

**Recenzja nr 07/dr/SJW**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Szymona Senyka pt. *Eksperymentalne badania właściwości tribologicznych smarów plastycznych zawierających heksagonalny azotek boru o różnym udziale nanocząstek i mikrocząstek***

Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej dr. hab. inż. Stanisława Kachela, prof. WAT z dnia 10.07.2025 r. oraz stosowna umowa o dzieło.

**1. Tematyka rozprawy**

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy badań właściwości tribologicznych zróżnicowanych smarów plastycznych zawierających heksagonalny azotek boru o różnym udziale nanocząstek i mikrocząstek. Wartym podkreślenia jest fakt, iż obszar tematyczny rozprawy dotyczy smarów plastycznych, które z kolei stanowią jedną z podstawowych grup środków smarnych. W związku z tym, podjęta w dysertacji problematyka należy do bardzo istotnych zagadnień tribologii. Ponadto, Autor skupił się w swych badaniach na zastosowaniu dodatku uszlachetniającego do smarów plastycznych w postaci heksagonalnego azotku boru, posiadającego wysoką wytrzymałość mechaniczną, dobrą przewodność cieplną oraz wysoką stabilność chemiczną i termiczną. Świadczy to o istotnym novum i znaczeniu praktycznym podjętego przez Pana mgr. inż. Szymona Senyka tematu. Wartym podkreślenia jest również fakt, iż bardzo niewiele badań naukowych z niniejszego obszaru tematycznego dotyczy roli nanocząstek i mikrocząstek heksagonalnego azotku boru w kształtowaniu właściwości tribologicznych oraz innych właściwości użytkowych smarów plastycznych. W związku z tym, podjęta przez Pana mgr. inż. Szymona Senyka tematyka rozprawy doktorskiej wypełnia lukę w badaniach zróżnicowanych smarów plastycznych i obejmuje opracowanie oryginalnej i kompleksowej metodyki badań tribologicznych smarów plastycznych z dodatkiem heksagonalnego azotku boru, a także efektywny dobór granulacji i udziału frakcji nanocząstek w tym dodatku, celem poprawy właściwości użytkowych smarów plastycznych.

Podsumowując, podjętą tematykę rozprawy uważam za nowatorską i bardzo ważną w aspekcie poznawczym oraz pragmatycznym, a w ten sposób oceniam jak najbardziej pozytywnie.

**2. Ogólna ocena treści, układu i zakresu rozprawy**

Rozprawa liczy 306 stron i składa się z 6 zasadniczych rozdziałów oraz wniosków końcowych i prognoz badawczych, a także streszczeń w języku polskim i angielskim, wykazu rysunków i tabel oraz spisu literatury, obejmującego 153 pozycje.

We wprowadzeniu, Autor rozprawy w sposób syntetyczny charakteryzuje smary plastyczne oraz dodatki w postaci heksagonalnego azotku boru, a następnie zarysowuje cel dysertacji i przebieg badań własnych.

W rozdziale pierwszym rozprawy, Autor skupia się dogłębnie na analizie stanu zagadnienia. Pierwsza część niniejszego rozdziału dotyczy ogólnej charakterystyki smarów plastycznych i obejmuje omówienie definicji i składu smarów plastycznych, olejów bazowych, zagęszczaczy oraz – najważniejszych w kontekście tematyki pracy – dodatków uszlachetniających. Następnie, przeprowadzona dyskusja dotyczy technologii wytwarzania i zastosowania smarów plastycznych, oraz struktury i reologii smarów plastycznych. W mojej opinii niniejszy podrozdział stanowi interesujące wprowadzenie do problematyki smarów plastycznych i syntetyczne kompendium terminologiczne w niniejszej tematyce. Niemniej, nazwy akapitów tego podrozdziału, rozpoczynające się od pogrubionego tekstu (np. Oleje bazowe, Zagęszczacze) są raczej zbędne, gdyż zwiększają stopień złożoności struktury rozprawy. W kolejnym podrozdziale Autor omawia właściwości smarów plastycznych oraz metody ich badania. W pierwszej części niniejszego podrozdziału dokonuje analizy smaru plastycznego jako elementu systemu tribologicznego, a następnie skupia się na właściwościach tribologicznych oraz pozostałych właściwościach użytkowych smarów plastycznych. Podrozdział 1.3 rozprawy dotyczy heksagonalnego azotku boru jako dodatku do smarów plastycznych i skupia się na zaprezentowaniu tribologicznych zastosowań smarów stałych, ogólnej charakterystyce heksagonalnego azotku boru, nanododatkach do smarów plastycznych oraz metodach badania właściwości fizykochemicznych heksagonalnego azotku boru.

