

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Szewczyka  
pt. *Analiza wpływu warunków smarowania na opory tarcia i topografię powierzchni  
blach stalowych głębokotłoczonych w procesie wytłaczania*

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Trzepieciński

Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Sz wajka

Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr RM-530-30-03/2024 z dnia 29.02.2024r., skierowanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz.

### OMÓWIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ (TYTUŁ, UKŁAD ORAZ TREŚĆ) ZE WSKAZANIEM UWAG MERYTORYCZNYCH ORAZ EDYTORSKICH

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marka Szewczyka pt. *Analiza wpływu warunków smarowania na opory tarcia i topografię powierzchni blach stalowych głębokotłoczonych w procesie wytłaczania* podejmuje ważne zagadnienia z obszaru inżynierii mechanicznej w zakresie kształtowania materiałów oraz czynników wpływających na efektywność tego procesu.

Dobór warunków kształtowania materiałów w procesie wytłaczania blach jest istotny, m.in. dla wykonania cienkościennych elementów, w tym również elementów o skomplikowanych kształtach. Wytłaczanie blach jest procesem złożonym, na który wpływa wiele czynników. Wpływ tych czynników można sprawdzać w drodze badań eksperymentalnych. W praktyce realizacja szczegółowo zaplanowanego programu badań jest trudna, gdyż wykonanie powtarzanych badań, przy różnych wartościach wielu czynników (parametrów) wejściowych, analiza ich wpływu na charakterystyki tribologiczne oraz czynniki (parametry) otrzymywane na wyjściu, jest czasochłonne. Zatem kompletne programy badań eksperymentalnych powinny obejmować ograniczoną liczbę czynników wejściowych oraz wąskie zakresy ich wartości, aby umożliwić osiągnięcie założonego celu.

Proces wytłaczania blach związany jest z przemieszczaniem ciał stałych względem siebie (blachy i narzędzia kształtującego). Rzeczywista powierzchnia styku ciał stałych odgrywa istotną rolę w przebiegu procesów tribologicznych, które towarzyszą procesowi wytłaczania. Na rzeczywistej powierzchni styku powstają opory tarcia, którym towarzyszy proces zużywania. Pokonanie oporów tarcia jest bardzo energochłonne, stąd istotnego znaczenia nabiera poszukiwanie rozwiązań, mających na celu ograniczenie oporów tarcia, w tym doboru

odpowiednich warunków smarowania. Przyczynia się do zmniejszenia zapotrzebowania energetycznego, jednocześnie korzystnie wpływając na środowisko.

Na tej podstawie można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Marka Szewczyka wpisuje się w obszar współcześnie prowadzonych prac naukowo-badawczych, w szczególności w obszarze kształtowania materiałów, a otrzymane wyniki badań pozwalają na poprawę efektywności procesu wytłaczania blach przez zastosowanie odpowiednich parametrów (warunków smarowania) procesu.

**Tytuł jednoznacznie odzwierciedla treść rozprawy doktorskiej, która jest aktualna, a materiał w niej przedstawiony stanowi wartościowy i oryginalny wkład mgr inż. Marka Szewczyka do dyscypliny inżynieria mechaniczna, obejmując teoretyczne, eksperymentalne oraz statystyczne analizy warunków procesu wytłaczania blach.**

Praca liczy łącznie 184 strony tekstu, obejmując: stronę tytułową (1 strona), spis treści (2 strony), wykaz symboli i oznaczeń (2 strony), wprowadzenie (2 strony), rozdział pierwszy – przegląd literatury (26 stron), rozdział drugi – cel, teza i zakres pracy (1 strona), rozdział trzeci – materiał badawczy (12 stron), rozdział czwarty – test ciągnięcia pasa blachy (13 stron), rozdział piąty – wyniki eksperymentalne oraz ich interpretacja (54 strony), rozdział szósty – zastosowanie sieci neuronowych do modelowania zjawiska tarcia (24 strony), rozdział siódmy – dodatkowe badania przeprowadzone w celu zbadania możliwości stosowania sieci neuronowych w modelowaniu zjawiska tarcia (13 stron), rozdział ósmy – podsumowanie i wnioski końcowe (3 strony), literatura (13 stron – łącznie 137 pozycji), załączniki (16 stron – 14 dokumentów), streszczenie w języku polskim (1 strona) i streszczenie w języku angielskim (1 strona).

