

Dr hab. inż. Andrzej N. Wieczorek, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej
Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2
tel. 32 237 21 24
email: andrzej.n.wieczorek@polsl.pl

R E C E N Z J A
pracy doktorskiej mgr inż. Dawida Romka
pt. "Kształtowanie odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie"

1. Podstawa prawna recenzji

Podstawą wykonania recenzji była uchwała nr 9/111/07/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 3 lipca 2023 przekazana pismem DIM.075.320.2023 z 3 lipca 2023 r. Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Romka jest poświęcona zagadnieniom poprawy odporności na zużycie elementów maszyn rolniczych poprzez nakładanie powłok metodami spawalniczymi. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jarosław Selech, prof. PP, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Dariusz Ulbrich

Praca obejmuje 122 strony tekstu oraz 6 rozdziałów. Ponadto zawiera 116 pozycji literaturowych, w tym 3 współautorstwa Doktoranta, 13 tabel i 96 rysunków. Praca doktorska składa się ze streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści, 6 rozdziałów i bibliografii.

3. Ocena merytoryczna pracy i uwagi dyskusyjne

Oceniana rozprawa doktorska poświęcona jest ważnej i aktualnej problematyce badawczej związanej z ograniczeniem zużycia elementów maszyn roboczych poprzez zastosowanie warstw powierzchniowych. Tematem rozprawy jest: Kształtowanie odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie. Uważam, że nie został on w pełni dobrze sformułowany, gdyż praca doktorska nie dotyczyła zmian własności powłok, tylko poprawy odporności na zużycie narzędzi rolniczych poprzez nałożenie powłok napawanych. Tematycznie dysertacja w pełni wpisuje się w dyscyplinę Inżynieria mechaniczna, z uwagi na podjęte zagadnienie ograniczenia czynników środowiskowych podczas eksploatacji elementów maszyn rolniczych. Moim zdaniem, podjęta tematyka badawcza dysertacji jest w pełni uzasadniona i dotyczy aktualnych kierunków działań gospodarczych związanych ze zrównoważonym rozwojem przemysłu, zwłaszcza w zakresie obniżenia jego materiałochłonności, a także jej wyniki mogą zostać wykorzystane praktycznie do prawidłowego prowadzenia eksploatacji narzędzi do maszyn rolniczych.

W Rozdziale 1 przedstawiono genezę wyboru tematu rozprawy, w której zwrócono uwagę na możliwość zwiększenia odporności na zużycie poprzez zastosowanie powłok napawanych. Ponadto w tym rozdziale opisano zawartość pracy i określono potrzebę opracowania stanowiska do badań zużycia w ścierniwiu glebowym.

Rozdział 2 poświęcony jest opisowi aktualnego stanu wiedzy i ma on ma wysoki, 41% udział w całości treści pracy. Rozdział ten został podzielony na 7 podrozdziałów, w których zdefiniowano podstawowe pojęcia z obszaru tribologii, przedstawiono rodzaje zużycia elementów w masie ścierniej maszyn roboczych wraz z mechanizmami niszczącymi, opisano tematykę budowy stanowisk do badań tribologicznych, a także przedstawiono obecnie stosowane tribotestery

laboratoryjne. W rozdziale tym dokonano także określenia zmian materiałowo-konstrukcyjnych umożliwiających ograniczenie zużycia elementów maszyn roboczych. W zakresie przeglądu stanu techniki stanowi on połączenie znanych danych podręcznikowych ze szczegółowymi informacjami pochodzącymi z artykułów dotyczących tematu pracy, co w przekonaniu oceniającego nie jest właściwą formę przedstawienia problematyki tribologicznej. W zakresie uwag dyskusyjnych należy wskazać, że w Rozdziale 2 nie opisano w sposób wystarczający procesu tribokorozji, aktualnie będącego przedmiotem licznych prac badawczych, który jest synergistycznym wynikiem zużycia korozyjnego i ściernego. Ponadto przy opisie metod badania zużycia, pominięto stanowiska stosowane w budownictwie do określenia właściwości ściernych kruszyw.

Problem badawczy, cel naukowy, cele cząstkowe i zadania badawcze przedstawione zostały w Rozdziale 3. Doktorant w dysertacji doktorskiej postawił podstawowy problem badawczy w postaci: „*Określenie wpływu modyfikacji warstwy wierzchniej stali trudnościeralnej poprzez powłoki nakładane cieplnie na zużycie ściernie w różnych warunkach gleby*”. Problem badawczy został postawiony prawidłowo, jednakże sformułowano zastrzeżenie odnośnie do przyjętego nazewnictwa (patrz druga uwaga w punkcie 5 Recenzji). Autor pracy nie przedstawił hipotezy badawczej, zastąpił ją podanym wyżej problemem badawczym. Takie podejście jest zgodne z metodologią prac badawczych.

Doktorant określił również problem naukowy: „*Obróbka powierzchni, poprzez nałożenie metodami cieplnymi powłok pozwala na ograniczenie zużycia ściernego, które zależy od parametrów masy ścierniej i właściwości warstwy wierzchniej*”, oraz problem metodologiczny, związany z opracowaniem metody oceny zużycia elementów maszyn rolniczych po testach laboratoryjnych.

Głównym celem rozprawy doktorskiej było wyznaczenie wpływu parametrów ścierniwa glebowego oraz właściwości powłok technicznych na mechanizm procesu zużywania, jego intensywność oraz transformację kształtowo-wymiarową badanych elementów.

