

Bydgoszcz, 19.10.2022

dr hab. inż. Marek Macko, prof. uczelni
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Mechatroniki
85-074 Bydgoszcz
ul. Kopernika 1
tel. 52 3419144

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Tadeusza Sawickiego pt. „Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych” wykonana na zlecenie Prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego – Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej – Inżynieria Mechaniczna – Politechniki Wrocławskiej na podstawie decyzji nr W10/RDND07/33/2022.

1. Uwagi ogólne

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy praktycznych aspektów rozwiązywania problemów konstrukcyjnych, głównie zapewnienia wymaganej dokładności podczas pracy napędów zębatkowych. Są one preferowanym rozwiązaniem w sektorze obrabiarek, szczególnie kiedy chodzi o duże zakresy ruchu i wysoki zakres obciążeń. Jednak ich wady obejmują w szczególności braki w możliwej do osiągnięcia dokładności pozycjonowania i ścieżki, a pojawiający się luz podczas pracy stanowi jeden z głównych problemów. Autor zaprezentował również rozwiązanie techniczne pod nazwą „Hydrauliczna oczyszczarka rusztu laserowego” wdrożone w przedsiębiorstwie, w którym przez wiele lat był zatrudniony. Oba rozwiązania są autorskimi osiągnięciami i zostały zarejestrowane jako wynalazki w UPRP; pierwszy: „Bezluzowy zestaw napędowy do listew zębatych” pod numerem P.431714 w dniu 5 listopada 2019 roku, natomiast drugi pod numerem P.430572 w dniu 12 lipca 2019 roku. W pracy znalazły się również opisy innych projektów jako „Inne zaprojektowane i wykonane urządzenia techniczne”. Dotyczyło to urządzenia do obcinania dennic, obrotników spawalniczych do spawania zbiorników o masie 40 i 80 ton, poduszki olejowej stołu obrotowego tokarki karuzelowej, rusztu wodnego do wypalarki acetylenowo-tlenowej i plazmowej, podtrzymki detali zwijanych na walcach, prasy do prostowania typu Boxer. Przedstawione osiągnięcia są dziełem Doktoranta podczas Jego 50 letniej aktywności zawodowej w przemyśle maszynowym, gdzie zatrudniony był jako technolog, konstruktor, kierownik działu i zastępca głównego technologa.

2. Ocena ogólna pracy

Praca składa się z 9 rozdziałów, listy rysunków, streszczenia i literatury. Zawiera 111 stron, 54 rysunki, 31 pozycji bibliograficznych, zgodnych z tematyką opracowania, spośród których 6 zostało przygotowanych przez Autora.

W rozdziale pierwszym Autor wskazał na występujące w przemyśle maszynowym problemy z zachowaniem dokładności i występowaniem luzu, szczególnie luzu międzyzębnego podczas obróbki, co skutkuje błędami w pozycjonowaniu obrabiarki.

Rozdział drugi zawiera przegląd podstawowych zagadnień dotyczących napędów zębatych, a w rozdziale trzecim Autor przedstawił cel i zakres pracy, który zdefiniował jako skuteczne rozwiązanie napędu z dwoma zębnikami, spełniającymi stawiane wymagania i jednocześnie umożliwiającymi zamocowanie ich w obrabiarce, nie przystosowanej przez producenta do takich zmian konstrukcyjnych. Autor wskazał ponadto cele podrzędne pracy, które posłużyły do rozwiązania problemu, a mianowicie opracowanie konstrukcji drugiego zębnika, korpusu obudowy drugiego zębnika, napędu drugiego zębnika, konstrukcji mocującej drugi zębnik w obrabiarce, hydraulicznego docisku zębów drugiego zębnika do zębów listwy zębatej.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił budowę modyfikowanego zestawu napędowego z drugim zębnikiem oraz szczegółowo opisał wprowadzone zmiany konstrukcyjne, dotyczące konstrukcji mocującej drugi zębnik w obrabiarce, napędu drugiego zębnika, korpusu obudowy drugiego zębnika, hydraulicznego docisku zębów drugiego zębnika do zębów listwy zębatej. Przedstawił obliczenia wytrzymałościowe zębów listwy zębatej i zębnika.

