

Kraków, dnia 2.12.2024 r.

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Bortnowskiego pt. „*Modelowanie pracy taśmowego napędu pośredniego z dodatkowym sprzężeniem ciernym taśm w ciągnie dolnym*”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Bortnowskiego pt. „*Modelowanie pracy taśmowego napędu pośredniego z dodatkowym sprzężeniem ciernym taśm w ciągnie dolnym*” wykonanej na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii pod opieką promotora prof. dr. hab. inż. Roberta Króla, została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka z dnia 9. października 2024 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Bortnowskiego dotyczy zagadnienia modelowania współpracy ciernej między taśmami w pośrednim układzie napędowym typu taśma-taśma (T-T) oraz badań pracy tego układu i walidacji modelu w warunkach laboratoryjnych.

Przedstawiona do recenzji praca składa się z jedenastu rozdziałów zawierających opracowanie tekstowe, rysunki, wykresy i tabele oraz bibliografię. Praca liczy 147 stron, łącznie z wykazem najważniejszych symboli, spisami rysunków i tabel oraz streszczeniami w języku polskim i angielskim.

W pierwszym rozdziale stanowiącym wstęp pracy przedstawiono problem naukowo-badawczy podjęty przez Autora dotyczący problematyki budowy długich przenośników taśmowych, w szczególności związanej z występującym wzrostem naprężeń wzdłużnych w taśmie oraz z koniecznością zwiększania liczby jednostek napędowych i zagadnieniami wyboru ich lokalizacji. Wprowadzenie do tematyki pracy oparto na analizie publikacji naukowo-technicznych.

Rozdział drugi, zatytułowany „*Motywacja*”, opisuje genezę pracy i powody, dla których Doktorant podjął tematykę badania i modelowania taśmowych napędów pośrednich, ze szczególnym uwzględnieniem rozszerzenia obszaru ich pracy o równoczesne wykorzystanie ciągnia dolnego przenośnika do przeniesienia siły napędowej.

W rozdziale trzecim Doktorant zdefiniował cel pracy, którym było wykazanie, że taśmowy napęd pośredni, poprzez dodatkowe sprzężenie taśm w ciągnie dolnym zwiększy zdolności trakcyjne przenośnika taśmowego.

Rozdział czwarty dotyczy reologii taśm przenośnikowych. Wiedza na temat własności taśm przenośnikowych jest niezbędna do analizy pracy nowych układów napędzania taśmy przenośnikowej.

W piątym rozdziale opisano zagadnienia poświęcone współpracy cierniej taśmy z bębniem napędowym. Autor szczegółowo zgłębił dostępną literaturę opisującą te zagadnienia. Głównym wnioskiem przeprowadzonej analizy było stwierdzenie, że poślizg taśmy względem powierzchni pędzącej (napędzającej) jest konieczny do ciernego przenoszenia siły napędowej.

Publikacje poświęcone badaniom napędów pośrednich przeanalizowano w rozdziale szóstym, który jest stosunkowo krótki, niemniej jego wyodrębnienie było zasadne ze względu na wagę poruszanego problemu.

W rozdziale siódmym przedstawiono aktualny stan badań poślizgu sprężystego w przekładniach pasowych i poddano go analizie w kontekście wykorzystania tej wiedzy do modelowania ciernego, taśmowego napędu pośredniego.

Rozdział ósmy rozpoczyna syntetyczną część pracy, w którym opracowano teoretyczny model rozkładu sił w taśmach pędzącej i pędzonej w napędzie pośrednim pracującym w układzie jednocięgnowym oraz dwucięgnowym, uwzględniający wpływ sprężystych odkształceń taśmy, przyjęto założenia dotyczące kształtowania się strefy poślizgu i adhezji pomiędzy współpracującymi ciągnami, a także wyprowadzono równanie opisujące sprawność sprzężenia ciernego w taśmowym napędzie pośrednim.

Rozdział dziewiąty opisuje proces przygotowanie stanowiska badawczego, projektowania systemu pomiarowego oraz układu sterowania. Działania te umożliwiły przeprowadzenie eksperymentów walidacyjnych.

Dysertację podsumowują dwa rozdziały. W przedostatnim, dziesiątym rozdziale pracy, przeprowadzono porównanie rezultatów testów laboratoryjnych z wynikami uzyskanymi na podstawie opracowanych modeli teoretycznych, natomiast wnioski końcowe zamieszczono w rozdziale dziesiątym.