Celami cząstkowymi pracy doktorskiej były:

- opracowanie koncepcji, zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego umożliwiającego określenie wpływu warunków pracy na zużycie całkowite dla części pokrytych powłokami napawanymi,
- charakterystyka procesu zużycia oraz wpływu czynników środowiska pracy na zużycie całkowite w warunkach laboratoryjnych, elementów maszyn pracujących w glebie, poddanych obróbce powierzchni przez nałożenie powłok metodami spawalniczymi,
- określenie, optymalnego w aspekcie ograniczenia zużycia, kształtu powłoki naniesionej metodami cieplnymi na element pracujący w glebie.

Zakres dysertacji obejmował:

- analizę literatury naukowo-technicznej w zakresie materiałowych i technologicznych metod poprawy odporności na zużycie elementów maszyn rolniczych,
- dobór materiałów konstrukcyjnych oraz metod ich obróbki,
- wykonanie badań metalograficznych, pomiaru twardości oraz profilu chropowatości powierzchni próbek,
- określenie i dobór kształtu powłoki nakładanej metodami spawalniczymi na wybrane elementy maszyn pracujące w glebie,
- zaprojektowanie i wykonanie prototypowego stanowiska,
- przeprowadzenie testów zużyciowych,

- analizę ubytku masy oraz grubości materiału po badaniach próbek w różnych warunkach glebowej masy ścierniej.

W Rozdziale 4 Doktorant omówił metodykę badawczą pracy, która zawierała plan i metodę badawczą, a także scharakteryzowano wykorzystane stanowisko laboratoryjne. Należy podkreślić, że Doktorant podjął się opracowania i wytworzenia stanowiska badawczego dedykowanego do testów zużyciowych narzędzi rolniczych. Doceniam taki sposób podejścia do rozwiązania podjętego problemu badawczego i jestem w pełni świadom nakładu pracy koniecznej do wykonania tego typu urządzenia. W ramach przyjętego zakresu badań, założono przebadanie 5 gatunków stali (Raex 400, Raex 500, Hardox 400, Hardox 500 i 28MnB5), 3 typów powierzchni i 4 wariantów ścierniwa.

Zestawienie otrzymanych wyników eksperymentu tribologicznego oraz badań własności mechanicznych próbek przedstawił Doktorant w Rozdziale 5. Materiał wynikowy jest obszerny, gdyż badania przeprowadzono sumarycznie dla 60 skojarzeń testowych. Badania własności zużyciowych warstw powierzchniowych obejmowały:

- testy zużycia z wykorzystaniem wytworzonego w ramach pracy stanowiska badawczego odwzorowującego eksploatację narzędzi rolniczych,
- analizę właściwości mechanicznych stali oraz naniesionych powłok, w tym pomiary twardości oraz wyznaczenie mikrostruktury,
- pomiary chropowatości elementów przed oraz po teście tribologicznym,
- identyfikację śladów zużycia po przeprowadzonym teście tribologicznym,
- wyznaczenie stref zużycia z wykorzystaniem technologii skaningu 3D.

W Rozdziale 5 przedstawiono także wyniki badań zmiany kształtu ziaren po teście zużyciowym w zależności od rodzaju ścierniwa.

Wyniki badań wykazały zwiększenie odporności na zużycie ściernie napoiny dotychczasowej dla ścierniwa o parametrach W0%, pH7 oraz W0%, pH10 w stosunku do materiału rodzimego. Ponadto Doktorant wykazał, że napoina wytworzona z wykorzystaniem metod laserowych zmniejszyła zużycie ściernie dla materiału ściernego o parametrach W10% i pH7, natomiast dla wariantu wilgotności W10% i pH10 nie stwierdzono wpływu naniesienia powłoki na ograniczenie zużycia.

Odnośnie do przedstawionych w Rozdziale 5 wyników badań i ich analizy sformułowałem następujące uwagi dyskusyjne:

1. Doktorant powinien w pkt. 5.1.1, zamiast zestawienia wartości średniej twardości HV0,1 przedstawić dla badanego wariantu materiałowego wykresy twardości w funkcji odległości od powierzchni badanych warstw wierzchnich. Przebiegi te pozwoliłyby stwierdzić wpływ ciepła na właściwości stali trudnościeralnych po procesie napawania.
2. Brak w pkt. 5.1.1 przebiegów twardości w funkcji odległości od powierzchni nie pozwala na potwierdzenie spostrzeżenia Doktoranta o istnieniu dwóch stref przejściowych; w przekonaniu Oceniającego występuje tylko jedna strefa przejściowa, ale o zróżnicowanym przebiegu. Wahania twardości w strefie przejściowej materiałów poddanych wpływowi ciepła nie są rzadkością i są znane w stanie techniki.
3. Opis mikrostruktur przedstawiony w pkt. 5.1.2 jest mało precyzyjny i brakuje wskazania widocznych faz na rysunkach 5.8÷5.12.
4. Na rysunkach 5.13÷5.16 widoczne na powierzchniach bocznych próbek (w strefie poza uchwytem) są niewielkie obszary przyrostu materiału, jednakże Doktorant nie skomentował tego faktu.

5. Do określenia chropowatości profilu Doktorant wybrał następujące parametry: Ra, Rz, Rt, Sa i Sz, jednakże nie podał uzasadnienia swego wyboru.

6. Doktorant na stronie 101 zawarł istotne spostrzeżenie „Dla próbki z napoiną laserową zauważalna jest mniejsza zmiana parametrów geometrii niż w przypadku napoiny konwencjonalnej. Dla pierwszej z próbek ubytek występuje w dolnej części, natomiast w przypadku napoiny konwencjonalnej jest on równomierny na całej powierzchni czołowej próbki.”, jednakże nie poddał go szczegółowej analizie pod kątem wyjaśnienia przyczyn zaistniałej zależności.

Powyższe uwagi odnoszące się do przeprowadzonych badań mają charakter dyskusyjny, nie umniejszają wartości naukowej recenzowanej pracy i mam nadzieję, że zostaną uwzględnione w dalszej pracy naukowej Autora.