W rozdziale piątym zaprezentowano pomiary dokładności pozycjonowania obrabiarki w osi x, a w rozdziale szóstym modyfikacje projektowo-wdrożeniowe wiertarko-frezarki zmierzające do uzyskania sterowania numerycznego w pełnym zakresie pracy. W rozdziale siódmym Autor wskazał na rozszerzenie zakresu możliwości produkcyjnych na wiertarko-frezarce z drugim zębnikiem po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych.

W rozdziale ósmym znajdujemy opisy innych zaprojektowanych i wykonanych urządzeń technicznych niezwykle przydatnych z punktu widzenia zdolności technologicznych parku maszynowego przedsiębiorstwa. Dotyczy to hydraulicznej oczyszczarki rusztu laserowego, urządzenia do obcinania dennic, rusztu wodnego do wypalarki acetylenowo-tlenowej i plazmowej, poduszki olejowej stołu obrotowego tokarki karuzelowej prasy do prostowania typu Boxer, obrotników spawalniczych do spawania zbiorników o masie 40 i 80 ton i podtrzymki zwijanych detali na walcach. W rozdziale dziewiątym zaprezentowano wnioski z przeprowadzonych badań i wprowadzonych modyfikacji konstrukcyjnych.

3. Ocena merytoryczna pracy

Od nowoczesnych urządzeń produkcyjnych oczekuje się wysokiego poziomu jakości produkcji połączonej z wysoką dynamiką pracy. Obie właściwości są w dużej mierze

zdeteminowane przez zainstalowane układy napędowe. Oprócz osiągalnych sił posuwu, definiują one również dokładność oraz sztywność statyczną i dynamiczną. Napędy zębatkowe są preferowane w aplikacjach o długich drogach przesuwu i dużych obciążeniach. Sztywność tych układów napędowych jest niezależna od długości przesuwu, a ponieważ do zwiększenia długości osi dodaje się jedynie stacjonarne elementy zębataki, podczas gdy bezwładność jako skutek napędu pozostaje niezmienną, można realizować dowolnie długie przesuwu bez zmian dynamiki. Niemniej jednak, mają one również pewne wady, do których można zaliczyć niższą dokładność obrabiarek dotyczącą pozycjonowania i ścieżki w porównaniu do innych typów napędów. Głównym problemem ograniczającym dokładność pozycjonowania jest występowanie luzu, który ma negatywny wpływ zarówno na statyczne, jak i dynamiczne parametry. Autor zaproponował w pracy racjonalną i ekonomicznie uzasadnioną metodę eliminacji jego negatywnego wpływu w znacznym stopniu poprzez minimalizację luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych. Zatem głównym zagadnieniem podjętym w pracy jest opracowanie konstrukcji i budowa zestawu napędowego z dwoma zębnikami, który został zaimplementowany do wiertarko-frezarki „Skoda” typ WD 200B. Poza tym wymienione zostały prace, które przyczyniły się do modernizacji w/w obrabiarki, jak również rozszerzenia jej zakresu obróbkowego.

Autor w swojej pracy zawodowej podjął się wyzwań związanych z rozwiązywaniem skomplikowanych problemów, szczególnie problemów produkcyjnych, z którymi szczegółowo zapoznał się w swej długoletniej praktyce zawodowej. Z punktu widzenia funkcjonowania przedsiębiorstwa pracownik o takim potencjale stanowi ogromne wsparcie i w sposób znaczący przyczynia się do podwyższenia efektywności pracy poprzez rozwiązywanie problemów technicznych dotychczas nierozwiązanych.

Również w przypadku rozwiązania problemu konstrukcyjnego hydraulicznej oczyszczarki rusztu laserowego na uwagę zasługuje zakres podjętych modyfikacji, chociażby przez wzgląd na gabaryty oraz zalety jakie zostały ujawnione podczas eksploatacji. Między innymi poprzez fakt, że segmenty rusztu wymienia się wyjmując je do czyszczenia, a na to miejsce zakłada się już oczyszczone. Opadające odrobiny zgorzeli nie powodują wówczas zabrudzenia wypalarki.

W przypadku rozwiązania konstrukcyjnego urządzenia do obcinania dennic, również występuje szeroki zakres wymiarów, ponieważ mamy do czynienia ze średnicami na poziomie 6 m. Proponowane modyfikacje uwzględniały szereg parametrów, jakie autor wziął pod uwagę, np. konieczność zachowania stałej odległości palnika od ścianki dennicy.

Działania podjęte przez Autora świadczą o wysokich kompetencjach jako projektanta, konstruktora i technologa oraz wysokim poziomie odpowiedzialności z punktu widzenia zachowania bezpieczeństwa, modyfikacji wynikających z potrzeby ekonomicznej oraz konieczności zachowania ciągłości produkcji.

Poprawny dobór cech konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wymagał bezsprzecznie od Autora wysokiego poziomu przygotowania inżynierskiego i ogromnego doświadczenia zawodowego. Podjęte modyfikacje konstrukcyjne należą do niezwykle trudnych przedsięwzięć, występują w nich specyficzne wymagania, zarówno pod względem niezawodności rozwiązania konstrukcyjnego jak również ograniczeń w zakresie dostępnej przestrzeni do wykorzystania zaproponowanych rozwiązań. Mamy tu do czynienia z dużymi wymiarami urządzeń, zatem wymaga to wysokiego poziomu wiedzy teoretycznej

i praktycznej. Ponadto w urządzeniach podlegających modyfikacjom producent nie przewidział na etapie budowy modyfikacji konstrukcyjnych.

Skuteczne rozwiązanie wymienionych w pracy problemów wymagało od Doktoranta ogromnej wiedzy i umiejętności praktycznych i technologicznych nie tylko w zakresie inżynierii mechanicznej, ale również z obszaru hydrauliki i pneumatyki, co związane było np. z rozwiązaniem problemu zapewnienia odpowiedniego poziomu docisku zębника do listwy.

W pracy dokonano szczegółowych, niezbędnych obliczeń dotyczących wytrzymałości i zapewnienia równowagi sił w układzie napędowym, gdzie aspekty zagwarantowania ciągłości bezawaryjnej pracy są niezwykle istotne. Należy tu zwrócić uwagę na rzetelność prowadzonych obliczeń, których efekty potwierdzono w praktyce produkcyjnej.

Jako wynik dokonanych modyfikacji Autor przytacza na stronie 46 osiągnięte rezultaty w postaci parametrów dotyczących odchyłki. Kształtują się one na poziomie 0,3 – 0,4 mm, co przy tych gabarytach jest wartością przekraczającą poziom oczekiwania. Doktorant wskazał ponadto parametry eksploatacyjne, które mogą mieć wpływ na prawidłowe pozycjonowanie tej wielkości obrabiarki, takie jak odpowiednie smarowanie łoża, stan układu elektrycznego, odczyty z listew pomiarowych, stan układu smarującego.

Należy stwierdzić, że modyfikacje konstrukcyjne obrabiarki zbudowanej w 1972 roku są niewątpliwie bardzo korzystne pod kątem znacznego poszerzenia zakresu obróbczego, co jest bardzo ważne z punktu widzenia oczekiwań produkcyjnych. W jednostkowej produkcji często występują nietypowe elementy. Dostęp do takich obrabiarek napotyka różnej natury trudności, szczególnie ze względu na koszty i terminy wykonania. Dostosowanie wiertarko - frezarki do nietypowych obróbek wiązało się z wykonaniem specjalnego oprzyrządowania, a nawet pełnego zestawu. Jednym z przykładów może być zaprojektowana przez Autora specjalna głowica frezarska do rowków wpustowych, czy też zestaw obróbkowy do toczenia detali w kształcie rury. Oba wymienione przypadki należą do nietypowych prac wykonywanych na wiertarko-frezarce. Wykonanie tego zestawu wynikało z potrzeby obróbki tokarskiej elementu pieca obrotowego cementowni.

Autorowi, posiadającemu długoletni staż zawodowy i wysoki poziom kompetencji jako projektant i konstruktor, zdarza się czasem używania skrótów myślowych i „żargonu inżynierskiego”, mając zapewne na uwadze zwięzłość i przejrzystość wypowiedzi, np. „płomień z palnika poz. 16 wchodził bezpośrednio w materiał.” – s. 79, „Pierścień dolny jest cały stalowy...” – s. 87, co można uznać za drobne niedociągnięcie.

