

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wiesława BUDZISZA pt. „Badanie wpływu procesów obróbki wykańczającej zębów na zacieranie przekładni lotniczych” opracowana na podstawie uchwały RD IMech nr 15/11/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

1. Omówienie zagadnień wymaganych w pierwszej kolejności na podstawie umowy dotyczącej niniejszej recenzji

Omówienie zagadnień zapisanych w umowie dotyczącej niniejszej recenzji i wymaganych w pierwszej kolejności zostanie podane w punkcie 1, a wnioski końcowe zostaną zapiane w punkcie 3.

1.1. Przedstawienie podstawowych danych o kandydacie:

- 1.1.1. Kandydat do stopnia doktora Pan mgr inż. Wiesław Budzisz uzyskał tytułu magistra w dniu 6. lipca 2010 roku. Jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.
- 1.1.2. Kandydat nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora.
- 1.1.3. Przebieg pracy naukowo-zawodowej (miejsce pracy zajmowane stanowiska).
 - Wrzesień 2000 r. - czerwiec 2005 r.: Technik Mechanik w Zespole Szkół w Ropczycach.
 - Wrzesień 2008 r. - czerwiec 2010 r.: Stażysta w biurze projektowym w Pratt & Whitney Rzeszów.
 - 2010 r. - luty 2023 r.: Konstruktor napędów lotniczych w Pratt & Whitney Rzeszów.

1.2. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

1.2.1. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Silniki lotnicze są jednymi z najbardziej odpowiedzialnych elementów środków transportu, a silniki lotnicze PW 1000G należą do najnowocześniejszych jednostek napędowych samolotów pasażerskich średniego zasięgu. W konstrukcji tej pomiędzy sprężarką niskiego ciśnienia a wentylatorem zastosowano planetarną przekładnię redukcyjną o nazwie Fan Drive Gear System (FDGS). Pracuje ona w bardzo trudnych warunkach. W celu osiągnięcia przez reduktor założonej liczby cykli pracy powierzchnia robocza zębów kół zębatych, po wcześniejszym wysokoprecyzyjnym szlifowaniu, musi zostać poddana specjalnej obróbce wykańczającej. Stosowany obecnie proces, od nazwy producenta nosi nazwę REM-CHEM, a jest to metoda wibrochemiczna polegająca na trawieniu kół w zbiorniku wibracyjnym i w wyniku jej zastosowania powierzchnie robocze zębów kół uzyskują wymaganą strukturę geometryczną oraz wymaganą trwałość. Oprócz przywołanej zalety stosowanej obecnie obróbki wykańczającej ma ona również znaczące wady, z których główne to: duża ilość oraz trudność utylizacji odpadów chemicznych, a także nieakceptowalny stosunek liczb części wykonanych poprawnie do liczby części wykonanych niepoprawnie.

Z powyższego powodu konieczne staje się doskonalenie opisanej metody lub poszukiwanie innej, która pozwalałaby na wytworzenie kół zębatych, tych tak odpowiedzialnych przekładni, przy zachowaniu co najmniej takiej samej trwałości jaką uzyskuje się przy zastosowaniu obecnie stosowanej obróbki wykańczającej.

Na podstawie publikacji naukowych oraz własnego ponad 12 letniego doświadczenia zawodowego Autor niniejszej rozprawy upatruje rozwiązania niniejszego zagadnienia w zastąpieniu obróbki wibrochemicznej obróbką wibrościerną. Metoda ta jest znana i obecnie najczęściej wykorzystywana do wygładzania ostrych krawędzi, podniesienia jakości powierzchni części oraz obróbki komponentów o skomplikowanych kształtach. Dzięki małej średnicy medium jest to stosunkowo prosta metoda wytwarzania i do chwili obecnej nie była stosowana do uzyskania odpowiedniej struktury geometrycznej powierzchni roboczych zębów lotniczych, wysokoobciążonych przekładni zębatych FDGS. Zatem próba zastosowania obróbki

wibrościerniej, jako obróbki wykańczającej, powierzchnię zębów kół zębatych przekładni FDGS produkowanych przez światowej klasy przedsiębiorstwo: Pratt & Whitney Rzeszów S.A. jest zagadnieniem unikatowym wymagającym przeprowadzenia szeregu badań, które wykonano oraz opisano w przywołanej dysertacji **i dlatego podjętą w rozprawie doktorskiej tematykę uważam za aktualną oraz ważną ze względów naukowych, poznawczych, a także utylitarnych, natomiast jej tytuł uznaję za właściwy.**

