

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

Kraków, dnia 25.08.2014 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Daniela Adameckiego
pt. „Identyfikacja sprzężenia ciernego między nosiwem i taśmą
w przenośnikach nachylonych”**

opracowana na podstawie zlecenia

**Dziekana Wydziału Górnictwa i Geologii
Politechniki Śląskiej**

Prof. dr. hab. inż. Mariana Dolipskiego

z dnia 30.06.2014 r.

1. Ocena tematu i celu pracy

Praca doktorska mgr inż. Daniela Adameckiego dotyczy aktualnego i istotnego problemu zwiększenia efektywności, bezpieczeństwa oraz niezawodności pracy przenośników taśmowych, między innymi dzięki zapewnieniu dobrego sprzężenia ciernego transportowanego nosiwa z taśmą.

Zalety przenośników taśmowych, które są podstawowymi środkami transportu materiałów rozdrobnionych i sypkich, zwłaszcza w górnictwie sprawiają, że obserwuje się systematyczny rozwój ich konstrukcji celem dostosowania do nowych, wciąż rosnących zadań transportowych. Stawia się im coraz większe wymagania nie tylko w zakresie wydajności, odległości i prędkości transportowania, ale także niezawodności, trwałości, energooszczędności i bezpieczeństwa pracy, również ekologicznego.

Nowe materiały i technologie stosowane do ich budowy, nowoczesne napędy oraz techniki komputerowego wspomaganie projektowania umożliwiają innowacyjne rozwiązania tych przenośników. W dążeniu do poprawy efektywności ich pracy są doskonalone elementy i zespoły przenośników (zwłaszcza taśmy) oraz metody obliczeń, jest unowocześniana technika napędowa, automatyka, monitoring i zarządzanie eksploatacją. Jednym z podstawowych problemów, który ma istotne znaczenie dla właściwej eksploatacji przenośnika, jest zapewnienie bezpiecznej i niezawodnej pracy taśmy, będącej najważniejszym i najdroższym jego elementem. W tym kontekście zapewnienie dobrego sprzężenia ciernego transportowanego nosiwa z taśmą, ma podstawowe znaczenie dla racjonalnego projektowania i eksploatacji przenośników taśmowych, stosowanych zwłaszcza w górnictwie.

Z uwagi na powyższe podjęty i zrealizowany przez Autora temat i cel pracy uznaję za aktualny, istotny i uzasadniony.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca licząca 193 strony tekstu - oraz 304 strony *Załącznika* zawierającego wyniki 19. serii pomiarowych i tabele z wynikami analizy statystycznej - składa się z 8. rozdziałów, w tym rozdziału *Literatura* zawierającego 92. pozycje (w tym 11 pozycji współautorskich), 9. pozycji dotyczących norm oraz 1. pozycję dotyczącą profilografu firmy FRT.

We wstępie stanowiącym pierwszy rozdział rozprawy Autor podkreślił istotną rolę, zwłaszcza w górnictwie, przenośników taśmowych będących jednymi z podstawowych środków transportu oraz konieczność zapewnienia w nich dobrego sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą, które ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia bezpiecznej i ekonomicznej eksploatacji tych przenośników, zwłaszcza podczas rozruchu i hamowania na trasach nachylonych. Uzasadnił także celowość podjęcia w tym zakresie laboratoryjnych badań tego sprzężenia na specjalnie do tego celu zaprojektowanym i zbudowanym stanowisku laboratoryjnym.

W rozdziale drugim, Autor w oparciu o przedmiotową literaturę przedstawił zagadnienie oddziaływania między transportowanym materiałem sypkim i taśmą przenośnika w aspekcie ich sprzężenia ciernego. Najpierw, wykorzystując podane w literaturze przez L. Gładysiewicza i A.W. Robertsa, zależności analizował ugięcie taśmy traktowanej jako cięgno wiotkie (struna) oraz jako belka liniowo-sprężysta, a wyniki obliczeń dla przyjętych danych i zmiennej wartości siły w taśmie przedstawił na wykresach.

