

Kraków, 8.07.2024 r.

Dr hab. inż. Sławomir Zimowski, prof. uczelni
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Sokolskiej
pt. „Mechanizm zużywania ściernego wybranych powłok poliuretanowych
w różnych warunkach eksploatacyjnych”

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Dymitry Capanidis

Promotor pomocniczy: dr inż. Anita Ptak

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 26 kwietnia 2024 r. oraz ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742).

1. Przedmiot recenzji

Praca doktorska Pani mgr inż. Justyny Sokolskiej ma 116 stron, jest podzielona na 7 rozdziałów, w tym „Wprowadzenie” i „Podsumowanie i wnioski” oraz zawiera spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, a także spis literatury. Wykaz cytowanej literatury obejmuje 136 pozycji (34 pozycje z ostatnich 5 lat), w tym 1 współautorstwa Autorki rozprawy (70 pkt. wg MNiSW). Wśród pozycji literaturowych przeważającą część stanowią artykuły anglojęzyczne opublikowane w zagranicznych i polskich czasopismach oraz materiałach konferencyjnych, a także podręczniki, monografie, normy i źródła internetowe. W pracy umieszczonych jest łącznie 10 tabel oraz 60 rysunków zawierających zdjęcia i schematy badanych układów, a także przedstawienie w formie wykresów wyników obliczeń i eksperymentów.

2. Tematyka rozprawy i jej znaczenie

Problemy badawcze podjęte w pracy doktorskiej dotyczą analizy procesów zużycia ściernego i erozyjnego powłok polimerowych wytworzonych z poliuretanu oraz polimocznika. Powłoki poliuretanowe oraz polimocznikowe są powszechnie stosowane jako powłoki ochronne dla zabezpieczenia powierzchni przed korozją oraz ścieraniem. Dzięki dobrej odporności na ścieranie i dużej wodoszczelności znajdują zastosowanie jako powłoki ochronne zbiorników, przewodów rurowych, konstrukcji nośnych, dużych powierzchni roboczych lub elementów maszyn i urządzeń pracujących w wielu branżach, m.in. w przemyśle wydobywczym, motoryzacyjnym, budowlanym, lotniczym,

meblarskim, a także w rolnictwie, a nawet w elektronice. Stosowanie powłok poliuretanowych, a szczególnie polimocznikowych na tak szeroką skalę obserwuje się od niedawna, chociaż jako materiały znane są od kilkudziesięciu lat. Stanowią one istotną grupę wśród powłok ochronnych ale ich zachowanie w różnych warunkach eksploatacji nie jest całkowicie rozpoznane. Opiniowana praca ma na celu zbadanie mechanizmu zużycia ściernego zachodzącego podczas tarcia w obecności luźnego ścierniwa oraz mechanizmu zużycia erozyjnego w strumieniu twardych cząstek o dużej energii kinetycznej wybranych powłok poliuretanowych i polimocznikowych różniących się właściwościami mechanicznymi. Zbudowane modele fizyczne zużycia ściernego oraz erozyjnego wybranych powłok pozwalają na lepsze poznanie zachowania się tych materiałów podczas tarcia i erozji oraz umożliwiają określenie takich warunków eksploatacji aby ograniczyć skutki ich zużycia. Zawarty w dysertacji opis mechanizmu zużycia powłok poliuretanowych i polimocznikowych jest istotny ze względów poznawczych, a wyznaczone charakterystyki zużyciowe tych powłok stanowią ważny rezultat użyteczny.

3. Omówienie zawartości rozprawy

W pierwszym rozdziale, krótko wprowadzono w obszar tematyki rozprawy doktorskiej, która dotyczy możliwości poprawy trwałości części maszyn i urządzeń w różnych gałęziach przemysłu przez zastosowanie ochronnych powłok poliuretanowych oraz polimocznikowych. Zwrócono jednocześnie uwagę na konieczność charakteryzacji właściwości tribologicznych tych stosunkowo nowych powłok. Rozdział 2 zatytułowany „Przegląd literatury – analiza stanu wiedzy” podaje genezę tematu pracy i stanowi zasadniczą część pracy, w której Autorka zamieściła omówienie podjętej tematyki w świetle dotychczasowych doniesień literaturowych. Rozdział ten podzielony jest na 5 podrozdziałów, a niektóre z nich zawierają kolejne podpunkty. W tej części jasno przedstawiono co jest przedmiotem rozprawy, jakie materiały i w jakiej postaci będą analizowane, gdzie stosowane są te materiały oraz jakie są najczęstsze przyczyny ich zużywania. Dokonano charakteryzacji fizykochemicznej poliuretanów i polimoczników w kontekście zastosowania ich na powłoki ochronne oraz przedstawiono procedurę i metody nanoszenia powłok z tych polimerów, również te, które posłużyły do wytworzenia powłok badanych w ramach tej pracy.

Sporo miejsca poświęcono na omówienie form i przyczyn niszczenia powłok poliuretanowych i polimocznikowych, a zwłaszcza procesów zużycia ściernego i erozyjnego powołując się na źródła literaturowe spośród których część stanowią artykuły naukowe opublikowane w ostatnich latach. Zdefiniowano zużycie ściernie oraz erozyjne i omówiono czynniki, które wpływają na jego intensywność, w szczególności kładąc nacisk na właściwości mechaniczne powłok. Zwrócono również uwagę na inne aspekty, które mocno wpływają na destrukcję tych powłok, a zwłaszcza procesy starzeniowe oraz oddziaływanie podwyższonej lub obniżonej temperatury.

W tej części, Autorka na podstawie przeglądu literaturowego zwróciła również uwagę na nie w pełni scharakteryzowane właściwości powłok poliuretanowych oraz polimocznikowych w obszarze ich zużycia erozyjnego i ściernego w obecności twardego ścierniwa. W związku z tym stwierdziła konieczność zbadania właściwości tribologicznych tych powłok, co w kontekście genezy tej pracy uzasadnia podjęcie tematu badawczego rozprawy doktorskiej, te treści uzasadniające są jednak bardzo rozproszone w całym rozdziale 2. W rozdziale 3 sformułowano cel naukowy i użyteczny pracy, w którym określono przedmiot badań, przedstawiono również sekwencyjny plan badań i zakres pracy. W rozdziale 4 szerzej opisano badane materiały, które stanowiły osadzone na podłożu stalowym wybrane powłoki poliuretanowe i polimocznikowe różniące się grubością oraz twardością, a także scharakteryzowano materiał ścierniwa. Rozdział ten omawia również metody badawcze i opis urządzeń niezbędnych do przeprowadzenia badań i analiz procesów zużycia ściernego i zużycia erozyjnego

powłok. Rozdział 5, pod względem merytorycznym, stanowi najważniejszą i wartościową część pracy. Zawarto w nim wyniki badań intensywności zużycia ściernego oraz zużycia erozyjnego powłok przedstawione w postaci zbioru danych pomiarowych zebranych w tabelach oraz w formie wykresów w funkcji twardości i grubości powłok i/lub wielkości ścierniwa oraz przyjętych parametrów testów. Zasadniczą częścią tego rozdziału jest opis mechanizmu zużycia ściernego oraz erozyjnego, który wykonano na podstawie analizy wyników badań tribologicznych i obrazów powierzchni powłok w miejscu współpracy, wykonanych przy użyciu profilometru optycznego i skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Najważniejsze rezultaty pracy zebrano w 7 rozdziale pracy pt. „Podsumowanie i wnioski”, gdzie potwierdzono osiągnięcie założonego celu oraz wskazano kierunki dalszych badań, wśród których wymieniono zbadanie zużycia ściernego i erozyjnego powłok dla innego rodzaju materiału ściernego i erozyjnego oraz innych parametrów eksploatacyjnych.

4. Uwagi ogólne, również krytyczne

Układ pracy jest właściwy i typowy dla prac naukowo-badawczych. Rozprawa składa się z rozeznania stanu wiedzy w obszarze tematyki pracy, określenia problemu badawczego, przeprowadzenia badań oraz analizy wyników i wnioskowania. Metody badań są właściwie dobrane, eksperymenty przeprowadzone zgodnie z opracowaną procedurą w oparciu o wytyczne norm badań, opracowanie i przedstawienie wyników nie budzi zastrzeżeń, a wnioskowanie jest poprawne. Testy wykonano z wystarczającą liczbą powtórzeń, a wyniki eksperymentów opracowano w ujęciu statystycznym. Po lekturze rozprawy doktorskiej sformułowałem niżej wymienione spostrzeżenia i uwagi.

W rozdziale 2 nie występują żadne rysunki, tabele lub wykresy, które z reguły są przydatne w zilustrowaniu treści, zwłaszcza w obszarze nauk inżynierijsko-technicznych. W rozdziale 2 omówiono bardzo ważne zagadnienia ściśle związane z tematyką pracy. Jednak informacje te powinny być lepiej uporządkowane oraz usystematyzowane, co pozwoli na wyeliminowanie powtórzeń i lepszą koncentrację nad opisywanym tematem.

Tytuł rozdziału 2.3.7 *Destrukcja powłok* jest trochę niepoprawny w odniesieniu do treści rozdziału. Destrukcja to całkowite zniszczenie lub całkowity samoistny rozpad czegoś, podczas gdy w rozdz. 2.3.7 omówiono różne formy i procesy zużycia powłok polimerowych, podobnie zresztą jak w kolejnym bliźniaczym rozdziale 2.5 *Zużywanie*. W 2.3.7 pojawia się po raz pierwszy pojęcie „pękanie srebrzyste”, które powinno być objaśnione.

Na str. 12/13 niejasne jest sformułowanie, cytuję „Przyczepność powłoki do podłoża, jej parametry wytrzymałościowe oraz chropowatość są uzależnione od znacznej liczby czynników. Jednym z tych czynników jest chropowatość podłoża, która zależy przede wszystkim od skojarzenia materiałów powłoka – podłoże oraz zastosowanej technologii naniesienia powłoki [19].” Niefortunnie został tutaj odczytany kontekst treści z abstraktu publikacji [19], które należy ująć następująco: Wpływ na właściwości powłoki ma wiele czynników, a jednym z nich jest chropowatość podłoża, niemniej jednak ten wpływ jest dodatkowo związany z rodzajem materiału powłokowego i podłoża oraz zastosowaną metodą osadzania. Szersza analiza wyników badań i wniosków tej publikacji pozwoliłaby na uniknięcie w/w niewłaściwej interpretacji.

Metody nakładania badanych powłok hydrodynamiczna oraz pneumatyczna są opisane sumarycznie w kilku zdaniach (str. 14), a źródłem informacji jest strona internetowa. Warto byłoby szerzej omówić te metody oraz dodać krytyczną ich analizę, zwłaszcza że na str. 16 stwierdzono „Powłoki poliuretanowe

ulegają różnego rodzaju uszkodzeniom ... wynikającym z nieprawidłowej technologii wytworzenia powłoki". W jaki sposób kontrolowano przyczepność powłok do podłoża?

Celem pracy jest „zidentyfikowanie mechanizmu zużywania ściernego i erozyjnego w różnych rodzajach powłok poliuretanowych w zmiennych warunkach eksploatacyjnych”, podczas gdy tytuł pracy odnosi się tylko do „zużywania ściernego”. Ponad to, sformułowanie „w zmiennych warunkach eksploatacyjnych” sugeruje, że przeprowadzono badania czy obserwacje dla warunków zmieniających się w czasie dla danego obiektu, a takie nie zostały zastosowane w wykonanych testach. Przedmiotem badań i analiz były również powłoki polimocznikowe, dlatego więc nie wymieniono ich w celu pracy lecz tylko w zakresie badań?

W rozdziale 4.4 przedstawiono badane materiały w postaci 13 różnych próbek czterech rodzajów materiałów powłok polimerowych. W opisie badanych materiałów nie omówiono jednak procedury wytwarzania powłok i przygotowania próbek do badań oraz jaka była postać próbek i jakie były ich wymiary? Czy te powłoki wytworzono w procesie przemysłowym czy laboratoryjnym oraz w jaki sposób pozyskano materiały do badań? Rozdział 2.3.4 dotyczy, co prawda, procedury nanoszenia powłok, ale nie wskazano czy tych będących przedmiotem badań w tej pracy. Opis materiałów stanowiących powłoki jest niekonsekwentny i wynika z niego, że tylko dla dwóch powłok zastosowano utwardzacze. Warto również określić rodzaj żywicy i utwardzacza zastosowane w wytwarzaniu powłok. W Tabl. 4.1 zamieszczono podstawowe parametry badanych powłok jednak nie podano źródła tych danych, czy są to dane katalogowe, czy są wynikiem badań własnych? Poza tym, lepszym byłoby sformułowanie „podstawowe właściwości”. Korzystnym byłoby podanie modułu sprężystości tych powłok, zwłaszcza w odniesieniu do stwierdzenia na str. 19: „odporność na zużywanie ściernie i erozyjne elastomerów poliuretanowych ... wynika z ich wysokiej sprężystości”.

Brak jest również wyjaśnienia w jaki sposób uzyskano powłoki o różnych grubościach, a powłoki EPUR o różnej twardości. Co wpłynęło na zmianę twardości i innych właściwości tych powłok? Korzystnym byłoby wprowadzić oznaczenia dla wszystkich powłok na potrzeby tej pracy, np. PUR – powłoka żywiczna PUR 70 ShD, PM – powłoka polimocznikowa, tak jak PUR-PM oraz EPUR z odpowiednimi twardościami. To poprawiłoby identyfikację powłok w przedstawionych wynikach badań, bowiem w pracy próbki są oznaczone zarówno symbolami i też opisem słownym, np. rysunki 5.3, 5.8-5.11, 5.12-5.14, tabele 5.1-5.4 i inne.

Na stronie 24 podano, że „Wzrost chropowatości powierzchni polimerów zwiększa odporność na zużywanie ściernie.” Jest to zbyt duże uogólnienie, ponieważ dotyczy tylko specyficznego oddziaływania podczas testu zarysowanego przedstawionego w cytowanych publikacjach [80, 81].

Podobnie na stronie 27 występuje zdanie, które wzbudza kontrowersje: „Jednocześnie mały współczynnik tarcia może obniżyć odporność na zużycie powłok polimerowych [102].” Wyniki badań w publikacji [102] wskazują wręcz odwrotny efekt.

W badaniach zużycia ściernego powłok zastosowano wagę o dokładności 0,001 g (str. 48), podczas gdy w normie badań zalecana jest waga o dokładności 0,0001 g. Możliwe, że z tego powodu nie wyznaczono zużycia masowego powłok EPUR i w Tabl. 5.1 nie ujęto takich wartości po tarciu ze ścierniwem F 220. Podobnie, zamieszczone ubytki masowe próbek różnią się nieznacznie, a w kilku przypadkach są identyczne pomimo różnicy w twardości powłok.

W Tabl. 5.5 zestawiono obliczone wartości wskaźnika odporności na zużycie ściernie K_b dla powłok o różnej grubości (str. 53), podobnie na Rys. 5.17 przedstawiono zużycie ściernie powłoki PUR 70ShD

w zależności od jej grubości. Dokonano analizy tych wyników uzależniając dyskusję od grubości powłoki w poszczególnych grupach. Czy w związku z tym, grubość powłok została skontrolowana przed badaniami? W jaki sposób można zmierzyć grubość powłok i cienkich warstw?

Przedstawiony na Rys. 5.3 a (str. 56) obraz próbki PUR-PM po testach zużyciowych wskazuje na nierówną jej powierzchnię o pewnej falistości, o czym wspomniano w pracy na str. 54. Natomiast wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni tej powłoki przedstawione na Rys. 5.1 nie wskazują na takie nierówności. Czy rozważano wykonanie badań falistości powierzchni powłok, co mogłoby być pomocne w analizie uzyskanych wyników?

Na str. 61, Autorka stwierdziła, że „dla danej grupy powłok chropowatość powierzchni przed badaniem nie ma większego wpływu na przebieg procesu zużywania ściernego”, co uważam za zbyt duże uogólnienie, które może być źle zrozumiane. Warto to uściślić, np. „...dla danej grupy powłok w zakresie zmierzonej chropowatości...”. Zaobserwowano również, że na obrazach topografii powierzchni (rys. 5.8-5.11) widoczne są „piki”, które obrazują ziarna ściernie wbite w powierzchnię. Czy ta obserwacja była potwierdzona w komplementarnych badaniach składu chemicznego, np. metodą SEM-EDS ?

W opisie mechanizmu zużycia erozyjnego powłok poddanych erozji strumieniem cząstek pod kątem 45° (str. 79) stwierdzono występowanie m.in. odkształcenia materiału, a „odkształcenia te mają postać bruzdy”, która w wyniku dalszego procesu erozji „zostaje oderwana”. Nasuwa się więc pytanie jak należy rozumieć „oderwanie bruzdy”?

Proszę objaśnić sformułowanie, na str. 92, w. 4 od dołu, „Pomimo tego, że ziaren mniejszych jest więcej, to i tak nie powodują one większego zużycia sumarycznego, niż większe, gdyż pojedyncze mniejsze ziarno.”

Zauważono, że „ze wzrostem twardości powłoki elastomerowej wzrasta jej zużycie erozyjne” i związane to „z odbijaniem się cząstek erozyjnych od powierzchni bardziej miękkich i sprężystych oraz z rozpraszaniem większej ilości energii uderzenia...” (str. 95). Na jakiej podstawie Autorka twierdzi, że są to powierzchnie bardziej sprężyste i jak można to wyjaśnić lub opisać ilościowo? Podobnie na str. 34 tylko wspomniano o „współczynniku tłumienia powłoki, charakteryzującym rozproszenie energii”. Czy w objaśnieniu mechanizmu zużycia erozyjnego badanych powłok korzystnym byłoby uwzględnić współczynnik restytucji zderzającej się cząstki z powłoką?

Porównując obrazy SEM ziaren przed i po testach tarciovych przedstawione na rys. 5.52 (str. 98) można zaobserwować różnice, których nie stwierdzono w pracy. Ziarna po tarcii mają stępione krawędzie, a na ich powierzchni widoczne są naniesienia (rys. 5.52 b). Oczywiście przy tym powiększeniu może to być niepewne, jednak moim zdaniem jest zauważalne.

W analizie wyników badań i podsumowaniu rzadko występują odniesienia do rezultatów innych badaczy w cytowanej literaturze.

5. Uwagi szczegółowe, w tym redakcyjne

Pod względem redakcyjnym rozprawa jest na dobrym poziomie, jednak w tekście występuje kilka drobnych, poniżej wymienionych, usterek:

- s.1, Spis treści: jest „2.2. Formy poliuretanu i ich zastosowanie”, powinno być: „2.2. Formy poliuretanu i zastosowanie”;

- s.1, Spis treści: jest „2.3.2. Powłoki dwukomponetowe”, powinno być: „2.3.2. Powłoki dwukomponentowe”; ponad to w spisie treści nie ujęto punktu „Literatura”;
 - s.6, w.10: w „zastosowane ... budownictwie” brak przyimka „w”;
 - s.6, w.4 od dołu: jest „poltruzja”, powinno być: pultruzja;
 - brak oznaczeń niektórych skrótów czy akronimów występujących po raz pierwszy – s.6: PUR, s.17: UHMWPE, PA6, PA12, PTFE, POM;
 - s.20, w.15: brak indeksu we wzorze sumarycznym grupy funkcyjnej -NH₂;
 - s.30, w.11 od dołu: brak zacytowanej literatury w „Z kolei w pracach stwierdzono...”;
 - na stronach 39, 44, 45 i 46 zamieszczono wzory matematyczne ale nie wprowadzono ich numeracji;
 - brak numeracji stron: 49, 51, 53, 72, 75;
 - na rys. 5.17 oraz 5.18 niepotrzebnie zamieszczono grubości 0,6 i 3,6 mm oraz twardości 45 i 105 ShA powłok, które nie występują w pracy;
 - s.61 i s.81: jest „parametrami chropowatościowymi”, powinno być „parametrami chropowatości”;
 - s.73: jest „Tabela 5.3”, powinno być: Tabela 5.7;
 - s.81, w.12 od dołu: jest 5.30-5.33, powinno być 5.31-5.33;
 - konieczne jest wskazanie numerów rysunków, których zawartość jest omawiana, np. s.82, w.3: jest „Na przestrzennych obrazach topografii powierzchni po zużyciu widoczne są...”, powinno być: „Na przestrzennych obrazach topografii powierzchni po zużyciu (Rys. 5.31-5.33) widoczne są ...”;
 - mało czytelne są wykresy profili 2D na rysunkach 5.8-5.11 w pozycji (e) i (f);
 - w kilku miejscach, np. s.39, 66, można było pominąć słowo „wagowe/y/ego” dla określenia zużycia ściernego powłok; mnogość tego słowa sprzyja pewnej niekonsekwencji w nazewnictwie mierzonych wielkości, jak np.: na Rys. 5.19 oś pionowa to „Zużycie ściernie”, a w podpisie rysunku „zużycie wagowe”; Zużycie, to ubytek materiału, a ilościowe wyrażenie tego ubytku jest wynikiem pomiaru masy elementu metodą wagową lub pomiaru długości/głębokości metodą pomiaru odległości.
 - zmiana kolejności niektórych rozdziałów poprawiłaby czytelność pracy, np. podrozdział 4.5 przenieść na koniec rozdziału 4;
 - dlaczego rozdział 4.3 zatytułowano „Badania uzupełniające”, są tam przecież przedstawione metody niezbędne dla realizacji celu pracy, a więc równorzędne z pozostałymi;
 - w nielicznych zdaniach występują tzw. literówki, błędy gramatyczne lub stylistyczne, np. na str. 30: „Potwierdza to, że zużycie jest rezultatem wielokrotnie powtarzajacemu się rozwojowi mikropęknięć w warstwie wierzchniej analizowanego materiału.”
- Występują również inne drobne niedoskonałości, jak np.: powtórzenia (m.in. s.14, s.103), brak znaków interpunkcyjnych m.in. na stronach 6, 8, 12, 13, 16, 45, 46, 53; na str. 14 natomiast brak numeru pozycji literaturowej w miejscu zapisu [Gorzelańczyk, a także niespójny sposób zapisu pozycji literaturowych w rozdziale Literatura.

6. Najważniejsze oryginalne osiągnięcia pracy

Pozytywnie oceniam oryginalność pracy głównie ze względu na przedmiot badań, a także wielokierunkową analizę wyników badań właściwości tribologicznych. Podjęty problem badawczy uważam, za ważny i wartościowy ze względów poznawczych (dokonanie analizy mechanizmu zużycia) oraz użyteczny (wyznaczenie cech materiałowych wykorzystywanych w ich doborze). Pani mgr inż. Justyna Sokolska wykazała się ogólną wiedzą z tribologii, a w szczególności w zakresie

zużycia ściernego i erozyjnego wybranych powłok polimerowych. Wykonała bardzo dużą ilość badań tribologicznych i komplementarnych badań mikroskopowych oraz profilometrycznych zgodnie z opracowanym planem i procedurą. Wykazała się w tym obszarze umiejętnościami planowania eksperymentu, przeprowadzenia badań oraz analizy wyników i wnioskowania. W świetle obecnego stanu wiedzy podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest zasadna gdyż uzyskane wyniki badań i ich analiza pozwoliły na scharakteryzowanie właściwości tribologicznych nowych powłok, które nie są jeszcze dobrze rozpoznane. Cel pracy został osiągnięty, a dodatkowo warto podkreślić:

- dokonanie szczegółowej analizy procesów zużycia ściernego oraz erozyjnego wybranych jednoskładnikowych powłok poliuretanowych (PUR) i polimocznikowych (PM) oraz hybrydowych powłok PUR-PM;
- określenie wpływu grubości i twardości badanych powłok na ich odporność na zużycie w różnych warunkach eksploatacyjnych;
- zbudowanie modelu fizycznego mechanizmu zużycia ściernego oraz erozyjnego powłok poliuretanowych i polimocznikowych;
- ilościowe ujęcie odporności na zużycie zarówno ściernego i erozyjnego powłok, co w powiązaniu ze znajomością mechanizmu zużycia pozwoli na ich odpowiedni dobór ze względu na zapewnienie największej trwałości;
- użycie w testach erozyjnych autorskiego stanowiska badawczego, które pozwala na prowadzenie badań w warunkach erozji przy różnych nastawach parametrów testów.

7. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z późn. zm. (Dz.U. 2023 poz. 742). Zrealizowana przez mgr inż. Justynę Sokolską praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego i może być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (obecnie: inżynieria mechaniczna) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