Rozdział 6 zawiera podsumowanie wraz z wnioskami końcowymi pracy, a także sformułowano kierunki dalszych prac badawczych. Na podstawie przeprowadzonych badań Doktorant sformułował 6 wniosków poznawczych, 3 wnioski użytkarckie oraz 4 wnioski komercyjne, a także określił 5 kierunków dalszych badań związanych z tematem rozprawy. Odnośnie do sformułowanych wniosków i kierunków dalszych działań nie mam zastrzeżeń. Jednakże podany cel cząstkowy nr 3 w pkt.3.2 („Określenie optymalnego w aspekcie ograniczenia zużycia ściernego rodzaju powłoki nanoszonej cieplnie”) różni się od celu cząstkowego nr 3 podanego w Rozdziale 6 („Określenie, optymalnego w aspekcie ograniczenia zużycia, kształtu powłoki naniesionej metodami cieplnymi na element pracujący w glebie”).

Podsumowując przeprowadzoną ocenę merytoryczną, stwierdzam, że praca jest oryginalna, o charakterze użytkarckim, a tematyka jest interesująca i wpisuje się w aktualne trendy badawcze i rozwojowe. Struktura rozprawy jest logiczna i racjonalnie przemyślana, jednakże stwierdzono pewne braki w analizie uzyskanych wyników badań. Po przeanalizowaniu treści rozprawy stwierdzam, że postawiony przez Doktoranta cel i zakres pracy został zrealizowany, a postawiony problem badawczy wyjaśniony.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta, które także określają jego wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna, należy zaliczyć:

- opracowanie stanowiska badawczego dedykowanego testom zużyciowym narzędzi rolniczych w obecności mieszanin ścierniw glebowych i wody,
- opracowanie metody określania zużycia objętościowego próbek po testach zużyciowych,
- wykazanie zwiększenia odporności na zużycie narzędzi rolniczych poprzez zastosowanie powłok napawanych,
- wykazanie wpływu parametrów charakteryzujących ścierniwo glebowe (zawartości wody i stopnia pH) na wielkość zużycia masowego i objętościowego,
- wykazanie zmiany kształtu ziaren po teście zużyciowym w zależności od rodzaju ścierniwa.

Podczas publicznej obrony pracy, będę prosił Doktoranta o ustosunkowanie się do poniższych pytań:

1. W jaki sposób zastosowanie w testach zużyciowych piasku kwarcowego jako ścierniwa odtwarza warunki pracy narzędzi rolniczych w glebie? W szczególności proszę o uwzględnienie w odpowiedzi obecności frakcji organicznych w rzeczywistym materiale podłoża rolnego.
2. W jaki sposób uzyskano w przeprowadzonych badaniach, zadeklarowane przez Doktoranta, zbliżenie parametrów testu zużyciowego „do rzeczywistych warunków eksploatacji urządzeń polowych”. W szczególności proszę o przedstawienie zastosowanych kryteriów podobieństwa.
3. Czy zużyciu tribologicznemu towarzyszyło zużycie korozyjne oraz czy przy analizie zmiany kształtu ziaren nie stwierdzono produktów korozji? W szczególności proszę o ustosunkowanie się

do widoku próbka pokrytej śladami korozji (Rys. 4.4) oraz do konieczności oczyszczenia próbek z korozji, co wynika ze schematu przedstawionego na Rys. 4.11.

4. Na jakiej podstawie Doktorant wykluczył wystąpienie zużycia tribokorozyjnego i przyjął jako podstawowy rodzaj uszkodzeń „różne mechanizmy wpływające na zużycie ściernie”?

5. Jaki czynnik, wg Doktoranta, spowodował parukrotne zwiększenie zużycia wyznaczonego wariantu dla W10% pH7 w porównaniu do wariantu W10% pH10?

4. Uwagi o charakterze definicyjnym lub technologicznym

W rozprawie znajduje się wiele nieprecyzyjnych pojęć i sformułowań o charakterze definicyjnym i technologicznym (niedociągnięcia o charakterze stylistycznym lub składniowym przedstawiłem w pkt. 5 opinii), z których najistotniejsze to:

- Doktorant bardzo często stosuje określenie „napoina konwencjonalna” odnośnie do wykonanej powłoki; określenie jest niewłaściwe, gdyż w technice nie jest stosowane takie pojęcie, nie zdefiniował on też, co rozumie pod podjęciem konwencjonalny proces. Z przedstawionego opisu wynika, że Doktorantowi chodzi w omawianym przypadku o proces nakładania powłok metodą łukową z wykorzystaniem drutu, stąd też powinien, zgodnie z nazewnictwem stosowanym w branży spawalniczej, stosować określenie „Napawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazowej” lub „Napawanie łukowe z wykorzystaniem drutu”,

- Doktorant stosuje sformułowanie „modyfikacji warstwy wierzchniej stali trudnościeralnej poprzez powłoki nakładane cieplnie” jako skutek przeprowadzonych działań technologicznych; sformułowanie jest nieprecyzyjne, gdyż celem napawania nie jest modyfikacja warstwy wierzchniej, tylko ukonstytuowanie powłoki ochronnej, natomiast zmiany własności warstwy wierzchniej mają charakter wtórny i są wywołane przemianami związanymi z wpływem ciepła dostarczonego do wytworzenia napoiny,

- Doktorant bardzo często stosuje określenie „napoina laserowa” odnośnie do wykonanej powłoki oraz nazwę procesu „laserowanie”; określenia są niewłaściwe, stanowią raczej określenie potoczne, a nie precyzyjne i techniczne,

- Doktorant często stosuje określenie „powłoki nakładane cieplnie”; jest to określenie nieprecyzyjne i zbyt ogólne, gdyż z tematu pracy wynika, że chodzi o napoiny otrzymywane metodami spawalniczymi,

- Doktorant bardzo często stosuje określenie „na poziomie”; zapis taki nie jest precyzyjny i powinien być zastąpiony, np. w zakresie,

- Strona 3 i 60, „Laserowa obróbka cieplna jest to zabieg polegający na modyfikacji warstwy wierzchniej wskutek przetopienia proszku, pasty lub drutu”; określenie jest nieprecyzyjne, gdyż znane są w stanie techniki procesy obróbki cieplnej wykorzystujące metody laserowe tj. hartowanie powierzchniowe, które nie wiążą się z przetopieniem warstwy wierzchniej, należy także wskazać, że metody napawania zaliczane są do technik spawalniczych i powinny być tak też określane,

- - Strona 7 „Jeśli k_T przyjmuje wartość od 0,5 do 0,7 występuje zużywanie mechaniczne [55]” - w nowszym wydaniu książki Z. Lawrowskiego z 2008 (Strona 114) są podane inne wartości przedziału stosunku k_T dla zużywania mechanicznego,

- Strona 8 „Stosuje się również stale z dodatkowymi warstwami umieszczanymi na całej powierzchni elementu lub w miejscach najbardziej narażonych na zużycie”; opis nieprecyzyjny, nie wiadomo o jakie warstwy chodzi: o napoiny wykonane fabrycznie, czy o płyty trudnościeralne z napoinami przykręcany lub spawanymi do kadłubów,

- Strona 8 „Do grup takich materiałów zalicza się rodzaje stali takie jak Raex, Hardox, lub Boron.”, stale Raex, Hardox, lub Boron nie tworzą osobnych rodzajów stali, tylko są to gatunki stali z nazwami handlowymi,
- Strona 8 „Nowoczesne obróbki cieplno-chemiczne wpływają na zwiększenie odporności na zużycie ścierne. Podstawowym zabiegiem, stosowanym również w warunkach nieprzemysłowych jest napawanie”; jak wspomniano, napawanie jest procesem spawalniczym i nie może być klasyfikowane jako obróbka cieplno-chemiczna,
- Strona 13 „Warstwa wierzchnia to część materiału, która ogranicza powierzchnię elementu” – przytoczona definicja odbiega od powszechnie stosowanych w literaturze tematu,
- Strona 23 „Film olejowy, który posiada zbyt cienką warstwę w stosunku do wysokości najwyższych punktów chropowatości powierzchni skutkuje zetknięciem się wierzchołków par trących oraz jednoczesnym ścieraniem wraz z adhezyjnym połączeniem wierzchołków i oderwaniem ich” – opis mało precyzyjny, powinno być wprowadzone pojęcie względnego filmu olejowego (parametr lambda),
- Strona 28 „Zużycie zachodzi w wyniku absorpcji czynników chemicznych z otoczenia, które wnikają w warstwę wierzchnią powodując jej uszkodzenie, często wraz z podwyższoną temperaturą pracy [14, 60, 101]; w wyniku procesów sorpcyjnych nie dochodzi do wnikania czynników chemicznych w warstwę wierzchnią, tylko dyfuzyjnych,
- Strona 38 „Wilgotność jest odpowiedzialna za zwięzłość gleby, a co za tym idzie na zużycie elementu roboczego” – stosowanie pojęcia wilgotności nie jest w przytoczonej kwestii precyzyjne, ponadto Doktorant nie wspomniał o wpływie zawartości wody w glebie na procesy korozyjne oraz na możliwość wystąpienia tribokorozji,
- Strona 44 „szkiełkowanie”; określenie nietechniczne, potoczne, poprawnie powinno być „kulowanie za pomocą kulek szklanych”,
- Strona 58 „Chropowatość równowagowa powstaje w wyniku docierania w początkowych etapach pracy skojarzenia”; wg Autora publikacji wprowadzającej przywołane wyżej pojęcie, chropowatość równowagowa występuje podczas zużywania ze stałą intensywnością zużycia, podczas docierania nie można zapewnić ustalenia się chropowatości powierzchni,
- Strona 58 „Podstawowymi rodzajami hartowania powierzchniowego są: a) indukcyjne, b) płomieniowe, c) kąpielowe, d) kontaktowe, e) elektrolityczne”; w stanie techniki nie są znane rodzaje hartowania powierzchniowego: kontaktowe i elektrolityczne, natomiast Doktorant nie wymienił hartowania elektronowego,
- Strona 59 „Kolejnym rodzajem wzmacniania odporności na zużycie ścierne jest obróbka plastyczna, która ma na celu wytworzenie w warstwie wierzchniej ściskających naprężeń własnych, przez co następuje zwiększenie odporności na zużycie ścierne. Jako zabiegi, które wpływają na zwiększenie odporności na proces degradacji warstwy wierzchniej wskutek oddziaływania cząstek ścierniwa można uznać np. młotkowanie, dogniatanie lub śrutowanie.”; śrutowanie nie zapewnia umocnienia powierzchni, taki efekt zapewnia kulowanie powierzchni,
- Strona 62 „Stale wykorzystywane na elementy szczególnie narażone na zużycie ścierne w praktyce przemysłowej są najczęściej oferowane w stanie surowym”; w praktyce przemysłowej stale wykorzystywane na elementy szczególnie narażone na zużycie ścierne nigdy nie są oferowane w stanie surowym, stale trudnościeralne typu Hardox czy Raex, są hartowane i nisko odpuszczane w celu zapewnienia wysokiej twardości, pozostałe stale są najczęściej oferowane w stanie znormalizowanym, ulepszonym cieplnie bądź zmiękczone,
- Strona 62 „Kształtowanie odporności na zużycie ścierne, poprzez nakładanie powłok, ma na celu otrzymanie polepszonych paramentów wytrzymałościowych w stosunku do powszechnie stosowanych stali, nie powodując skomplikowania procesów wytwarzania.”; ze sformułowaniem

tym nie można się zgodzić, proces napawanie może znacząco skomplikować proces wytwarzania elementów ze stali trudnościeralnych, gdyż może dojść do ich odkształceń termicznych lub powstania pęknięć napoiny wymagających naprawy,

- Strona 63 „Obecnie niewielu badaczy przeanalizowało możliwości kształtowania odporności na zużycie ściernie stali trudnościeralnych z dodatkowymi powłokami”; ze sformułowaniem nie można się zgodzić, gdyż prac dotyczących własności zużyciowych napoin przeciwzużyciowych jest dużo w dostępnej literaturze, tym samym dużo jest badaczy tematu (w tym Recenzent),

- Strona 70 Tab. 4.1 i 4.4; podany skład chemiczny stali powinien być wyznaczony na podstawie badań np. iskrowych czy XRF, a nie być podany z norm i atestów hutniczych, z uwagi na możliwość wystąpienia niejednorodności składu chemicznego w ramach jednego wytopu,

- Strona 71 „Proces napawania konwencjonalnego jest możliwy również do wykonania w warunkach domowych przez wykwalifikowanych spawaczy”; proces napawanie nie jest możliwy do wykonywania w warunkach domowych z uwagi na dymy i gazy towarzyszące procesowi,

- Strona 71 „Kryterium doboru obróbek warstwy wierzchniej”; tytuł podrozdziału nie jest poprawny, gdyż nie podano w nim żadnego kryterium w formie warunku,

- Strona 72 „Napawanie laserowe zostało wybrane do badań ze względu na trendy w produkcji elementów maszyn roboczych”; powód wyboru procesu nie jest właściwy, trendy produkcyjne nie mogą stanowić podstawy wyboru danej technologii,

- Strona 73 „natomiast powtarzalność wymiarowa procesu to $\pm 0,05$ mm”; zapis nie precyzyjny, nie wiadomo, czy chodzi o powtarzalność procesu (parametry C_P i C_{PK}), czy o tolerancję wykonawczą lub niepewność pomiaru,

- Strona 72 „Prędkość procesu wyznaczono na poziomie 4,5-5,5 m/s” oraz „na poziomie 2,8 - 3,4 metra na minutę”; w pierwszym przypadku różnica zastosowanego parametru to 1 m/s, co stanowi nawet 22,2% wartości przyjętej prędkości, w drugim to odpowiednio to 0,6 m/s i 21,4%, w obu przypadkach różnice względne są bardzo duże i dla takich wartości nie można zapewnić porównywalności procesu badawczego,

- Strona 72 „Grubość napoiny wynosiła ok. 2,5 mm dla każdej z próbek”; zapis nieprecyzyjny, nie podano niepewności pomiarowej,

- Strona 74 „Do napawania próbek metodą konwencjonalną, został wybrany drut spawalniczy o zawartości węgla poniżej 3,5% oraz chromu około 29%”; Doktorant powinien precyzyjnie określić gatunek, skład lub nazwę handlową drutu;

- Strona 76 Rys 4.9 warstwa laserowana; patrz uwagę trzecią niniejszego punktu recenzji,

- Tab. 4.6 zawiera parametry: „Czas pracy [h] 50” oraz „Interwały wymiany masy ścierniej [h] 50”; z zapisów wynika, że był tylko jeden interwał, stąd nie ma potrzeby dodawania tej informacji,

- Rysunek 4.11 powtarza się dwukrotnie,

- Brak rysunku 4.14,

- Rys. 5.13÷5.16 na podstawie użytej skali nie można rozróżnić powierzchni o ubytku w zakresie $(-0,1\div 0)$ mm i przyroście w zakresie $(0\div 0,1)$ mm,

- Tab. 5.2 brak wyznaczenia niepewności pomiaru podanych parametrów,

- Rys. 5.15 i Rys. 5.16 brak podziałki skali.

Rozprawa doktorska zawiera także wiele danych nie wnoszących do pracy istotnych informacji i powinny być usunięte, np. Strona 83 „W pierwszym etapie oczyszczenia próbek z korozji należało umieścić je w imadle w celu zabezpieczenia przed niekontrolowanym ruchem”, Strona 22 Tab.2.,

Strona 72 „Arkusze stali zostały pozyskane od dostawcy zajmującego się sprzedażą wyrobów hutniczych. Arkusze zostały sprowadzone bezpośrednio z huty stali.”

5. Uwagi edycyjne

W ocenianej rozprawie doktorskiej znalazły się istotne niedociągnięcia edycyjne. Co prawda, nie mają one wpływu na ocenę strony merytorycznej rozprawy, jednakże obniżają całkowitą jakość pracy.

Głównymi uwagami związanymi z edycją dokumentu są:

- duża część rysunków zawiera opisy w języku angielskim (Rys. 2.2, Rys. 2.17, Rys. 2.20, Rys. 2.21, Rys. 2.24, Rys. 2.25, Rys. 2.26, Rys. 2.27, Rys. 2.32, Rys. 2.33, Rys. 2.34, Rys. 2.35, Rys. 2.36, Rys. 2.38, Rys. 2.40, Rys. 2.43, Rys. 2.44, Rys. 2.53, Rys. 2.55), duża część z nich jest także słabej jakości (oprócz wymienionych, uwaga dotyczy także Rys. 2.5, Rys. 2.23, Rys. 2.45, Rys. 2.48, Rys. 4.5),
- liczne błędy interpunkcyjne (z uwagi na bardzo dużą ich liczbę, Recenzent ich nie wyszczególnił),
- występują luki w dokumencie między tekstem, a końcem strony,
- w różnych częściach pracy zamieszczono powtarzające się informacje, np. „Obecnie niewielu badaczy przeanalizowało możliwości kształtowania odporności na zużycie” powtarza się dwukrotnie,
- liczne niedociągnięcia o charakterze ortograficznym, fleksyjnym lub składniowym,
- zastosowana stylistyka w wielu fragmentach pracy nie jest właściwa,