Kolejna część pierwszego rozdziału dysertacji (podrozdział 1.4) dotyczy analizy aktualnego stanu literatury krajowej i światowej w obszarze zastosowania heksagonalnego azotku boru w smarach plastycznych. W pierwszej części niniejszego rozdziału Autor w syntetyczny sposób przedstawia zakres i strukturę dokonanej analizy literaturowej. W mojej ocenie, niniejszy podpunkt stanowi interesujące omówienie metodyki przeanalizowanej literatury. Niemniej jednak, opis ten mógłby zostać wzbogacony przez dodanie tabeli przedstawiającej na przykład słowa kluczowe/obszary tematyczne badań wraz z datą ich opublikowania oraz podaniem numeracji omawianych pozycji literaturowych. W następnych podrozdziałach Autor w szczegółowy sposób prezentuje aktualny stan zagadnienia w obszarze właściwości tribologicznych oraz innych właściwości użytkowych smarów plastycznych z dodatkiem h-BN. Rozdział pierwszy zwieńczono podrozdziałem dotyczącym syntetycznego omówienia badań wstępnych Autora, które obejmują właściwości smarnościowe smarów plastycznych z dodatkiem h-BN.

Treść pierwszego rozdziału rozprawy oceniam bardzo wysoko. Pierwsza jego część przedstawia w bardzo czytelnej formie wprowadzenie do tematyki smarów plastycznych oraz syntetyczne kompendium terminologiczne w tym obszarze. W drugiej części rozdziału Autor prezentuje szczegółową analizę literatury tematu, której największymi atutami są chronologia czasowa omawianych prac, a także krytyczna analiza literatury obejmująca wskazanie przez Autora pewnych braków i zaleceń w omawianych wynikach badań. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktoranta i umiejętności obiektywnej polemiki z badaniami innych autorów.

Rozdział drugi rozprawy przedstawia podsumowanie analizy stanu zagadnienia oraz wnioski programowe. Rozdział ten – pomimo syntetycznej formy – jest bardzo istotny w kontekście wskazania przez Doktoranta występujących luk badawczych w światowej

i krajowej literaturze tematu oraz uzasadnienia podjęcia tematyki rozprawy doktorskiej. Ponadto, sformułowane wnioski programowe stanowią podstawę koncepcji dysertacji.

Rozdział 3 rozprawy obejmuje tezę, cele i zakres badań własnych oraz przedstawia charakterystykę obiektów badań. W rozdziale 3.1 Autor formułuje tezę i cele pracy. W mojej opinii teza sformułowana jest merytorycznie i nietrywialnie. Niemniej w drugim zdaniu tezy: „*Prawdopodobnie należy spodziewać się lepszych efektów przy zastosowaniu heksagonalnego azotku boru o większym udziale frakcji nanocząstek.*” występuje zwrot: „*o większym udziale frakcji nanocząstek*”. W mojej ocenie, pojęcie to jest nieprecyzyjne (tzn. jaki udział frakcji można zdefiniować jako większy?). Może należałoby w tym miejscu podać pewien skwantyfikowany przedział frakcji nanocząstek? Sformułowane przez Autora cele rozprawy są jednoznaczne i merytoryczne oraz wskazują na szerokie spektrum badań własnych. Rozdział 3.2 dotyczy zakresu i programu pracy. W niniejszym rozdziale Autor prezentuje algorytm realizacji badań własnych. Niniejszy schemat ma bardzo istotne znaczenie w kontekście zrozumienia zakresu bardzo szerokich badań własnych. Rozdział 3.3 dysertacji skupia się na szczegółowym opisie obiektów badań własnych. W ramach niniejszego rozdziału Autor omawia zastosowane w badaniach smary plastyczne, próbki heksagonalnego azotku boru, a także procedurę przygotowania smarów plastycznych, opis struktury badanych systemów tribologicznych oraz elementy badanych węzłów tribologicznych.