1.2.2. Ocena układu rozprawy doktorskiej w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Rozdział pierwszy stanowi analizę literatury dotyczącej badanego zagadnienia i skupiono się w nim na scharakteryzowaniu statków powietrznych oraz ich jednostek napędowych, w tym przedmiotowej jednostki oznaczonej symbolem PW 1000G, której istotną częścią jest przekładnia FDGS, a jej koła zębate zostały poddane badaniom w niniejszej rozprawie. Ponadto Autor przedstawia zagadnienie zużycia powierzchni kół zębatych, a także alternatywne metody ich obróbki wykańczającej. Następnie przedstawia na podstawie literatury sposoby opisu powierzchni roboczych kół zębatych oraz wykazuje wpływ falistości powierzchni zarysu zębów na trwałość kół zębatych. Na końcu tego rozdziału dokonuje podsumowania i na jego podstawie w rozdziale drugim formułuje cel oraz hipotezy, **a także bardzo obszerny zakres pracy.** W rozdziale trzecim Doktorant przedstawia szczegółowy program badań oraz metody badań. Rozdziały czwarty, piąty i szósty przedstawiają wyniki i analizy odpowiednio: badań wstępnych, zasadniczych i weryfikacyjnych. Rozdział siódmy pt. „Analiza zmienności usuwanego materiału wzdłuż zarysu zębów w procesie wibrościernym” jest krótki, bo zaledwie dwustronicowy, ale jego brak powodowałby u czytelnika pewien niedosyt. Rozdział ósmy stanowi podsumowanie rozprawy, przedstawia wnioski oraz oryginalne elementy pracy. Na końcu pracy zamieszczono wykaz literatury oraz załącznik cenny dla wnikliwego czytelnika.

Układ rozprawy uznaję za jak najbardziej poprawny.

1.2.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Wykaz literatury liczy 124 starannie wybrane w pozycje opublikowane w językach angielskim i polskim. Niestety w przypadku trzech pozycji wykazu piśmiennictwa Autor nie podał roku wydania ([27] [32] [61]), ale w przypadku tak dużych spisów literatury niedokładność ta zdarza się stosunkowo często w różnych rozprawach doktorskich. Autor w spisie literatury wyróżnił również grupę 59 źródeł elektronicznych ale wśród nich nie znajdują się jedynie witryny internetowe np. przedsiębiorstw ale jest również ok. 18 istotnych artykułów dostępnych elektronicznie. Pewną swoją wątpliwość recenzent przedstawił w punkcie 2 niniejszej recenzji pt. „Uwagi polemiczne i zapytania”. Co najmniej 15 przywołanych w spisie literatury prac zostało opublikowanych w roku 2019 i później, a co najmniej 33 zostały opublikowane w roku 2016 i później. **Zdaniem recenzenta świadczy to o należytej aktualności literatury podanej w recenzowanej rozprawie.**

W wykazie piśmiennictwa recenzent nie odnalazł publikacji autorstwa Autora niniejszej rozprawy, ale Doktorant jest współautorem pracy pt. „The New Gear Finishing Method Research for Highly Loaded Gears” opublikowanej w czasopiśmie Aerospace w roku 2022. Czasopismo to obecnie ma znaczący IF 2,66. Nieduża liczba publikacji Doktoranta jest to po części zrozumiała dla recenzenta dlatego, że rozprawa jest prowadzona w ramach programu Ministerstwa Edukacji i Nauki pt. „Doktorat Wdrożeniowy”, a przedsiębiorstwo Pratt & Whitney Rzeszów S.A., w którym Doktorant pracuje i prowadził część badań na podstawie uzyskanych wyników upatruje zdobycia przewagi konkurencyjnej. Świadczy o tym również dołączona do rozprawy informacja, o zobowiązaniu dysponenta rozprawy do ochrony informacji w niej zawartych.