Zaprezentowane w pracy dokonania autora polegające na dostosowaniu układu z dwoma zębnikami do napędów różnych obrabiarek i urządzeń, tam gdzie występuje listwa zębata i zębник stanowią niepodważalne i wartościowe osiągnięcie. Przykłady rozwiązań modernizacyjnych wskazują na potencjalne możliwości ulepszeń obrabiarki pod względem poszerzenia zakresu parametrów obróbkowych i dokładności wykonania. W tym przypadku projekt dostosowania drugiego łoża i podwyższenia pionowej kolumny wrzeciennika był projektem o znacznym stopniu trudności. W efekcie tych zmian wiertarko – frezarka, rok budowy 1972, spełnia wymogi współczesnej obrabiarki sterowanej numerycznie. Wymienione autorskie projekty rozwiązań technicznych przyczyniły się do znacznej poprawy funkcjonowania parku maszynowego firmy. W znacznym stopniu do wykonania tych urządzeń wykorzystywane były materiały z zapasów magazynowych, co z ekonomicznego punktu widzenia było w pełni uzasadnione.

Należy stwierdzić, że ogrom podjętych i pomyślnie zrealizowanych przez Autora prac w pełni obrazuje wysoką jakość merytoryczną i praktyczną działalność zawodową. Mimo, że w pierwszym momencie zapoznania się z pracą można odnieść wrażenie, że mamy do czynienia z pracą o niskim poziomie, szczególnie pod względem graficznym, dotyczącym chociażby jakości rysunków. Jednak usprawiedliwieniem w tym przypadku może być fakt, że rysunki te stanowiły fragment bieżącej dokumentacji technicznej, wprowadzanych na bieżąco modyfikacji i pochodzą z okresu kiedy te modyfikacje były wprowadzane. Są zatem niepodważalnym świadectwem i osiągnięciem Autora.

4. Ocena strony edytorskiej pracy

W recenzji wskazałem wybrane nieściśłości edytorskie, inne drobne literówki i błędy w stosowaniu znaków interpunkcyjnych naniosłem bezpośrednio w przekazanym mi egzemplarzu pracy.

I tak na s. 3, 15-d: jest „... ujęte są w punkcie określonym ...”, powinno być „...ujęte są w punkcie określonym...”

s. 3, 4-d: jest „...rozprawę doktorką...”, powinno być „...rozprawę doktorską...”

s. 6, 6-g: jest „Konstrukcja mocująca...”, powinno być „Konstrukcja mocująca...”

s. 10, 3-d: jest „...do rozszerzenia zakres jej możliwości obróbkowych.”, powinno być „...do rozszerzenia zakresu jej możliwości obróbkowych.”

s. 11, 16-d: jest „... wyposażone są w przekładnię zębatkową...”, powinno być „... wyposażone są w przekładnię zębatkową...”

s. 11, 5-d: jest „... do których zliczyć można ...”, powinno być „... do których zaliczyć można...”

s. 13, 3-g: jest „...z wyszczególnieniem ich ilości zębów i modułów.”, powinno być „...z wyszczególnieniem ich liczby zębów i modułów.”

s. 14 wzory posiadają różne czcionki (rodzaj i wielkość), należałoby ujednoczyć

s. 15, 10-d: jest „Oprócz tego wielkości luzu międzyzębnego...jest różna...”, powinno być „Oprócz tego wielkość luzu międzyzębnego ... jest różna ...”

s. 19, 10-d: jest „Zasada działania takiego rozwiązania obrazuje rysunek 4.”, powinno być „Zasadę działania takiego rozwiązania obrazuje rysunek 4.”

s. 23, 6-d: jest „...schematycznie jako pozycja 2 na Rysunek 4.”, powinno być „...schematycznie jako pozycja 2 na rysunku 4.”

s. 25, Rysunek 6: jest „Konstrukcja mocująca drugi zębnik...”, powinno być „Konstrukcja mocująca drugi zębnik...” lub „Rozwiązanie konstrukcyjne mocowania drugiego zębника..”

s. 27, 9-g: jest „poz. 6 kołom łańcuchowe naciągu...”, powinno być „poz. 6 koło łańcuchowe naciągu...”

s. 29, 6-g: jest „Ustawione i zamocowane są obu zębnikach...”, powinno być „Ustawione i zamocowane są na obu zębnikach...”

s. 34, 4-g: jest „Jak wykazano wcześniej na rysunku 6...”, powinno być „Jak wykazano wcześniej na rysunku 6...”

