

Dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. PŚ

Gliwice, 15 września 2022 r.

Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 2, 44–100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Maksymiliana Ozdoby

pt. „*Modelowanie i identyfikacja drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej*”

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie pisma Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. PWr z dnia 25 lipca 2022 r. (znak: RDND08/102/2022).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Treść recenzowanej pracy doktorskiej zawarta została na 99 stronach maszynopisu. Praca składa się z 10 rozdziałów, wykazu najważniejszych symboli, spisu literatury, spisu rysunków i tabel oraz streszczenia pracy w języku polskim i angielskim. Autor zamieścił w niej ogółem 66 rysunków oraz 8 tabel. Bibliografia zawiera 93 pozycje literaturowe, w tym 8 których Doktorant jest współautorem.

Praca podejmuje niezwykle istotne i stale aktualne zagadnienie, jakim jest poprawa stanu dynamicznego jednego z podstawowych środków odstawy urobku w kopalniach powierzchniowych i podziemnych, jakimi są górnicze przenośniki taśmowe. Działania te przekładają się na wzrost trwałości i niezawodności eksploatacyjnej tych maszyn, redukcję energochłonności transportu materiałów sypkich oraz obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Redukcja drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej oraz eliminacja stanów rezonansowych taśmy przyczynia się również do zachowania własności użytkowych transportowanych materiałów sypki, m.in. poprzez ograniczenie ich degradacji i segregacji oraz strat w trakcie transportu.

We wstępie (**Rozdział 1**) Autor przedstawił tło podjętego w dysertacji tematu. Jedną z cech przenośników taśmowych, jako złożonych obiektów dynamicznych, jest występowanie drgań podłużnych i poprzecznych taśmy przenośnikowej. Drgania te w zdecydowanej większości przypadków są szkodliwe. Autor wymienia tu m.in. nadmierne obciążenie dynamiczne i uszkodzenia taśmy, uszkodzenia krążników i innych elementów przenośnika, segregację, zmianę właściwości, wysypywanie, czy zakłócenia ciągłości strugi nosiwa, a także wzrost energochłonności transportu i nadmierny hałas. W rozdziale tym Doktorant, w oparciu o literaturę omawia pokrótce zjawisko drgań poprzecznych taśm przenośnikowych oraz towarzyszącego mu hałasu, źródła wzbudzania drgań, wskazując jako istotne wymuszenie drgań ruch obrotowy krążników. Dokonuje przeglądu stosowanych obecnie metod (modeli) obliczeniowych stosowanych przy projektowaniu przenośników taśmowych, opisujących drgania po-

przecne taśmy. Omawia problem pomiaru parametrów charakteryzujących drgania taśm przenośnikowych, wskazując na to, że stosowane aktualnie metody mają charakter miejscowy i przeznaczone są zasadniczo do warunków laboratoryjnych. Istnieje więc potrzeba opracowania metody pomiaru możliwej do zastosowania również w warunkach przemysłowych (w tym w górnictwie).

W **Rozdziale 2** Autor dokonuje przeglądu modeli matematycznych opisujących zjawisko drgań poprzecznych taśmy w przenośnikach taśmowych. Na początku przedstawiona jest charakterystyka czynników wpływających na drgania taśmy przenośnikowej. Do najważniejszych czynników Autor pracy zaliczył: budowę taśmy przenośnikowej i związane z nią własności dynamiczne taśmy, siłę napięcia taśmy, prędkość taśmy, moduł sprężystości podłużnej i sztywność zginania taśmy oraz konstrukcję podpór krążnikowych. W rozdziale tym Autor pracy przedstawił najważniejsze modele matematyczne umożliwiające wyznaczenie częstotliwości drgań własnych taśmy, takie jak model: struny, Lodewijksa, Harrisona oraz model stosowany w praktyce inżynierskiej. Dla części z nich w pracy znalazły się wyprowadzenia wzorów na częstotliwość (częstość) drgań własnych taśmy, której znajomość jest niezbędna z punktu widzenia oceny możliwości występowania zjawiska rezonansu.

Niejako na doczepekę w rozdziale tym znalazł się podrozdział dotyczący pomiaru drgań taśmy (rozd. 2.4). Treść tego podrozdziału nie pasuje do tytułu rozdziału 2, choć jest on ważny z punktu widzenia celu badawczego, jaki postawił sobie Autor recenzowanej pracy. W rozdz. 2.4 Autor pracy dokonał przeglądu znanych metod pomiaru drgań taśmy przenośnikowej, kładąc największy nacisk na metody bezstykowe, wykorzystujące różne zjawiska fizyczne (zastosowanie czujników optycznych, w tym kamer szybkich, dźwiękowych i ultradźwiękowych, magnetycznych, czy elektrostatycznych).