Pracę doktorską zamyka spis publikacji wykorzystanych podczas jej realizacji, który obejmuje 136 pozycje, w tym 3 publikacji będących współautorstwem Doktoranta. Wszystkie pozycje załączonej bibliografii zostały zacytowane w tekście pracy.

Na końcu pracy zamieszczono spis rysunków i tabel.

3. Ocena tematu i celu pracy

Temat niniejszej rozprawy doktorskiej „*Modelowanie pracy taśmowego napędu pośredniego z dodatkowym sprzężeniem ciernym taśm w ciągnie dolnym*” dotyczy zagadnień związanych z projektowaniem napędów pośrednich, wykorzystujących dodatkową taśmę pędną do przekazania siły pociągowej taśmie głównej przenośnika taśmowego. Autor poddał analizie modelowej jak i testom laboratoryjnym napęd taśmowy, który poza napędzaniem taśmy górnej (nośnej) posiada zdolność przekazywania siły napędowej taśmie dolnej (powrotnej). Postawiony cel pracy jako **wykazanie możliwości zwiększenia zdolności trakcyjnych w taśmowym napędzie pośrednim poprzez dodatkowe sprzężenie ciernie taśm w ciągnie dolnym** został określony prawidłowo a zaplanowany i zrealizowany zakres pracy, obejmujący zagadnienia modelowania i eksperymentalnej walidacji opracowanych modeli, umożliwił jego osiągnięcie.

4. Merytoryczna ocena pracy

Podczas realizacji pracy Doktorant dokonał rzetelnej analizy literatury przedmiotowej, opracował teoretyczne modele rozkładu sił i zmian prędkości w taśmach pędzącej i pędzonej oraz zaplanował i przeprowadził serię eksperymentów walidacyjnych.

Za główne osiągnięcia Doktoranta można uznać:

- analizę stanu wiedzy dotyczącej zjawisk przekazywania siły napędowej w ciernych układach napędowych przenośników taśmowych,
- opracowanie teoretycznego modelu taśmowego układu napędowego dla jednostronnego i dwustronnego sposobu napędzania taśmy głównej,
- konfigurację stanowiska badawczego oraz zaprojektowanie i kalibrację torów pomiarowych niezbędnych do realizacji planu badań,
- zaplanowanie i realizacja badań zjawisk trudnych do identyfikacji w warunkach laboratoryjnych oraz zaawansowana obróbka i analiza danych pomiarowych,
- sformułowanie wniosków stanowiących istotny element wiedzy dotyczącej projektowania taśmowych układów napędowych.

Generalnym wnioskiem z przeprowadzonych analiz było stwierdzenie, że badania i pomiar prędkości poślizgu jest technicznie wykonalny w warunkach laboratoryjnych i jego zaplanowanie i przeprowadzenie jest jak najbardziej zasadne. Wnioski dotyczące walidacji modelu teoretycznego w warunkach laboratoryjnych są prawidłowe, ale obciążone pewnymi nieścisłościami związanymi z eksperymentalnym wyznaczeniem modułu sprężystości taśmy oraz zdefiniowaniem poślizgu taśmy jako zmiany prędkości taśmy wynikającej ze zmiany jej obciążenia wzdłużnego.

Celowość zastosowania napędu dwucięgowego jest dyskusyjna, obniżenie wartości siły rozciągającej taśmę dolną poniżej minimalnej wartości wymaganej dopuszczalnymi zwisami taśmy wymusi zwiększenie wstępnej siły napinającej i może w konsekwencji zniwelować korzystny efekt zastosowania napędu pośredniego.

Na duże uznanie zasługują kompetencje i biegłość Autora pracy w przygotowaniu planu i obiektu badań, obróbce danych i ich analizie. Badane zjawisko było dużym wyzwaniem badawczym i obiektywnie trudnym do zrealizowania, m.in. ze względu na cechy obiektu, które mogły nie zostać wystarczająco wyeksponowane w skali laboratoryjnej.