Zauważonymi niedociągnięciami o charakterze ortograficznym, fleksyjnym lub składniowym są przykładowo:

- Strona 3, powinno być „skaningu 3D” zamiast „scaningu 3D”,
- Strona 3, powinno być „analiza mechaniczna właściwości stali” zamiast „analiza mechaniczna właściwości stali”,
- Strona 3, powinno być „Materiałami stosowanymi na elementy robocze są najczęściej stale odporne” zamiast „Materiały stosowane na elementy robocze są to najczęściej stale odporne”,
- Strona 8, powinno być „zużycie ściernie” zamiast „zużycie ścierniej”,
- Strona 8 i dalsze, powinno być „proces napawania laserowego” zamiast „proces laserowania”,
- Strona 11, powinno być „Pierwszy opisuje proces” zamiast „Pierwszy pisuje proces”,
- Strona 14, powinno być „Model 5-strefowy” zamiast „Model 5-sfrefowy”,
- Strona 17, powinno być „Mikroskrawanie występuje” zamiast „Mikroskrawanie występuję”,
- Strona 20, powinno być „Struktura napoiny zaprezentowana na rysunku 2.14” zamiast „Strukturę napoiny zaprezentowana na rysunku 2.14.”,
- Strona 31, powinno być „Łuski posiadają nieregularne kształty” zamiast „Łuski posiadają nieregularne kształtu”,
- Strona 37, powinno być „Kąt ścinania wpływa na zagłębienia ostrza w zależności od parametrów ziaren, co zostało zaprezentowane również w poprzednim podrozdziale” zamiast „Kąt ścinania wpływa na zagłębienia ostrza w zależności od parametrów ziaren co zostało zaprezentowane również w poprzednim rozdziale”,
- Strona 38, powinno być „Wzrost twardości cząstek” zamiast „Wzrost twardość cząstek”,

- Strona 39, powinno być „przyspieszoną degradację warstwy wierzchniej” zamiast „przyspieszoną degradację warstwy wierzchniej.”,
- Strona 41, powinno być „Wielu badaczy [29, 34, 88] do realizacji określonych badań” zamiast „Wielu badaczy [29, 34, 88] do określonych badań”,
- Strona 44, powinno być „Badania typu „pin on plate” zamiast „Badania „pin on plate””,
- Strona 47, powinno być „Urządzenie typu grounding tunneling jest to zespół” zamiast „Urządzenie grounding tunneling jest to urządzenie”,
- Strona 48, powinno być „Aparat Millera jest to urządzenie” zamiast „Aparat Millera jest to urządzenie”,
- Strona 52, powinno być „Urządzenie do badań zużycia wg metody Hawortha wykorzystujące ścierniwo” zamiast „Metoda Hawortha – urządzenie do badań zużycia wykorzystujące ścierniwo”,
- Strona 53, powinno być „Do grupy stanowisk prototypowych można zaliczyć” zamiast „Maszyny prototypowe – jako maszynę prototypową”,
- Strona 57, powinno być „Innym rodzajem zużycia jest zużycie z występującymi ziaren ścierniwa pomiędzy parami trącymi” zamiast „Innym rodzajem zużycia jest zużycie z wstępującymi drobkami pomiędzy parami trącymi.”,
- Strona 57, powinno być „Kolejnymi metodami ograniczania zużycia ściernego są metody technologiczne, do których można zaliczyć: a) obróbkę cieplną, b) obróbkę cieplno-chemiczną”, c) obróbkę plastyczną,” zamiast „Kolejnymi metodami ograniczania zużycia ściernego są metody technologiczne, do których można zaliczyć: a) obróbka cieplna, b) obróbka cieplno-chemiczna”, c) obróbka plastyczna”,
- Strona 59, powinno być „Dzięki zastosowaniu obróbki plastycznej, warstwa wierzchnia zyskuje twardość w swoich górnych granicach, przez co pierwsza faza zużycia ściernego następuje wolniej [69]” zamiast „Dzięki zastosowaniu obróbki plastycznej, warstwa wierzchnia zyskuje twardość w swoich górnych granicach, przez co pierwsza faza zużycia ściernego następuje wolniej [69]”,
- Strona 60, powinno być „Wiązka światła służąca do przetopienia drutu, prowadzona” zamiast „Wiązka światła służąca do przetopienia drutu lasera prowadzona”,
- Strona 61, powinno być „Podczas analizy literaturowej nie odnaleziono wyników badań pozwalających na sprawdzenie odporności na zużycie ściernie napoiny laserowanej i wykonanej w konwencjonalny sposób, nakładanych na stale trudnościeralne,” zamiast „Podczas analizy literaturowej nie odnaleziono bezpośrednich badań pozwalających na sprawdzenie odporności na zużycie ściernie napoiny laserowanej i wykonanej w konwencjonalny sposób, nakładanych na stale trudnościeralne.”,
- Strona 64, powinno być „Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy w zakresie materiałów konstrukcyjnych stosowanych w maszynach rolniczych oraz roboczych i kształtowania ich właściwości, szczególnie za pomocą powłok nakładanych cieplnie nasuwają się następujące spostrzeżenia:” zamiast „Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy w zakresie materiałów konstrukcyjnych stosowanych w maszynach rolniczych oraz roboczych i kształtowania ich właściwości, szczególnie za pomocą powłok nakładanych cieplnie nasuwają się następujące przesłanki:”,
- Strona 69, powinno być „składających się z testów zużycia ściernego” zamiast „składających się ze testów zużycia ściernego”,
- Strona 71, powinno być „Niemniej kształt” zamiast „Niemiej kształt”,
- Strona 76, powinno być „niemniej jednak” zamiast „niemiej jednak”,