W treści rozprawy doktorskiej przedstawiono łącznie 179 rysunków i 35 tabel, które wykonane zostały starannie i przejrzyście, ilustrując zawarte opisy oraz analizy.

**Układ oraz treść recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam w większości za prawidłowy, zgodny z przyjętymi zasadami twórczości naukowej.**

Stronę edytorską rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie, pomimo powtarzających się błędów pozamerytorycznych tj. literówki, dodatkowe spacje czy błędy stylistyczne. Dlatego, w ramach opracowanej recenzji również zwracam uwagę na niedociągnięcia edytorskie, na które mgr inż. Marek Szewczyk powinien zwracać uwagę opracowując prace naukowo-badawcze w przyszłości.

W dalszej części recenzji, po syntetycznym scharakteryzowaniu każdego rozdziału, przedstawiam uwagi krytyczne i pytania, które nasunęły się podczas lektury rozprawy doktorskiej. Do wybranych uwag/pytań mgr inż. Marek Szewczyk będzie miał możliwość ustosunkowania się podczas publicznej obrony.

**Wprowadzenie** przedstawia uzasadnienie wyboru tematyki oraz cel rozprawy doktorskiej, którym było przeprowadzenie (zgodnie z tytułem) analizy wpływu warunków smarowania na opory tarcia i topografię powierzchni blach stalowych głębokotłoczonych, co ma miejsce w procesie kształtowania materiałów. Następnie podano syntetyczny opis ośmiu rozdziałów rozprawy doktorskiej.



#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 7, zdanie „... Proces wyłaczania... na powierzchni wyłoczki występują obszary różniące się między sobą mechanizmem występującego tarcia, prędkością przemieszczania oraz wartością naprężeń i odkształceń.” Lepiej stosować określenia „rodzaj tarcia” oraz „mechanizm zużycia”.
- W treści rozdziału zdarzają się drobne błędy edytorskie – stylistyczne i literówki, np. „...pozwalających badanie...” (str.8).

Rozdział pierwszy **Przegląd literatury** składa się z sześciu podrozdziałów: system tribologiczny w procesie wyłaczania blach (1.1.), zjawiska wpływające na mechanizm tarcia w procesie kształtowania blach (1.2), wyznaczanie wartości współczynnika tarcia w procesie kształtowania blach (1.3), smarowanie w procesach kształtowania blach (1.4), stan wiedzy w zakresie badań zjawisk tribologicznych w strefie oddziaływania dociskacza (1.5), wnioski wynikające z przeglądu literatury (1.6). Rozdział prezentuje (zdaniem mgr inż. Marka Szewczyka) najważniejsze, z punktu widzenia tematyki rozprawy doktorskiej, zagadnienia. Na podstawie wniosków wysuniętych z przeglądu literatury, sformułowane zostały główne założenia programu badań, które zostały podsumowane w ostatnich akapitach tego rozdziału.

