

Kraków, dnia 15.04.2019 r.

Dr hab. inż. Piotr Kulinowski
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu
30 - 059 Kraków, al. Mickiewicza 30

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Martynty Koniecznej-Fuławki
pt. „Metoda wyznaczania oporów toczenia taśmy po
krążnikach”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Martynty Koniecznej-Fuławki pt. „Metoda wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach” została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej z dnia 20. lutego 2019 r. i zlecenia Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Moniki Hardygóry z dnia 22.02.2019 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Martynty Koniecznej-Fuławki, przedstawiająca nową metodę obliczania oporów toczenia taśmy po krążnikach, została opracowana pod opieką promotorską prof. dr hab. inż. Lecha Gładysiewicza oraz promotora pomocniczego dr inż. Dariusza Woźniaka.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska składa się ze spisu symboli wykorzystanych w pracy, spisu treści oraz dziesięciu rozdziałów zawierających: opracowanie tekstowe, sto trzydzieści osiem wzorów, czterdzieści dziewięć ilustracji z rysunkami i wykresami oraz osiem tabel, a także spis literatury, rysunków i tabel. Praca liczy w sumie 90 stron.

W pierwszym rozdziale, stanowiącym wstęp do pracy, Autorka przedstawiła problem energochłonności transportu taśmowego, prezentując genezę rozpatrywanego problemu naukowo-badawczego, czyli konieczności opracowania nowej metody wyznaczania oporów toczenia taśmy przenośnikowej po zestawie krążnikowym. Jednostronicowy rozdział wstępu podsumowała przedstawieniem zakresu pracy.

Rozdział drugi zawiera ogólny opis składowych oporów ruchu przenośnika taśmowego z uwzględnieniem ich procentowego udziału w oporach głównych przenośnika. W podsumowaniu rozdziału stwierdzono, że decydujący wpływ na energochłonność przenośnika mają opory toczenia taśmy, co uzasadnia podjęcie działań w kierunku poszukiwania taśm energooszczędnych.

W rozdziale trzecim autorka opisała stosowane metody wyznaczania oraz badania oporów toczenia taśmy po zestawie krążnikowym. Treść tego trzynastostronicowego rozdziału stanowi analiza stanu wiedzy w zakresie modelowania analitycznego

i numerycznego oporów przemieszczania taśmy po krążniku oraz przegląd stanowisk laboratoryjnych, przeznaczonych do badań tego zjawiska. Rozdział zamyka porównanie wyników obliczeń wykorzystujących aktualne modele analityczne z wynikami badań przemysłowych, które wykazało znaczne niedoszacowanie teoretycznych oporów przemieszczania taśmy po krążniku w zakresie dużej wydajności masowej przenośnika.

Rozdział czwarty przedstawia cel rozprawy doktorskiej oraz zamierzony sposób jego realizacji.

Piąty rozdział pracy w całości poświęcono opisowi nowego, autorskiego modelu toczenia taśmy po krążniku. W pierwszej części przedstawiono założenia modelowe, model reologiczny taśmy oraz zależności pomiędzy obciążeniem zewnętrznym a odkształceniem okładki taśmy. Następnie opisano sposób badania i modelowania własności tłumiących i sztywności poprzecznej taśmy. W dalszej części zamieszczono opis przyjmowanych rozkładów obciążenia zestawu trójkrażnikowego wzdłuż tworzących krążników oraz oceniono wpływ przyjętych rozkładów na opór toczenia taśmy. Rozdział podsumowano analizą wpływu prędkości taśmy na opory ruchu, wykonaną w oparciu o nowy, skorygowany wzór opisujący analityczny model oporów toczenia taśmy po krążniku.

Rozdział szósty przedstawia plan szeroko zakrojonych badań laboratoryjnych oporów toczenia taśmy po krążniku, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale siódmym i ósmym.

W siódmym rozdziale Doktorantka skoncentrowała się na badaniu właściwości tłumiących taśmy. Opisała stanowisko badawcze, przyjętą metodę badania oraz wyniki sześciu prób przeprowadzonych na taśmach z rdzeniem z linek stalowych i dwunastu prób na taśmach z rdzeniem tekstylnym. Posłużyły one do wyznaczenia współczynnika tłumienia, modułu sprężystości oraz zastępczej sztywności poprzecznej okładki bieżnej taśmy wraz z jej rdzeniem.