Dysertacja ma w pełni charakter pracy naukowej, charakteryzującej się wieloma problemami związanymi z prowadzeniem badań eksperymentalnych, ale które są rozwiązywane ze starannością i rzetelnością, co pozwala na wyrobienie własnej opinii na temat badanych zjawisk i taśmowych napędów pośrednich i co czyni tę pracę w pełni użyteczną i wartościową dla środowiska badaczy przenośników taśmowych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy uważam, że układ pracy jest logiczny i właściwy. Doktorant wykazał się znajomością problemu, a przyjęta metoda opracowania problemu badawczego została dobrana prawidłowo. Zaplanowany szeroki zakres podjętych działań spowodował, że Doktorant nie ustrzegł się pewnych uchybień w pracy, co nie umniejsza jej dużej wartości naukowej i badawczej.

Cel postawiony w pracy został osiągnięty, wyniki w niej przedstawione są nowatorskie i stanowią oryginalny dorobek naukowy Doktoranta.

5. Uwagi szczegółowe

Poniżej przedstawiono uwagi szczegółowe do tekstu dysertacji. W odwołaniu do 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.

1. We wstępie Autor sformułował zdanie (13¹²), że rozproszenie jednostek na całej długości przenośnika i przekazywanie energii napędowej na dużej powierzchni stanowi fundamentalne rozwiązanie problemu napędzania taśmy. Jest to śmiałe stwierdzenie, gdyż rzeczywista skala zastosowania napędów taśmowych świadczy o tym, że ich zastosowanie rozwiązując jeden problem generuje inne, trudniejsze do rozwiązania w procesie eksploatacji.
2. Tytuł rozdziału drugiego „Motywacja” w powszechnym rozumieniu tego słowa częściej odnosi się do uzasadnienia podjęcia działań w ujęciu personalnym. Treść rozdziału opisuje genezę problemu naukowo-badawczego, powód podjęcia tematu.
3. Parametry modelu trójparametrowego (standardowego) taśmy wbrew zdaniu zamieszczonemu w podsumowaniu rozdziału czwartego jest możliwe do wyznaczenia, co udowodniono np. w monografii habilitacyjnej prof. Jabłońskiego i później w pracy doktorskiej dr. Zarzyckiego.
4. Jak jest definiowana efektywność przenośnika i w jaki sposób taśmowe napędy pośrednie miałyby ją poprawić (str.40)? Powołując się na literaturę Doktorant użył sformułowania, że napędy pośrednie poprawiają efektywność przenośnika oraz zwiększają ogólną wydajność i niezawodność systemu (40₅) oraz (41²). Napędy pośrednie ułatwiają rozlokowanie jednostek napędowych, pozwalają na zmniejszenie naprężeń w taśmie oraz redukują liczbę punktów przesypowych, ale w jaki sposób zwiększają wydajność przenośnika?
5. Co oznacza sformułowanie ze str. 52₁₄ „Warunek hamowania taśmy górnej”?
6. Dlaczego siła w taśmie napędzanej nie może spaść poniżej wstępnej siły napinającej taśmę na bębnie zwrotnym (52₉)?
7. Jak należy interpretować sformułowanie zamieszczone na str. 56₅ „zbagatelizowanie znaczenia przepięcia taśmy”?
8. We wzorze (8.42) definiującym zewnętrzny opór ruchu przenośnika głównego W^N brak następujących składowych: oporu ruchu na odcinku 1-2 W_{1-2} oraz oporów na bębnie czołowym i zwrotnym W_{5-6} oraz W_{3-4} .
9. Współczynnik k został zdefiniowany w spisie oznaczeń jako współczynnik sprężystości taśmy [N/m]. Jaką wielkość fizyczną reprezentuje parametr k zamieszczony we wzorze poniżej równania (8.44), strona 58¹?
10. Czym są „oczywiste względy” nadmienione w zdaniu między wzorami (8.47) i (8.48) na str. 59⁷?
11. We wzorach (8.49-8.51) powinien być uwzględniony przekrój rdzenia taśmy A [m²] w iloczynie EA . Korekta ta jest konieczna ze względu na wymiar wyrażenia definiującego siłę tarcia we wzorze (8.52).
12. Jaka jest relacja między wielkościami l_{pd} a l^P , występującymi we wzorze (8.56)?
13. Co oznacza wyrażenie $v_2^P W^N / E^P$ zamieszczone w tekście na stronie 61₃ i jaki ma wymiar?
14. Zdanie na str.62¹⁰ dotyczące współczynnika κ jest niezrozumiałe i wymaga wyjaśnienia, podobnie jak akapit występujący po wzorach (8.58 i 8.59). Czym jest współczynnik κ ? We wspomnianych wzorach nie uwzględniono przekroju rdzenia A [m²].