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 9, zdanie „...Dlatego chcąc dokładnie scharakteryzować rolę tarcia,... jest sprecyzowanie pojęcia systemu tribologicznego [6], składającego się z pary trącej, czyli narzędzia oraz odkształcanego metalu, ciała trzeciego występującego na styku pary trącej (np. olej, produkty zużycia) oraz szeroko pojętego otoczenia.” W systemie tribologicznym ciałem trzecim jest środek smarowy, zwany też medium, który jest obecny na wejściu jak i na wyjściu. Natomiast produkty zużycia to elementy wyjścia, a więc efekt tarcia i mechanizmu zużycia.
- Strona 9, Rys.1.1. Część schematu przedstawiająca kontakt dwóch elementów pary trącej oraz medium, powinna zostać zamknięta w tzw. czarnej skrzynce. Poza tym, w charakterystyce elementów trących powinna się znaleźć również topografia powierzchni.
- Strona 11, zdanie „Ze względu na charakter tarcia występującego pomiędzy powierzchniami trącymi, wyróżnia się cztery rodzaje tarcia ...”. Istnieją różne klasyfikacje tarcia, a przedstawione w treści pracy - jest jednym z nich, choć brakuje wymieniania tarcia fizycznie suchego w ramach tarcia suchego.
- Punkt 1.1.2. prezentuje modele współpracy powierzchni trących. Co wynika z tego opisu – brakuje akapitu podsumowującego.
- Strona 14, Rys.1.7. Błędnie zatytułowano rysunek „... rodzajów tarcia w warunkach tarcia suchego...”. Tarcie suche jest wg podanej na stronie 11 klasyfikacji rodzajem tarcia. Stąd w tytule powinno być raczej „... mechanizmów zużycia w warunkach tarcia suchego...”.
- Strona 17, punkt 1.2.2 „Struktura geometryczna powierzchni”. Opis w tym punkcie odnosi się wyłącznie do topografii powierzchni, czyli jednego z elementów struktury geometrycznej powierzchni, nie wspomniano natomiast nic na temat innych elementów, tj. kształt czy anomalie.
- Strona 20, Rys.1.12. Tytuł rysunku nie odpowiada opisowi osi; pojęcie „powierzchnia rzeczywistego styku” nie jest tożsame z „mechanizmem tarcia” (to określenie też nie jest poprawne).
- Strona 21, ostatni akapit. Podano parametry opisujące topografię powierzchni (Sa, Sq, Sp, Sv, Sz, Ssk, Sku). Brakuje charakterystyki tych parametrów oraz opisu wpływu każdego z nich na właściwości tribologiczne, w tym dotyczące tematyki rozprawy doktorskiej. Proszę podać merytoryczne uzasadnienie wyboru wskazanych parametrów.
- Strona 27, zdanie „... dlatego często w procesie kształtowania blach zachodzi mechanizm tarcia półpłynnego.”. Niepotrzebnie użyte słowo „mechanizm”.
- W podsumowaniu rozdziału brakuje jasno określonej luki badawczej.

- Przegląd literatury opracowany został na podstawie różnych publikacji, ale zasadniczo tylko w oparciu o jedną pozycję ([7] autorstwa Promotora rozprawy doktorskiej) opracowane zostały rysunki.
- W treści rozdziału zdarzają się błędy edytorskie – stylistyczne oraz interpunkcyjne, np. „odpowiadającej rzeczywiste warunki” (str.22), „stosowanie powłok powierzchni współpracujących” (str.38).

Rozdział drugi **Cel, teza i zakres pracy** prezentuje zgodnie z tytułem cel i tezę badawczą rozprawy doktorskiej. Do weryfikacji tezy badawczej przyjęto plan badań, obejmujący dziesięć etapów, stanowiących zakres pracy.

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 35, zdanie „Celem pracy było..., z wykorzystaniem opracowanego specjalnego testera do wyznaczania wartości współczynnika tarcia, ...”. Kto jest autorem opracowanego stanowiska?
- W przedstawionym planie badań brakuje odniesienia do konkretnych rozdziałów rozprawy doktorskiej oraz syntetycznego opisu kolejnych etapów.
- Poza tym, plan badań byłby bardziej czytelny, gdyby został zaprezentowany w formie schematu.

Rozdział trzeci **Materiał badawczy** składa się z trzech podrozdziałów: wybrane właściwości mechaniczne i chemiczne blach (3.1), topografia powierzchni blach (3.2), smary (3.3). Przedstawiono w nim syntetyczny opis przedmiotu badań, obejmujący charakterystykę badanych materiałów, w tym skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne przedstawione w formie tabeli (m.in. wytrzymałość na rozciąganie, umowna granica plastyczności, moduł Younga, wydłużenie) i wykresów (zależność naprężenia rzeczywistego od odkształcenia rzeczywistego). W zakresie topografii powierzchni badanych materiałów, przedstawiono charakterystykę ukształtowania powierzchni stalowych blach w postaci obrazu aksonometrycznego i krzywej udziału materiałowego oraz wygenerowanych parametrów amplitudowych. Uzupełnieniem opisu przedmiotu badań były środki smarowe, wykorzystane w badaniach tarciovo-zużyciowych.