Rozdział 3 – „Motywacja” – stanowi próbę uzasadnienia celowości podjęcia tematu. Choć z dokonanego przeglądu literaturowego w zakresie modelowania drgań poprzecznych taśmy przenośników taśmowych oraz pomiaru jej drgań poprzecznych (rozd. 1 i 2) wynika jednoznacznie potrzeba prowadzenia dalszych badań w tym zakresie, to Autor pracy robi to dość chaotycznie. W uzasadnieniu próbuje posiłkować się wynikami badań laboratoryjnych na stanowisku, które, jak sam stwierdza miało „*nietypową konfigurację, zbliżoną do przekładni pasowej*” (str. 33). Z cytowanych badań na tym stanowisku wynika, że prędkość taśmy nie ma w zasadzie wpływu na częstotliwość drgań poprzecznych taśmy. Wpływ taki ma natomiast siła napięcia taśmy. Dość nieoczekiwane dla mnie są wyniki badań, na które powołuje się Doktorant, wpływu rozstawu podpór krążnikowych na częstotliwość drgań poprzecznych taśmy (rys. 18). W przytaczanych z literatury modelach matematycznych, rozstaw podpór krążnikowych l_k występuje w mianowniku. Stąd pokazane na rys. 18 zależności częstotliwości drgań poprzecznych taśmy od tej wielkości są hiperboliczne. Jest to zgodne z intuicją i wyjaśnia chociażby działanie instrumentów muzycznych strunowych i dętych. Im krótsza fala (mniejsza długość struny, czy piszczałki), tym wyższa częstotliwość drgań (wyższy dźwięk). W przypadku przenośnika taśmowego należy się spodziewać, że efekt będzie podobny – im większy rozstaw podpór krążnikowych tym mniejsza częstotliwość drgań poprzecznych taśmy (zależność odwrotnie proporcjonalna).

Autor, na podstawie przeprowadzonych badań literaturowych, dostrzega ograniczenia dotychczas stosowanych modeli matematycznych. Widzi konieczność uwzględnienia sztywności zginania taśmy, zwłaszcza że w powszechnie stosowanych w górnictwie przenośnikach taśmowych jest ona uformowana w nieckę (czego w większości modeli się nie uwzględnia, lub są to modele bardzo skomplikowane). Wskazuje ponadto na potrzebę opracowania metody i mobilnego przyrządu do pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej, umożliwiających realizację pomiarów w warunkach polowych (eksploatacyjnych), na całej długości trasy przenośnika, w dowolnym jej miejscu, bez konieczności montażu aparatu-

ry na przerośniku, co wiąże się z koniecznością zatrzymywania przerośnika. Pomiary drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej realizowane były przy tym jak dotąd na przerośnikach nieobciążonych nosiwem. Autorskie rozwiązanie ma umożliwić prowadzenie pomiarów również taśmy obciążonej nosiwem (gałęzi ładownej).

W **Rozdziale 4** Autor pracy doktorskiej postawił tezę, którą chce udowodnić w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań. W rozdziale tym określony został ponadto zakres badań niezbędnych do przeprowadzenia, w celu udowodnienia tezy pracy.

Celem naukowym (poznawczym) pracy (choć nie jest to napisane wprost, ale wynika z treści pracy) było opracowanie nowego, lepszego, w porównaniu do dotychczas stosowanych, zweryfikowanego doświadczalnie modelu matematycznego opisującego drgania poprzeczne taśmy przerośnikowej z uwzględnieniem dotychczas nie branych pod uwagę czynników oraz poznanie wpływu uformowania taśmy przerośnikowej w nieckę na jej drgania poprzeczne.

Celem użytkowym pracy było natomiast opracowanie mobilnego urządzenia pomiarowego do pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej w warunkach eksploatacyjnych, pomocnego w diagnostyce technicznej górniczych przerośników taśmowych. Celem użytkowym pracy było również opracowanie metody predykcji siły napięcia taśmy na podstawie zmierzonych częstotliwości przyspieszenia jej drgań poprzecznych (w oparciu o autorski model matematyczny drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej).

