



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
**INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ**  
**ZAKŁAD PROJEKTOWANIA TECHNOLOGII**

**Prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO**  
profesor zwyczajny, prof. h. c.

ul. Piotrowo 3                      60-965 Poznań  
tel. (0-61) 665-25-77,      fax (061) 665-22-00  
e-mail: stanislaw.legutko@put.poznan.pl

Poznań, 23.02.2016r.

**Recenzja nr 31/dr/SL**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra STROJNEGO pt. *Geometria uzębienia typu Beveloid w przekładniach z tworzyw polimerowych***

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej prof. dra hab. inż. Jarosława Sępa z dnia 15.12.2015 oraz stosowna umowa o dzieło

### 1. Analiza rozprawy

Recenzowaną rozprawę doktorską można, z naukowca punktu widzenia, usytuować w tzw. warstwie merytorycznej współczesnej inżynierii maszyn, której obszarami składowymi są przede wszystkim konstruowanie części maszyn i całych maszyn, projektowanie technologii oraz eksploatacja urządzeń i maszyn. W analizowanym przypadku - w jej fragmentach na styku konstruowania, technologii i eksploatacji, które można określić, jako relacja między cechami konstrukcyjnymi wybranej klasy części maszyn a ich cechami eksploatacyjnymi i w pewnej mierze również cechami technologicznymi. Identyfikacja usytuowania niniejszej pracy na tym tle oraz zarysowanie głównych dróg rozwoju tego obszaru, w którym ona się mieści, pozwoli na osądzenie, czy Autor trafnie wybrał tematykę badawczą.

Koła zębate z tworzyw polimerowych stanowią odrębną grupę uzębionych części maszyn specyficzną zwłaszcza ze względu na technologię wykonania. Znane i doceniane są walory tych uzębień w przypadkach przekładni nieprzenoszących dużych mocy lub pracujących okresowo, zwłaszcza np. w zastosowaniu do sprzętu gospodarstwa domowego i w przemyśle samochodowym.

Dążenie do zwiększania nośności, sprawności i niezawodności, zmniejszania głośności, zwiększania trwałości oraz zmniejszania łącznych kosztów wytwarzania i eksploatacji przy jednoczesnej tendencji do zmniejszania gabarytów są stale obecnymi trendami w budowie przekładni zębatych. Poszukiwania w zakresie alternatywnych materiałów i zarysów uzębień oraz innowacyjnych konstrukcji wpisują się w ten kierunek rozwoju. Z drugiej strony, masowa produkcja elementów uzębionych, szczególnie w przemyśle sprzętu gospodarstwa domowego i samochodowym wymusza ciągłe dążenie do zwiększania wydajności obróbki, z zachowaniem coraz wyższego poziomu jakości technologicznej i użytkowej. Dlatego też ustalone dotąd poglądy i zależności wymagają rewizji oraz nowej identyfikacji, opisu i wyjaśniania na drodze analiz teoretycznych i w zależności od rodzaju problemu, również na drodze badań empirycznych. Uzyskanie liczących się efektów jest możliwe, jak się wydaje, w wyniku analizy różnorodnych aspektów zagadnień konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych podejmowanych w ośrodku o ugruntowanej tradycji tego typu badań. Liczący się w polskiej akademickiej społeczności ośrodek rzeszowski wnosi twórczy wkład, m. in. w rozwój tych warstw inżynierii mechanicznej, które określam, jako metodyczną i merytoryczną. Inicjatywy profesora T. Markowskiego i jego poprzedników na tej intelektualnej ścieżce, są z powodzeniem rozwijane przez jego uczniów i ich uczniów i są doskonale znane w środowisku zaintereso-

sowanych specjalistów. Profesor Tadeusz Markowski stworzył jedyną w swoim wyrazie, w tej chwili już wielopokoleniową, szkołę kół zębatych koncentrującą się zarówno na zagadnieniach konstrukcyjnych, jak i technologicznych oraz eksploatacyjnych z uwzględnieniem różnych rodzajów zarysów i typów przekładni. Na przestrzeni lat wyraźnie widoczny jest jej rozwój owocujący coraz bardziej adekwatnym do rzeczywistości opisem rozpatrywanych zjawisk. Idzie to w kierunku bardziej precyzyjnego opisu badanej rzeczywistości i zwiększenia mocy prognostycznej. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Strojnego napisana pod kierunkiem dra hab. inż. Mariusza Sobolaka prof. PRz powstała, więc na starannie przygotowanym i w wysokiej kulturze utrzymywanym gruncie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego i metodycznego rozważanego obszaru inżynierii maszyn. Jest kolejnym ogniwem w wyraźnie zarysowującej się szkole naukowej prof. M. Sobolaka łączącej elementy Rapid Prototyping z teorią uzębienia i zazębienia. Praca ta dotyczy badania wpływu geometrii kół zębatych typu Beveloid wykonanych z tworzyw polimerowych na wybrane parametry ich jakości użytkowej. Jest to ważne zagadnienie, wykonanie bowiem analizy współpracy w prototypach tego typu przekładni pozwala na ocenę poprawności konstrukcji oraz technologii jeszcze przed wykonaniem przekładni użytkowych. Dotychczasowy, bowiem stan opracowania tego zagadnienia wymaga nowych inicjatyw i nowych pomysłów. Recenzowana rozprawa mieści się przeto w tym, konsekwentnie od lat realizowanym, nurcie badań. Fakt ten uznaję, jako potwierdzenie **trafności wyboru tematyki badawczej**. Uzasadnieniem trafności wyboru jest nie tylko sam fakt kontynuacji badań w ustalonym nurcie, ale przede wszystkim to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka szczegółowa, rokuje nadzieję uzyskania możliwości powszechnego stosowania kół zębatych typu Beveloid w określonych obszarach zastosowań.

**Strukturę rozprawy** stanowi sześć rozdziałów, spis literatury, spis ilustracji, spis tabel, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów. Autor mylnie posługuje się słowem skrót, zamiast pojęcia akronim lub skrótowiec. Niestety pomyłki te są częste i dość powszechne. Jest to spójna tematycznie praca, jej układ zaś jest prawidłowy - typowy dla prac analityczno-eksperymentalnych. **Tytuł dysertacji** jest zgodny z jej treścią, choć według mojej propozycji mógłby brzmieć następująco: *Geometria uzębienia kół zębatych typu Beveloid w przekładniach z tworzyw polimerowych*.

Fundamentem intelektualnej konstrukcji budowanej przez Autora jest przypuszczenie oznaczone jako **hipoteza**. Przedstawiona hipoteza nie ma charakteru trywialnego i jest dobrze ugruntowana w dotychczasowym stanie wiedzy, chociaż wyrażenie „...polepszenie jakości pracy...” jest nieprecyzyjne i brzmi ogólnikowo.

**Cel pracy i jej zakres** sformułowane na stronie 8, stanowiąc fragment *Wstępu*, są podane jasno. Jednak, co do sformułowania celu pracy mam zastrzeżenie. Autor pisze mianowicie, że „celem pracy jest opracowanie metodologii doboru...”. Moim zdaniem na wyrost, metodologia albowiem, to nauka o metodach i należy do sfery metanauki. Tu raczej należałoby mówić o metodach, bądź metodyce.

Część *Wstępu* wprowadzająca w badane zagadnienie, ujęta lapidarnie, napisana jest przekonująco i co do jej treści nie zgłaszam zastrzeżeń.

**Analiza piśmiennictwa** z zakresu podjętej tematyki została przedstawiona częściowo we *Wstępie* oraz w rozdziale drugim. Dobór rozpatrywanych zagadnień jest prawidłowy i moim zdaniem, pozwala na rekonstrukcję dotychczasowego stanu wiedzy oraz stanowi solidną podstawę do określenia obszaru oraz metodyki badań własnych Autora. Wachlarz prac analizowanych przez Autora jest obszerny. Potrafi on umiejętnie zsyntetyzować przedstawiane informacje, zamieszczając rzeczowe podsumowanie na końcu obu wymienionych rozdziałów.

Układ tej części rozprawy pracy oceniam, jako logiczny, choć mam zapytanie i kilka uwag szczegółowych:

- 1) str. 10, wiersz 4d – „dwóch par kół”, czy „dwóch kół”?

- 2) str. 13, 15, 16 i 21 – nie podano źródła przytoczonych tam zależności;
- 3) brak źródła zależności od (2.3) do (2.9);
- 4) str. 39, wiersz 10d – zamiast „wykańczającej” powinno być „wykończeniowej”;
- 5) str. 39, wiersz 2d – zamiast „równiach” powinno być „równaniach”;
- 6) opis rys. 2.32 – opuszczone pojedyncze litery.

Zasadniczą część rozprawy z punktu widzenia etapów badania naukowego, stanowią rozdziały, w których Autor referuje **metodykę, wyniki i analizę wyników badań własnych**. Są to rozdziały 3, 4 i 5.

W rozdziale trzecim przedstawiony został sposób wyznaczania powierzchni śladu styku w funkcji obrotu dla badanych przekładni na podstawie analizy współpracy z zastosowaniem CAD. Analizowano również, stosując metodę elementów skończonych, wpływ kąta zwężenia wieńca uzębionego na wytrzymałość zębów dla przekładni o prostej linii zęba oraz o śrubowej linii zęba określając naprężenia u podstawy zęba i na powierzchniach bocznych zęba.

Rozdział czwarty to przedstawienie wyników badań przekładni modelowych dotyczących jakości ich pracy reprezentowanej przez temperaturę i poziom ciśnienia akustycznego. Badania te wykonano na specjalnie zaprojektowanym i zbudowanym stanowisku z kamerą termowizyjną, miernikiem poziomu ciśnienia akustycznego i odpowiednim osprzętem umożliwiającym sterowanie i rejestrację wyników.

Rozdział piąty Autor poświęcił na zrelacjonowanie wyników badań dotyczących zastosowania kół typu Beveloid w dwóch wybranych urządzeniach gospodarstwa domowego oraz w układzie kierowniczym eksperymentalnego bolidu. Miało to na celu weryfikację rezultatów otrzymanych na drodze analitycznej i w trakcie badań stanowiskowych.

Każdy z omówionych rozdziałów stanowi zwartą całość obejmującą elementy metodyki, wyniki, ich krótką analizę oraz stosowne posumowanie. Moje zapytania, uwagi i sugestie do tej części pracy są następujące:

- 1) str. 51, wiersz 3g – zamiast „metodologii” powinno być „metodyki”;
- 2) str. 53, wiersz 10d – zamiast „tendencyjność” powinno być „tendencję”;
- 3) str. 63 – wiersze 9g i 10g – błąd stylistyczny - powtórzenie;
- 4) tabela 3.5 – w górnym wierszu pomyłka, co do wartości kąta  $\delta$ ;
- 5) str. 78, wiersz 10g – powinno być 3.27;
- 6) str. 108, wiersz 5g – zamiast „wykańczającej” powinno być „wykończeniowej”;
- 7) str. 118, wiersz 2g – zamiast „metodologii” powinno być „metodyki”.

Na podstawie dotąd przeprowadzonej analizy można podjąć próbę rekonstrukcji **osiągnięcia naukowego rozprawy**. Jako elementy tego osiągnięcia widocznie odróżniające je od aktualnego stanu wiedzy w rozpatrywanej problematyce oraz świadczące o oryginalności rozprawy uważam:

- wykazanie, że kąt zwężenia wieńca zębatego wpływa na wytrzymałość zęba, temperaturę pracy przekładni i poziom ciśnienia akustycznego;
- porównanie dwóch metod modelowania geometrii uzębienia i wykazanie różnic pomiędzy nimi oraz wad i zalet;
- opracowanie sposobu modelowania powierzchni przejścia między dnem wrębu a powierzchnią boczną zęba w kołach zębatych typu Beveloid;
- określenie przydatności wybranych przekładni typu Beveloid z tworzyw polimerowych w rzeczywistych warunkach ich pracy.

Autor zastosował w swojej pracy adekwatną do potrzeb aparaturę badawczą. Program badań doświadczalnych jest bogaty. Doktorant zastosował także odpowiedni do założonych celów aparat metodyczny.

**Wnioski** lakonicznie sformułowane na końcu pracy w rozdziale szóstym Autor podzielił na dwie grupy, tzn. wnioski i kierunki dalszych badań. Według mojej opinii, rozdział ten zyskałby na klarow-

ności, a może nawet i na wartości, gdyby zgodnie z tradycją akademicką w tym względzie były one podzielone na: odpowiedź na postawioną hipotezę, wnioski poznawcze, utylitarne i charakterystykę kierunków dalszych badań.

Co do całości tekstu nasuwają mi się jeszcze następujące uwagi i zapytanie:

- 1) schemat blokowy realizacji pracy doktorskiej zwiększałby komunikatywność przedstawionego tekstu;
- 2) brak wyraźnego sformułowania problemu naukowego pracy;
- 3) zdarza się niewłaściwe używanie niektórych słów, np.: słowa „niższy”, gdy lepiej byłoby „mniejszy”, np. na str. 74, 82; „wyższy” zamiast „większy”, np. na str. 69, 78;
- 4) w jaki sposób opracowywano uogólnione wykresy wpływu?
- 5) używane przez Autora w całej pracy pojęcie „jakość pracy przekładni” w kontekście zaprezentowanych wyników badań jawi się jako nazbyt ogólne; lepiej byłoby operować konkretnymi wskaźnikami tej jakości badanymi przez Doktoranta.

Bibliografia zamieszczona w końcowej części pracy zawiera 88 pozycji, w tym 8 pozycji z udziałem Autora (cztery pozycje autorskie). Mgr inż. Piotr Strojny analizuje i cytuje literaturę najnowszą, a także klasyczne dzieła o nieco starszym rodowodzie. W wielu pozycjach brakuje danych dotyczących, np. stron, wydawcy itp.

## 2. Ocena rozprawy

Przedstawiona analiza rozprawy zawiera wystarczające, moim zdaniem przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna z tematem zaakceptowanym przez Radę Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów i opracowany został obszernie i wyczerpująco. Jest to solidna praca badawcza dotycząca sensownego zagadnienia. Sformułowane w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają wartości materiału dowodowego pracy, w większości albowiem odnoszą się do sposobu prezentacji uzyskanych wyników. Nie mogą, więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy.

Praca wykonana jest w ośrodku o długoletnich tradycjach badawczych i dużym potencjale oraz zgromadzonej wiedzy. Bazą dla niniejszej rozprawy są liczne prace badawcze wykonane wcześniej, w tym również z udziałem Autora.

Pod względem metodycznym rozprawa jest poprawna. Literatura specjalistyczna została dobrana trafnie. Układ rozprawy i podział treści między poszczególne rozdziały jest logiczny, choć moim zdaniem, można by go nieco zmodyfikować wykorzystując sugestie podane przeze mnie wcześniej. Zbiór pojęciowy, jakim posługuje się Autor, z wyjątkiem wskazanych przeze mnie przypadków, jest na ogół poprawny. Zdarzają się pewne stylistyczne niedociągnięcia. Strona ilustracyjna pracy jest bez zastrzeżeń, redakcja rozprawy zaś wykazuje drobne niedociągnięcia. W dostarczonym do recenzji egzemplarzu stwierdziłem szereg błędów korektorskich, interpunkcyjnych i drobnych nieścisłości. Zaznaczyłem to w tekście, niektóre z nich przedstawiłem powyżej.

Godna podziwu jest pracowitość Doktoranta owocująca wartościową pracą wykazującą walory poznawcze i utylitarne. Esencjonalne i skondensowane przedstawienie wyników badań własnych poczytuję również jako walor tego tekstu pozwalający zainteresowanemu czytelnikowi na uzyskanie oglądu całości bez specjalnego trudu.

Warunkiem dysertabilności rozprawy doktorskiej jest jej związek z problemem metodologicznym, metodycznym lub poznawczym bezpośrednio lub pośrednio wpływającym na stan wiedzy. W przypadku recenzowanej rozprawy warunek ten jest spełniony pod względem drugiego i trzeciego z wymienionych aspektów, co wykazałem w analizie rozprawy. Rozprawa jest w wystarczającym

stopniu poprawna metodologicznie, gdyż zawiera elementy, które w metodologii nauk określa się, jako etapy badania naukowego.

Na podstawie analizy rozprawy oraz bibliografii dorobku Autora można stwierdzić, że jest On przygotowany do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Doktorant wydatnie poszerzył swoją wiedzę z zakresu teorii uzębień i zazębnień, szybkiego wytwarzania prototypów, badań doświadczalnych kół zębatach, zastosowań CAD oraz MES.

Podsumowując moją ocenę stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autora zagadnienia naukowego,
- spełnia wymóg wykazania Jego ogólnej wiedzy teoretycznej w uprawianej dyscyplinie
- oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej.

### 3. Wniosek końcowy

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Piotra Strojnego pt. *Geometria uzębienia typu Beveloid w przekładniach z tworzyw polimerowych* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (Ustawa z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw) oraz tradycję akademicką i może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Może być, przeto dopuszczona do publicznej obrony.