W dalszej kolejności Autor analizował, przy wykorzystaniu literaturowych zależności, zachowanie nosiwa na taśmie w czasie jej ruchu ustalonego, podczas wystąpienia tzw. „efektu skoczni” oraz w czasie rozruchu i hamowania. Dla przyjętych danych przeprowadził obliczenia wybranych wielkości, takich jak:

- maksymalna wartość kąta podłużnego nachylenia przenośnika przy zachowaniu dobrego sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą w funkcji ekwiwalentnego współczynnika tarcia bez uwzględnienia drgań normalnych, tj. drgań na kierunku prostopadłym względem podłużnej osi taśmy,
- maksymalna prędkość taśmy w funkcji kąta podłużnego nachylenia przenośnika, przy różnych wartościach siły obciążającej ją i ekwiwalentnego współczynnika tarcia przy uwzględnieniu drgań normalnych,
- krytyczne przyspieszenie taśmy (podczas hamowania i rozruchu) przy różnych wartościach siły obciążającej ją i ekwiwalentnego współczynnika tarcia przy uwzględnieniu drgań normalnych.

Wyniki tych obliczeń Autor przedstawił na szeregu wykresach, które pokazują istotny wpływ ekwiwalentnego współczynnika tarcia oraz drgań normalnych (rysunki 2.33 – 2.35) na analizowane wielkości związane ze sprzężeniem ciernym nosiwa z taśmą przenośnika. Brakuje jednak krytycznego komentarza Autora otrzymanych wyników obliczeń oraz próby oceny istniejących ujęć teoretycznych w tym zakresie, a podjęte badania eksperymentalne tych zjawisk powinny umożliwić miarodajne ich wyjaśnienie.

W zakończeniu tego rozdziału Autor wskazał na duże możliwości wykorzystania metod numerycznych (FEM oraz DEM) w badaniach zjawisk związanych z ruchem strugi materiału sypkiego w przenośnikach taśmowych.

Rozdział trzeci przedstawia krótko (niecałe 4,5 strony) problematykę badań tarcia zewnętrznego i technik badawczych.

Rozdział czwarty zawiera tezę i cele rozprawy. Tezę stanowi stwierdzenie, że „projektowanie systemu transportu przenośnikami taśmowymi wymaga znajomości granicznego kąta nachylenia trasy przenośnika”. Celem poznawczym rozprawy jest ustalenie związku między wartościami statycznego i kinetycznego współczynnika tarcia zewnętrznego i parametrami charakteryzującymi właściwości nosiwa oraz taśmy, a celem użytkowym jest opracowanie stanowiska badawczego oraz metodyki badań dla wyznaczenia wartości sił tarcia zewnętrznego między nosiwem, a taśmą przenośnikową.

Rozdział piąty, liczący 134 strony, jest podstawowy i przedstawiono w nim budowę stanowiska badawczego, elementy jego systemu pomiarowego oraz metodykę eksperymentalnych badań współczynników tarcia statycznego i kinetycznego, ale bez uwzględnienia drgań normalnych. Podano także dane charakteryzujące właściwości nosiwa, tj. węgla - płomiennego i gazowego oraz badanych taśm przenośnikowych – tj. wyniki pomiarów ich twardości i chropowatości powierzchni; brakuje jednak komentarza tych wyników przedstawionych na rysunkach 5.5-5.8.

W dalszej kolejności podano wyniki badań sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą przenośnikową, tj. wartości współczynników tarcia statycznego i kinetycznego z oszacowaniem statystycznym niepewności pomiarowej przy wykorzystaniu właściwych testów (Lillieforsa, Kołmogorova-Smirnova). Autor wykorzystując analizę wariancji uzyskanych wyników pomiarów ocenił istotność wpływu na wartości współczynników tarcia statycznego i kinetycznego badanych zmiennych, tj.: rodzaju węgla, jego masy, granulacji i wilgoci całkowitej, rodzaju taśmy i chropowatości jej powierzchni oraz maksymalnego kąta nachylenia równi pochyłej. Uzyskane wyniki z badań współczynników tarcia statycznego i kinetycznego oraz analizy statystycznej wyników pomiarowych Autor podsumował i podał w zakończeniu tego rozdziału (zbiorcza Tabela 5.83).

W rozdziale szóstym Autor podał ogólne wnioski z przeprowadzonych badań oraz proponowane kierunki dalszych badań w tym zakresie.

Literatura stanowi rozdział siódmy i obejmuje 102. pozycje.

Rozdział ósmy stanowiący *Załącznik* jest najobszerniejszy i liczy 303 strony. Zawiera on szczegółowe wyniki badań sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą przenośnikową, przeprowadzonych w 19. seriach pomiarowych i przedstawionych na 190. rysunkach oraz w 380. tabelach.