s. 39, 7-g: jest „... a tym samy długość zębów...”, powinno być „... a tym samym długość zębów...”

s. 46, 12-d: jest „... Kolejnego pomiaru pozycjonowania w/w obrabiarki wykonany został...” powinno być „... Kolejny pomiar pozycjonowania w/w obrabiarki wykonany został...” lub „... Kolejnego pomiaru pozycjonowania w/w obrabiarki dokonano...”

s. 60, 8-d jest „...powstało dużo firm usługowych, które służą usługi wypalania...”, powinno być „...powstało dużo firm usługowych, które świadczą usługi wypalania...”

s. 62, 13-g: jest „Oczyszczarki mechaniczne, wibracyjne posiadaj ą wiele wad...”, powinno być „Oczyszczarki mechaniczne, wibracyjne posiadają wiele wad...”

s. 77, 5-g: jest „...tylko po ich wcześniejszych zanurzeniu.”, powinno być „tylko po ich wcześniejszym zanurzeniu.”

s. 78, 9-g: jest „...powietrze, które wlatuje do komór...”, powinno być „...powietrze, które jest tłoczone do komór...”

s. 79, 1-g: jest „...płomień z palnika poz. 16 wchodził bezpośrednio w materiał.”, może lepiej „płomień z palnika bezpośrednio ingerował w materiał”

s. 98, 14-d: jest „...przez to górna rolak musi mieć zapewniony obrót...”, powinno być „...przez to górna rolka musi mieć zapewniony obrót...”

s. 105, 2-d: jest „W znacznym stopniu do wykonani tych urządzeń...”, powinno być „W znacznym stopniu do wykonania tych urządzeń...”

Również jakość rysunków oraz sposób ich usytuowania na stronie należałoby nieco skorygować i ujednoczyć tak, aby rysunki te były czytelne, analogicznie jak w przypadku rozmieszczenia liczb wymiarowych na rysunkach technicznych, po obrocie o 90 stopni zgodnie ze wskazówkami zegara (np. rys. 5, 7, 11, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 32, 33, 36, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 47, 50).

Dodatkowo niektóre zdjęcia są nieco niewyraźne, należałoby zwiększyć istotne fragmenty tych zdjęć oraz celowe byłoby zamieszczenie dodatkowych objaśnień i opisów na zdjęciach.

5. Konkluzja

Wymienione powyżej korekty, sugestie i wcześniejsze uwagi w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą uważam za bardzo interesującą i perspektywiczną z punktu widzenia poznawczego oraz przydatną do celów praktycznych, co niewątpliwie jest istotne w obszarze modyfikacji konstrukcyjnych maszyn. Autor w sposób merytorycznie przejrzysty zaprezentował dokonania projektowe i konstrukcyjne wdrożone pomyślnie w przedsiębiorstwie, w sposób logiczny i uporządkowany zaprezentował osiągnięcia.

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. 2018 poz. 1668) „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” w art. 4. 1. mamy zapis na temat badań naukowych, do których należą badania aplikacyjne rozumiane jako prace mające na celu zdobycie nowej wiedzy oraz umiejętności, nastawione na opracowywanie nowych produktów, procesów lub usług lub wprowadzanie do nich znaczących ulepszeń. 3. Prace rozwojowe są działalnością obejmującą nabywanie, łączenie, kształtowanie i wykorzystywanie dostępnej aktualnie wiedzy i umiejętności, w tym w zakresie narzędzi informatycznych lub oprogramowania, do planowania produkcji oraz projektowania i tworzenia zmienionych, ulepszonych lub nowych produktów, procesów lub usług. Dodatkowo w tejże Ustawie zdefiniowano przedmiot rozprawy doktorskiej (art. 187), który może stanowić oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne. Oba wymienione zapisy znajdują swoje odzwierciedlenie w przygotowanej pracy doktorskiej.

Biorąc zatem pod uwagę dotychczasowe dokonania jako projektant i konstruktor, dorobek publikacyjny mgr. inż. Tadeusza Sawickiego oraz przedstawioną do recenzji pracę doktorską pt. „Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych”, uważam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych w obowiązującej Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tadeusza Sawickiego do jej publicznej obrony. Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę - inżynieria mechaniczna.

Marcel Mucha

