

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

**1. Omówienie recenzowanej pracy**

Opracowana przez mgra inż. Marka Szewczyka rozprawa doktorska dotyczy badania wpływu nacisku przeciwpróbek i ciśnienia smarowania różnymi olejami na wartość współczynnika tarcia i wybrane parametry chropowatości dla czterech stali głębokotłocznych (DC03, DC04, DC05, DC06) przy zastosowaniu testu ciągnięcia pasa blachy. Rezultaty prac badawczych osiągnięte zostały głównie na podstawie badań doświadczalnych i uzupełniono je analizami przy użyciu sztucznych sieci neuronowych.

Wyniki badań przedstawione w rozprawie związane są z procesem wytłaczania, w którym tarcie odgrywa istotną rolę. Negatywna rola tarcia polega, jak w każdym przypadku technicznym, na zwiększeniu zużycia energii, zmniejszeniu trwałości elementów tłoczni, generowaniu niejednorodności naprężeń i odkształceń, a tym samym różnicowaniu właściwości wyrobów. Pozytywny skutek ma oddziaływanie sił tarcia pomiędzy odkształcaną blachą a stemplem, dzięki czemu odciążany jest niebezpieczny przekrój wytłoczki i zwiększa się wartość siły potrzebnej do wywołania pęknięcia wyrobu. Zastosowany w rozprawie test ciągnięcia pasa blachy symuluje warunki kontaktu kształtowanego materiału i dociskacza. Minimalizacja sił tarcia w tym obszarze wpływa na zmniejszenie naprężeń osiowych w wytłoczce, dzięki czemu siła wytłaczania jest mniejsza, a tym samym obniża się ryzyko wystąpienia pęknięcia. Prace badawcze zmierzające do zmniejszenia sił tarcia w obszarze działania dociskacza są prowadzone od dawna, jednak ciągły rozwój metod badawczych i materiałów umożliwia uzyskiwanie nowych, lepszych rezultatów, co uzasadnia realizację badań w tym zakresie. Podjęta w rozprawie tematyka badawcza jest zatem bez wątpienia aktualna i bardzo ważna zarówno w aspekcie naukowym, jak też użytkowym.

Praca napisana jest w języku polskim, liczy 200 stron i podzielona jest na 8 rozdziałów, uzupełnionych spisem treści, wykazem symboli i oznaczeń, wprowadzeniem, bibliografią, załącznikami oraz streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Wprowadzenie stanowi zasygnalizowanie tematyki badawczej. Autor podał cel zrealizowanych badań, którego brzmienie jest tożsame z tytułem rozprawy. W drugiej części wprowadzenia przedstawił krótkie streszczenie pracy.

Rozdział pierwszy zawierający studium literatury podzielony jest na sześć podrozdziałów. W pierwszym z nich zamieszczono krótki opis systemu tribologicznego w procesie wytłaczania blach. Podano czynniki wpływające na zjawisko tarcia oraz przedstawiono wpływ budowy krystalograficznej metali na tarcie. Scharakteryzowano również cztery rodzaje tarcia: technicznie suche, płynne, graniczne i mieszane.

W drugim podrozdziale rozwinięto opis rodzajów tarcia, które można określić na podstawie liczby Herseya  $H$  oraz krótko podano informacje dotyczące zmiany oporów tarcia w zależności od smarowania hydrostatycznego i hydrodynamicznego oraz od tzw. klina smarowego i kieszeni smarujących. Następnie przeanalizowano wpływ rzeczywistej powierzchni styku oraz chropowatości na wartość oporów tarcia, a także odniesiono się do parametrów stosowanych do opisu struktury geometrycznej powierzchni, wskazując zagrożenia wynikające ze stosowania tych parametrów w sposób wybiórczy.