15. Czy wartość przekazywanej siły tarcia zależy od modułu sprężystości czy też współczynnika sprężystości (62_{11}) - jaka jest różnica między tymi dwoma wielkościami?
16. Jak należy rozumieć wyrażenie „lokalizacja w bliskiej odległości od strony bębna napędowego przenośnika głównego”?
17. Rozdział 8.4 poświęcono sprawności napędu pośredniego, jak została ona zdefiniowana? Na str. 105²⁶ zamieszczono informację o 91% i 65% sprawności przekazywania siły tarcia. W jaki sposób została ona wyznaczona?
18. We wzorze (8.92) do sił tarcia T_g jest dodawana praca sił tarcia $dW_{(T)g}$, co wymaga wyjaśnienia. Podobny problem występuje w równaniach dotyczących ciągu dolnego we wzorach (8.109-8.115).
19. Próbkę badanej taśmy, przedstawione na rys.9.2 nie mogą być wykorzystywane do wyznaczania modułu sprężystości taśmy ze względu na zmianę ich przekroju w obszarze bazy pomiarowej odkształcenia. Dlaczego nie zbadano próbki taśmy w spodziewanym zakresie obciążenia eksploatacyjnego?
20. Na rys.9.4a przedstawiono liniowy wzrost naprężeń w funkcji odkształcenia, skąd zatem silnie nieliniowa wartość modułu sprężystości? W zdaniu na str.78¹ stwierdzono, że przebieg zmiany modułu jest zbliżony do charakterystyk materiałów gumowych lub kompozytowych opartych na gumie, co nie do końca odpowiada rzeczywistości, rdzeń taśmy nie jest gumowy, ale poliestrowo-poliamidowy a wyznaczone w pracy wartości modułu sprężystości taśmy EP250 wysoce odbiegają od wartości spodziewanych na podstawie danych literaturowych.
21. Jak zakres pomiarowy czujnika HBMS9M wpływa na dokładność zmierzonej siły obwodowej?
22. Jak zdefiniowano i wyznaczano prędkość poślizgu taśmy napędu pośredniego typu T-T? Czy jest to względna różnica prędkości taśmy pędzącej i pędzonej, czy jest to prędkość kurczenia lub rozciągania taśmy?
23. Przykładowe wykresy prędkości taśmy na rys.9.13 są niedokładne, ale świadczą o dużej trudności w pomiarze prędkości taśmy z dokładnością umożliwiającą wyznaczenie zmiany jej długości na odcinku napędu pośredniego. W jaki sposób wyznaczono prędkość poślizgu na podstawie sygnałów z enkoderów?
24. Dlaczego nie zmierzono prędkości, a zatem odkształcenia taśmy napędzanej (pędzonej)? Taki pomiar był konieczny dla wyznaczenia prędkości poślizgu między taśmą pędzącą a napędzaną (pędzoną). Argument zamieszczony na str.89₂ nie jest przekonujący. Dyskusyjna jest także teza postawiona na str.90⁵, że pomiar prędkości wyłącznie w taśmie pędzącej jest wystarczający i że nie jest istotna różnica prędkości między taśmą pędzącą a pędzoną.
25. Na rys.9.14 zamieszczono wykres zmian oporów ruchu napędu pośredniego w funkcji prędkości taśmy. Jak zatem wygląda charakterystyka oporów przenośnika głównego?
26. Wykresy na rys.9.15, 9.16 i 9.17 są mało czytelne a wyznaczona linia trendu budzi pewne wątpliwości. W jaki sposób ją wyznaczono, dlaczego trend liniowy, jak wyglądał przebieg siły tarcia w funkcji czasu, podczas eksperymentu? Podobne pytania nasuwają się podczas analizy wykresów z rys.9.24.
27. Na rys.9.18 przedstawiono przebieg zmian sił tarcia T_d dla napędu „jednocierownego”, czyli dla przypadku, gdy $T_d=0$. W jakim celu dokonano tej prezentacji?

