

30 sierpnia 2022 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej
mgra inż. Tadeusza Sawickiego

pt.

„Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 08.07.2022 roku (nr W10/RDND07/34/2022).

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do opiniowania rozprawa doktorska, nie należy do typowych tego typu prac a o jej specyfice decyduje kilka aspektów. Przede wszystkim ma ona charakter projektowy i taka forma jest dopuszczona w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w art. 187 pkt. 3 – „Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej”. Ponadto jest ona podsumowaniem wieloletnich doświadczeń zawodowych i rozwiązań projektowych Doktoranta, wdrożonych w firmie APC Presmet. Kolejną specyficzną cechą rozprawy jest twórczy charakter oraz to, że Autor koncepcji projektu osadził problematykę w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, podpierając się publikacjami naukowymi oraz patentami.

Opiniowana praca jest odpowiedzią na realne potrzeby firmy APC Presmet, z którą od wielu lat współpracuje Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, reprezentowany przez promotora rozprawy doktorskiej Pana dr hab. inż. Przemysława Moczko, prof. PWr. Jej głównym wątkiem jest nie tylko projekt modernizacji maszyny technologicznej firmy SKODA typu WD200B w postaci wielkogabarytowej wiertarko-frezarki ale przede wszystkim na podstawie projektu jej rzeczywista modernizacja i rozszerzanie jej podstawowych cech tj. funkcjonalności, optymalności, trwałości.

Funkcjonalność to poprawne wykonanie przez maszynę operacji technologicznej z założoną dokładnością, na którą bezpośredni wpływ ma mechanizm napędowy obrabiarki. Wyeliminowanie luzu międzyzębnego, szczególnie w pozycjonowaniu zmiany

kierunków obrotów, ma wpływ na wskaźniki pracy maszyny takich jak wydajność czy sprawność, a te są związane z kolejną podstawową cechą maszyny tj. optymalnością.

Optymalność to zapewnienie jak najlepszego wykonania przez maszynę operacji technologicznej w określonych warunkach ze względu na założone kryterium, w tym wypadku dokładności pozycjonowania.

Co jest ważne w projektach, aby później, już okresie eksploatacji, doprowadzić do jej prawidłowej pracy przy wykonywaniu przez nią operacji technologicznych przy danych obciążeniach, a więc dbanie o kolejną cechę podstawową maszyny tj. trwałość.

Wspomniane rozszerzenie trzech wyżej wymienionych cech podstawowych maszyny technologicznej wiąże się również ze zmianą jej podstawowych parametrów technicznych, wyznaczających pole pracy narzędzia roboczego w płaszczyznach poziomej i pionowej. I tak w płaszczyźnie poziomej dołączenie dodatkowego łoża i zwiększenie zakresu pracy o 7500 mm a w płaszczyźnie pionowej zwiększenie zakresu pola pracy o dodatkowe 1000 mm. Przy tak dużej maszynie technologicznej trzeba dodatkowo rozwiązać wiele problemów konstrukcyjnych związanych z pasowaniami, prostoliniowością łoża i jego napędu, umocowaniem uchwytu narzędzia roboczego i jego napędu czy wpływem temperatury, pokonaniem bezwładności mas oraz możliwymi do wystąpienia luzami we wszystkich połączeniach ruchomych. Zagadnienie poruszane w rozprawie jest o tyle istotne, że dotyczy projektu rozszerzenia funkcjonalności maszyny wyprodukowanej w roku 1972, a fizyczne udoskonalenie maszyny według koncepcji i projektu Autora rozprawy zostało wykonane w roku 2011. Co warto podkreślić, zmodernizowana maszyna technologiczna znacznie poprawiła pozycjonowanie narzędzia roboczego, a odchyłka w kierunku wzdłużnym roboczym zmniejszyła się o 0,2 mm a w kierunku nawrotnym o 0,3 mm. Dodatkowo w okresie od 2011 do 2019, odchyłka pozycjonowania zmieniła się tylko o 0,1 mm i wynosi tyle samo w obu kierunkach pracy narzędzia roboczego, na długości łoża obrabiarki wynoszącego 10600 mm. Warto jednocześnie zwrócić uwagę na luz międzyzębny na styku współpracujących zębów, mierzony wzdłuż linii przyporu, który dla napędu obrabiarki wynosi 0,254 mm.

Głównym problemem podjętym w rozprawie doktorskiej było opracowanie metody minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych. W ten sposób opracowanie zestawu napędowego z drugim zębniem doprowadziło do znacznej poprawy pozycjonowania narzędzia roboczego maszyny technologicznej. To rozwiązanie było podstawowym parametrem pozwalającym na jej dalszą modernizację w zakresie opracowania dla wiertarko-frezarki firmy Skoda typ WD200B z roku 1972 jej sterowania numerycznego, co jest niewątpliwie znaczącym, utylitarnym, osiągnięciem autora rozprawy. W ten sposób nie tylko wydłużono okres eksploatacji obrabiarki ale także zmniejszono koszty produkcji, przez zmniejszenia składnika cenotwórczego w postaci amortyzacji maszyny. O ile w stanie techniki są opisane rozwiązania minimalizujące luz międzyzębny w napędach zębatych, i są one ogólnie znane, ugruntowane oraz stosowane w napędach, to zastosowanie drugiego zębniaka napędzanego za pomocą cięgna z napięciem hydraulicznym jest rozwiązaniem innowacyjnym, na które Autor zgłosił zgłoszenie patentowe do UPRP. Na tej podstawie można stwierdzić, że Autor dobrze dobrał temat rozprawy doktorskiej ale przede wszystkim projekt jest osadzony w realnym problemie technologicznym wynikającym ze stanu techniki, a oceniana rozprawa ma niewątpliwie aspekt naukowy.

2. Zawartość pracy i układ rozprawy

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Oceniana praca pomimo jej projektowego charakteru, jest napisana jak typowa rozprawa. Składa się z jedenastu numerowanych rozdziałów oraz na początku pracy z dwustronicowego wstępu, listy rysunków oraz spisu treści. Obejmuje ona 111 stron, licząc ostatnie dwa rozdziały stanowiące odpowiednio streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca rozpoczyna się od dodatkowego wstępu, w którym Autor przedstawia sumaryczne podsumowanie swego dorobku zawodowego oraz główny temat rozprawy. Natomiast samą rozprawę można podzielić na dwie części. Pierwszą właściwą dotyczącą tematu rozprawy oraz drugą dotyczącą innych projektów wykonanych przez Doktoranta na potrzeby firmy APC Presmet.

Pierwsza właściwa część pracy obejmuje siedem rozdziałów. Rozdziały pierwszy i drugi zawierające sformułowanie problemu badawczego oraz przegląd stosowanych w stanie techniki napędów zębatkowych ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań minimalizacji luzu międzyzębnego. W rozdziale trzecim, dotyczącym celu i zakresu pracy, Autor sformułował cel nadrzędny, którym było opracowanie projektu napędu z dwoma zębatkami, umożliwiającego minimalizację luzu międzyzębnego, dedykowanego do maszyny technologicznej w postaci wiertarko-frezarki firmy SKODA typu WD200B. Cel ten został zrealizowany przy przyjęciu celów podrzędnych, sformułowanych następująco:

- opracowanie konstrukcji drugiego zębniaka;
- zaprojektowanie korpusu obudowy drugiego zębniaka;
- opracowanie napędu drugiego zębniaka;
- zaprojektowanie konstrukcji mocowania drugiego zębniaka w obrabiarence;
- zaprojektowanie hydraulicznego docisku zębów drugiego zębniaka do zębów listwy zębatej.

Autor opisał problemy w napędach zębatkowych i uzasadnił dlaczego podjął ten temat pracy doktorskiej, jednak nie uzasadnił analizy wyboru konkretnego rozwiązania projektowego jako przedmiotu oceny w niniejszej pracy. Być może wynika to z intuicji Autora rozprawy i jego znaczącej wiedzy praktycznej ale korzystne byłoby takie odniesienie podczas obrony pracy doktorskiej. Zakończeniem tego rozdziału są przedstawione inne rozwiązania projektowe opisane w drugiej części pracy.

Następnie Autor płynnie przeszedł do czwartego rozdziału opisującego konstrukcję i budowę zestawu napędowego z drugim zębniakiem. W rozdziale tym nie przedstawiono opisu napędu podstawowego obrabiarki ale skoncentrowano się wyłącznie na opisie projektu modernizacji przedmiotowego układu napędowego. We wstępie do rozdziału napisano „stosując napęd z jednym zębniakiem nie jest możliwe do uzyskania” domyślnie pewnie chodziło o wyeliminowanie problemu związanego z luzem międzyzębnym. Prosiłbym Doktoranta o rozwinięcie tej myśli podczas obrony doktorskiej, choćby w kontekście stosowanych rozwiązań z kompensacją luzu w sterowaniu numerycznym.

Zasadę działania zestawu napędowego z drugim zębniakiem zobrazowano na rysunku nr 4, wskazując na miejsce występowania luzu międzyzębnego wraz z podaniem parametrów zębniaka i roboczych obrabiarki WD200B. W tym kontekście uwagę zwraca przyjęty układ współrzędnych X, Y, Z dla obrabiarki, który definiuje oś pionową jako „Y” a poprzeczną jako „Z” – dlatego przyjęto taki układ oraz nieprecyzyjny opis, którego nie naniesiono na rysunek nr 4. Warto zwrócić uwagę na odrębną technikę wykonywania rysunków wykonawczych zaprezentowanych w pracy, które przedstawiają każdy element z dużą precyzją oraz pasowaniem wymiarów, tak aby wykonawca

poszczególnych elementów napędu nie miał wątpliwości co do jego wykonania. Przykładem jest rysunek nr 5 i zastosowany łańcuch wymiarowy. Autor opisuje zębnik jako element konstrukcyjny, w tym miejscu oczekuje się opisu założeń konstrukcyjnych, czy wytycznych dla pozostałych elementów składowych układu napędowego. To wszystko jest dla Autora jasne i przelewa to z dużą precyzją bezpośrednio na przedstawione rysunki. Na zaprezentowanych rysunkach z roku 2008 nie ma oznaczonych korekt wymiarów czy kształtów. W podrozdziale 4.1 dotyczącym opisu konstrukcji mocującej drugiego zębника w obrabiarkce, jest poruszony wątek korekty przekładni głównej, przy czym Autor nie wyjaśnia zasady działania i jaki to ma wpływ na luz międzyzębny oraz na opisywany w podrozdziale 4.4 hydrauliczny docisk drugiego zębника do zębów listwy zębatej. Z drugiej strony dobrane elementy układu napędowego, opisane w podrozdziale 4.2, uwzględniają kwestię ułożyskowania a także są one dobrane z dużym zapasem możliwego do przeniesienia obciążenia, w szczególności dotyczy to łańcucha o sile zrywającej 170 000 N. Z tego względu prosilibym Doktoranta o odpowiedź na pytanie: Czy po latach bezawaryjnej pracy układu napędowego obrabiarki, zmieniłby dobrane komponenty tego zaprojektowanego układu, ponieważ obecnie, zmniejszenie masy stanowi jedno z głównych wyzwań konstruktorskich dla wielu zespołów inżynierskich na całym świecie np. dla Instytutu Fraunhofera. Poruszam ten wątek, gdyż Autor w podrozdziale 4.3 dokonuje obliczeń sprawdzających wytrzymałość rury na zginanie w obudowie korpusu zmodernizowanego napędu obrabiarki. Autor użył takiego sformułowania „Osadzenie drugiego zębника w korpusie oraz odpowiednie jego ułożyskowanie pozwoliło na uzyskanie dużej sztywności”, w tym kontekście nasuwa się pytanie o weryfikację tej opinii. Na jakiej podstawie została ona wyrażona. Należy domniemywać, że obrabiarki produkowane w roku 1972 charakteryzowały się dużym naddatkiem materiałowym, czy to jest główna przyczyna uzyskania dużej sztywności? Przedstawione obliczenia w podrozdziale 4.4 i 4.5 również wskazują na niewielkie obciążenia w przekładni i w parze współpracującej zębnik i zębники listwy zębatej.

Następny - piąty rozdział, dotyczy efektu finalnego przeprowadzonej modernizacji układu napędowego obrabiarki, a mianowicie pomiaru dokładności pozycjonowania obrabiarki w osi X wzdłużnej (nie poziomej). Z przedstawionymi wynikami pomiarów przed modernizacją i po modernizacji, trudno dyskutować. Wynik ten potwierdzony jest po ośmiu latach pracy uzyskując wynik lepszy i to dwukrotnie niż przed modernizacją. Należy zwrócić uwagę na interesujący rysunek 17, przedstawiający trzeci pomiar pozycjonowania z roku 2019, na całej długości łoża obrabiarki. W tym miejscu oczekiwałbym od Doktoranta większego komentarza, w zakresie zużycia łoża ale także zastosowanego napięcia hydraulicznego łańcucha do minimalizacji luzu międzyzębny w napędzie zębatkowym i jego wpływu na dokładność pozycjonowania. Prosiłbym o odniesienie się do tej kwestii podczas obrony.

Rozdział szósty poświęcono dostosowaniu obrabiarki do sterowania numerycznego, w którym oprócz opisywanego w poprzednim rozdziale napędu z drugim zębnikiem, poruszono kwestię montażu dodatkowego łoża, montowanego w płaszczyźnie poziomej a wydłużającego zakres roboczy obrabiarki w kierunku osi X do 10600 mm. Drugim opisanym elementem jest zwiększenie zakresu pracy pionowego uchwytu narzędzia roboczego, wrzeciennika o 1000 mm, z wymianą śruby napędowej wrzeciennika z gwintu trapezowego na mechanizm toczny - ślimakowo-kułowy. Śruba ta została przedstawiona na rysunku 19, kończącym rozdział ale nie ma w nim informacji na temat dostosowania obrabiarki do sterowania numerycznego. Rozdział ten opisuje zmiany parametrów pracy w zakresie wymiarów pola roboczego maszyny technologicznej i powinien nosić inną nazwę.

W rozdziale siódmym przedstawiono rozszerzenie zakresu możliwości produkcyjnych na wiertarko-frezarce o specjalną głowicę frezerską do rowków wpustowych oraz opisano zestaw obróbkowy umożliwiający wykonywanie prac tokarskich, co jest nietypowym przykładem zastosowania tej maszyny. Opisy te jednak koncentrują się na podaniu rysunków dodatkowego oprzyrządowania, bez opisu przyjętych założeń oraz wytycznych. Być może wynikają one z bieżących potrzeb produkcyjnych firmy APC Presmet.

Druga część pracy, obejmująca rozdział ósmy, dotyczy opisu innych projektów wykonanych na potrzeby firmy APC Presmet, a mianowicie:

1. hydraulicznej oczyszczarki rusztu laserowego;
2. urządzenia do obcinania dennic;
3. rusztu wodnego do wypalarki acetylenowo - tlenowej i plazmowej;
4. poduszki olejowej stołu obrotowego tokarki karuzelowej;
5. prasy do prostowania typu „BOXER”;
6. obrotników spawalniczych do spawania zbiorników o masie 40 i 80 ton
7. podtrzymki zwijanych detali na walcach.

Wymienione projekty od nr 1 do 7 są opisane w podrozdziałach niniejszej pracy. Urządzenie nr 1 zgłoszono do ochrony patentowej jako wynalazek do Urzędu Patentowego RP i zarejestrowano go pod numerem P.430572, a jego status to oczekuje na badanie. Pozostałe projekty od nr 2 do 7 są to projekty znane w stanie techniki, jednak wykonanie wszystkich na przestrzeni lat w firmie APC Presmet wymagało od Autora dużego doświadczenia i odwagi inżynierskiej w projektowaniu, wierząc że urządzenia wykonane według jego projektów będą poprawnie funkcjonować. Jednocześnie Autor musiał się cieszyć poważaniem i ogromnym zaufaniem w firmie, bo ich wykonanie było też z pewnością kosztowne.

Rozdział dziewiąty pt. „Wnioski”, zakończono na dwóch stronach syntetycznym opisem efektów zrealizowanej pracy. Wnioski dotyczą efektu pozycjonowania narzędzia roboczego obrabiarki z układem napędowym z dwoma zębnikami, co stanowiło główny cel pracy. Dalej Autor wymienił zalety zaprojektowanego układu napędowego w postaci „łatwości ustawiania obu zębników w prawidłowej pozycji pracy oraz możliwość regulacji płynnego docisku międzyzębny wymaganego między zębami listwy zębatej i zębnika”. Jeśli można zgodzić się z opinią Doktoranta, że regulacja płynnego docisku stanowi niewątpliwie obiektywną, cenną zaletę projektu, tak „łatwość ustawiania” jest subiektywną oceną Autora i wymagałaby szerszego rozwinięcia przez Doktoranta. Również zaleta w postaci wykorzystania jednego silnika nie budzi zastrzeżenia. Rozdział ten jest zakończony podsumowaniem, że również inne projekty rozwiązań technicznych opisane w pracy pracują poprawnie.

Na końcu rozprawy została umieszczona literatura obejmująca 31 pozycji, z czego 6 pozycji jest Autora rozprawy. Pierwsza publikacja Doktoranta powstała w roku 1977 a ostatnia w roku 2021. Dziewięć pozycji literaturowych zostało napisanych po roku 2010, a jedna pozycja odnosi się do bazy patentowej UPRP. W odniesieniu do literatury, szczególnie w zakresie przyjętych założeń, oczekiwałoby się pogłębionej analizy.

2.2. Tematyka i oryginalność rozprawy

W wielu firmach stawiane są nowe cele dla zakupionych i eksploatowanych maszyn a wynikają one ze zmieniających się zamówień i zapotrzebowania rynku. Oczywiście idealnym rozwiązaniem był zakup nowych maszyn w celu zautomatyzowania produkcji i rozwoju firmy w kontekście Przemysłu 4.0. W tę koncepcję wpisuje się też ciągły rozwój posiadanego już parku maszynowego w firmie, jednak przy zachowaniu precyzji obróbki



(obecnie jest to warunek podstawowy wynikający m.in. z powtarzalności pozycjonowania narzędzia obróbczego - wrzeczona), obniżeniu energochłonności, zwiększeniu trwałości i niezawodności, a są to podstawowe cechy maszyn. O ile sama ideologia modernizacji maszyn jest powszechnie stosowana, o tyle tak gruntowne modernizacje jak przedstawiona w pracy, które poprawiają podstawowe cechy maszyn, są rzadko stosowane. W tym przypadku mamy do czynienia nie z poprawą a wyznaczeniem nowych parametrów i to w zakresie pola pracy maszyny technologicznej czy, potwierdzonej po latach eksploatacji, precyzji pozycjonowania narzędzia roboczego. Problem poruszony w rozprawie jest znany i ugruntowany w stanie techniki i wielu producentów próbuje go rozwiązać (co zostało przytoczone w pracy), również producent obrabiarki WD 200B - firma SKODA rozwiązała ten problem, stosując napęd z dwoma zębnikami o zazębieniu stałym z wielostopniowym przełożeniem. To rozwiązanie nie mogło być zastosowane do już wyprodukowanej maszyny, co zauważył Doktorant i zaproponował inne autorskie rozwiązanie napędu z użyciem drugiego zębniaka, którego częścią integralną jest zastosowanie układu hydraulicznego docisku zębów drugiego zębniaka do zębów listwy zębatej. Całość rozwiązania została zgłoszona do UPRP a postępowanie o udzielenie patentu jest w toku. Analizując wszystkie elementy opracowane w ramach projektu, są to znane w stanie techniki, ale połączone razem, pozwalają na stworzenie nowego złożonego systemu umożliwiającego opracowanie znacząco ulepszonej maszyny technologicznej. Taki projekt pozwala na zdobycie nowej wiedzy oraz umiejętności i mieści się w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych i obejmuje zagadnienia z dyscypliny inżynieria mechaniczna. Taki stan uzasadnia podjęcie przez Doktoranta mgr inż. Tadeusza Sawickiego tematu projektu i przedstawienie rozprawy pt. *„Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych”*.

2.3. Merytoryka, tezy, cele i struktura rozprawy

Pod względem merytorycznym i metodycznym, pracę oceniam pozytywnie, choć Autor nie określił w jasny sposób metodologii opracowania projektu, przyjętych założeń (brakuje osobnego punktu w rozprawie). Jednak układ pracy jest logiczny. Treści rozprawy odpowiadają tokowi opracowanego projektu, a strukturę porządkowano według typowego układu prac doktorskich, co czyni układ treści pracy klarownym.

Autor skupił się na całościowym podejściu do problemu modernizacji maszyny, poczynając od identyfikacji problemu w postaci niedostatecznej dokładności pozycjonowania narzędzia roboczego a nie na niewystarczającym polu pracy maszyny. W ten sposób, dla tak określonej potrzeby, został przeprowadzony proces projektowania z uwzględnieniem istniejących w stanie techniki rozwiązań, z czego Doktorant wybrał autorskie rozwiązanie minimalizacji luzu międzyzębnego w napędzie zębatkowym obrabiarki. Dla projektu wykonał rysunki złożeniowe warsztatowe oraz wykonawcze poszczególnych elementów według własnej wizji i doświadczenia. Co ważne, zostały wykonane również obliczenia wytrzymałościowe, czy wybranych parametrów pracy układu hydraulicznego, które tylko umocniły Doktoranta w przekonaniu o słuszności zaprojektowanej konstrukcji. W wyniku tych działań powstała dokumentacja konstrukcyjna pozwalająca na wykonanie prototypowego napędu dla obrabiarki. Następnie, zmodernizowaną maszynę typu WD200B firmy Skoda, wykorzystano bezpośrednio w procesie produkcyjnym. Co ważne, osiągnięto cel przez poprawę pozycjonowania, zwiększenie zakresu pola pracy maszyny a przy tym maszyna jest trwała i niezawodna, szczególnie w odniesieniu do zmodyfikowanego układu napędowego obrabiarki. Ważnym atutem rozprawy jest innowacyjny charakter [zgłoszenia

patentowe] opisywanych projektów oraz ich interdyscyplinarność, wymagająca wiedzy z projektowania, także ze złożonych układów hydraulicznych.

W pracy Autor poruszył wątek modernizacji pozycjonowania napędu obrabiarki w płaszczyźnie poziomej wzdłuż osi X (nie zdefiniowano w pracy układu odniesienia) oraz w płaszczyźnie pionowej wzdłuż osi Z. Doktorant nic nie pisze o płaszczyźnie poziomej wzdłuż osi poprzecznej Y, prosiłbym o odniesienie się do tej kwestii.

W odniesieniu do uwag szczegółowych, rzutuujących na odbiór pracy, widoczna jest wysoka dbałość o szczegóły projektu, konsekwencja stosowania terminów i używania słów. O ile nie można mieć zastrzeżeń do przekazu merytorycznego, o tyle tytuł rozdziału szóstego wprowadza czytelnika w błąd, ale to już zostało wskazane wcześniej. Pozostałe pomyłki edytorskie, które nielicznie występują w pracy, jak błędne odwołanie do rysunku Ob32622s strona 13 – jedyne w pracy, oraz nieliczne błędy o charakterze redakcyjnym czy stylistycznym, oznaczono bezpośrednio w pracy i przekazano Autorowi podczas bezpośredniego spotkania. Powyższe uwagi szczegółowe mają charakter wyłącznie porządkowy i nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy, którą uważam za bardzo ciekawą i wartościową.