3. Ocena merytoryczna pracy

Podjęcie problematyki objętej tematem rozprawy uważam za aktualne i uzasadnione. Praca zawiera wiele wartościowych i w pewnym sensie unikalnych wyników badań przeprowadzonych z wykorzystaniem zrealizowanego stanowiska badawczego. Zakres przeprowadzonych badań, jak również uzyskane w nich wyniki, świadczą o dobrym rozeznaniu Autora w przedmiotowej problematyce, jak również Jego umiejętnościach badawczych.

Za osiągnięcia Autora można uznać:

- zastosowanie nowej, eksperymentalnej metody badania współczynników tarcia statycznego i kinetycznego oraz zbudowanie w tym celu odpowiedniego stanowiska i układu pomiarowego,
- opracowanie metodyki odnośnych badań eksperymentalnych z uwzględnieniem w szerokim zakresie wielu zmiennych niezależnych oraz opracowanie wyników tych badań,
- umiejętność wykorzystania właściwych metod statystycznych do oceny niepewności pomiarowej oraz wnioskowania.

Praca dotyczy aktualnej i ważnej problematyki zapewnienia bezpiecznej i efektywnej pracy przenośników taśmowych, zwłaszcza o trasach nachylonych. Zastosowanie opracowanej metodyki badań sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą przenośnikową wychodzi naprzeciw temu zapotrzebowaniu.

Postawiona w pracy teza jest zbyt ogólna i wydaje się dość oczywista bez prowadzenia badań. Szkoda, że Autor w podjętych badaniach eksperymentalnych sprzężenia ciernego transportowanego nosiwa z taśmą nie uwzględnił wpływu drgań normalnych (ale dobrze, że zamierza to zrobić w przyszłości), a także nie podał sposobu wykorzystania uzyskanych wyników badań w praktyce projektowej i eksploatacji przenośników taśmowych.

Postawiony cel poznawczy został osiągnięty, aczkolwiek uzyskane wyniki badań (mające postać stałych liczbowych) dotyczą bardzo wąskiego zakresu odnośnie spotykanych w praktyce rodzajów nosiwa, taśm, a nade wszystko warunków eksploatacji, które są zmienne w szerokich zakresach (np. z powodu zmian własności taśm z upływem czasu, warunków klimatycznych itd.).

Także cel użytkowy rozprawy, tj. opracowanie stanowiska badawczego i metodyki badań sił tarcia zewnętrznego między nosiwem, a taśmą przenośnikową został osiągnięty.

Układ pracy od strony edytorskiej można uznać za poprawny, choć zauważa się znaczną dysproporcję liczby stron w rozdziałach, np. 4, 5 i 8, a także niejednorodność niektórych stosowanych określeń; np. na str. 11: *materiałem sypkim, węglem, nosiwem*; nieścisłość niektórych sformułowań, np. na str. 10: *braki...modeli obliczeniowych umożliwiającą optymalizację układów transportowych nachylonych poprzez racjonalizację współczynników pewności przed poślizgiem..*; na str. 47: *Pomiar tarcia – zamiast – pomiar siły tarcia* oraz inne drobne uchybienia, które przedstawiono w uwagach szczegółowych.

W rozdziale *Literatura* zauważa się brak autorskich pozycji, a w rozprawie - brak wskazania jaki zakres zrealizowanych badań oraz opracowanych ich wyników był wyłącznym udziałem Autora.

4. Uwagi szczegółowe

Mimo podanych wcześniej osiągnięć, Autor nie ustrzegł się wielu uchybień i błędów, a niektóre przedstawiono poniżej; i tak:

- na str. 14 w podpisie Rys.2.2 powinno być: *..A-A (rys.2.1)*, a nie.. *A-A (rys.1)*;
- na str. 17 we wzorach (6) i (7) powinno być: *y(x)* zamiast *y(t)*;