1.2.4. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata

„Celem pracy doktorskiej jest uzyskanie parametru wartości R_a poniżej $0,0875 \mu\text{m}$ dla powierzchni bocznych zębów wysokoobciążonych kół zębatych przekładni Fun Drive Gear System za pomocą obróbki wibrościernej. Parametry procesu powinny kształtować topografię w taki sposób, aby zapewnić wymaganą żywotność i niezawodność reduktora. Rozwijana technologia nie może generować problemów jakościowych, analogicznych do występujących przy zastosowaniu metody

wibrochemicznej. Dostawca obróbki wibrościerniej to OTEC Prazisionsfinish GmbH. Kontrahent został wybrany na podstawie projektu Innolot/I/NCBiR/2014 [21, 22]”. **Przywołany cel oceniam bardzo wysoko, a zasadność zastąpienia obróbki wibrochemicznej obróbką wibrościerną w przypadku przekładni FDGS przedstawiłem już w punkcie 1.2.1. niniejszej recenzji i na tej podstawie również tematykę rozprawy uznałem za aktualną oraz ważną ze względów naukowych, poznawczych, a także użytkowych. Zwłaszcza, że realizacja celu rozprawy przez Doktoranta ułatwia przedsiębiorstwu Pratt & Whitney Rzeszów S.A. wyeliminowanie z procesu technologicznego obróbki wibrochemicznej oraz związanych z nią trudności w utylizacji odpadów chemicznych. Ten aspekt realizacji celu rozprawy również oceniam bardzo wysoko.**

1.2.5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Doktorant słusznie na podstawie analizy literatury dotyczącej tematu rozprawy sformułował jej cel i zakres planowanych badań, a następnie podzielił badania na trzy zasadnicze części tj. badania wstępne, zasadnicze i weryfikacyjne podając jednocześnie w rozprawie ich schemat blokowy. W ramach badań wstępnych w szczególności przeprowadził konieczne analizy topografii powierzchni roboczych zębów koła poddanego procesowi wibrochemicznemu, po to aby mieć odpowiednią wiedzę dotyczącą topografii produkowanych obecnie kół przekładni FDGS. Dokonał również oceny stopnia zużycia powierzchni bocznych zębów kół poddanych testowi hamownianemu oraz rozważył inne przyczyny przedwczesnego zużycia kół zębatych. W ramach badań zasadniczych w szczególności na podstawie zebranej wiedzy określił wymagania stawiane obróbce wibrościerniej, co istotne przeprowadził analizę stanu powierzchni wejściowej do procesu wibrościernego oraz wykonał badania topografii powierzchni bocznych zębów uzyskane w procesie wibrościernym wykonanym przy zdefiniowanych wielkościach sterowanych. Dokonał także sprawdzenia wpływu grubości usuwanego materiału na głębokość warstwy nawęglanej badanych kół zębatych. W ramach badań weryfikacyjnych w szczególności dokonał przygotowania próbek (kół) do badań wykorzystując trzy technologie ich wytwarzania, opracował plan testu oraz wykonał badania kół ze względu na zatarcie. **Przedstawiona procedura badawcza nie budzi zastrzeżeń recenzenta. Natomiast jeżeli chodzi o wykorzystane**

urządzenia badawcze to można stwierdzić, że zastosowano bardzo nowoczesną aparaturę w tym:

- maszynę pomiarową Klingelberg P100,
- chropowatościomierz MahrSurf LD 130,
- mikroskop optyczny Nikon MM-40/L3FA,
- profilografometr interferometryczny Talysurf CCI firmy Taylor Hobson,
- mikroskop sił atomowych AFM Q-Scope 250,
- skaningowy mikroskop elektronowy SU-70 firmy Hitachi,
- mikrofaltosomierz FM-800,
- mikroskop MahrSurf CM,
- mikroskop Zygo,
- stanowisko TU-12UF pracujące w układzie mocy krążącej.

Różne elementy wymienionej aparatury znajdowały w dyspozycji trzech różnych jednostek Politechniki Rzeszowskiej, Pratt & Whitney Rzeszów S.A. i Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Ponadto w celu uzyskania należytej topologii powierzchni roboczych kół zębatach podczas obróbki wibrościerniej konieczne było również określenie parametrów obróbki na podstawie wyniki symulacji komputerowych prowadzonych przy wykorzystania oprogramowania Software Rocky DEM, będącego w dyspozycji Karlsruher Institut für Technologie. **Wszystko to powoduje, że Doktorant zastosował w swojej rozprawie bardzo nowoczesne i kompleksowe podejście do badań.**