28. Znajomość przyrostu prędkości taśmy pędzącej, określanej jako prędkość poślizgu, w funkcji przyrostu siły w taśmie mogłaby stanowić podstawę do wyznaczenia współczynnika sprężystości taśmy a następnie do walidacji teoretycznego modelu pracy taśmowego napędu pośredniego (Rys.9.19). Jaka byłaby to wartość?
29. Czy zaznaczone na czerwono obszary błędu pomiarowego enkodera (rys.9.24 i 9.25) oznaczają, że punkty wewnątrz tego obszaru były uwzględniane przy wyznaczaniu linii trendu czy też były odrzucane?
30. Wyniki analizy ANOVA przeprowadzonej przez Autora na uzyskanych rezultatach badań potwierdziły znaną od wieków prawdę, że siła tarcia T_g zależy od siły nacisku N_g , co w sumie świadczy o prawidłowym przebiegu badań. (str.107⁶)
31. Na str.113 Doktorant stwierdził, że 7% przyrost oporów ruchu jest wartością niewielką w porównaniu z korzyściami wynikającymi ze zwiększenia zdolności trakcyjnych. Jest to teza dyskusyjna, niewielki wzrost siły napędowej prawdopodobnie nie zrekompensuje strat energii i wystąpienia możliwych problemów z kontrolą pracy dolnego napędu pośredniego, poślizgami i spadkiem napięcia taśmy dolnej. Autor na str.120⁵ stwierdza, że praca napędu dwucięgnowego jest stabilniejsza i zapewnia skuteczne przekazywanie siły tarcia, o ile są spełnione optymalne warunki. Różnica prędkości taśmy górnej (nośnej) i dolnej (powracającej) jest wyraźna i mierzalna w warunkach przemysłowych, zatem jak będzie przebiegała praca napędu dwucięgnowego w takich warunkach?
32. W tabelach 10.1 i 10.2 przedstawiono porównanie wartości teoretycznych i eksperymentalnych, opis mało czytelny, interesujące byłoby przedstawienie wyników w formie wykresów.
33. Jeśli w pośrednim napędzie taśmowym taśma pędzona i pędząca będzie tego samego typu ($E^N=E^P$), a jest to często stosowana praktyka i tak to miało miejsce podczas eksperymentu, to wartość $E_z^N/(E_z^N+ E_z^P)= E_z^P/(E_z^N+ E_z^P)=0,5$. Skąd zatem w tabeli tak rozbieżne wartości: 0,02; 0,98 i 0,5? Prawdopodobnie jest to wynik błędnie wyznaczonych wartości modułów sprężystości i silne powiązanie ich wartości ze stanem obciążenia.
34. W zdaniu podsumowania na str.130¹² znalazło się stwierdzenie, które budzi wątpliwości, gdyż cechą taśmowego napędu pośredniego nie jest redukcja oporów przenośnika i zmniejszenie jego energochłonności.

6. Uwagi edytorskie

Styl pisanego tekstu przez Doktoranta jest przejrzysty a sposób formułowania zdań precyzyjny i logiczny. W pracy spostrzeżono nieliczne błędy edytorskie i stylistyczne, które wyszczególniono poniżej:

1. W spisie treści błędnie ponumerowano podrozdziały rozdziału 10 - 10.0.1, 10.0.2 i 10.1 „Podsumowanie”. Ponadto w spisie treści występuje błąd numeracji stron rozdziałów „Bibliografia”, „Spis rysunków” oraz „Spis tabel”.
2. Sformułowanie „punkty przekazywania napędu” lepiej by brzmiało w formie np. miejsca przekazywania siły napędowej (18₈).
3. Czy we wzorze 8.11 i 8.12 wielkość dS^P powinna być zastąpiona przez symbol S^P ?
4. We wzorach (8.11) i (8.15) moduł dynamiczny określany w N/m^2 powinien być pomnożony przez $A [m^2]$ - przekrój rdzenia taśmy a nie jej szerokość $B [m]$.
5. Jak interpretować formułę (8.26). przedstawiony zapis jest niejasny?