W rozdziale 4 rozprawy, Autor przedstawia metodykę przeprowadzonych badań własnych. W pierwszym podrozdziale opisano metodykę badań h-BN i bazowych smarów plastycznych. Zaprezentowany opis skupił się na metodykach badań stanów chemicznych pierwiastków występujących na powierzchni próbek heksagonalnego azotku boru, jego struktury krystalicznej, morfologii i rozmiarów cząstek, a także struktury porowatej. Rozdział 4.2 przedstawia metodyki badań właściwości tribologicznych smarów plastycznych, a w tym badań: oporów tarcia i zużycia w ruchu posuwisto-zwrotnym na UNMT, zużycia po testach tribologicznych realizowanych w ruchu posuwisto-zwrotnym na UNMT, właściwości smarnościowych na aparacie czterokulowym, oporów tarcia w ruchu obrotowym na UNMT – charakterystyk Stribeck, oraz badań mikroskopowych oddziaływania heksagonalnego azotku boru w analizowanych układach tribologicznych. Ostatni podrozdział rozdziału 4 przedstawia metodyki badań innych właściwości użytkowych smarów plastycznych, takich jak: temperatura kroplenia, konsystencja i stabilność mechaniczna. W części tej Autor omawia również zastosowaną metodykę badań mikroskopowych smarów plastycznych, a także statystyczną ocenę uzyskanych wyników badań własnych. W mojej ocenie, w niniejszym rozdziale Autor w sposób wyczerpujący omówił bardzo rozbudowaną metodykę badań. Przedstawiony opis zawiera zarówno istotne schematy stanowisk badawczych, równania matematyczne niezbędne do wykonania obliczeń, a także zastosowane metody analizy statystycznej wyników badań. Jednakże, ze względu na obszerność zaplanowanych badań własnych można byłoby również zamieścić podsumowujący schemat, przedstawiający w syntetycznym ujęciu zastosowane metodyki badań, a także zakresy uwzględnionych w badaniach wielkości wejściowych oraz wyjściowych.

Rozdział 5 stanowi w mojej opinii fundamentalną część dysertacji, gdyż skupia się na przedstawieniu i analizie bardzo obszernych badań własnych dotyczących właściwości tribologicznych oraz innych właściwości smarów plastycznych z dodatkiem h-BN. W pierwszej części niniejszego rozdziału Autor prezentuje wyniki badań właściwości