- na stronach 18 i 19 w podpisach rysunków 2.6 i 2.7 powinno być: $\varphi_0 = 0$ i $\varphi_0 \neq 0$, a nie $\varphi_1 = 0$ i $\varphi_1 \neq 0$; podobnie jest w podpisie Rys.2.8 na str. 20;
- na str. 24 we wzorach (15) i (16) powinno być: θ zamiast α ;
- na str. 26 jest niewłaściwa numeracja wzoru (3);
- na str. 29 we wzorze (26) powinno być: $a_y = y''(x)$ zamiast $a_y = y''(t)$;
- na str. 32 w opisie na Rys.2.23 – zgodnie ze wzorem (32) – zamiast v powinno być v_i ;
- na str. 33 w wierszu pod podpisem Rys.2.24 powinno być: .. *zależności (18)*.., a nie .. *zależności (14)*..;
- na str. 39₂ (tzn. w 2. wierszu od dołu strony) powinno być: ..*zależność (Rys. 2.33)*.., a nie .. *zależność (2.33)*..;
- na str. 41¹ pod podpisem Rys.2.34 powinno być: ..*z równania (28)*.., a nie ..*z równania (22)*..;
- na str. 46 w podpisie Rys.3.3 powinno być: *Pomiar siły tarcia*.., a nie *Pomiar tarcia*..;
- na rysunkach 5.2 i 5.3 (str. 52 i 53) należało zaznaczyć elementy składowe stanowiska badawczego;
- na str. 54 w objaśnieniach wielkości występujących we wzorach (62) i (64) nie podano jak szacowano wartość siły F_{or} ;
- na str. 61² w nawiązaniu do .. *przejścia ze stanu spoczynku do ruchu*.. nie podano, jak dobierano przedział wartości kąta φ uwzględniany w aproksymacji siły F_{gm} ;
- na str. 81³⁻⁶⁻⁹ powinno być: ..*współczynnika (współczynnik) tarcia kinetycznego*.., a nie *statycznego*..; także na str. 82⁶ powinno być: ..*współczynnika tarcia kinetycznego*.., a nie *statycznego*..;
- na str. 182⁹ powinno być: ..*między pojedynczą nierównością*.., a nie .. *między pojedynczą chropowatością*..
- na str. 187¹² powinno być: ..*określenie wartości współczynników tarcia*.., a nie .. *określenie współczynników tarcia*..
- na str. 187₁₄ powinno być: ..*zarówno kąty tarcia statycznego i kinetycznego*.., a nie ..*zarówno statyczne i kinetyczne kąty tarcia*..

Należy zaznaczyć, że w innych miejscach pracy Autor także użył mało poprawnych edytorsko sformułowań, co zostało Mu przedstawione w bezpośredniej rozmowie.

5. Końcowa ocena pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera bogaty i wartościowy materiał badawczy, uzyskany na drodze badań laboratoryjnych wymagających dużego wysiłku organizacyjnego, technicznego oraz zaangażowania i pracy ze strony Autora. Uzyskane wyniki z badań potwierdziły celowość ich podjęcia oraz wykazały, że wykonane stanowisko oraz opracowana metodyka badań sprzężenia ciernego nosiwa z taśmą przenośnikową są właściwe i mogą być przydatne w dalszych tego rodzaju badaniach uwzględniających inne rodzaje taśm i nosiwa, a także odmienne warunki ich współpracy cierniej.

W związku z tendencjami budowy przenośników taśmowych o coraz wyższych parametrach eksploatacyjnych (wydajnościach, długościach, prędkościach) oraz zwiększania ich niezawodności, trwałości i bezpieczeństwa pracy, znajomość miarodajnych (czyli opartych na wynikach badań eksperymentalnych) wartości granicznych nachyleń tras ma istotne znaczenie. Podjęte w rozprawie badania korespondują z tymi tendencjami i wymagają kontynuacji z uwzględnieniem wpływu drgań normalnych. Mimo wcześniej wskazanych niedociągnięć i błędów edytorskich w rozprawie (które należy usunąć w dalszych publikacjach), stanowi ona wartościowy dorobek naukowy Autora.

Podsumowując ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że dotyczy ona dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska oraz stanowi oryginalne rozwiązanie podjętego problemu. Autor osiągnął postawione cele wykazując się wiedzą i umiejętnościami do prowadzenia badań naukowych z zakresu podjętej problematyki. Moje uwagi krytyczne nie obniżają wartości rozprawy, a mogą być pomocne w dalszej działalności naukowej oraz publikacyjnej Autora. Rezultaty badań zawarte w rozprawie posiadają wartości poznawcze i użytkowe, które mogą być przydatne w budowie i eksploatacji przenośników taśmowych.

W zakończeniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Daniela Adameckiego pt. „Identyfikacja sprzężenia ciernego między nosiwem i taśmą w przenośnikach nachylonych” spełnia wymagania określone w „Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami i wnioskuję do Rady Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Autora do jej publicznej obrony.