Zasadniczą część recenzowanej pracy doktorskiej stanowią rozdziały: 5 – 10. W **Rozdziale 5** przedstawiony został autorski przyrząd do pomiaru i rejestracji przyspieszenia drgań. Działanie tego przyrządu oparte jest na wykorzystaniu trójosiowego czujnika akcelerometrycznego współpracującego z mikrokomputerem jednopłytkowym oraz modułem rejestracji danych na karcie pamięci SD. Tytuł tego rozdziału jest moim zdaniem trochę na wyrost, gdyż metoda pomiaru nie jest nowa, natomiast za nową można uznać konstrukcję samego przyrządu. W rozdziale tym Autor opisuje zasadę działania przyrządu pomiarowego, zagadnienie jego kalibracji (choć dość enigmatycznie) oraz proces przetwarzania i cyfrowej analizy zarejestrowanych danych pomiarowych. Testowanie opracowanego przyrządu pomiarowego dokonane zostało na przerośniku laboratoryjnym. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe zarejestrowanego sygnału drganiowego wyznaczone zostało z wykorzystaniem krótkotrwałej transformaty Fouriera. Pozwoliło to na wyodrębnienie istotnych składowych drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej.

Rozdział 6 poświęcony jest omówieniu autorskiego modelu drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej. Oparty on został na modelu belki osiowo rozciąganej. W rozdziale tym Autor przedstawia wyprowadzenie równania ruchu taśmy przerośnikowej oraz wzoru umożliwiającego wyznaczenie jej częstości drgań własnych z uwzględnieniem rzeczywistej geometrii jej przekroju (niecki), prędkości taśmy oraz masy taśmy i nosiwa.

Kolejnym etapem prac były badania stanowiskowe, których celem była walidacja opracowanego modelu drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej oraz określenie wpływu kąta niecki na intensywność i charakter drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej (**Rozdział 7**). Przeprowadzone one zostały na przerośniku laboratoryjnym o długości 8 m wyposażonym w taśmę tekstylną EP200 o szerokości 0,8 m oraz pięć podpór trójkątnikowych rozmieszczonych w jednakowych odległościach wynoszących 0,95 m. Dzięki możliwości płynnej regulacji prędkości taśmy możliwe było zadawanie różnych prędkości kątowych krążników wymuszających drgania taśmy o różnym kształcie przekroju poprzecznego, wpływającego na jej sztywność zginania. Konstrukcja stanowiska umożliwiła również zadawanie różnych kątów niecki w granicach od 0 do 41° (zbadano pięć takich kątów). Na podstawie przebiegów czasowych przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przerośnikowej wyznaczone zostały widma amplitudowo-częstotliwościowe i dalej częstotliwości dominującej składowej drgań.

Opracowane wyniki pomiarów wykorzystane zostały do weryfikacji opracowanego modelu matematycznego drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej (rozdz. 7.3). Określono ponadto wpływ kąta niecki taśmy przenośnikowej przekładającego się na sztywność jej zginania na częstotliwość i amplitudę przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy (rozdz. 7.2). W rozdz. 7.4 Autor recenzowanej pracy doktorskiej dokonał identyfikacji stanu rezonansowego taśmy przenośnikowej oraz prędkości taśmy, przy której stan ten wystąpił w badanym przenośniku.

W **Rozdziale 8** Doktorant przedstawił natomiast badania poligonowe zrealizowane na górniczym przenośniku taśmowym o długości 78 m, eksploatowanym w kopalni kruszyw. Przedstawiony został obiekt badań oraz przebieg pomiarów. Celem tych badań był pomiar częstotliwości drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej na całej długości trasy przenośnika z wykorzystaniem autorskiego przyrządu pomiarowego. Badania obejmowały dwa stany pracy przenośnika, tzn. przenośnik pusty oraz przenośnik załadowany nosiwem (urobkiem). Celem tych badań było wyznaczenie rozkładu wartości siły napięcia taśmy w gałęzi ładownej na długości przenośnika z wykorzystaniem informacji o częstotliwości drgań poprzecznych taśmy pomiędzy podporami krążnikowymi (uzyskanych na podstawie zmierzonych przebiegów czasowych przyspieszenia drgań) oraz opracowanego modelu matematycznego drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej. Wyniki tych obliczeń porównano z wynikami uzyskanymi z programu QNK-TT, w celu ich weryfikacji. Doktorant porównał pod względem jakościowym i ilościowym widma amplitudowo-częstotliwościowe sygnału drganiowego zarejestrowanego podczas biegu taśmy próżnej i załadowanej, stwierdzając duże ich podobieństwo. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów określił częstotliwość podstawową drgań poprzecznych taśmy badanego górniczego przenośnika taśmowego. Ponieważ analizowane były fragmenty pomiarów odpowiadające interwałom czasowym, w których przyrząd pomiarowy przemieszczał się pomiędzy kolejnymi podporami krążnikowymi, Autor pracy wyznaczył wartości częstotliwości drgań poprzecznych taśmy na długości przenośnika. Stwierdził, że częstotliwość ta rośnie w stronę stacji napędowej (wysypu przenośnika). Wpływ na wartość częstotliwości drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej ma przy tym jej obciążenie nosiwem.