6. W pracy spotykane jest zakończenie rozdziału wzorem, bez komentarza. Np. po wzorze (8.30) umożliwiającym wyznaczenie długości strefy adhezji, a ponadto po wzorach (8.35, 8.52).
7. Sformułowanie w zdaniu powyżej równania (8.45) jest nieprecyzyjne, gdyż siła tarcia nie jest równa sile ciężkości.
8. Określenie wyznaczonej długości taśmowego napędu pośredniego we wzorze (8.46) byłoby precyzyjniejsze, jako „minimalna” długość a nie „odpowiednia”.
9. We wzorze (8.47) powinny występować indeksy U i T , co ma znaczenie ze względu na jednostki.
10. Na rysunku 8.3 nie zachowano skali wykresu sił w taśmie pędzącej.
11. Na rysunku 8.4 przedstawiono wykres sił dla „dwucięgnowego” taśmowego napędu pośredniego a nie „jednocięgnowego”, jak zamieszczono w podpisie.
12. Do rozważenia jest użycie słów „jednocięgnowy” i „dwucięgnowy” wobec faktu, że w obu przypadkach mamy do czynienia z dwoma ciągnami. Kontakt między ciągnami jest jednostronny lub dwustronny.
13. Słowo „stosunku” należałoby zastąpić słowem np. „relacje” - str. 62².
14. Opis rysunku 8.4 nie odpowiada wykresom sił.
15. W nienumerowanych wzorach na str. 66₄ występuje nieściśłość, weryfikowalna poprzez porównanie stron równania w wymiarze użytych wielkości. Konsekwencją jest błąd we wzorze (8.88). Co oznacza ΔS ?
16. W zdaniu na str.73⁶ użyto słowa „metodologia” definiowane jako nauka o metodach, właściwe byłoby użycie słowa metodyka lub metody.
17. W rozdziale 9., opisującym badania laboratoryjne zamieszczono tylko jedno zdjęcie stanowiska i tylko jeden schemat. To stanowczo zbyt mało, jak na opis stanowiska wykorzystanego do walidacji modeli matematycznych pracy napędu taśmowego typu T-T.
18. W rozdziale 9.3.1 brak schematów ilustrujących sposób pomiaru siły obwodowej.
19. W rozdziale 9.77 dotyczącym analizy wyników badań eksperymentalnych rezultaty należałoby przedstawić w formie graficznej a nie tabelarycznej, która nie jest łatwa do interpretacji.
20. Brak wzoru (9.2) do którego Autor odwołuje się na str. 121¹⁴.
21. Zależności ze str.129⁶ $E^N/(E^N+E^P)=0,66$ oraz $E^P/(E^N+E^P)=0,33$ określają ten sam warunek, który po uproszczeniu można przedstawić jako $E^N=2 \cdot E^P$.
22. Na wielu rysunkach zamieszczono zbyt małe a przez to nieczytelne opisy, podobnie jak opisy na wykresach.

Mimo spostrzeżenia niewielkich uchybień strona graficzna i edytorska zasługuje na uznanie, praca została przygotowana z dużą starannością, jest przejrzysta i estetyczna.

7. Końcowa ocena pracy

Podsumowując, podjętą mgr inż. Piotra Bortnowskiego tematykę uważam za aktualną i uzasadnioną, szczególnie ze względów aplikacyjnych. Przedstawiona do recenzji rozprawa pt. „*Modelowanie pracy taśmowego napędu pośredniego z dodatkowym sprzężeniem ciernym taśm w ciągnie dolnym*” stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta problemu naukowego i badawczego, a uzyskane wyniki badań oraz opracowana własna metoda pomiarowa mogą mieć w przyszłości zastosowanie w sferze gospodarczej. Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa, z uwagi na poruszoną w niej tematykę mieści się w dziedzinie nauk technicznych, w obszarze dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

Sposób rozwiązania problemów teoretycznych i eksperymentalnych postawionych w rozprawie wskazuje na dobre opanowanie i zrozumienie zagadnienia przez Doktoranta. Wykazał się wiedzą teoretyczną w obszarze badanego problemu naukowego oraz umiejętnościami wymaganymi do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Zamieszczone w recenzji uwagi krytyczne nie obniżają wartości rozprawy, a mogą być pomocne w rozwoju naukowym oraz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Autora.

W zakończeniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Bortnowskiego pt. „Modelowanie pracy taśmowego napędu pośredniego z dodatkowym sprzężeniem ciernym taśm w ciągnie dolnym” odpowiada warunkom określonym w art. 187 ust.1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2023 r., poz. 742) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do jej publicznej obrony.



Dr hab. inż. Piotr Kulinowski, prof. AGH