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 44, zdanie „Ponieważ we współpracy pary czarnej..., istotne jest wyznaczenie topografii powierzchni z określonej powierzchni, a nie z odcinka elementarnego.” Jak należy rozumieć ten zapis? Jak topografia powierzchni miałyby korespondować z odcinkiem elementarnym?
- Strona 44, zdanie „Pomiar topografii zrealizowano na powierzchni o wymiarach 5 x 5 mm, realizując w czasie jego wykonywania 51 niezależnych przejść profilu chropowatości, a odległość pomiędzy poszczególnymi pomiarami wynosiła 0,1 mm.” Na jakiej podstawie przyjęto metodykę badań topografii powierzchni, w tym podane parametry pomiaru? Czy przejście profilu jest jednoznaczne z pomiarem? Czym jest „odległość pomiędzy poszczególnymi pomiarami”?
- Strona 45, Rys.3.13. Proszę podać warunki otrzymania przedstawionych na rysunku wyników pomiaru topografii powierzchni w postaci obrazów aksonometrycznych, m.in. zastosowane filtry. Z czego wynika skala w osi z, skoro parametr Sz (maksymalna wysokość powierzchni) w przypadku (a) i (b) nie przekraczają 12,5  $\mu\text{m}$ ? Poza tym, skala powinna zostać wyśrodkowana (wówczas widać na jakim poziomie formowane są wzniesienia i wgłębienia charakteryzujące daną powierzchnię).
- Strona 47, podrozdział 3.3. Brakuje podsumowania tego podrozdziału, np. komentarza do wyników zestawionych w Tabela 3.4.
- Brakuje podsumowania przedstawionych w rozdziale trzecim zagadnień, wskazując kroki podjęte w ramach kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej, nawiązujących do zakresu rozdziału trzeciego.
- W treści rozdziału zdarzają się drobne błędy edytorskie, np. separatorem dziesiętnym powinien być przecinek a nie kropka (str. 36, Tabela 3.1).



Rozdział czwarty **Test ciągnięcia pasa blachy** rozpoczyna krótkie wprowadzenie, które wyjaśnia powody zaprojektowania i zastosowania w badaniach testera do wyznaczania współczynnika tarcia w procesie wyłaczania blach. Rozdział składa się z trzech podrozdziałów: opis tribotestera (4.1), charakterystyka przeciwpróbek (4.2), metodyka pomiaru (4.3).

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 50, rysunki Rys.4.2 i Rys.4.3. Z czego wynikają podane numery przeciwpróbek? Czy są to numery elementów prezentowanych na Rys.4.1.? Ile przeciwpróbek poddano testom (badaniom tarciovo-zużyciowym)?
- Strona 51, Rys.4.4. Brakuje oznaczenia, która przeciwpróbka to element nr7, a która to element nr8.
- Strona 52, zdanie „... wykonując szereg niezależnych pomiarów oddalonych od siebie na odległość 0,1 mm.” Jak należy rozumieć pojęcie „niezależny pomiar”? Na jakiej podstawie przyjęto taki krok próbkowania, jeśli to krok próbkowania? Czy ten krok próbkowania był taki sam w obydwu osiach, czyli x i y? Brakuje opisu metodyki badań topografii powierzchni – zapis w treści rozprawy doktorskiej jest niezrozumiały.
- Strona 52, zdanie „Na podstawie tak przyjętej metody pomiaru wyznaczono wybrane przestrzenne parametry chropowatości oraz otrzymano widok izometryczny zmierzonej powierzchni.” Proszę podać warunki otrzymania przedstawionego na Rys.4.8. wyniku pomiaru topografii powierzchni w postaci obrazu aksonometrycznego, m.in. zastosowane filtry. Której przeciwpróbki dotyczy ten wynik i dlaczego podano charakterystykę powierzchni jednej z przeciwpróbek? Poza tym, skala powinna zostać wyśrodkowana (wówczas widać na jakim poziomie formowane są wzniesienia i wgłębienia charakteryzujące daną powierzchnię).
- Strona 54, zdanie „... na potrzeby badań wycięto próbki w postaci pasów blachy o wymiarach 25 mm (szerokość) x 140 mm (długość).” Dlaczego wymiary próbek opisanych w podrozdziale 4.3 różnią się od wymiarów próbek opisanych w podrozdziale 3.1 (opis przedmiotu badań – próbek)?
- Strony 57-58, rysunki Rys.4.14 i Rys.4.16. Opisy na rysunkach są nieczytelne.
- Brakuje podsumowania przedstawionych w rozdziale czwartym zagadnień, wskazując kroki podjęte w ramach kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej, nawiązujących do zakresu rozdziału czwartego.
- W treści rozdziału zdarzają się drobne błędy edytorskie - literówki.