- Strona 77, powinno być „Wytworzona część” zamiast „Wytworzona cześć”,
- Strona 90, powinno być „wartości twardości wydzieleni” zamiast „wartości twardości wydzieleni”,
- Strona 90, powinno być „wraz ze zmianą strefy wpływu ciepła materiał zmienia swoją strukturę w martenzyt” zamiast „raz ze zmianą strefy wpływu ciepła materiał zmienia swoją strukturę w martenzyt”,
- Strona 97, powinno być „0,09 mm” zamiast „0.09 mm.”,
- Strona 102 powinno być „próbki o niższej chropowatości” zamiast „próbki o niżej wartości chropowatości”,
- Strona 103, powinno być „zagłębienia powstałe podczas testu w medium ściernym o parametrach W0%, pH7” zamiast „zagłębienia powstałem podczas testu w medium ściernym o parametrach W0%, pH7”,
- Strona 103, powinno być „Zauważalne są również małe uszkodzenia powierzchni wskutek punktowego działania sił kontaktowo-ściernych” zamiast „Zauważalne są również małe wybicia w powierzchni wskutek punktowego działania sił kontaktowo-ściernych.”,
- Strona 105 Rys 5.20, strona 106 Rys 5.22, strona 107 Rys 5.23, powinno być „napoina laserowa” zamiast „napoinna laserowa”,
- Strona 105, powinno być „Napoina” zamiast „Napina”,
- Strona 118 powinno być „Lawrowski Z.: Tribologia. tarcie, zużywanie i smarowanie, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN. 1993” zamiast „Lewartowski Z.: Tribologia. tarcie, zużywanie i smarowanie, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN. 1993”,

Zastrzeżeniami względem użytym formom stylistycznym lub sformułowaniom frazeologicznym są przykładowo:

- Doktorant bardzo często stosuje określenie „medium” odnośnie ścierniwa, np. strona 3 zmiennym *medium* ściernym, strona 32 zużycie elementów, w których udział bierze ścierniwo może zostać zintensyfikowane ze względu na parametry tego *medium*, strona 44 najczęściej używane podczas testów trybologicznych *medium* ścierne to: ..., strona 47 *medium* ścierne służy gleba, strona 103, zagłębienia powstałem podczas testu w medium ściernym o parametrach W0%, pH7”; określenie jest w przywoływanym kontekście niewłaściwe, gdyż definicyjne medium dotyczy najczęściej substancji ciekłej lub gazowej przenoszącej ciepło pomiędzy jego źródłami w maszynach cieplnych,
- Doktorant bardzo często stosuje formę „należało”, np. strona 72 po przygotowaniu próbek *należało* nanieść powłoki, strona 82 *należało* wyznaczyć jego przebieg oraz jego poszczególne etapy, co zostało zaprezentowane na rysunku 4.11., strona 85 przed przeprowadzeniem eksperymentu trybologicznego *należało* wykonać szereg badań oraz pomiarów pozwalających na osiągnięcie celu pracy, strona 81 w związku z tym *należało* określić takie parametry jak: ...; taka forma zdań rodzi pytanie, czy w rzeczywistości dokonano wymienionych działań, poprawniej byłoby zastosowanie formy biernej czasowników np. wyznaczono, wykonano,
- Doktorant bardzo często stosuje określenie „masa ścierna”, np. strona 65 związany z wyznaczeniem ubytku *masy ściernej*, (...), strona 81 Posiadając zdefiniowane chemiczne parametry *masy ściernej* (...), Strona 81 Interwały wymiany *masy ściernej*; określenie jest w przywoływanym kontekście nieprecyzyjne, poprawniej byłoby użyć określenia „ścierniwa” lub „materiału ściernego”,
- Strona 3 stanowisku badawczym odwzorowującym pracę urządzeń rolniczych; tu chodzi raczej o narzędzia rolnicze, niż całe maszyny,

- Strona 7 skupiono się głównie na maszynach wykonujących pracę w masie ścierniej; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 7 Proces zużywania jest to proces; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 11 Ponadto, przedstawiono rodzaje zużycia elementów w masie ścierniej maszyn roboczych wraz z ich mechanizmami; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 12 najistotniejszy jest kąt, z którym masa ścierna napiera na powierzchnię elementu roboczego; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 13 Materiały muszą posiadać odpowiednie cechy fizyczne oraz mechaniczne w celu wykonywania zadanej pracy; sformułowanie nie trafne, materiały to nie maszyny i nie mogą realizować pracy,
- Strona 15 Warstwa wierzchnia jest to najbardziej narażona przestrzeń na ubytek materiału powstały wskutek zużycia ściernego; słowo „przestrzeń” nie jest właściwe w kontekście warstwy wierzchniej,
- Strona 22 Za takie narzędzia można uznać np. [10]: (...) naczepy oraz przyczepy transportujące urobek (wozidła); sformułowanie nie trafne, wozidła to nie narzędzia,
- Strona 22 Według Kołakowskiego w ostatnim czasie wozidła oraz naczepy sklasyfikowano pod względem rodzajów zużycia; fragment wymaga przeredagowania,
- Rys. 2.16 wymienienie w opisie numeracji etapu nie wnosi nic do opisu form zużycia,
- Strona 38 cząsteczki wraz z czasem zmieniają swoją wielkość; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 34 Innym rodzajem przebiegu zużycia jest wzór wyrażony jako zużycie wielofazowe; poprawniej byłoby użyć określenia „opisem przebiegu zużycia”,
- Strona 40 Analizując dane literaturowe związane z rodzajami powstawania zużycia postanowiono przeanalizować stanowiska do badań tribologicznych; zdanie niepotrzebne w kontekście opisywanego działania,
- Strona 43 Badania zużycia ściernego mogą się odbywać zgodnie z przedstawionym na rysunku 2.41. podziałem; poprawniej byłoby użyć określenia „można podzielić zgodnie z ...”,
- Strona 43 Badania, które posiadają przeciwpróbki; poprawniej byłoby użyć określenia „badania wykorzystujące”,
- Strona 47 Ponieważ warunki pracy, takie jak wilgotność oraz ciśnienie są intensywniejsze; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 44 „Istnieją również media ściernie”; poprawniej było użyć formy: materiały ściernie,
- Strona 47 Wadami urządzenia jest przeznaczenie stanowiska jedynie do próbek badawczych o określonych wymiarach; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 52 Test ciągły na ścieranie jest to test zgodny z normą ASTM; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 58 Obróbka cieplna jest to dziedzina technologii; poprawniej byłoby użyć określenia „grupa technologii”,
- Strona 65 Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy z zakresu tematyki rozprawy należy stwierdzić, iż istnieje problem badawczy, związany z wyznaczeniem ubytku masy ścierniej – określeniem zużycia materiału – dla elementów poddanych obróbce powierzchni przez nakładanie powłok metodami cieplnymi, które pracują w glebie; fragment wymaga przeredagowania,