1.2.6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Doktorant bardzo poprawnie omawia uzyskane wyniki przykładowo wyniki testu hamowanego przeprowadzonego w roku 2018 oraz trafnie wyciąga wnioski dotyczące konieczności poznania struktury powierzchni zębów kół poddawanych dotychczas stosowanej obróbce (wibrochemicznej). Następnie prowadzi badania tych powierzchni w różnym powiększeniu oraz opisuje ją wieloma istotnymi parametrami liczbowymi. Podczas kolejnych prób obróbki kół zębatach metodami wibrościernymi oraz przy wykorzystaniu wyników i wniosków płynących z symulacji numerycznych, a dotyczących doboru odpowiednich parametrów obróbki wibrościerniej uzyskuje strukturę powierzchni możliwie zbliżoną do struktury powierzchni uzyskiwanej

w wyniku obróbki wibrochemicznej. Porównanie uzyskiwanych powierzchni zębów kół odbywa się często poprzez porównanie 21 parametrów charakteryzujących badane powierzchnie. Prowadząc logiczne i konsekwentne wnioskowanie Autor trafnie dobiera koła zębate do badań na stanowisku TU-12UF i przeprowadza badania ich trwałości. Uważam, że Doktorant poprawnie opisuje uzyskiwane wyniki, prawidłowo wnioskuje na ich podstawie i to pozwoliło mu na osiągnięcie celu pracy oraz udowodnienie jej tezy. Bardzo obszerny materiał badawczy został przedstawiony przejrzysto, w większości w formie wykresów i tabel. Drobne usterki zostaną przywołane w punkcie 1.2.8 ale nie zmniejszają wysokiej wartości recenzowanej rozprawy.

1.2.7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Recenzowana rozprawa doktorska była prowadzona między innymi we współpracy z przedsiębiorstwem Pratt & Whitney Rzeszów S.A., a szczególnie cenne jest to, że oprócz uzyskanych osiągnięć naukowych i poznawczych ma ona również bardzo użyteczną wartość jaką jest rozpoznanie możliwości zastosowania w zakładzie czołowego producenta przekładni lotniczych obróbki wibrościerniej zamiast stosowania obróbki wibrochemicznej wiążącej się z trudnością utylizacji odpadów chemicznych. O znaczeniu uzyskanych wyników dla przedsiębiorstwa Pratt & Whitney Rzeszów S.A. świadczy również dołączona do rozprawy informacja, o zobowiązaniu dysponenta rozprawy do ochrony informacji w niej zawartych.

1.2.8. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie

- Autor w wielu miejscach (rys. i tabele) stosuje jako jednostki długości cale zamiast mm. Oprócz tego pojawiają się jeszcze inne jednostki np. ciśnienia/naprężenia: ksi czyli kilofunty na cal² (rys. 6.4). Najprawdopodobniej wynika to z tego, że Autor w przedsiębiorstwie, w którym realizował doktorat stosuje także i te jednostki. Recenzent nie miał problemu z ich przeliczeniem, ale lepiej byłoby zastosować jednostki wg SI.
- Wprawdzie opisy osi na rys. 6.4 są bardzo małe i przez to bardzo słabo czytelne to jednak dostrzeżono, że na osi pionowej są kilofunty na cal², czyli jednostki