2.3.1. Słabe strony rozprawy

Słaba strona w przedstawionej rozprawie doktorskiej mgra inż. Tadeusza Sawickiego wynika z braku analiz założeń projektowych czy analizy potrzeb, co jest podstawowym etapem procesu projektowego. Czytając pracę odnosi się wrażenie, że tak ma być i to musi działać. I w rzeczywistości wdrożone projekty działają i to bezawaryjnie. Przedstawione obliczenia choćby dla ciągu napędowego pokazują, że jest on dobrany z dużym zapasem. Jednak należy wziąć pod uwagę, że oceniamy projekt powstał w roku 2008 dla obrabiarki produkowanej w roku 1972, który sam w sobie jest maszyną o znaczącej masie i sztywności. Ma to też swoje odzwierciedlenie w przedstawionej literaturze tematu, gdzie odniesiono się do podstawowej literatury tematu, a które można byłoby rozszerzyć o nowszą literaturę i głębszy przegląd baz patentowych. Pozostałe uwagi redakcyjne, jak zaznaczono powyżej, nie wpływają w istotny sposób na pozytywny odbiór pracy.

2.3.2. Przydatność rozprawy dla nauk inżynierijno-technicznych

Przedstawiony projekt minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach obrabiarek, został przedstawiony przez Autora w sposób precyzyjny i jednoznaczny, a wykonanie działającego prototypu układu napędowego w obrabiarce jest istotnym osiągnięciem. Ponadto, uogólnienie rozwiązania w rozprawie oraz zgłoszenie patentowe pozwala żywić nadzieję, że przedstawiony sposób minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych, zostanie zaimplementowany szerzej w gospodarce i będzie dalej rozwijany. Dlatego napisanie rozprawy doktorskiej na ten temat nie budzi wątpliwości i uważam, że skuteczność zaprezentowanego rozwiązania powinna być promowana już wcześniej. W związku z tym zachęcam Doktoranta do szerszego publikowania zaprezentowanych efektów swojej pracy, syntetycznie zestawionych w rozdziale dziewiątym.

2.4. Sylwetka Doktoranta.

Pan mgr inż. Tadeusz Sawicki w życiu zawodowym był zatrudniony w przemyśle w latach od 1973 do 2022, skąd czerpał inspiracje swoich projektów. Pracował na różnych stanowiskach ale przede wszystkim związanych z konstrukcją i technologią. Swoją pierwszy artykuł napisał w roku 1977 w miesięczniku Mechanik, wydanym przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Swoją pierwszy patent, o którym nie wspomina w rozprawie, a zarejestrowany w UPRP w roku 2009, to projekt pod nazwą „Ślimak chłodniczy”. Ciekawym wątkiem w pracy zawodowej Doktoranta są opisane projekty i wdrożone rozwiązanie opisane w rozdziale ósmym. Nie dotyczą one głównego wątku pracy ale pozwalają wyrobić sobie opinię o Doktorancie jako konstruktorze, technologi otwartym na innowacje, a przy tym o dużym doświadczeniu i intuicji zawodowej. Ma to swoje odzwierciedlenie w pracy, w postaci rysunków czy zaprojektowanych elementów, bez opisanych założeń. Doktorant założył, że tak zaprojektowany układ ma działać i jak się okazuje działa i to bezawaryjnie.

3. Podsumowanie oceny

Jak zaznaczyłem na początku recenzji, przedstawiona do opiniowania rozprawa doktorska, nie należy do typowych tego typu prac, ponieważ ma charakter projektowy. Taka forma jest dopuszczona w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w art. 187 pkt. 3, i dotyczy wykonanego przez Doktoranta projektu modernizacji maszyny technologicznej firmy SKODA typu WD200B w postaci wielkogabarytowej wiertarko-frezarki. Na podstawie projektu została następnie przeprowadzona gruntowna modernizacja i rozszerzenie jej podstawowych cech, a samą tematykę rozprawy Doktorant osadził w temacie opracowania skutecznej, jak się okazuje, metody minimalizacji luzu międzyzębnego w napędzie zębatkowym obrabiarki. To rozwiązanie nie wynika z optymalizacji kształtu geometrycznego, czy obwiedni zęba we współpracującej parze zębnik a ząb listwy zębatej, a szerszego spojrzenia na problem minimalizacji luzu w układzie napędowym, w którym dochodzi często do zmiany kierunku napędu na przeciwny. W tym temacie zaproponowano autorskie rozwiązanie w postaci opracowania drugiego zębniaka współnapędzanego z podstawowego układu napędowego obrabiarki wraz z projektem hydraulicznego docisku zębów drugiego zębniaka do zębów listwy zębatej minimalizującego luz. Takie rozwiązanie doprowadziło do poprawy pozycjonowania obrabiarki, co było głównym celem modernizacji maszyny, a ponadto obrabiarka pracuje przez wiele lat bezawaryjnie. Po latach osobistej współpracy Doktoranta z promotorem, Panem dr hab. inż. Przemysławem Moczko, prof. PWr, została podjęta słuszna decyzja, najpierw o uogólnieniu rozwiązania i złożeniu zgłoszenia patentowego, a następnie podsumowania dorobku zawodowego i złożenie niniejszej pracy. Jest ona podsumowaniem wieloletnich doświadczeń zawodowych i rozwiązań projektowych wdrożonych w firmie APC Presmet, w wielu przypadkach przy współpracy z Politechniką Wrocławską.

Przedstawione w rozprawie projekty Doktoranta mają nie tylko twórczy charakter, duży zmysł projektowy, co niewątpliwie potwierdza duże doświadczenie zawodowe ale także osobistą odwagę projektową oraz charakter praktyczny, wynikający z bezpośrednich wdrożeń opracowanych projektów. Jest to bardzo ważne dla firmy APC Presmet ale też ważne z punktu rozwoju gospodarki. To właśnie innowacyjność rozwiązań i podejścia do problemu powoduje rozwój gospodarczy.

Dlatego uważam, że Autor rozprawy dobrze osadził tematykę projektu w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna,

podpierając się publikacjami naukowymi oraz patentami. Do tego Autor zestawił unikalne urządzenia wzbogacające zaplecze techniczne firmy APC Presmet, z którą współpracował przez wiele lat, ciesząc się dużym zaufaniem.

Pracę uważam za ciekawą z punktu widzenia projektowego i poznawczego, zaś sama problematyka w niej poruszona, została osadzona w realnym problemie gospodarczym. Zrealizowany w dysertacji problem projektowy, został przedstawiony w szerszym zakresie poruszającym problemy wytrzymałościowe i trwałościowe. Ma też charakter badawczy, związany z pomiarami dokładności pozycjonowania obrabiarki na wydłużonym polu pracy obrabiarki.

Podsumowując, Doktorant udowodnił, że posiada:

- umiejętność analizy tematu i doboru odpowiedniej literatury technicznej,
- dużą wiedzę z zakresu projektowania konstrukcji mechanicznych i ich bezpośredniego wdrożenia,
- umiejętność wyciągania syntetycznych wniosków z technologii produkcji i reagowania na potrzeby zmian przez bezpośrednie modernizacje ciągów technologicznych,
- oryginalne, autorskie rozwiązanie ważnego zagadnienia ze stanu techniki.

Umiejętności te doprowadziły do osiągnięcia założonego głównego celu rozprawy a Doktorant mgr inż. Tadeusz Sawicki udowodnił, że potrafi samodzielnie formułować i rozwiązywać na poziomie naukowym zadania projektowe przewidziane dla rozpraw doktorskich i reprezentuje wystarczający poziom wiedzy związanej z tematyką rozprawy.

4. Wniosek końcowy

Wobec powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. **Tadeusza Sawickiego pt. „Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych”** spełnia wymagania w stopniu dostatecznym wynikającym z art. 221 ust. 8 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj.: Dz.U. z 2022 poz. 574 z późniejszymi zmianami) i **stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Wrocławskiej** w dyscyplinie: Inżynieria Mechaniczna.