- Strona 57 „Problem występujący wciąż w przypadku maszyn do robót w masie ścierniej jest nadmierne zużywanie się elementów podczas wzmożonej pracy, która staje się coraz intensywniejsza ze względu na szybkość wykonywanych zadań, jak i czynników zewnętrznych takich jak nadmierne opady, suchość lub różne parametry chemiczne, zmieniające wskaźnik pH, stosowane dla lepszego wzrostu roślin; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 65 Zaprojektowana konstrukcja pozwoliła na realizację badań w kontrolowanych warunkach, umożliwiając m.in. zbadanie wpływu wilgotności, uziarnienia, pH na zużycie ścierniej; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 68 METODYKA BADAŃ; poprawniej byłoby użyć określenia „Metoda badawcza”,
- Rys. 4.1 słowa „opis” powinno być zastąpione słowami „charakterystyka”,
- Strona 72 Kolejnym istotnym czynnikiem podczas powstawania napoiny było podawanie drutu, którego prędkość wyznaczono na poziomie 2,8 – 3,4 metra na minutę; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 72 Próbkę pracującą w pierścieniu wypełnionego...; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 72 Ze względu na konieczność wysokiego reżimu technologicznego przy wykonywaniu próbek, materiał badawczy został dostarczony w formie arkuszy o wymiarach 1,5 x 2 m; fragment wymaga przeredagowania, brakuje powiązania przyczynowo-skutkowego w podanym zdaniu,
- Strona 73 Drutem spawalniczym wykorzystanym do badań był topik o średnicy 1,2 mm; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 78 Następnym kluczowym kryterium była możliwość modyfikacji parametrów pracy maszyny w trakcie prowadzenia badań; poprawniej byłoby użyć określenia „kluczowym czynnikiem”,
- Strona 79 czujnika poboru mocy; poprawniej byłoby użyć określenia „urządzeniem do wyznaczenia mocy”,
- Strona 80 Na podstawie przyjętych założeń badawczych zdefiniowano parametry techniczne, które powinny spełniać urządzenie, zostały one przedstawione w tabeli 4.3; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 81 Rys 4.6 Zanurzenie próbki [mm] 75; fragment wymaga przeredagowania,
- Strona 83 Analiza ta, odbywała się na stanowisku NIKON ECLIPSE MA200; poprawniej byłoby użyć określenia „odbywała się z użyciem mikroskopu NIKON ECLIPSE MA200”,
- Strona 86 materiał bazowy/rodzimy; fragment wymaga przeredagowania.

6. Zgodność rozprawy doktorskiej z ustawą

Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity Dz. U. z 16 marca 2021 r., poz.478) w artykule 187 określa następujące wymagania, co do rozprawy doktorskiej:

1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

Stwierdzam, że Pan mgr inż. Dawid Romek posiada szeroką wiedzę teoretyczną w obszarze eksploatacji maszyn rolniczych, co wpisuje się w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna, a podczas przygotowywania rozprawy doktorskiej, Doktorant wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **Warunek spełniony.**

2. *Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.*

Pan mgr inż. Dawid Romek przedstawił w swojej rozprawie doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim było określenie wpływu ścierniwa glebowego na zużycie narzędzi rolniczych pokrytych napoinami. Podjęte przez Doktoranta badania wykazały dla niektórych z wybranych stali trudnościeralnych korzystne cechy powłok napawanych co może umożliwić zastosowanie wyników badań naukowych w sferze gospodarczej. **Warunek spełniony.**

3. *Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim.*

Pan mgr inż. Dawid Romek przedstawił rozprawę doktorską w formie pisemnej monografii naukowej. **Warunek spełniony.**

4. *Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim.*

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dawida Romka zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim. **Warunek spełniony.**

7. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dawida Romka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a pracę oceniam pozytywnie.

Stwierdzam, że Doktorant wykazał się dojrzałością naukową: przedstawił problem badawczy, właściwie określił cel ogólny i cele cząstkowe pracy, zaplanował i zrealizował szereg badań eksperymentalnych i analitycznych, dokonał oceny otrzymanych wyników oraz poprawnie sformułował wnioski końcowe. Uważam, że mgr inż. Dawid Romek wykazał, że posiada ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z tym uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim 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).

Podsumowując, wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr inż. Dawida Romka do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze do uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.