- ciśnienia, a rysunek ten podpisano jako „Rozkład temperatur ...” . To są zupełnie inne wielkości fizyczne i prawdopodobnie wstawiono niewłaściwy rysunek. To jest jedyny tego typu błąd w recenzowanej pracy.
- Autor konsekwentnie w całej pracy stosuje kropkę jako znak dziesiętny zamiast przecinka, który jest stosowany w języku polskim. Kropka wynika najprawdopodobniej z tego, że stosuje ją w wielu dokumentach przedstawianych w przedsiębiorstwie, w którym realizował doktorat.
 - Zdaniem recenzenta w pracy napisanej w języku polskim opis rysunków również powinien być w języku polskim. Uwaga ta dotyczy przykładowo rysunków 1.9, 1.23, 1.26, 1.27, 1.28 itd. ale często Autor wyjaśniał znaczenie zastosowanych na rysunku oznaczeń w tekście np. opis rys. 1.9, 1.26, 1.27, 1.28 itd.
 - Na str. 9 zapisano „W reduktorze Fan Drive Gear System zastosowano koła daszkowe w celu eliminacji sił osiowych od zazębienia.”. Autor wie i zapisał to wyraźnie na stronie 54, że siły osiowe w zazębieniu kół daszkowych występują, (czyli nie są wyeliminowane) tylko, że mogą się wzajemnie znosić **i przez to nie są przekazywane na łożyska**, zatem przywołane zdanie stanowi skrót myślowy.
 - Autor w tekście pracy nie zastosował numeracji głównych rozdziałów, a w spisie treści ją podał.
 - W tekście rozprawy opisując rysunek 1.66 pochodzący z [55] zapisano, że cyfrą 4 oznaczono szerokość roboczą zęba, a zdaniem recenzenta jest to wysokość robocza zęba podobnie jak na rys. 1.65. Z kolei opisując w tekście rozprawy rysunek 1.66 i cyfrę 2 zapisano, że oznacza ona odchyłkę falistości linii zębów, a zdaniem recenzenta jest to odległość lokalnych szczytów falistości tylko mierzonej w innym kierunku niż w przypadku oznaczenia tego parametru cyfrą 1 na rys. 1.65.
 - Autor stosuje słowo „pik” i jego odmianę „pików” itp., a zdaniem recenzenta lepiej byłoby stosować polskie słowo „szczyt” i jego odmianę „szczytów” itp. Przykładowo w analizie sygnałów wibroakustycznych stosuje się polską nazwę amplituda międzyszczytowa na angielskie określenie „peak to peak”. Trzeba jednak zaznaczyć, że wielu autorów w publikacjach pisanych w języku polskim stosuje słowo „pik”.
 - Na str. 53, na rys. 2.1 przedstawiono schemat i użyto skrótu ESA, a jego znaczenie wyjaśniono dopiero na str. 58.

- Ze względu na dwa ostatnie bloki przedstawione na rysunku 2.1 i wypełnione kolorem żółtym z podpisu tego rysunku usunąłbym ostatnie słowo.
- Na str. 59 użyto zwrotu „boroskopowanie zazębienia”. Zdaniem recenzenta lepiej było użyć zwrotu „ogłędziny zazębienia” lub „inspekcja zazębienia”.
- Z niewiadomego powodu tekst dot. opisu rys. 3.13 i 3.14 został zamieszczony dopiero po przedstawieniu tych rysunków. Podobnie tekst dot. opisu rys. 4.11 i 4.12 został umieszczony przed rysunkiem 4.10 i jego opisem.
- Na rysunkach 4.1- 4.4 opisy osi i liczby oraz opis przy przypisaniu na koloru wykresie do odpowiedniej wartości liczbowej są zbyt małe i przez to nieczytelne.
- W pierwszym zdaniu ostatniego akapitu zamieszczonego na stronie 151 zastosowano skrót myślowy i zapisano „ ... numery seryjne LSEJAN7623 i LSEJAN7624 zostały poddane analizie.”, podczas gdy chodziło o to, że „ ... koła zębate o oznaczeniach LSEJAN7623 i LSEJAN7624 zostały poddane analizie .”. Podobny skrót myślowy zastosowano na końcu pierwszego akapitu na stronie 160.
- Na str. 60 w przedostatnim zdaniu popełniono drobny błąd stylistyczny.
- W pierwszym zdaniu na stronie 154 popełniono drobny błąd stylistyczny wstawiając do tego zdania jedno niepotrzebne słowo, gdyż można było zapisać „ ... ukazuje falistość ...”.
- Na stronie 184 w zdaniu rozpoczynającym się w jedenastym wierszu trzeciego akapitu popełniono drobny błąd stylistyczny. Takich błędów w rozprawie jest bardzo mało.
- Drobny błąd literowy: strona 35, drugi wiersz drugiego akapitu – zapisano słowo „sie”, a powinno być „się”.
- Drobny błąd literowy: podpis rysunku 6.4 – zapisano słowo „bocznych”, a powinno być „bocznej”.
- Drobny błąd literowy: strona 190, szósty wiersz licząc od końca strony – zapisano słowo „właściwościach”, a powinno być „właściwości”. Takich błędów w rozprawie jest bardzo mało.

Wszystkie zapisane w tym podpunkcie nieprawidłowości nie zmniejszają wartości naukowej, poznawczej i utylitarnej recenzowanej rozprawy doktorskiej.