heksagonalnego azotku boru, obejmujących stany chemiczne pierwiastków występujących na powierzchni próbek heksagonalnego azotku boru, strukturę krystaliczną, morfologię, rozmiar cząstek, strukturę porowatą h-BN, a także właściwości reologiczne bazowych smarów plastycznych. Na zakończenie niniejszego podrozdziału Autor przedstawia – w syntetycznej formie – interesujące podsumowanie przeprowadzonych badań w tym obszarze. Podrozdział 5.2 stanowi najbardziej obszerny rozdział w całej dysertacji, gdyż skupia się na przedstawieniu i analizie wyników badań właściwości tribologicznych smarów plastycznych. W pierwszej części niniejszego podrozdziału Autor omawia wyniki badań oporów tarcia i zużycia w ruchu posuwisto-zwrotnym na stanowisku UNMT oraz właściwości smarnościowych na aparacie czterokulowym. W tym celu przedstawia zarówno tabele, jak również wykresy współczynników tarcia i zużycia płytek dla badanych smarów plastycznych. Większość przedstawionych wyników badań w tej części rozprawy zaprezentowana została w funkcji badanych próbek smarów plastycznych (tj.  $L$ ,  $L_{A1}$ ,  $L_{A3}$ ,  $L_{A5}$ , itd.). Niewątpliwie zaletą takiej formy prezentacji wyników badań jest możliwość bezpośredniego porównania wartości analizowanych wielkości wyjściowych dla całego spektrum badanych smarów plastycznych. Z drugiej jednak strony, niniejsza forma prezentacji wyników w pewien sposób utrudnia analizę związków jakościowych i ilościowych pomiędzy rozmiarami lub stężeniem nanocząstek oraz zawartością procentową heksagonalnego azotku boru w smarach plastycznych a badanymi wielkościami wyjściowymi (np.  $\mu_{sr}$ ,  $Z_p$ ). W mojej opinii, niniejsza analiza ma fundamentalną wartość w kontekście założeń i nowatorstwa dysertacji. W związku z tym, w celu oceny niniejszych relacji można byłoby opracować dodatkowe wykresy przedstawiające badane wielkości wyjściowe w funkcji rozmiarów (lub względnie stężenia) nanocząstek h-BN oraz zawartości procentowej heksagonalnego azotku boru dla różnych typów smarów plastycznych i obciążeń podczas testów tribologicznych. Ponadto, celem uwypuklenia wpływu długości skoku ślizgowego i częstotliwości oscylacyjnej na właściwości tribologiczne smarów plastycznych warto byłoby opracować wykresy porównawcze  $\mu_{sr}$ , oraz  $Z_p$  dla badanych  $L_s$  i  $f$ . Kolejny podrozdział rozprawy przedstawia wyniki badań oporów tarcia w ruchu obrotowym na UNMT – charakterystyki Stribecka. W ramach niniejszej części rozprawy Autor przedstawił kompleksową analizę wyników badań dotyczących współczynników tarcia w funkcji prędkości obrotowych oraz wyznaczonych liczb Stribecka. Warto w tym miejscu podkreślić, iż analiza charakterystyk Stribecka dla smarów plastycznych zawierających dodatek h-BN stanowi duże novum w literaturze tematu, a tym samym podkreśla aktualność i wartość naukową prowadzonych badań. Następne podrozdziały dotyczą wyników badań mikroskopowych oddziaływania heksagonalnego azotku boru w analizowanych układach tribologicznych oraz innych właściwości użytkowych smarów plastycznych (a w tym: temperatury kroplenia, konsystencji i stabilności mechanicznej oraz badań mikroskopowych struktury smarów plastycznych).

Treść rozdziału 5 oceniam bardzo wysoko, a na uwagę zasługuje zwłaszcza logiczna, krytyczna i merytoryczna interpretacja wyników badań. Dodatkowym atutem jest również zawarcie podsumowania każdego z podrozdziałów, zawierającego syntetyczne spostrzeżenia i wnioski cząstkowe wyciągnięte z przeprowadzonych serii badawczych. Świadczy to niewątpliwie o dużej dojrzałości naukowej i umiejętności krytycznej interpretacji wyników badań przez Autora.

W rozdziale 6 rozprawy Autor prezentuje podsumowanie wyników badań własnych. Treść niniejszego rozdziału dysertacji jest również bardzo istotna w kontekście uogólnienia przeprowadzonych badań własnych a także ukazania występujących luk badawczych i novum pracy doktorskiej.

Ostatni rozdział rozprawy przedstawia wnioski końcowe oraz prognozy badawcze. W rozdziale tym Autor przedstawia w syntetycznej formie najważniejsze konkluzje z przeprowadzonych badań, a także formułuje wnioski poznawcze oraz kierunki dalszych badań. Dużym atutem niniejszego rozdziału jest zaprezentowanie przez Autora oryginalnych osiągnięć wpływających z realizacji dysertacji.

Ogólna kompozycja rozprawy zasługuje na wysoką ocenę. Warto podkreślić, iż pomimo bardzo dużej objętości rozprawy (306 stron), zagadnienia w niej zaprezentowane są bardzo spójne i w pełni zbieżne z tematyką oraz celami pracy. Autor poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały (choć w mojej opinii można byłoby wyeliminować podrozdziały wyższych rzędów). Praca zrealizowana jest również na bardzo wysokim poziomie językowym i edycyjnym, co wpływa pozytywnie na poczytność rozprawy i zrozumienie treści. W treści pracy można wyróżnić jedynie nieliczne błędy językowe i literówki (mają one znaczenie drugorzędne i nie umniejszają znaczących walorów naukowych pracy), co z punktu widzenia bardzo dużej objętości pracy, świadczy o bardzo wysokim poziomie językowym Autora.

**Podsumowując ogólną ocenę treści rozprawy chciałbym przedstawić jej najważniejsze zalety naukowe, wskazujące jednocześnie na osiągnięcia naukowe Autora:**

- nowatorska i niszowa tematyka rozprawy w obszarze badań smarów plastycznych z dodatkami nanocząstek heksagonalnego azotku boru,
- bardzo obszerny i ambitny program badań własnych obejmujący badania właściwości tribologicznych i innych właściwości użytkowych zróżnicowanych smarów plastycznych,
- innowacyjna koncepcja badawcza, ukierunkowana na kompleksową analizę właściwości fizykochemicznych heksagonalnego azotku boru z myślą o jego zastosowaniu jako dodatku do smarów plastycznych,
- określenie wpływu rodzaju smaru bazowego na skuteczność smarowania nanocząstkami i mikrocząstkami heksagonalnego azotku boru,
- logiczna, krytyczna i merytoryczna interpretacja wyników badań, świadcząca o dużej dojrzałości naukowej i umiejętności krytycznej interpretacji wyników badań przez Autora.

### **3. Uwagi do rozprawy doktorskiej**

W niniejszej części recenzji przedstawiam pewne uwagi, a także fragmenty rozprawy wymagające dodatkowych komentarzy i wyjaśnień ze strony Autora. Chciałbym zaznaczyć, iż w większości przypadków uwagi te mają charakter dyskusyjny, a nie stanowią bezpośredniego stwierdzenia niedociągnięć lub błędów.

- **Uwaga do całej treści rozprawy:** zalecane jest stosowanie kursywy w odniesieniu do symboli zmiennych przedstawionych w pracy.

- **s. 38:** w wyjaśnieniu symboli zmiennych w równaniu (1.3) nie zawarto jednostek? W przypadku innych równań, jednostki przy każdym z symboli były podawane.
- **s. 39:** zdanie: „Zastosowanie takiego układu dla smarów plastycznych o wysokiej klasie konsystencji może być jednak problemem, który wynika z trudności w ich rozprowadzeniu w wąskiej **szczelnie** występującej między stożkiem a płytką.” Jest niezrozumiałe (prawdopodobnie zawiera literówkę)?
- **s. 43:** słowo „*fluere*” jest niezrozumiałe. Czy chodziło o *fuleren*?
- **s. 56:** zdanie: „W pracach [54, 145] zastosowano jedno stężenie heksagonalnego azotku boru.” jest w mojej opinii kolokwialne (wspomniane stężenie heksagonalnego azotku boru nie zastosowano w pracach, lecz w badaniach opisanych w tych pracach).
- **s. 63:** przy podanych wartościach zużycia:  $6,80 \cdot 10^7$ ,  $1,24 \cdot 10^7$ ,  $4,33 \cdot 10^7$  nie podano jednostek?
- **s. 68:** zdanie: „Zużyta powierzchnia smarowana smarem litowym była najbardziej chropowata, natomiast powierzchnia smarowana próbką  $G_{nn4}$  była najgładsza.” zawiera kolokwialny i niepoprawny terminologicznie zwrot, tzn: „powierzchnia (...) była najgładsza”.
- **s. 68:** zdanie: „Średnie wartości współczynnika tarcia z całego zakresu badania (rys. 1.23 b) uzyskane dla smarów z dodatkiem także były mniejsze..” jest niekompletne. O jaki dodatek chodzi?
- **s. 72:** zwrot: „Chropowatość kuli przed testem wynosiła  $0,14 \mu m$ ” jest nieprecyzyjny. Jakiego parametru chropowatości dotyczyła otrzymana wartość?
- **Rozdział 3.3.4.** Z opisu zawartego w niniejszym rozdziale wynika, iż we wszystkich badaniach tribologicznych zastosowano pary cierne składające się ze stalowych elementów. Czy w opinii Autora, i w kontekście rozszerzenia zastosowań smarów plastycznych z dodatkiem h-BN, byłoby zasadnym przeprowadzenie dalszych badań na parach ciernych złożonych z innych materiałów i/lub posiadających powłoki przeciwwzużyciowe?
- **s. 101:** według Autora chropowatość  $R_a$  kul wchodzących w skład węzła tarcia wynosiła  $0,006 \mu m$ . Proszę zweryfikować czy tak niska wartość parametru chropowatości  $R_a$  (6 nm) nie jest błędem i jest osiągalna na powierzchniach tych kul?
- **s. 121:** czy pojęcie *prędkości przyrastania obciążenia w czasie testu* tribologicznego, wyrażonej w jednostce  $[N \cdot s^{-1}]$  jest terminologicznie poprawne? A może powinna to być *szybkość przyrastania obciążenia w czasie testu*?
- **s. 123:** zdanie: „Wyniki pomiarów rejestrowano z dokładnością do  $0,001 mm$ .” Proszę o weryfikację czy Autor rejestrował te wyniki z dokładnością pomiarową (która wg definicji charakteryzuje stopień zgodności wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą wielkości mierzonej i jest określana najczęściej na podstawie klasy dokładności urządzenia pomiarowego), czy chodziło raczej o rozdzielczość pomiarową?
- **s. 124:** w opisie dotyczącym pomiarów chropowatości profilometrem Hommel Tester T 1000 zabrakło informacji dotyczącej zastosowanych nastaw pomiarowych i filtracji zmierzonego sygnału.

- **s. 127:** czy pojęcie: „*prędkość próbki w układzie ciernym zestawu UNMT*” jest prawidłowe? Może chodziło o *szybkość próbki w układzie ciernym zestawu UNMT*?
- **s. 130:** zdanie: „*W momencie, gdy pierwsza kropla smaru spadała z naczynia badawczego na dno próbówki badawczej odczytywano wskazanie termometru próbki z dokładnością do 1°C.*” Proszę ponownie o weryfikację czy Autor rejestrował te wyniki ze wspomnianą powyżej dokładnością pomiarową, czy chodziło raczej o rozdzielczość pomiaru?
- **Rozdział 5. Wyniki badań eksperymentalnych.** W ramach przeprowadzonych kompleksowych badań tribologicznych Autor dobiera m. in. efektywne wartości rozmiarów nanocząstek oraz zawartości procentowej heksagonalnego azotku boru w smarach plastycznych. W mojej opinii, analizę wyników mogłoby wzbogacić przeprowadzenie wielokryterialnej optymalizacji wielkości wyjściowych wygenerowanych w badaniach tribologicznych (np. na podstawie metody Grey Relational Analysis, lub maksymalizacji funkcji użyteczności całkowitej). W ten sposób możliwe byłoby uzyskanie efektywnych wartości parametrów wejściowych smarów plastycznych (np. rozmiarów nanocząstek i zawartości procentowej heksagonalnego azotku boru), biorąc pod uwagę jednocześnie badane wielkości wyjściowe (np. współczynnik tarcia, zużycie płytki).
- **s. 181:** zdanie: „*Następny w kolejności był smar  $W_{A3}$ , który również wykazał dobre właściwości, choć jego wartość  $P_t$  była nieco niższa i wyniosła 2568,63 N.*” Czy zasadnym jest podawanie wartości obciążenia zacierającego  $P_t$  w zapisie liczbowym dwóch miejsc po przecinku? Czy zapis ten odzwierciedla dokładność pomiarową?
- **s. 195:** zdanie: „*W przeciwieństwie do badań w ruchu posuwisto-zwrotnym, gdzie smary wapniowe wykazywały większe zużycie niż litowe, w testach na aparacie czterokulowym sytuacja była odwrotna – smary wapniowe charakteryzowały się mniejszym zużyciem niż smary litowe bez dodatków.*” zostało sformułowane nieprecyzyjnie. Z jego treści wynika, iż to smary wykazują zużycie, a nie elementy węzłów tarcia (np. kule)?
- **s. 200:** zwrot: „*wypadły słabiej*” jest kolokwializmem i należałoby go wyeliminować.
- **Rozdział 5.2.3. Wyniki badań oporów tarcia w ruchu obrotowym na UNMT – charakterystyki Stribeck.** Czy Autor wykonał powtórzenia badań wpływu prędkości obrotowej/liczby Stribeck na współczynnik tarcia w zakresie takich samych parametrów wejściowych?
- **Rozdział 5.2.3. Wyniki badań oporów tarcia w ruchu obrotowym na UNMT – charakterystyki Stribeck.** Na niektórych wykresach przedstawiających przebiegi współczynnika tarcia w funkcji prędkości obrotowej (np. Rys. 5.35) można zaobserwować znaczne oscylacje współczynnika tarcia (niemonotoniczność przebiegu tej wielkości w funkcji prędkości obrotowej). Ponadto, dlaczego w przypadku badań tribologicznych dotyczących smarów wapniowych W zaobserwowano bardziej równomierny wzrost wartości współczynników tarcia w funkcji prędkości obrotowych, aniżeli w przypadku badań wykonanych dla pozostałych smarów? Co jest przyczyną niniejszych zależności?
- **s. 211, 217:** zdania: „*Dla pozostałych smarów litowych zawierających dodatek A uzyskano wyższe średnie wartości współczynnika tarcia w porównaniu do smaru*