W podrozdziale trzecim dokonano ogólnego podziału metod wyznaczania współczynnika tarcia na metody symulujące kinematykę procesu kształtowania blach oraz symulujące zjawiska tribologiczne, a także na metody pośrednie i bezpośrednie. Więcej miejsca poświęcono metodzie ciągnięcia pasa blachy bez i z redukcją grubości.

W kolejnym podrozdziale przedstawiono wymagania, jakie powinny spełniać smary oraz omówiono rodzaje stosowanych smarów. Ponadto na podstawie wybranych publikacji wykonano krótkie zestawienie porównawcze wyników badań dotyczących olejów naturalnych jadalnych i niejadalnych.

W podrozdziale piątym opisano wyniki badań uzyskanych głównie w testach ciągnięcia pasa blachy, symulujących zjawiska tribologiczne w strefie oddziaływania dociskacza przy wytłaczaniu. Na podstawie wyników opublikowanych przez sześć różnych zespołów badawczych przeanalizowano wpływ różnych parametrów testu (gatunku smaru, gatunku materiału blachy i narzędzi, nacisków powierzchniowych, temperatury, orientacji kierunku walcowania blachy, wstępnego odkształcenia blachy, lepkości kinematycznej, prędkości poślizgu) głównie na wartość współczynnika tarcia, ale również na efektywność smarowania i chropowatość.

Ostatni podrozdział o tytule „Wnioski wynikające z przeglądu literatury” zawiera raczej podsumowanie wybranych treści podanych w poprzednich podrozdziałach. Autor odniósł się do niektórych zagadnień, takich jak stosowanie różnych środków smarnych w celu poprawy

warunków kształtowania, wpływ środków smarnych na środowisko oraz zalety testu ciągnięcia pasa blachy symulującego warunki tribologiczne w obszarze oddziaływania dociskacza. Poruszył również nowe zagadnienie dotyczące stosowania powłok na narzędziach. W podrozdziale tym o objętości 1,5 strony przytoczył 32 nowe pozycje źródłowe, co sugeruje, że nie jest to w pełni analiza własna poprzednich treści.

W ogólnej ocenie rozdziału należy stwierdzić, że zamieszczono w nim dużo informacji związanych z warunkami tribologicznymi występującymi w procesach wyłaczania. Często są one podane w sposób bardzo skrótowy i wybiórczy. Daje się też odczuć brak komentarza nt. związku przytaczanych treści z tematem pracy oraz brak uzasadnienia podjęcia tematu pracy w kontekście aktualnego stanu wiedzy w literaturze specjalistycznej. Niezależnie od uwag krytycznych rozdział pierwszy zawiera ciekawe informacje w ilości wystarczającej do przedstawienia osiągnięć naukowych związanych z tematyką pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono cel, tezę i zakres pracy. Jako cel pracy, który w stosunku do podanego już wcześniej we wprowadzeniu został rozwinięty, przyjęto „zbadanie wpływu warunków smarowania na współczynnik tarcia i topografię powierzchni blach stalowych głębokotłocznych poddanych oddziaływaniu dociskacza w procesie wyłaczania, z wykorzystaniem opracowanego specjalnego testera do wyznaczania wartości współczynnika tarcia, zwłaszcza blach w warunkach smarowania ciśnieniowego”. Wydaje się, że zamiast „zbadanie wpływu ...” trafniejszym sformułowaniem byłoby „określenie wpływu ...”. Niezależnie od tego cel jasno informuje o kierunku zaplanowanych badań w ramach rozprawy.

W tezie założono, że zastosowanie smarowania z wymuszonym ciśnieniem płynnego smaru umożliwi zmniejszenie wartości współczynnika tarcia w porównaniu do smarowania konwencjonalnego. Teza pracy sformułowana jest w sposób zrozumiały i ma bezpośredni związek z tematem rozprawy. Oceniam ją jako prawidłową.

Zakres pracy przedstawiono w 10 punktach, informujących o kolejnych etapach prac badawczych.

W rozdziale trzecim scharakteryzowano właściwości blach ze stali niskowęglowych o oznaczeniach DC03, DC04, DC05 i DC06 oraz smarów Naftochem S100 plus i Naftochem S300 stosowanych w badaniach. Podano skład chemiczny wymienionych stali oraz wyniki statycznej próby jednoosiowego rozciągania próbek wyciętych pod kątem  $0^\circ$  i  $90^\circ$  w stosunku do kierunku walcowania blachy: wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ , umowną granicę plastyczności  $R_{0,2}$ , moduł Younga  $E$  oraz wydłużenie  $A_{50}$ . Na podstawie wykresów rozciągania wyznaczono zależności opisujące krzywe umocnienia dla każdego badanego

przypadku. Należy ocenić pozytywnie samodzielne wykonanie tych badań, a nie przyjęcie wskaźników na podstawie np. ogólnodostępnych informacji lub atestów. W kolejnej części rozdziału przedstawiono wyniki pomiarów wskaźników chropowatości powierzchni:  $Sq$ ,  $Ssk$ ,  $Sku$ ,  $Sp$ ,  $Sv$ ,  $Sz$ ,  $Sa$  oraz opracowane krzywe udziału materiałowego blach w stanie dostawy. W ostatniej, krótkiej części rozdziału podano lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C (na podstawie danych producenta) i zmierzoną przez Autora w temperaturze 20°C dwóch smarów: S100 plus i S300. Zabrakło jednak podstawowych informacji o rodzaju i składzie badanych smarów.

W ogólnej ocenie informacje podane w rozdziale trzecim o zastosowanych blachach oraz smarach są wystarczające w aspekcie tematyki pracy. W mojej ocenie w rozdziale tym powinny znaleźć się również treści zawarte w podrozdziale 4.2 dotyczące składu chemicznego, twardości i topografii powierzchni materiału przeciwpróbek.

W rozdziale czwartym przedstawiono stanowisko i metodykę pomiaru współczynnika tarcia w teście ciągnięcia pasa blachy. W podrozdziale pierwszym opisano budowę tribotestera własnej konstrukcji umożliwiającego podawanie środka smarnego pod ciśnieniem. Następnie krótko scharakteryzowano przeciwpróbki użyte w badaniach. W ostatnim podrozdziale podano wartości parametrów testu, z których najważniejszymi, zmienianymi w kolejnych próbach był nacisk przeciwpróbek na blachę oraz ciśnienie smarowania. Przedstawiony został przebieg pomiarów i sposób archiwizacji wyników na podstawie przykładowego testu. Oceniając rozdział należy podkreślić, że zawiera opis jednego z istotnych osiągnięć Kandydata, jakim jest skonstruowane i zbudowane stanowisko pomiarowe oraz oprogramowanie do rejestracji i przetwarzania danych. Bardzo pozytywnie oceniam złożenie zgłoszenia patentowego w tym zakresie.

W rozdziale piątym zamieszczono obszernie wyniki badań oraz ich analizę. W pierwszym podrozdziale przedstawiono wyznaczone wartości współczynnika tarcia w zależności od nacisku przeciwpróbek oraz ciśnienia oleju smarującego dla czterech badanych blach i dwóch smarów. Zaprezentowano również topografię blach po testach w celu zobrazowania odkształceń plastycznych wierzchołków nierówności powierzchni. Dokonano analizy wpływu ciśnienia smarowania dla poszczególnych wartości nacisku przeciwpróbek. Zabrakło niestety jednoznacznej konkluzji nawiązującej bezpośrednio do tezy pracy, że zastosowanie wymuszonego ciśnienia smarowania we wszystkich badanych przypadkach spowodowało zmniejszenie współczynnika tarcia w stosunku do przypadków smarowania bez ciśnienia, niezależnie od gatunku blachy, gatunku smaru i nacisku przeciwpróbek. W dalszej części podrozdziału przedstawiono wyniki testów bez smarowania oraz wpływ parametrów

testu i gatunku smaru na tzw. współczynnik efektywności smarowania dla poszczególnych prob. Przeanalizowano szczegółowo dla każdego przypadku zachodzące zależności i sformułowano wnioski, że: i) na efektywność smarowania wpływa gatunek materiału, ii) zaobserwowano brak istotnego wpływu rodzaju zastosowanego oleju na efektywność smarowania. Znowu daje się odczuć brak odnotowania ważnych w aspekcie tezy, ogólnych konkluzji, że współczynnik efektywności smarowania maleje wraz ze zmniejszeniem ciśnienia smarowania oraz zwiększeniem nacisku przeciwpróbek. W ostatniej części pierwszego podrozdziału przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych rezultatów, z której wynika, że wszystkie analizowane czynniki mają istotny wpływ na wartość współczynnika tarcia. Przedstawiono również porównanie wartości współczynników tarcia zmierzonych z przewidywanymi i na tej podstawie stwierdzono dobrą zbieżność dla testów ze smarowaniem i dużą rozbieżność dla testów bez smarowania.

W podrozdziale drugim zaprezentowano wyniki badań dotyczące topografii powierzchni. Przeprowadzono analizę wpływu nacisku przeciwpróbek oraz ciśnienia smarowania na wybrane parametry chropowatości: średnie arytmetyczne odchylenie wysokości nierówności powierzchni od płaszczyzny odniesienia  $Sa$ , współczynnik skośności  $Ssk$ , współczynnik skupienia (kurtozę)  $Sku$ . Badania wykonano dla wszystkich czterech gatunków blachy oraz dwóch rodzajów smarów. Przy interpretacji wyników skupiono się na omówieniu zależności występujących w poszczególnych testach. Przedstawiono również wyniki analizy statystycznej, z której wynika, że na parametr  $Sa$  nie wpływa wartość nacisku przeciwpróbek, natomiast na parametry  $Ssk$  i  $Sku$  nie ma wpływu wartość ciśnienia smarowania. Z przeprowadzonych analiz wnioskowano również, że występuje duży błąd pomiędzy wartościami zmierzonymi i przewidywanymi badanych parametrów, co uniemożliwia opisanie uzyskanych danych funkcją, za pomocą której można skutecznie prognozować wartości parametrów.

Zebrane w tej części rozprawy wyniki stanowią bogaty materiał badawczy w zakresie wpływu nacisku przeciwpróbek, ciśnienia smarowania, gatunku materiału blachy oraz gatunku smaru na wartość współczynnika tarcia oraz wybranych parametrów chropowatości powierzchni. Zastosowane nowoczesne urządzenia pomiarowe i prawidłowa metodyka badawcza przekonują o dużej wiarygodności prezentowanych wyników.

W kolejnym szóstym rozdziale przedstawiono budowę i działanie modelu neuronowego w środowisku programu Statistica, służącego do wyznaczania wybranych parametrów. Opisano ogólne zasady tworzenia sztucznej sieci neuronowej oraz podano charakterystykę sieci budowanej, w której ilościowymi zmiennymi wyjściowymi były

współczynnik tarcia oraz parametr  $Sa$  określający chropowatość blach po teście. Badaniom poddano dwa dostępne typy sieci: perceptron wielowarstwowy (MLP) oraz sieć o radialnych funkcjach bazowych (RBF). Na podstawie porównania dokładności wyników generowanych przez obie sieci, do dalszych badań wybrano sieć o strukturze MLP 16-26-2, którą użyto do prognozowania wartości współczynnika tarcia i parametru  $Sa$  blachy po teście. Wyznaczone wartości zestawiono z wartościami zmierzonymi wykorzystując wykresy powierzchniowe i omówiono ponownie wpływ parametrów testu na dwa parametry wyjściowe.

W ocenie rozdziału należy stwierdzić, że zawiera on interesujące wyniki w zakresie budowy i wykorzystania sieci neuronowej do prognozowania wartości współczynnika tarcia i parametru  $Sa$  blachy po teście. Bardzo dobra zgodność wartości obliczonych ze zmierzonymi, występująca w większości badanych przypadków potwierdza prawidłowość przyjętych założeń i uzasadnia stosowanie sieci neuronowych w analizowanym zagadnieniu badawczym.

W rozdziale siódmym przedstawiono dwa przykłady wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania wybranych parametrów badawczych. W pierwszym z nich dokonano analizy wpływu zmieniających się parametrów wejściowych (nacisku przeciwpróbek, lepkości kinematycznej oleju oraz ciśnienia smarowania) na wartość współczynnika tarcia. Dodatkowo w modelach neuronowych uwzględniono wpływ parametrów chropowatości ( $Sa$ ,  $Sq$ ,  $Sku$ ,  $Ssk$ ) na zjawisko tarcia. Na podstawie porównania zmierzonej wartości współczynnika tarcia z wartością prognozowaną stwierdzono bardzo dobrą zgodność, co potwierdziło dobrą jakość sieci neuronowej.

W drugim prezentowanym przykładzie analizie poddano wpływ funkcji aktywacji neuronów na dokładność uzyskiwanych wyników. Badania przeprowadzono dla blachy w gatunku DC03. Danymi wejściowymi były: lepkość kinematyczna oleju, ciśnienie smarowania oraz miary statystyczne siły nacisku przeciwpróbki, natomiast parametrami wyjściowymi były wskaźniki chropowatości blachy po teście:  $Sa$ ,  $Ssk$  i  $Sku$ . W konkluzji stwierdzono, że model neuronowy z dobrą dokładnością prognozował wartości parametrów  $Sa$  i  $Sku$ , natomiast małą zgodność z eksperymentem uzyskano dla parametru  $Ssk$ , co uzasadniono nieodpowiednim wykładniczym typem funkcji aktywacji.

Przedstawione w rozdziale przykłady potwierdziły celowość stosowania sieci neuronowych do prognozowania różnych parametrów związanych z tarcieniem.

W ostatnim rozdziale stwierdzono, że wyniki badań potwierdziły słuszność postawionej tezy, a także zamieszczono wnioski dotyczące wpływu nacisku przeciwpróbek, ciśnienia smarowania oraz rodzaju środka smarnego na wartość współczynnika tarcia i wybrane parametry chropowatości powierzchni blachy po teście, a także wnioski dotyczące

istotności wpływu wymienionych parametrów oraz zasadności zastosowania sztucznych sieci neuronowych do ich analizy. Wnioski podane są w formie opisowej, rozbudowanej, co sprawia, że są mało przejrzyste. Stwierdzenie o słuszności tezy pojawiło się w pierwszym akapicie, natomiast zasadnicze stwierdzenie świadczące o tym, tj., że stosowanie smarowania z wymuszonym ciśnieniem zmniejsza współczynnik tarcia pojawia się dopiero w ostatnim akapicie rozdziału. Dodatkowo Autor twierdzi, że „... najintensywniejszą zależnością, którą udało się zaobserwować, jest wpływ stosowania smarowania na wartość współczynnika tarcia ...” co jest obserwacją oczywistą. Niezależnie od uwag krytycznych należy stwierdzić, że wszystkie wnioski korespondują z treścią rozprawy.

Bibliografia zawiera 137 pozycji źródłowych opublikowanych w czasopismach, materiałach konferencyjnych i opracowaniach książkowych, w tym 1 zgłoszenie patentowe, 5 norm i 2 źródła internetowe. Prawie 90% to pozycje obcojęzyczne, ok. 50% opracowań pochodzi z ostatnich 10 lat, co należy ocenić pozytywnie. Wykorzystane publikacje są związane z tematyką rozprawy, w mojej ocenie są w dużej części nowe i w zupełności wystarczające.

## **2. Ocena osiągnięć**

Praca ma charakter głównie doświadczalny i dotyczy badania warunków tarcia w obszarze oddziaływania dociskacza w procesie wytłaczania przy użyciu testu ciągnięcia pasa blachy. Kandydat do stopnia doktora podjął się określenia wpływu ciśnienia smarowania dwoma różnymi smarami oraz nacisku przeciwpróbek na wartość współczynnika tarcia i wybrane parametry chropowatości powierzchni dla czterech wytypowanych stali głębokotłocznych. Postawił tezę, że zastosowanie smarowania z wymuszonym ciśnieniem spowoduje zmniejszenie tarcia w porównaniu do smarowania konwencjonalnego i na podstawie uzyskanych rezultatów wykazał jej słuszność.

Praca napisana jest poprawną polszczyzną i wykonana starannie pod względem edycyjnym. Błędy gramatyczne i uchybienia edycyjne prawie nie występują, co wyróżnia rozprawę spośród wielu ocenianych przeze mnie prac. Nieliczne niedociągnięcia zaznaczono w tekście i zostaną przekazane Autorowi. Układ rozdziałów jest prawidłowy, stanowi logiczną, związaną z tematem rozprawy całość.

Przy realizacji rozprawy Kandydat do stopnia doktora wykazał się: gruntowną wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu rozprawy, należytyym doбором metodyki badań, umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu oraz wykorzystania sztucznych sieci

neuronowych, biegłością prowadzenia pomiarów według procedur podanych w normach, umiejętnością projektowania i znajomością zasad wykonania rysunku technicznego.

W badaniach wykorzystał dobrej klasy sprzęt pomiarowy i oprogramowanie, m.in.: profilometr Hommel-Etamic T8000RC, mikroskop skaningowy TESCAN MIRA3, twardościomierz Vickers serii Qness 60 EVO, maszynę wytrzymałościową Zwick/Roell Z100 z ekstensometrem, oprogramowanie Statistica. Sposób wykorzystania metod badawczych oraz jakość oceny i interpretacji uzyskanych wyników świadczy o Jego dobrym przygotowaniu do prowadzenia badań naukowych. Należy podkreślić, że zgromadzony materiał badawczy jest obszerny, co wymagało dużego nakładu pracy.

Do osiągnięć Kandydata do stopnia doktora należy zaliczyć:

- uzyskanie obszernych wyników badań w zakresie określenia wpływu ciśnienia smarowania olejem Naftochem S100 plus i S300 oraz nacisku przeciwpróbek na wartość współczynnika tarcia i wybrane parametry chropowatości powierzchni blach głębokotłocznych w gatunku DC03, DC04, DC05 i DC06 przy zastosowaniu testu ciągnięcia pasa blachy,
- wykazanie, że podawanie smaru pod ciśnieniem zmniejsza wartość współczynnika tarcia w stosunku do smarowania konwencjonalnego, co może być wykorzystane w procesie wytłaczania do zmniejszenia tarcia pomiędzy dociskaczem i wytłaczaną blachą,
- opracowanie koncepcji, zaprojektowanie i zbudowanie oryginalnego tribotestera z płynną regulacją siły docisku i ciśnienia smaru, chronionego zgłoszeniem patentowym,
- opracowanie modeli neuronowych i prognozowanie z dobrą dokładnością wartości współczynnika tarcia i wybranych parametrów chropowatości,
- wyznaczenie własności mechanicznych i krzywych umocnienia blach w gatunku DC03, DC04, DC05, DC06.

Podsumowując należy stwierdzić, że Autor rozprawy osiągnął postawiony cel i dowiódł słuszności tezy. Wykazał się wiedzą z obszaru tribologii oraz z zakresu przeróbki plastycznej i badań jakościowych. Potrafił sformułować i kompleksowo rozwiązać problem naukowy, co potwierdza Jego umiejętność prowadzenia pracy badawczej. Rezultaty opisane w rozprawie stanowią opracowanie odrębnego zagadnienia naukowego mieszczącego się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Lektura rozprawy nasuwa również uwagi, niektóre o charakterze dyskusyjnym lub wynikające z ciekawości.

1. Jak wyjaśnić wyniki badań dla stali DC06 (różne od pozostałych gatunków blachy), w których wyznaczona wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  jest większa dla próbek



wyciętych pod kątem  $90^\circ$  od próbek wyciętych pod kątem  $0^\circ$  w stosunku do kierunku walcowania.

2. Dlaczego w teście ciągnięcia pasa blachy zastosowano tylko próbki wycięte pod kątem  $0^\circ$  w stosunku do kierunku walcowania? W rzeczywistym procesie orientacja kierunku walcowania blachy w stosunku do kierunku przemieszczania się blachy względem dociskacza jest różna. Czy zdaniem Kandydata do stopnia doktora wyniki badań dla próbek wyciętych pod innym kątem, np.  $90^\circ$  wykazywałyby znaczące różnice w stosunku do kąta  $0^\circ$ ?
3. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że parametrem istotnie wpływającym na wartość współczynnika tarcia jest gatunek materiału (str. 78). Należy zauważyć, że zawartość wszystkich składników stopowych proporcjonalnie maleje dla kolejnych gatunków blachy poczynając od DC03 kończąc na DC06. Natomiast zależność wartości współczynnika tarcia od gatunku materiału, przedstawiona na rys. 5.29 (str. 79) nie jest monotoniczna, tzn. zmniejszanie się zawartości składników stopowych nie powoduje zmniejszania lub zwiększania wartości współczynnika tarcia. Zachodzi zatem pytanie, czy to gatunek materiału (czyli skład chemiczny) wpływa na zjawisko tarcia, czy też inne czynniki, np. topografia powierzchni blachy?
4. Na rys. 5.2 (str. 62) wartość współczynnika tarcia dla blachy ze stali DC03 w warunkach smarowania olejem S300, przy ciśnieniu smarowania  $p_\theta=0$  MPa i nacisku przeciwpróbki  $p_n=2$  MPa przekracza wartość 0,15, natomiast na rys. 5.13 (str. 69) dla tych samych warunków wartość ta wynosi ok. 0,1. Skąd wynika ta różnica?
5. Dlaczego do analizy zmiennych parametrów wejściowych zastosowano sieć o radialnych funkcjach bazowych RBF (str. 139), skoro w świetle wyników badań przedstawionych w rozdziale szóstym stwierdzono, że lepszą korelację wartości zmierzonych i prognozowanych dla stosowanego testu zapewnia sieć wielowarstwowa MLP.?
6. Kilukrotnie stosowany jest termin „siła docisku” a podawaną jednostką tej siły jest MPa (np. str. 31, 33).
7. Zależność opisująca wartość współczynnika tarcia w teście ciągnięcia pasa blachy została podana dwukrotnie (wzór 1.9 na str. 25 i wzór 4.1 na str. 54).

### 3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marka Szewczyka zawiera oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego dotyczącego analizy wpływu smarowania

pod ciśnieniem na opory tarcia i chropowatość powierzchni blach stalowych głębokotłocznych. Kandydat do stopnia doktora wykazał należyłą wiedzę w tematyce rozprawy oraz umiejętność prowadzenia badań naukowych. Jego osiągnięcia wymienione w rozdziale 2. recenzji stanowią zauważalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Biorąc pod uwagę duży zakres wykonanych prac, głównie doświadczalnych, jakość wykonanych badań oraz wartość naukową i użyteczną uzyskanych wyników rozprawę oceniam pozytywnie.

Na podstawie przedstawionej recenzji stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Marka Szewczyka spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*A. Goutan*