Rozdział piąty **Wyniki eksperymentalne oraz ich interpretacja** rozpoczyna wprowadzenie, które wyjaśnia cel i zakres prowadzonych badań eksperymentalnych. Następnie, w dwóch podrozdziałach przedstawione zostały wyniki badań w obszarze wpływu wybranych parametrów badań tarciovo-zużyciowych na: wartość współczynnika tarcia (5.1) oraz ukształtowanie (topografię) powierzchni blach (5.2), z podziałem na kategorie: parametry procesu, wartości mierzone, gatunek blachy.

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 64, zdanie „Celem przedstawienia zjawiska..., próbki w postaci pasków blach zostały poddane badaniom mikroskopowym z zastosowaniem mikroskopu skaningowego firmy TESCAN MIRA3 (rys.5.10).” Brakuje informacji na temat warunków badań z wykorzystaniem SEM. Poza tym dlaczego nie podano tego rodzaju badań i urządzenia badawczego w metodyce badań?
- Strona 65, Rys.5.9. Proszę wyjaśnić, dlaczego wyniki SEM prezentowane są wyłącznie dla blachy DC06?
- Strony 66-67. Rys.5.11. Ile pomiarów wykonano dla każdej z blach? Na pierwszy rzut oka przedstawione obrazy aksonometryczne nie różnią się znacząco. Maksymalna wysokość powierzchni prezentowana na osi z jest jednakowa, na poziomie 13  $\mu\text{m}$ . Poza tym, skala powinna być wyśrodkowana, by pokazać jakie wysokości i jakie głębokości charakteryzują daną powierzchnię. Dobrze byłoby pokazać w powiększeniu fragment każdej z badanych powierzchni blach – wówczas można byłoby zauważyć jakieś różnice.
- Strony 61-64, rysunki Rys.5.1-Rys.5.8 oraz strony 69-71, rysunki Rys.5.12-Rys.5.19. Proszę wyjaśnić, jak rozumieć warunki tarcia, gdzie ciśnienie smarowania wynosi 0 MPa, m.in. w jaki sposób wprowadzamy środek smarowy do przestrzeni roboczej (tarcia)?

- Podrozdział 5.2. Proszę podać merytoryczne, w tym wynikające z własnych badań, uzasadnienie wyboru parametrów  $S_a$ ,  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$  do analizy topografii powierzchni po badaniach tarciovo-zużyciowch. Początkowo (strona 21) do oceny topografii powierzchni wskazano parametry  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_v$ ,  $S_p$ ,  $S_z$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$ , również takie parametry wygenerowano do scharakteryzowania powierzchni próbek (str.45) i przeciwpróbek (str.53), więc z czego wynika ograniczenie badań do trzech parametrów?
- Strony 82-88, rysunki Rys. 5.34-Rys.5.49. Proszę wyjaśnić, z czego wynika taka sama wartość badanych parametrów dla nacisku nominalnego równego 0 MPa? Czy to jest wartość parametrów na wejściu (przed badaniami tarciovo-zużyciowymi)?
- Strona 89, Rys.5.50. Proszę wyjaśnić, dlaczego wyniki SEM prezentowane są wyłącznie dla blachy DC06?
- Strona 89, zdanie „Występowanie zjawiska bruzdowania potwierdzają również profile topografii powierzchni przedstawione na rysunku 5.51,...”. Przede wszystkim należało użyć określenia mechanizm bruzdowania a nie zjawisko bruzdowania. Poza tym Rys.5.51 prezentuje topografie/mapy powierzchni, a nie profile.
- Strony 90-91, Rys.5.51. Dlaczego rysunek prezentuje wybrane wyniki pomiaru topografii powierzchni, co z blachą DC06, dla której prezentowano wyniki na wcześniejszych rysunkach? Poza tym skala osi z powinna być wyśrodkowana.
- Strony 96-98, rysunki Rys.5.60-Rys.5.67. Mylące są opisy osi poziomej, gdyż pokazuje ona wartości, będące wielokrotnością 0,5 MPa, a w treści rozprawy doktorskiej (dyskusja wyników) jest opis do wartości ciśnienia będących wielokrotnością 0,6 MPa.
- Strony 100-105, rysunki Rys.5.68-Rys.5.83. Uwaga podobna do poprzedniej. Poza tym opis wyników prezentowanych na rysunkach wymaga szerszej analizy.
- Strona 112, Tabela 5.4. Numeracja tabeli jest błędna. Powinno być Tabela 5.3.
- Brakuje podsumowania rozdziału, które scalałoby badania i analizę wyników badań prezentowanych w rozdziale piątym.