1.2.9. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Zdaniem recenzenta opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, gdyż w wyniku prowadzonych badań i analiz otrzymano poprzez zastosowanie obróbki wibrościernej strukturę powierzchni zębów pozwalającą na uzyskanie w badaniach przekładni na zatarcie tego samego stopnia obciążenia niszczącego, co w przypadku kół wykonywanych przy użyciu stosowanej obecnie obróbki wibrochemicznej. Wiele cennych argumentów zawarto również w punktach 1.2.1 i 1.2.2 oraz 1.2.4 - 1.2.7 niniejszej recenzji, ale ponowne przywoływanie ich w kontekście uzasadnienia punktu 1.2.9 nie jest już celowe.

1.2.10. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie albo w dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

Bez wątplenia Autor pracy wykazuje się dużą wiedzą teoretyczną w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna w szczególności jest to widoczne w rozdziałach 2-9. Natomiast o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej świadczy przeprowadzenie i poprawne przedstawienie wyników badań prowadzonych w tak wielu ośrodkach naukowych, a także umiejętność poprawnego wnioskowania na ich podstawie.

2. Uwagi polemiczne i zapytania

Jak wynika z treści recenzji opiniowaną pracę oceniam bardzo wysoko. W naturalny sposób lektura każdej rozprawy skłania do pewnych uwag polemicznych i pytań:

- 2.1. Recenzent nie przeniknął wg jakiego kryterium podzielono literaturę na publikacje przedstawione w spisie literatury od [1] do [65] i źródła elektroniczne przedstawione w spisie literatury od [66] do [124], gdyż jego zdaniem w obu grupach znajdują się artykuły dostępne na stronach internetowych np. czasopism. Uprzejmie proszę o zwięzłe wyjaśnienie.
- 2.2. Recenzent nie doszukał się w rozprawie opisu, które fragmenty zarysu zęba wybrano do obserwacji przedstawionych:

- a) na rysunkach 4.6 oraz 4.7 (wymiary ok. 0,33 x 0,33 mm) i odpowiednio: rys. 4.20 oraz 4.21, rys. 5,14, rys. 5.34 oraz 5.35, rys. 5.56 oraz 5.57,
- b) na rysunkach 4.8 oraz 4.9 (wymiary ok. 1,5 x 0,32 mm) i odpowiednio: rys. 4.22 oraz 4.23, rys. 5,13, rys. 5.32 oraz 5.33, rys. 5.54 oraz 5.55,
- c) na rysunku 4.10 (wymiary 80 x 80 μm) i odpowiednio: rys. 4.24, rys. 5.,15.

Uprzejmie proszę o zwięzłe wyjaśnienie.

2.3. Przykładowo w monografii L. Müllera (Przekładnie zębate – projektowanie, WNT, Warszawa 1996) przedstawiono wyniki badań zespołu autorów: Kubo A., Sato S., Aida T. dotyczące wyznaczenia sił dynamicznych występujących w zazębieniu przekładni w przypadku zastosowania natrysku oleju od strony wyjścia zębów z zazębienia, od strony wejścia zębów w zazębienie i smarowania odśrodkowego. Z badań tych wynika, że przy różnych rodzajach smarowania uzyskiwano różne wartości sił dynamicznych w zazębieniu, tym samym różne były siły oddziaływujące na powierzchnie zębów kół. Z rysunku 3.14 i 3.15 wynika, że w kołach przekładni FDGS zastosowano smarowanie zazębienia pod ciśnieniem ale nie przedstawiono ukształtowania kanałów olejowych względem kierunku obrotu kół zatem trudno wnioskować, do którego z powyżej wymienionych modeli smarowanie stosowane w przekładni FDGS w jest najbliższe. Natomiast stanowisko TU-12UF pracujące w układzie mocy krążącej (także zgodnie z informacją przywołaną przez Autora) pozwala na pracę kół ze smarowaniem rozbryzgowym lub natryskowym. Natomiast recenzent nie dostrzegł informacji jak smarowanie zazębienia zastosowane podczas badań prowadzonych na stanowisku TU-12UF ma się do smarowania zastosowanego w przekładni FDGS. Zatem rodzi się pytanie czy Autor rozprawy zgodzi się ze stwierdzeniem, że pomimo przywołanych powyżej wyników prac dotyczących różnych wartości sił dynamicznych uzyskiwanych podczas badań kół tej samej przekładni ale przy zastosowaniu różnych sposobów smarowania wymuszonego, w przypadku badań prowadzonych przez Autora niniejszej rozprawy na stanowisku TU-12UF warunki obciążenia kół były porównywalne dla wszystkich badanych kół poddawanych analizowanym obróbkom wykańczającym.