$L_{A3}$ .” oraz „*Smar ten charakteryzował się także najmniejszą amplitudą współczynnika tarcia równą 0,0143.*” zostały w mojej ocenie sformułowane nieprecyzyjnie. Z treści tych zdań wynika, iż zmierzone wartości współczynników tarcia dotyczą smarów, a nie elementów węzłów tarcia?

- **Rozdział 5.2.4. Wyniki badań mikroskopowych oddziaływania heksagonalnego azotku boru w analizowanych układach tribologicznych.** W rozdziale tym Autor zaprezentował obrazy mikroskopowe powierzchni śladów zużycia na płytkach stalowych. Czy w opinii Autora zasadnym – z punktu widzenia pozyskania nowej wiedzy dotyczącej morfologii śladów zużycia – byłoby przeprowadzenie pomiarów topografii 3D tych powierzchni, wraz z wyznaczeniem wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni?
- **s. 246:** zwroty „*bardziej gładka*”, „*względnie gładkie*” charakteryzujące ślady powierzchni zużycia stanowią kolokwializmy.

#### 4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Szymon Senyk zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem naukowy dotyczący badania i oceny właściwości tribologicznych smarów plastycznych zawierających heksagonalny azotek boru o różnym udziale nanocząstek i mikrocząstek.

W ramach badań własnych zaproponował kompleksowe podejście do problemu badawczego obejmujące: ambitny program badań właściwości tribologicznych i innych właściwości użytkowych zróżnicowanych smarów plastycznych, a także innowacyjną koncepcję badawczą, ukierunkowaną na kompleksową analizę właściwości fizykochemicznych heksagonalnego azotku boru z myślą o jego zastosowaniu jako dodatku do smarów plastycznych. Wykonanie tych badań wymagało od Autora dużej wiedzy w obszarze tribologii oraz inżynierii materiałowej. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Szymona Senyka pt. *Eksperymentalne badania właściwości tribologicznych smarów plastycznych zawierających heksagonalny azotek boru o różnym udziale nanocząstek i mikrocząstek* w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (art. 13 ust. 1 Ustawa z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016r., poz. 882)) i może stanowić **podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora** nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być, zatem dopuszczona do publicznej obrony. Ponadto, ze względu na nowatorstwo i kompleksowość podjętego w dysertacji tematu, a także pozyskanie nowej wiedzy naukowej w obszarze tribologii, **wnioskuję o wyróżnienie jej** Autora mgr. inż. Szymona Senyka.

Szymon Wojciechowski