Rozdział szósty **Zastosowanie sieci neuronowych do modelowania zjawiska tarcia** został podzielony na dwa podrozdziały: ogólne zasady tworzenia modelu neuronowego (6.1) oraz budowa i analiza modelu neuronowego (6.2). Zaprezentowano możliwość zastosowania narzędzi statystycznych do tworzenia modeli sieci neuronowych. Przeprowadzono analizę dwóch wybranych sieci neuronowych, wskazując tą, która lepiej odzwierciedla rzeczywiste wyniki pomiarów.

#### UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Strona 134, zdania: „Wartość nacisku nominalnego..., powoduje zwiększanie wartości współczynnika tarcia.” oraz „Porównując te same parametry wejściowe,..., stwierdzono, że zmieniająca się wartość parametru  $S_a$  chropowatości powierzchni po badaniach jest przede wszystkim związana z początkową wartością tego parametru.” stanowią oczywiste wnioski.
- Brakuje podsumowania rozdziału – wniosków podsumowujących odnoszących się do zastosowania sieci neuronowych w analizie wpływu wybranych parametrów wejściowych procesu na współczynnik tarcia oraz charakterystykę ukształtowania powierzchni, opisaną odpowiednimi parametrami.
- W treści rozdziału zdarzają się błędy edytorskie – stylistyczne i literówki, np. „zostanie zastosowana sieć wielowarstwowa” (str. 125), „porównanie wartości zmierzone” (str. 138)

Rozdział siódmy **Dodatkowe badania przeprowadzone w celu zbadania możliwości stosowania sieci neuronowych w modelowaniu zjawisk tarcia** rozpoczyna krótkie wprowadzenie, które wyjaśnia cel przeprowadzenia uzupełniających badań w zakresie sieci neuronowych. Rozdział został podzielony na dwa podrozdziały, z których pierwszy (7.1) prezentuje analizę wpływu zmiennych parametrów wejściowych na jakość uczenia sieci celem



przewidywania wartości współczynnika tarcia, jako jednego z parametrów wyjściowych, natomiast drugi (7.2) – przedstawia analizę wpływu funkcji aktywacji neuronów na jakość uczenia sieci i otrzymane wyniki badań.

#### **UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA**

- Strona 139, zdanie „Badając wpływ uwzględnianych parametrów topografii powierzchni na zjawisko tarcia blach, wybrano parametry, takie jak: Sa, Sq, Sku, Ssk.” Podobnie, jak w jednej z poprzednich uwag, brakuje uzasadnienia wyboru wskazanych parametrów.
- Strona 144, zdanie Parametrem wyjściowym była chropowatość powierzchni blachy DS03 po teście ciągnięcia, wyrażona parametrami Sa, Ssk, Sku.” Podobnie, jak poprzednio, brakuje uzasadnienia wyboru wskazanych parametrów.
- Brakuje podsumowania rozdziału – wniosków podsumowujących odnoszących się do zastosowania sieci neuronowych w modelowaniu zjawiska tarcia.

W rozdziale ósmym **Podsumowanie i wnioski końcowe**, zgodnie z tytułem, przedstawiono kolejno prowadzone badania i związane z tymi badaniami najważniejsze wyniki, na podstawie których sformułowane zostały wnioski końcowe, podsumowujące rozprawę doktorską.

#### **UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA**

- Brakuje jednoznacznego stwierdzenia czy cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty oraz czy teza została potwierdzona.
- Brakuje opisu kierunków dalszych prac naukowo-badawczych w ramach podjętej tematyki rozprawy doktorskiej.

**Literatura** obejmuje zestawienie łącznie 137 pozycji, w tym 3 książki, 5 norm, 2 strony internetowe oraz 127 artykułów naukowych. Wśród przytoczonych pozycji literaturowych są 16 pozycje opracowane w języku polskim, 121 pozycji w języku angielskim; 26 pozycji zostało opublikowanych w ciągu ostatnich 5 lat (od roku 2020). **Dobór literatury uważam za poprawny i w miarę aktualny. Na uwagę zasługuje powołanie się w rozprawie doktorskiej na opracowania współautorskie z udziałem mgr inż. Marka Szewczyka.**

#### **GŁÓWNE MANKAMETY ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

W recenzowanej rozprawie doktorskiej odczuwalny jest brak schematu planu badań, ilustrującego kolejne etapy badań własnych, nawiązujące do tego schematu w kolejnych rozdziałach i podrozdziałach rozprawy doktorskiej.

Brakuje podsumowania każdego rozdziału rozprawy doktorskiej, który stanowiłby konkluzje rozważań danego rozdziału i zapewniałoby płynne przejście do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej – etapu planu badań.

Brakuje również rozdziału, przedstawiającego badane materiały, stanowiska badawcze oraz metody i narzędzia analizy wyników, czyli rozdziału zatytułowanego „Przedmiot i metodyka badań”, w którym ww. informacje powinny się znaleźć.

Pan mgr inż. Marek Szewczyk nie wskazał kierunków dalszych prac w ramach podjętej tematyki rozprawy doktorskiej, które można byłoby rozwijać, a które z pewnością nie zostały wyczerpane przy realizacji rozprawy doktorskiej.

## PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana **rozprawa doktorska pt. *Analiza wpływu warunków smarowania na opory tarcia i topografię powierzchni blach stalowych głębokotłoczonych w procesie wytłaczania***, dotyczy zagadnień kształtowania i wpływu różnych czynników na charakterystyki tribologiczne (współczynnik tarcia) oraz charakterystykę powierzchni (topografię powierzchni) blach stalowych głębokotłoczonych. **Przedstawiony materiał badawczo-analityczny jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Marka Szewczyka, opracowanym na odpowiednim poziomie merytorycznym, który wpisuje się w zakres dziedziny *nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna*.**

Rozważania teoretyczne oraz prace doświadczalno-analityczne podjęte przez mgr inż. Marka Szewczyka pozwoliły na osiągnięcie celu naukowo-badawczego rozprawy doktorskiej, uzupełniając wiedzę w obszarze efektywności kształtowania blach stalowych, poprzez poznanie wpływu parametrów procesu wytłaczania, m.in. na opory tarcia i jakość powierzchni wytworzonych przedmiotów.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej badania, modelowanie, analizy i dyskusja wyników oraz wnioskowanie wskazują, że **mgr inż. Marek Szewczyk orientuje się w literaturze przedmiotu. Posiada zarówno wiedzę teoretyczną i doświadczenie badawcze niezbędne do formułowania oraz rozwiązywania problemów naukowych, jak również realizowania zaplanowanych prac eksperymentalno-analitycznych w ramach podjętej tematyki.**

Na podkreślenie zasługuje **konsekwencja w realizacji planu badań, wymagająca od mgr inż. Marka Szewczyka dobrej organizacji pracy, umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz umiejętności analitycznych.** Przedstawiony w rozprawie doktorskiej zakres badań jest uzasadniony, stanowiąc przyczynek do ich kontynuowania w ramach dalszej działalności naukowo-badawczej mgr inż. Marka Szewczyka.

Niektóre z przedstawionych w niniejszej recenzji uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na ocenę merytoryczną poziomu opracowania rozprawy doktorskiej. Zatem **rozprawę doktorską mgr inż. Marka Szewczyka w ogólnym odbiorze oceniam pozytywnie.**

Na podstawie przedstawionej recenzji **stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marka Szewczyka pt. *Analiza wpływu warunków smarowania na opory tarcia i topografię powierzchni blach stalowych głębokotłoczonych w procesie wytłaczania* spełnia wymagania stosowanej Ustawy, zatem może stanowić podstawę do nadania Autorowi pracy stopnia naukowego doktora w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna*. Podsumowując, wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Marka Szewczyka do publicznej obrony w ramach dyscypliny naukowej *inżynieria mechaniczna*.**