Ósmy rozdział opisuje badania oporów toczenia taśmy wyznaczanych na podstawie wyników eksperymentu, przeprowadzonego na specjalistycznym stanowisku i wg metody opracowanej na Wydziale GGiG Politechniki Wrocławskiej. Badania obejmowały analizę wpływu obciążenia krążnika oraz prędkości przemieszczania taśmy na opory ruchu.

Weryfikacji opracowanego modelu teoretycznego oporów toczenia taśmy po krążniku poświęcono rozdział dziewiąty. W pierwszej części model analityczny odniesiono do zachowania się taśmy podczas badań laboratoryjnych, natomiast w drugiej części porównano wyznaczony teoretycznie opór ruchu taśmy po zestawie krążnikowym z wynikami badań przemysłowych.

W ostatnim, dziesiątym rozdziale pracy zamieszczono wnioski dotyczące nowego modelu analitycznego oporów toczenia taśmy po krążniku. Przedstawiono cechy nowego modelu i jego dokładność, określoną poprzez współczynniki korelacji odniesione do wyników badań laboratoryjnych oraz poprzez porównanie z wynikami badań oporów ruchu taśmy uzyskanymi w warunkach przemysłowych.

Zasadniczą część pracy zamyka spis publikacji wykorzystanych podczas jej realizacji, który obejmuje 72 pozycje, w tym 23 obcojęzyczne (nie uwzględniono publikacji krajowych w języku angielskim) oraz 6 publikacji będących współautorstwem Doktorantki. Wszystkie pozycje załączonej bibliografii zostały zacytowane w tekście pracy.

3. Ocena tematu i celu pracy

Tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej bardzo dobrze wpisuje się w potrzeby projektantów, konstruktorów i eksploataatorów systemów transportu taśmowego. Doskonalenie metod obliczeniowych jest istotnym elementem procesu optymalizacji

konstrukcji przenośników taśmowych wg kryterium minimalizacji kosztów, ze szczególnym uwzględnieniem kosztów energii elektrycznej.

Temat recenzowanej pracy doktorskiej brzmi: „Metoda wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach” i w pełni obejmuje jej zawartość. Jedyne pewne wątpliwości, aczkolwiek dyskusyjne, rodzi używanie sformułowania „toczenie” w stosunku do taśmy przemieszczanej po elemencie obrotowym, jakim jest krążnik. Toczenie, wg Leksykonu Naukowo-Technicznego (WNT, Warszawa 1984), jest to transport ładunków polegający na wykorzystaniu toczenia się ich po odpowiednim podłożu, zatem poprawniejszą wersją wydaje się sformułowanie „przemieszczanie taśmy” zamiast „toczenie taśmy”.

Postawiony cel pracy, którym jest opracowanie nowej metody obliczeniowej oporów przemieszczania taśmy po krążnikach został sformułowany prawidłowo i uzasadniony. Również założony plan pracy, obejmujący uściślenie teoretycznego modelu oporów przemieszczania taśmy po krążniku, wyprowadzenie zależności teoretycznych pozwalających na jednoznaczne zdefiniowanie parametrów tłumiących taśmy, opracowanie wytycznych do badań tychże parametrów oraz weryfikację modelu na drodze testów laboratoryjnych umożliwił w pełni osiągnięcie założonego celu pracy.

4. Merytoryczna ocena pracy

Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy opracowania nowej metody wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach, wymagającej korekty teoretycznego modelu obliczeniowego, opracowania procedury badania właściwości tłumiących okładek bieżnych taśmy oraz weryfikacji przyjętego modelu na nowatorskim laboratoryjnym stanowisku do badania oporów toczenia taśmy.

Za główne osiągnięcia Doktorantki można uznać:

- korektę analitycznego modelu przemieszczania taśmy po krążniku, uwzględniającego własności lepko-sprężyste taśmy, zmianę rozkładu naprężeń wzdłuż tworzącej płaszcza krążnika oraz wykorzystującego nową zależność analityczną opisującą sztywność poprzeczną taśmy,
- przeprowadzenie badań własności tłumiących taśmy o różnych rodzajach mieszanki okładkowej, z rdzeniu tkaninowym oraz z linkami stalowymi,
- weryfikację opracowanego modelu analitycznego przeprowadzoną na podstawie testów laboratoryjnych oraz w oparciu o wyniki badań przemysłowych oporu ruchu taśmy po zestawie krążnikowym.

Opracowany i zweryfikowany analityczny model oporów przemieszczania taśmy, uzupełniony o procedurę badania jej właściwości tłumiących będzie stanowił cenne narzędzie w pracach rozwojowych dotyczących nowych, energooszczędnych taśm, doboru parametrów mieszanek gumowych oraz nowych rozwiązań konstrukcyjnych przenośników taśmowych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy uważam, że układ pracy jest logiczny i właściwy. Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością problemu, a przyjęta metodyka realizacji pracy była wzorowa. Cel postawiony w pracy został osiągnięty, wyniki w niej przedstawione są nowatorskie i stanowią oryginalny dorobek naukowy Doktorantki.

5. Uwagi szczegółowe

Praca została przygotowana przez Autorkę starannie i jej strona edytorska nie budzi większych zastrzeżeń. Jednak Autorka nie ustrzegła się pewnych niedopatrzeń, które zostały przedstawione poniżej. Po uwagach o charakterze ogólnym uwagi szczegółowe zamieszczono wg kolejności wystąpień w tekście pracy.

Zamieszczony na początku pracy spis treści pozwala na zapoznanie się ze strukturą dokumentu, podziałem na rozdziały i podrozdziały, ale niestety nie umożliwia sprawnego odnalezienia w pracy interesujących treści z powodu braku informacji o numerach stron początków poszczególnych rozdziałów pracy.

Autorka zrezygnowała w pracy z wyodrębnienia akapitów poprzez wcięcie akapitowe, posługując się sporadycznie odstępem międzyakapitowym. Ze względu na charakter pracy, zawierającej ponad setkę wzorów nie wpływa to na czytelność tekstu.

Praca zyskałaby na przejrzystości, gdyby Autorka nie unikała pogłębienia struktury pracy o podrozdziały trzeciego i czwartego poziomu. Czytelność pracy poprawiłaby również redukcja liczby rozdziałów: rozdziały 1 i 2 mogłyby zostać połączone, podobnie jak i rozdziały 6, 7 i 8.

Poniżej przedstawiono merytoryczne uwagi do układu i treści pracy oraz pytania, z których najbardziej istotne zaznaczono drukiem wytłuszczonym. W oznaczeniu strony indeks górny oznacza numer wiersza od góry, a indeks dolny numer wiersza na stronie liczony od dołu. Uwagi zamieszczono wg kolejności wystąpień w tekście pracy.

Czy energia sprężysta przekazana do taśmy e_1 (str.4₁) jest energią jednostkową czy też energią, podobnie jak e_2 (str.5¹) skoro jednostką jest J.

We wzorach (2) i (3) na str.10 powinno zostać jednoznacznie określone czy chodzi o iloczyn $V \cdot \tau$ czy też o symbol V_τ ?

Czy w wzorze (4) na str.11 wykorzystuje się symbol F czy o F_z ?

Doktorantka w obliczeniach oporów przemieszczania taśmy po zestawie krążnikowym uwzględniała opory obracania krążników zmierzone uprzednio w warunkach laboratoryjnych (str.21₅). Czy badania te uwzględniały obciążenie krążników siłą promieniową? A jeśli tak, to w jakim zakresie? Brak w pracy wyników tych badań.

Co Autorka miała na myśli używając sformułowania „naprężenia ściskające po grubości taśmy” (str.22₅)?

We wzorze (18) na str.23 popełniono istotną pomyłkę edytorską, bez późniejszych konsekwencji merytorycznych, mianowicie powinno być: $\xi = \varphi_2 / \varphi_1$.

W założeniach do wzoru (26) na str.25⁵ powinno być: $\varphi = \varphi_1$.

W równaniu na str.25⁷ powinno być $\omega_0 \cdot t_0 = \pi$.