Na podstawie wyznaczonych w kolejnych odcinkach trasy przenośnika częstotliwości drgań poprzecznych taśmy, w oparciu o własny model obliczeniowy, dokonana została predykcja siły napięcia taśmy. Autor stwierdził, że w miarę zbliżana się do napędu siła ta rośnie, co jest zgodne z oczekiwaniem. Uzyskano przy tym dużą zbieżność wyników uzyskanych opracowaną metodą z wynikami uzyskanymi w programie QNK-TT (różnica nie przekraczała 3%).

W **Rozdziale 9** Autor pracy zebrał w formie podsumowania wyniki swoich badań, zaś w **Rozdziale 10** – sformułował najważniejsze (jego zdaniem) wnioski z realizacji pracy doktorskiej.

3. Ocena recenzowanej rozprawy doktorskiej, uwagi krytyczne oraz pytania

3.1. Ocena poziomu edytorskiego

Czytając przedmiotową pracę doktorską zauważyć można (niestety) brak końcowej korekty tekstu (w tym spisu literatury, a nawet spisu tabel!). W treści występuje wiele błędów edytorskich (literówek), złych form stylistycznych, błędów w niektórych wzorach (np. (17), (29), (46)), błędów w numeracji wzorów (począwszy od str. 27) i odwołaniach do nich, błędów w niektórych odwołaniach do literatury (str. 29 – 31). W spisie literatury poz. 10 i 15 to ta sama publikacja. Błędne lub niepełne są dane bibliograficzne niektórych pozycji literaturowych

(poz. 7, 59, 76 i 77). Szczególnie rażące są spolszczenia słów zapożyczonych z języka angielskiego, takie jak:

- „komponenty” – w odniesieniu do konstrukcji przenośnika (str.: 4, 8, 10, 11, 19, 66, 70), a powinny być: „elementy”, „podzespoły”, czy też w odniesieniu np. do siły oporu (str. 70) – powinny być: „składowe”,
- „konsumpcja energii” (str. 12 i 32) – raczej „zużycie energii” lub „energochłonność”,
- „...funkcja mocy, o potęgde 0,5” (str. 77) – chodzi chyba o funkcję potęgową.

3.2. Ocena merytoryczna

1) Kwestia stosowanego nazewnictwa

Terminologia używana w pracy jest w wielu przypadkach nieprecyzyjna, niejednoznaczna, a czasami błędna. Już we „Wstępie”, w pierwszym akapicie mamy zdanie:

- „Drgania poprzeczne, ... są wielkością opisującą... w kierunku pionowym” (str. 4) – Drgania to przecież zjawisko fizyczne. Jak podaje chociażby Encyklopedia PWN: są to „okresowe lub prawie okresowe zmiany stanu układu zachodzące dokoła pewnego położenia równowagi pod wpływem dostarczonej do układu energii”. Z kolei prof. Z. Osiński w książce „Teoria drgań”, PWN, Warszawa 1978 definiuje je jako „ruch, przy którym badana współrzędna na przemian zbliża się lub oddala od pewnej przeciętnej wartości”. Określenie: „w kierunku pionowym” (w odniesieniu do trasy przenośnika) też jest nieprecyzyjne, gdyż jest ono prawdziwe jedynie w przypadku przenośnika poziomego (Autor pracy na str. 8 użył znacznie lepszego określenia: „w kierunku poprzecznym do biegu taśmy”), lecz go później nie stosował.
- Na str. 5 mamy np. zdania: „Weryfikacja drgań taśmy wymaga...” – chodzi raczej o weryfikację (walidację) modeli matematycznych; „...z wykorzystaniem zmierzonych drgań taśmy”(!).
- Słowo „ilość”, powszechnie stosowane w pracy, ma zastosowanie do rzeczy niepoliczalny. Słowo „liczba” – do policzalnych: „połączeń taśmy” (str. 8), „uszkodzeń” (str. 27), „klatek” (str. 30), „przekładek” (str. 55), „podpór krążnikowych” (str. 58), itd.
- Używane przez Autora pracy w wielu jej miejscach pojęcie „drżania taśmy” powinno być doprecyzowane jako „drżania własne (swobodne) taśmy”, gdyż tak wynika z treści i wzorów.
- Autor ma skłonność do skracania (upraszczania) nazw wielkości powszechnie znanych np. z wytrzymałości materiałów (nazewnictwo powinno być jednakowe w całej pracy, bo inaczej tekst staje się nieczytelny). I tak:
 - „moduł sprężystości podłużnej taśmy” ewoluuje do: „modułu sprężystości” i dalej przez „moduł taśmy” do „modułu” i „modułu statycznego” (str. 56). I jeszcze pojawia się „moduł odkształceń” (str. 32, 52, 56)! Raz moduł sprężystości podłużnej taśmy (Younga) E ma wymiar [(M)Pa], a kiedy indziej – [(k)N/m] (np. tab. 2). Czy nie należałoby rozróżnić tych parametrów stosując różne nazwy i oznaczenia?
 - „sztywność zginania taśmy” lub „sztywność na zginanie” (Niezgodziński M., Niezgodziński T. „Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe”, PWN, Warszawa 1987) w pracy nazywana jest jako: „sztywność”, „sztywność taśmy”, „sztywność przekroju (poprzecznego)”, „sztywność giętna taśmy”. W treści pracy występuje kolizja nazewnictwa: sztywność zginania EJ w wytrzymałości materiałów ma wymiar

[N·m²] i we wzorze (17) właśnie tak jest. Jednak we wzorze (14) mamy również do czynienia ze „sztywnością zginania” D , której wymiarem jest [N·m] (prof. L. Gładysiewicz w książce „Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia”, Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław 2003 wielkość tą nazywa jako „jednostkowa sztywność zginania”). Problemy z wymiarami niektórych wielkości opisujących własności dynamiczne taśmy ujawniają się zwłaszcza w rozdz. 7 (tab. 2 i 3).

- Sformułowanie: „siła w taśmie” (str. 14), „siła napinająca taśmę” (str. 15) lub „siła rozciągająca” (str. 32, 52), „siła rozciągająca w taśmie”, czy „siła naciągu” (str. 53) to po prostu „siła napięcia taśmy” (Antoniak J. „Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym”, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2007).
- Co Autor rozumie pod pojęciem „przyspieszenie dwukierunkowe” (str. 20)?
- W pracy stosuje się szereg pojęć będących żargonem – np. „rozstaw krążnikowy” (str. 33), „częstotliwość taśmy” (str. 33), „taśma znieckowana” (str. 34), czy „nieckowy układ taśmy” (str. 57).
- Na początku rozdz. 5 Autor błędnie nazywa przyrząd do pomiaru przyspieszenia drgań (ew. „urządzenie pomiarowe” (str. 70)) „rejestratorem drgań” (str. 37). Rejestrator jest bowiem jednym z elementów układu pomiarowego. Jako synonim stosuje również słowo „czujnik” w sytuacji, w której czujnik (akcelerometr) też jest jednym z elementów przedmiotowego urządzenia pomiarowego.
- Autor nie dopracował się w rozdz. 6 nazwy opracowanego przez siebie modelu drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej. Wobec tego, w rozdz. 7 pojawiają się takie sformułowania, jak: „model własny”, „ruchoma belka rozciągana”, czy „ruchoma belka o sprzężeniu osiowym”.
- Podobnie, Autor używa pojęcia „model standardowy belki” oraz „model belki sprężonej” (oprac. przez prof. T. Hopa) (str. 62). Należałoby jednak ujednoczyć nazwy modeli, gdyż wprowadza to chaos.
- Co Autor rozumie pod pojęciem „...podobieństwo taśmy przenośnikowej do mechaniki belki osiowo rozciąganej posiadającej sztywność zginania” (str. 61)?
- Co to są „linie drgań” (str. 57)?

2) Spostrzeżenia i uwagi krytyczne

W trakcie lektury recenzowanej pracy doktorskiej nasunęło mi się szereg spostrzeżeń i uwag, mogących stanowić przyczynek do dyskusji i przemyśleń poczynionych przez Autora recenzowanej pracy doktorskiej:

- Wzory zamieszczone w pracy doktorskiej, cytowane z literatury, jak i własne powinny być zaopatrzone w wymiar. