

Prof. dr hab. inż. Wojciech WIELEBA
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27,
tel. (071) 3202774,
E-mail: wojciech.wieleba@pwr.edu.pl

Wrocław, 21 czerwca 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krystiana Milewskiego

p.t.

„Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację
wybranych węzłów tribologicznych”

(Podstawa formalna recenzji: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki
Krakowskiej z dnia 29.05.2023 r.)

1. Ocena podjętego tematu

Właściwości użytkowe materiałów stosowanych na elementy maszyn, które współpracują ze sobą ciernie zależą w znacznym stopniu od własności cienkiej warstwy materiału znajdującego się bezpośrednio pod powierzchnią tzw. warstwy wierzchniej. W jej obszarze przebiega większość procesów i zjawisk związanych z tarcieniem, zużywaniem, korozją, itp. Sama powierzchnia elementów ślizgowych w znaczący sposób wpływa na intensywność przebiegu procesów tribologicznych. Wytworzenie odpowiedniej powłoki na powierzchni roboczej wpływa niewątpliwie na okres użytkowania węzłów tarcia w maszynach i urządzeniach. Jest to szczególnie ważne, gdy dotyczy elementów, których wymiana wymaga postoju maszyny i związanych z tym kosztów związanych z zatrzymaniem cyklu produkcyjnego np. w przemyśle kruszywowym. Jedną z metod zmniejszających intensywność zużywania pary trącej, podjętych w ramach pracy doktorskiej jest stosowanie wysoko wyspecjalizowanych środków smarowych. Prowadzenie tego typu zabiegów eksploatacyjnych nie jest nowym zagadnieniem, co jest widoczne między innymi w prezentowanym w dysertacji przeglądzie literatury. Niewiele jednak pozycji literaturowych dotyczy kompleksowej oceny wpływu zastosowania powłok diamentopodobnych (DLC), wspólnie z wykorzystaniem cieczy jonowych, na właściwości tribologiczne materiałów stosowanych w węzłach łożyskowych. Opracowanie tego trudnego zagadnienia podjął się w swej dysertacji Pan mgr inż. Krystian Milewski. Próba określenia wpływu zastosowania powłok DLC na powierzchni elementów metalowych łożysk jest cenna zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i użytecznego. Zasadne wydaje się więc podjęcie tej problematyki przez Doktoranta. Przedstawiona do oceny rozprawa

wypełnia częściowo lukę wiedzy dotyczącą powiązania powłok DLC z właściwościami tribologicznymi wybranych par tarcych w obecności cieczy jonowych.

Tematyka oraz zakres rozprawy obejmują zagadnienia związane z eksploatacją maszyn i pomimo nawiązywania do zagadnień materiałowych, rozprawa jest ściśle związana z dyscypliną naukową **Inżynieria Mechaniczna**.

2. Charakterystyka ogólna – układ pracy, treść, literatura, redakcja

Praca jest podzielona na wprowadzenie, cztery części zawierające siedem rozdziałów, które dotyczą analizy literaturowej i opisu przeprowadzonych badań oraz zawierają podsumowanie, wnioski i perspektywy rozwoju. Dodatkowo w pracy zamieszczono wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, zestawienia tabel i rysunków, wykaz literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozprawa jest edytowana na 164 stronach. Wykaz literatury zawiera 148 pozycji aktualnej, zarówno zagranicznej jak i krajowej literatury. Edycja całości jest poprawna, praca jest właściwie zilustrowana graficznie a dane uporządkowane są tabelarycznie. Drobne błędy stylistyczne i interpunkcyjne nie wpływają na pozytywną ocenę redakcyjną pracy.

Zawartość poszczególnych rozdziałów pracy:

Pracę rozpoczyna wprowadzenie, w którym zaprezentowano podjętą w rozprawie problematykę oraz omówiono zawartość poszczególnych rozdziałów. Pierwsze trzy rozdziały stanowią studia literaturowe Doktoranta, w których analizuje obecny stan wiedzy w obszarze powłok DLC oraz cieczy jonowych w aspekcie ich stosowania w węzłach tarcia. W rozdziale pierwszym przedstawiono materiały stosowane na pary tarcie oraz budowę warstwy wierzchniej. Omówiono w nim również metody modyfikowania powierzchni z wykorzystaniem powłok diamentopodobnych (DLC) a także zagadnienia związane ze smarowaniem węzłów tarcia w tym wykorzystaniem cieczy jonowych będących przedmiotem przeprowadzonych przez Doktoranta badań i analiz. Kolejny rozdział prezentuje tematykę związaną z eksploatacją systemów tribologicznych. Przedstawiono w nim między innymi budowę warstwy wierzchniej z rozróżnieniem warstwy technologicznej i eksploatacyjnej oraz omówiono zużywanie elementów maszyn i urządzeń eksploatowanych w trudnych warunkach na przykładzie przenośników taśmowych pracujących w przemyśle kruszywowym. Rozdział trzeci zawiera podsumowanie stanu wiedzy na podstawie analizy literaturowej. Kolejne rozdziały stanowią omówienie części badawczej rozprawy. Rozdział czwarty zawiera hipotezę badawczą, cel oraz zakres pracy. W rozdziale piątym scharakteryzowano materiały, powłoki DLC oraz cieczy jonowe, dla których prowadzono badania prezentowane w dysertacji. Przedstawiono sposób przygotowania próbek. Z kolei w rozdziale piątym opisano wykorzystaną do badań aparaturę oraz omówiono przyjęte metody badawcze. W kolejnym rozdziale, stanowiącym główną część rozprawy, przedstawiono wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta badań, które umożliwiły

określenie morfologii analizowanych powłok DLC, ich składu chemicznego oraz grubości. Ponadto scharakteryzowano stan energetyczny powierzchni a także najważniejsze parametry mechaniczne tj. adhezję oraz twardość instrumentalną. Najważniejszą częścią zaprezentowanych badań były wyniki badań tribologicznych przeprowadzonych na tribotesterze typu *ball on disc* oraz na rzeczywistych łożyskach tocznych pracujących w przenośnikach taśmowych transportujących kruszywo. Dodatkowo ślady zużycia otrzymane zarówno na powierzchniach próbek po badaniach tribologicznych jak i na powierzchniach elementów łożysk tocznych poddano obserwacjom mikroskopowym. Ich celem było określenie wielkości zużycia badanych próbek i elementów. Po ostatnim rozdziale jako oddzielną część przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe. Na końcu pracy zamieszczono wykaz literatury i streszczenia w języku polskim i angielskim.

3. Uwagi ogólne

Przedmiotem opiniowanej rozprawy była ocena właściwości powłok diamentopodobnych (DLC) stosowanych w węzłach tarcia smarowanych cieczami jonowymi. Przedstawione zostały wyniki badań zarówno w obszarze własności mechanicznych powłok, jak i zagadnień eksploatacyjnych związanych z ich odpornością na zużycie oraz zwilżalnością cieczami smarującymi (jonowymi). **Niewątpliwym walorem pracy jest tematyka związana z nowoczesnymi technologiami wytwarzania powłok diamentopodobnych na elementach metalowych, które mają na celu wydłużenie czasu ich eksploatacji.** Zagadnienie podjęte w rozprawie jest ważne i aktualne ze względu na potencjalny obszar stosowania obejmujący zespoły maszyn i urządzeń, w których występuje tarcie w warunkach znacznego zapylenia. Szczególnie ważna jest poruszana w rozprawie problematyka tribologiczna oraz zagadnienia adhezyjne.

Po przeprowadzeniu analizy obecnego stanu wiedzy Doktorant sformułował hipotezę dotyczącą poprawy własności użytkowych elementów stalowych poprzez modyfikację warstwy wierzchniej na drodze wytworzenia powłok diamentopodobnych typu a-C:H i a-C:H:Si. Powłoki te są uzyskiwane w procesach chemicznego osadzania z fazy gazowej, wspomaganych plazmą (PACVD) w temperaturze poniżej 300°C. Oczekiwanym efektem był wzrost niezawodności materiałów stosowanych na łożyska przenośników taśmowych oraz wydłużenie czasu ich trwałości eksploatacyjnej. **Przedstawione przez Doktoranta rezultaty badań potwierdziły postawioną hipotezę.** Różnorodne analizy procesów i zjawisk występujących na powierzchni oraz w warstwie wierzchniej badanych powłok DLC omówione w rozprawie są dodatkowym jej walorem.

Określenie wpływu obecności cieczy jonowych w obszarze tarcia badanych materiałów było efektem badań przeprowadzonych przez Doktoranta w obszarze problematyki eksploatacyjnej. **Opisanie wpływu tych cieczy na zmianę struktury geometrycznej powierzchni próbek oraz przeprowadzenie badań**

eksploatacyjnych łożysk przenośników taśmowych pracujących w warunkach rzeczywistych stanowi dodatkowy atut rozprawy. Reasumując, przedstawione analizy dotyczące wpływu powłok diamentopodobnych (DLC) na właściwości eksploatacyjne elementów stalowych w węzłach tarcia pracujących przy znacznym stopniu zapylenia, mogą być wykorzystane przy wytwarzaniu tego typu elementów, których trwałość powinna być zwiększona.

Na uwagę zasługuje również bogactwo przeprowadzonych przez Doktoranta badań, które obejmowały ocenę:

- morfologii i składu chemicznego powłok,
- grubości powłok,
- struktury geometrycznej powierzchni przed i po testach tribologicznych,
- zwilżalności powierzchni,
- właściwości mechanicznych – twardości i adhezji badanych powłok,
- właściwości tribologicznych,
- warstwy wierzchniej po eksploatacji

Wymienione zalety rozprawy świadczą o umiejętnościach prowadzenia przez Doktoranta badań oraz analizy uzyskanych wyników i stanowią wartość rozprawy oraz jego dorobek.

Oprócz niewątpliwych zalet pracy muszę jednak z przykrością wskazać na pewne mankamenty.

1. Analiza literatury została przeprowadzona na 49 stronach. Przedstawiono przede wszystkim materiały stosowane w węzłach tarcia, budowę warstwy wierzchniej z uwzględnieniem podziału na technologiczną i eksploatacyjną warstwę wierzchnią. Opisane zostały warstwy powierzchniowe (powłoki) ze szczególnym uwzględnieniem powłok diamentopodobnych, ich budowa a także metody osadzania. Ponadto omówione zostały rodzaje skojarzeń trących oraz zagadnienie smarowania węzłów tarcia ze szczególnym uwzględnieniem systemów centralnego smarowania. Te zagadnienia nie są moim zdaniem związane naukowo z badaniami i analizami zawartymi w dalszej części dysertacji i można byłoby je pominąć. Przedstawiono również ciecze jonowe jako środki smarowe, przy czym zaprezentowano głównie ich zalety. Czy ciecze te mają jakieś wady? Zabrakło również moim zdaniem szerszego omówienia literatury dotyczącej innych środków smarowych stosowanych w węzłach tarcia. Pominęto m.in. opis właściwości eksploatacyjne olejów i smarów plastycznych, które są alternatywą dla cieczy jonowych. Zagadnienia te są istotne w aspekcie badań własnych Doktoranta przedstawionych w dalszej części rozprawy, aby odnieść uzyskane rezultaty do stosowanych powszechnie środków smarujących. Czy nie byłoby lepiej omówić je zamiast tak szerokiego opisu systemów centralnego smarowania?

2. Rozdział 2. „Eksplatacja systemów tribologicznych” powinien być moim zdaniem pierwszym rozdziałem w części prezentującej analizę literatury. Natomiast podrozdział 2.1. należałoby włączyć do podrozdziału 1.1.
3. Tytuł podrozdziału 2.2 „Zużywanie elementów roboczych maszyn i urządzeń w przemyśle kruszywowym” jest nieadekwatny do zawartych w nim treści. Opisano w nim tylko zużywania elementów przenośników taśmowych na podstawie pozycji literatury [117, 118]. A co z innymi maszynami wykorzystywanymi w przemyśle kruszywowym takimi jak młyny czy kruszarki?
4. W rozdziale 5.3 „Środki smarowe” brakuje informacji o lepkościach cieczy jonowych (Tab. 5.3) wykorzystywanych w badaniach jako środki smarujące. Jest to istotna informacja w aspekcie badań tribologicznych o charakterze porównawczym.
5. W rozdziale 7.4 Doktorant opisał wyniki badań kąta zwilżania i napięcia powierzchniowego dla stali 100Cr6 oraz analizowanych w dysertacji powłok DLC. Jak odnieść uzyskane wyniki do własności eksploatacyjnych tzn. co jest bardziej korzystne większy czy mniejszy kąt zwilżania w aspekcie wykorzystania powłok w rzeczywistych węzłach tarcia?
6. W rozdziale 7.6. brakuje informacji statystycznych dotyczących wyników badań tribologicznych. Nie podano np. liczby powtórzeń pomiarów, odchylenia standardowego itp. Prezentowane wykresy słupkowe mają zamieszczone słupki błędów. Niestety nie jest nigdzie opisane co one reprezentują. Szczególnie istotne jest to w badaniach zużycia elementów modelowej pary trącej.
7. W ramach badań tribologicznych Doktorant badał zużycie obu elementów pary trącej (kulki i tarczy). Jest to bardzo istotne z punktu widzenia eksploatacji pary trącej jako całości. Doktorant skoncentrował jednak uwagę na odporności na zużyciu materiału, na powierzchni którego była utworzona powłoka DLC (tarcza). Ciekawym wnioskiem mogłaby być również analiza wpływu powłoki na trwałość współpracującego elementu (kulki) w obecności cieczy jonizujących, oleju a także smaru. Takie dane są przedstawione w tabelach 7.6–7.16, w których zamieszczono zużycie objętościowe kulek. Szkoda, że Doktorant nie umieścił tych wyników na wykresach (Rys. 7.76–7.81) jako dodatkowe słupki. Umożliwiłoby to przeprowadzenie analizy wpływu powłok na trwałość współpracujących elementów w parach trących.
8. Badania eksploatacyjne na obiekcie rzeczywistym dotyczyły łożysk tocznych występujących w przenośniku taśmowym pracującym w zakładach przemysłu kruszywowego. W jaki sposób powiązać otrzymane wyniki badań obiektu rzeczywistego (łożysk tocznych) z wynikami uzyskanymi w badaniach modelowych (tester kulka-tarcza) skoro

w łożyskach występuje tarcie toczne a w badaniach modelowych pomiędzy kulką a tarczą występuje tarcie ślizgowe?

9. Wnioski końcowe w podsumowaniu stanowią raczej spostrzeżenia. Wnioski wymagają wyjaśnienia zaobserwowanych rezultatów i powinny zawierać odpowiedź na pytanie dlaczego zaobserwowano takie a nie inne rezultaty. Lepszym tytułem byłoby w takim przypadku „Podsumowanie” bez słowa „wnioski”. Zabrakło, moim zdaniem, w rozdziale podsumowującym dysertację wyraźnego wyjaśnienia zamieszczonych w niej wyników badań tzn. zabrakło odpowiedzi na pytanie, dlaczego zaobserwowano taki a nie inny przebieg uzyskanych charakterystyk tribologicznych.
10. Wykaz literatury został opracowany w sposób przypadkowy. Nie został on zbudowany ani w kolejności alfabetycznej tj. według nazwisk autorów, ani w kolejności pierwszego cytowania w tekście. Ponadto niektóre pozycje znajdujące się w wykazie nie mają odniesienia (brakuje odsyłaczy) w tekście dysertacji, m.in. [45], [47-51], [54], [56], [57], [60], [61], [63], [76], [78], [79], [81-86], [90], [96], [110], [120], [124], [126], [130], [131], [133], [135-144], [146-148].

Mimo powyższych uwag rozprawę oceniam pozytywnie zarówno w aspekcie poznawczym, jak i metodologicznym. Doktorant wykazał się umiejętnością analizy aktualnego stanu wiedzy dotyczącego wytwarzania warstw powierzchniowych w postaci powłok diamentopodobnych, techniki smarowania oraz zagadnień związanych tarcieniem i zużyciem elementów par trących w maszynach roboczych przemysłu kruszywowego. Przeprowadzone niego badania eksperymentalne umożliwiły ocenę wpływu zastosowania różnych powłok DLC oraz środków smarujących w postaci cieczy jonizujących na odporność na zużycie elementów trących pracujących w trudnych warunkach m.in. w maszynach przemysłu kruszywowego.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant zrealizował w pełni postawione w rozprawie cele a także potwierdził postawioną hipotezę. Uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska stanowi wkład Autora w dyscyplinę **Inżynieria Mechaniczna**.

4. Uwagi szczegółowe

Szczegółowa analiza pracy zmusza do wskazania drobnych usterek edycyjnych oraz drugorzędnych błędów typu językowego. Wymieniam je w załączniku, który jest integralną częścią niniejszej opinii.

5. Ocena i wniosek końcowy

• *Zagadnienie naukowe i oryginalność wyników*

Rozprawa doktorska mgr. inż. Krystiana Milewskiego dotyczy jednoznacznie określonego i jasno przedstawionego zagadnienia naukowego związanego z rolą powłok diamentopodobnych wytwarzanych na powierzchni stali a także cieczy jonowych jako nowoczesnych środków smarujących w zwiększeniu trwałości eksploatacyjnej węzłów tarcia. Uzyskane wyniki badań można określić, jako oryginalne, mogące przysporzyć praktyce technicznej informacji umożliwiającej właściwy dobór materiałów na elementy maszyn i urządzeń współpracujących ślizgowo. **O oryginalności pracy świadczy między innymi określenie przez Doktoranta wpływu powłok DLC na właściwości eksploatacyjne stali w tym na właściwości tribologiczne, mechaniczne a także zwilżalność przez ciecze pełniące rolę środków smarujących.** Opiniowana rozprawa jest dowodem na to, że Doktorant bardzo dobrze orientuje się w obszarze technologii powłok diamentopodobnych oraz problemach, jakie dotyczą ich wpływu na właściwości eksploatacyjne materiałów, na których zostały one osadzone.

• *Metody badawcze*

Zastosowane w pracy metody badawcze należy ocenić pozytywnie. Doktorant dysponuje bardzo bogatym warsztatem badawczym. Prowadził badania z wykorzystaniem wielu metod dotyczących zarówno analiz materiałowych, jak i badań dotyczących właściwości eksploatacyjnych. Przeprowadzone analizy uzyskanych wyników świadczą, że posiada on umiejętność oceny własnych dokonań. **Wśród istotnych osiągnięć Doktoranta należy uznać, że dzięki przyjętym metodom badawczym możliwe było określenie wpływu analizowanych powłok diamentopodobnych na szereg własności użytkowych stali łożyskowej 100Cr6.**

• *Stopień rozwiązania zagadnienia*

Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam jako wystarczający. Opisane w rozprawie badania i analizy wyraźnie rozszerzają wiedzę o bardzo złożonych procesach zachodzących w czasie eksploatacji elementów węzłów tarcia, na których powierzchni osadzono powłoki DLC.

Doktorant zrealizował cele pracy, którymi było określenie wpływu powłok diamentopodobnych na mikrostrukturę, strukturę geometryczną powierzchni, zwilżalność, właściwości mechaniczne oraz odporność przeciwzużyciową węzłów tarcia smarowanych cieczami jonowymi. **Jednym z istotnych osiągnięć Doktoranta jest użytkowy aspekt prowadzonych badań, które wskazały na możliwość zastosowania powłok diamentopodobnych w systemach tribologicznych m.in. w łożyskach przenośników taśmowych.** W dysertacji zabrakło jedynie, moim zdaniem, dokładnego wyjaśnienia przyczyn zaobserwowanego wpływu badanych

powłok na właściwości użytkowe m.in. ich zależności od rodzaju cieczy jonowej pełniącej rolę środka smarującego.

Wydaje się, że prezentowana praca powinna być kontynuowana w zakresie badań zaproponowanym przez Doktoranta, zwłaszcza w obszarze badań eksploatacyjnych powłok DLC domieszkowanych innymi pierwiastkami niż te, które stosowano w powłokach analizowanych w ramach dysertacji. Interesującym kierunkiem mogą być również badania właściwości eksploatacyjnych cieczy jonowych stosowanych jako dodatek do smaru UNI3, wykorzystywanego jako środek smarujący w łożyskach przenośników taśmowych. Wpłyne to niewątpliwie na jakość projektowanych węzłów tarcia w tego typu maszynach roboczych.

• *Wniosek końcowy*

Przedstawiony w ocenianej rozprawie materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem Doktoranta - ma on zarówno walory poznawcze jak i użytkowe. Wymienione wcześniej uwagi i zastrzeżenia nie umniejszają w żadnym stopniu merytorycznej wartości pracy, którą oceniam pozytywnie. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa Pana mgr. inż. Krystiana Milewskiego pt. „*Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych*” w pełni spełnia wymagania przewidziane w Ustawie z dnia 20 lipca 2019 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.). **W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Mechaniczna* i proponuję Radzie Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej dopuszczenie mgr. inż. Krystiana Milewskiego do publicznej obrony.**



Załącznik do recenzji

rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Krystiana Milewskiego pt. „Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych” zawierający uwagi szczegółowe dotyczące ww. pracy

Uwagi ogólne

1. Rozprawa jest napisana pod względem językowym poprawnie, chociaż czasem Doktorant stosuje potoczne określenia, np. pojęcie „niski” stosuje się przede wszystkim do wymiarów (wysokości) z pewnymi wyjątkami np. „niska temperatura”. Przykładowo: „niskie momenty” (s.20), lepiej „niewielkie momenty”; „niski współczynnik tarcia” (s.74) lepiej „mały współczynnik tarcia”
2. Niektóre rysunki przedstawiające zdjęcia aparatury badawczej są niepotrzebne. Wystarczający jest opis tekstowy (rysunki 6.1, 6.2, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.12)

Uwagi szczegółowe

(Uwagi podane są w kolejności występowania w tekście (s - strona, w - wiersz, g - od góry, d - od dołu)

1. s.6, w.3g. „Urządzenia i ich podzespoły są tak zaprojektowane, aby funkcjonować zgodnie z przeznaczeniem.” Czy można zaprojektować urządzenie aby nie funkcjonowało zgodnie z przeznaczeniem?
2. s.9, w.12d. „Dużym wyzwaniem dla tribologów jest prowadzenie badań nad zaprojektowaniem węzłów tarcia o zwiększonej trwałości i niezawodności.” Czy można prowadzić badania nad zaprojektowaniem?
3. s.10. Wśród wymienionych niekontrolowanych czynników zabrakło zmiany mikrostruktury materiału warstwy wierzchniej.
4. s.10, w.9d. Jest „... pod kątem rodzaju trącego elementu ...”. Powinno być „... pod kątem rodzaju pary trącej ...”.
5. Rys. 1.1. stanowi raczej schemat identyfikacji rodzaju zużycia tribologicznego a nie schemat doboru materiałów.
6. Rys. 1.2. Podane źródło [114] dotyczy własności olejów PAO a nie kształtowania warstwy powierzchniowej.
7. s.34, w.7d. Podano odnośniki do literatury [98 – 104]. Pozycje [99], [100] są normami i nie dotyczą cieczy jonowych.
8. s.35, w.2g. Brakuje nawiasu zamykającego wykaz odnośników do literatury.
9. s.37, w.10g. Podane odniesienie do literatury [71] dotyczy innych zagadnień niż cieczy jonowe.
10. s.38, w.1g. Pozycje literatury [31, 32] nie są autorstwa prof. T. Kałdońskiego, a pozycja [35] autorstwa prof. M. Sułka.
11. s.56, w.8d. Jest „Powłoki diamentopodobne ...”. Powinno być „Powłoki diamentopodobne ...”.
12. s.141, w.9d. Jest „Głębokość wytarcia łożyska...”. Lepiej „Głębokość śladu tarcia na powierzchni łożyska...”