W zdaniu na str.29₅ powinno być „Wstawiając równanie (54) do wzoru (21) ...”.

W opisie rysunku 14. brak jest opisu (cechy) stanowiska, na którym zostały wyznaczone pętle histerezy.

W rozdziale 6 przedstawiono plan badań, w którym zestawiono pięć badanych próbek taśm oraz rodzaj testów, którym zostały poddane. Opis próbek powinien zawierać informację o grubości okładki bieżnej i grubości rdzenia taśmy.

W rozdziale 8.3 opisano badania wpływu prędkości przemieszczania taśmy na jej opór toczenia. Wyniki testów laboratoryjnych wykazały, że opór toczenia taśmy jest stały, praktycznie niezależny od prędkości jej przemieszczania. Należy jednak pamiętać, że rzeczywista prędkość ruchu taśmy jest dziesięciokrotnie a nawet dwudziestokrotnie większa od założonej podczas badań laboratoryjnych. Czy wyniki analiz teoretycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem nowego modelu oporów toczenia taśmy po krążniku potwierdzają tę tendencję także w zakresie eksploatacyjnych wartości prędkości ruchu taśmy?

W tabeli 6 zamieszczono współczynniki determinacji i korelacji wyników obliczeń teoretycznych i testów laboratoryjnych. Dokładność zamieszczonych wartości mogłaby się ograniczyć do 3,4 cyfr znaczących. Podobnie w tabeli 7, tym bardziej że podany został błąd procentowy.

W tekście zauważono także pewną nieznaczną liczbę błędów edycyjnych i stylistycznych, które zostaną przekazane Autorce pracy.

6. Końcowa ocena pracy

Podsumowując, podjętą tematykę uważam za aktualną i uzasadnioną ze względów teoretycznych i praktycznych. Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera przegląd stosowanych modeli obliczeniowych oporów przemieszczania taśmy po zestawach krążnikowych, opracowany nowy teoretyczny model oporów ruchu, badania właściwości tłumiących taśmy, laboratoryjne testy oporów toczenia oraz weryfikację opracowanej metody wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa, z uwagi na swój utylitarny charakter i potencjał obniżenia energochłonności systemów transportu taśmowego w przemyśle wydobywczym, na etapie projektowania i doboru podzespołów przenośników, mieści się w dziedzinie nauk technicznych, w obszarze dyscypliny naukowej *górnictwo i geologia inżynierska* oraz stanowi niewątpliwie oryginalne rozwiązanie podjętego problemu naukowego. Autorka osiągnęła postawione cele wykazując się wiedzą w zakresie modelowania analitycznego i umiejętnościami wymaganymi do prowadzenia badań naukowych z zakresu podjętej problematyki. Praca charakteryzuje się niezwykłą dbałością Doktorantki o precyzję wyrażanych myśli oraz skrupulatnością i dokładnością szczególnie wymaganą w pracach o charakterze teoretycznym.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Martynty Koniecznej-Fuławki pt. „Metoda wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach” spełnia wymagania określone w art.13 ust.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Autorki do jej publicznej obrony.

Podczas realizacji pracy Autorka podjęła się zadania korekty modelu obliczeniowego oporów przemieszczania taśmy po zestawie krążnikowym przenośnika taśmowego, uwzględniającego własności lepko-sprężyste taśmy. Dotychczasowy model obliczeniowy TasmTest, stosowany w programie QNK-TT od samego początku jego wdrażania w przemyśle budził wątpliwości projektantów. Obliczone wartości oporów ruchu taśmy uznawano za zaniżone w stosunku do wartości oczekiwanych lub zmierzonych, co powodowało ograniczenia w szerszym stosowaniu programu QNK z opcją wykorzystania Metody Oporów Jednostkowych (moduł TasmTest) i spowolniło rozwój nowoczesnych, energooszczędnych systemów transportu taśmowego.

Z uwagi na wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej mgr inż. Martynty Koniecznej-Fuławki pt. „Metoda wyznaczania oporów toczenia taśmy po krążnikach” i wkład Doktorantki w przyszły rozwój metodyki projektowania górniczych przenośników taśmowych **wnioskuję o wyróżnienie niniejszej pracy.**



Dr hab. inż. Piotr Kulinowski