2.4. Podczas badań prowadzonych na stanowisku TU-12UF zastosowano parę kół o liczbach zębów 16 i 24. Natomiast na podstawie rysunku 3.1 obliczono, że liczba zębów koła słonecznego wynosi 32, a liczba zębów kół obiegowych wynosi 33. Zatem w przypadku pierwszej z wymienionych par kół np. ząb nr 1 zębniaka współpracuje tylko z zębami koła nr 1, 17 i 9 natomiast w przypadku drugiej pary kół liczby zębów

nie mają wspólnych podzielników więc np. ząb nr 1 zębniaka współpracuje z każdym zębem koła. Może to mieć pewne znaczenie zwłaszcza w przypadku pierwszej pary kół i dużych zmian odchyłek podziałki kół. Uprzejmie proszę Doktoranta o przedstawienie swojego poglądu na przedstawione zagadnienie.

Niniejsze pytania nie są próbą podważenia wysokiej wartości naukowej i poznawczej uzyskanych wyników badań, a jedynie wynikają z ciekawości badawczej recenzenta.

3. Wnioski końcowe

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mieszcząca się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza o przyjęcie recenzowanej pracy oraz o dopuszczenie mgr. inż. Wiesława BUDZISZA do jej obrony.

Pragnę również zwrócić uwagę, że w części rozpraw doktorskich można dostrzec, iż prowadzone badania ograniczane są do tych, które możliwe są do wykonania w uczelni, w której doktorant realizuje swoją rozprawę. W przypadku recenzowanej pracy doktorskiej było zupełnie inaczej, gdyż zastosowano w niej bardzo kompleksowe podejście do badań i to wymusiło wykorzystanie bardzo nowoczesnej aparatury badawczej, której większość przywołano w punkcie 1.2.5 niniejszej recenzji. To z kolei spowodowało konieczność przeprowadzenia badań doświadczalnych, także poza Politechniką Rzeszowską np. przedsiębiorstwie Pratt & Whitney Rzeszów S.A. oraz Instytucie Technologii Eksploatacji w Radomiu. Oprócz tego w procesie przygotowania do badań kół zębatych wykonywanych przy użyciu obróbki wibrościerniej konieczne stało się wykorzystanie wniosków płynących z symulacji komputerowych prowadzonych przy użyciu oprogramowania Software Rocky DEM, będącego w dyspozycji Karlsruher Institut für Technologie. Dzięki takiemu podejściu uzyskano bardzo wartościowe wyniki i potwierdzono, że w przypadku zastosowania obróbki wibrościerniej, **prowadzonej przy zachowaniu odpowiednio dobranych jej parametrów** możliwe jest wykonanie kół o tej samej trwałości co koła, w przypadku których stosowano obróbkę wibrochemiczną. Ponadto na uwagę zasługuje to, że w przypadku ostatniego, ósmego stopnia obciążenia wartość momentu tarcia występującego podczas badań pary kół zębatych poddanych obróbce wibrościerniej była o 23,6% niższa niż w przypadku zastosowania obróbki wibrochemicznej zębów. Dodatkowo cenne jest to, że niniejsza rozprawa oprócz uzyskanych osiągnięć naukowych i poznawczych ma bardzo praktyczny cel, a mianowicie rozpoznanie

możliwości zastosowania w zakładzie czołowego producenta lotniczych przekładni zębatych obróbki wibrościerniej i poprzez to wyeliminowanie z procesu technologicznego obróbki wibrochemicznej oraz związanych z nią trudności w postaci utylizacji odpadów chemicznych. **Z powyższych powodów w przypadku pozytywnego przebiegu obrony rozprawy doktorskiej oraz udzielenia przez Doktoranta poprawnych odpowiedzi na pytania zadane w trakcie dyskusji zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z uprzejmą prośbą dotyczącą rozważenia możliwości wyróżnienia rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Wiesława BUDZISZA.**

Gregorz Wójcik