewności i błędów wyników pomiarów.

Wyniki badań zostały przedstawione w rozdz. 5, z zachowaniem niezbędnej poprawności prezentacji (statystycznej oraz graficznej). Sprawę prognozowania zużycia na podstawie modelowania metodą elementów dyskretnych wydzielono w odrębnym, 6 rozdziale.

Do modelowania wykorzystano dane empiryczne, numeryczne modele rzeczywistych powierzchni tarcia, współczynniki zużycia wg modelu Archarda, twardość oraz gęstość materiału. Wykazano, że przewidywanie zużycia na podstawie modeli zarówno Archarda, jak i Oka, różni się niewiele, a także to, że wyniki zużycia określanego na podstawie modelowania mają zbliżone wartości do otrzymanych z eksperymentów tribologicznych.

Autorka stwierdzając brak ogólnie przyjętego podejścia do modelowania zużycia w ściernym środowisku glebowym dowodzi też, że dotychczas nie stworzono modeli numerycznych rzeczywistej powierzchni tarcia, które można by wykorzystać do prognozowania zużycia w masie glebowej. Podkreśla (słusznie), oryginalność swojego podejścia uzyskaną dzięki dwóm nowatorskim metodom - określenia rzeczywistej powierzchni tarcia za pomocą precyzyjnego skanowania 3D oraz wykorzystania metody elementów dyskretnych.

Rozprawę kończą podsumowanie i wnioski.

Najważniejszy z nich to stwierdzenie na podstawie przeprowadzonych badań, że do prognozowania zużycia przedmiotowych elementów maszyn w środowisku glebowym skutecznie można wykorzystać rzeczywistą powierzchnię tarcia wyznaczoną pomocą metodą skanowania 3D. Pozwala to na określenie zużycia objętościowego materiałów o zróżnicowanych lokalnie właściwościach, jak np. elementów stalowych z płytkami z węglików spiekanych.

Stwierdzone też zostało, iż model kontaktowy Hertza–Mindlina pozwala na przeprowadzenie modelowania interakcji elementu roboczego z glebą, umożliwiającego określenie zużycia w odniesieniu do powierzchni nominalnej oraz rzeczywistej powierzchni tarcia.

Istotne z technicznego punktu widzenia jest wykazanie możliwości zidentyfikowania rozmiaru i położenia stref intensywnego zużycia z wykorzystaniem wartości kąta atakującego. Daje to możliwość lokalnego wzmocnienia narzędzia w miejscu najbardziej narażonego na zużycie.

Przeprowadzone analizy i badania wykazały dużą zgodność wyników modelowania zużycia metodą elementów dyskretnych (DEM) z wykorzystaniem modelu Archarda, z wynikami

otrzymanymi z eksperymentów (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,9485 dla gleby lekkiej i 0,9996 dla gleby ciężkiej).

Zaletą uzyskanych rezultatów ma głównie, odpowiednio do postawionego celu, wymiar metodologiczny. Najwartościowszym efektem - w aspekcie praktyki technicznej - jest przydatność zaproponowanego i zweryfikowanego podejścia do wspomagania projektowania elementów maszyn pracujących w glebie, a także do doboru rozwiązań technologicznych dla przeciwdziałania zużyciu w najbardziej pod tym względem krytycznych miejscach elementu.

Dostrzegając techniczne walory uzyskanych na drodze naukowej wyników, stwierdzić należy, że możliwe jest uogólnienie proponowanego podejścia (określonego celem metody prognozowania), ale z zastrzeżeniem, że zakres stosowalności przedstawionych wyników ograniczony jest do zastosowanych warunków eksperymentów (parametrów kinematycznych, kształtu i materiałów testowanych elementów (narzędzi obrabiających glebę), właściwości gleby (składu chemicznego, gęstości, wilgotności, pH), ilości i właściwości ścierniwa (materiału, kształtu, wielkości, właściwości mechanicznych) etc.).

W podsumowaniu należy pozytywnie ocenić merytoryczną, w pełni dysertabilną wartość rozprawy, dostrzegając w niej twórcze, oryginalne podejście z wykorzystaniem dostępnej wiedzy i właściwie dobranych urządzeń badawczych, a także profesjonalne wykonanie szeregu pomiarów i eksperymentów.

7. Ocena dysertacji i konkluzja

Zagadnienie naukowe i oryginalność wyników

Rozprawa doktorska dotyczy jednoznacznie określonego i jasno przedstawionego problemu badawczego w odniesieniu do realnego zapotrzebowania technicznego. Uzyskane wyniki, z uwagi na systemowość podejścia, można określić jako oryginalne, mogące przysporzyć praktyce inżynierskiej cennych informacji.

Metody badawcze

Zastosowane metody badawcze należy ocenić pozytywnie, Autorka przeprowadziła szereg prac właściwych dla rozwiązania postawionego problemu, w tym wyboru do badań reprezentatywnych materiałów, pomiarów i analiz instrumentalnych oraz tribologicznych badań stanowiskowych i eksploatacyjnych, umożliwiających poczynienie wielu istotnych obserwacji i sformułowanie wniosków ukierunkowanych na praktyczne wykorzystanie.

Stopień rozwiązania zagadnienia

Stopień rozwiązania zagadnienia można ocenić jako zadowalający. Można stwierdzić, że rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie postawionego problemu. Autorka uczyniła to samodzielnie, w pełni profesjonalnie, stwarzając możliwość zbudowania na bazie uzyskanych wyników swoich badań przydatnych technicznie procedur inżynierskich.

Wniosek końcowy

Dysertację mgr. inż. Klaudii Olejniczak oceniam pozytywnie. Uwagi zawarte w tekście recenzji nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy. Zawarty w niej materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem Kandydatki i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu. Autorka wykazała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że praca pt. „Wykorzystanie rzeczywistej powierzchni tarcia do prognozowania zużycia elementów roboczych w glebowej masie ścierniej” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2023.742 t.j.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony, a po pomyślnym przebiegu obrony – jej wyróżnienie i nadanie Kandydatce stopnia doktora nauk technicznych w ramach dyscypliny naukowej *Inżynieria mechaniczna*.

Michał Szanek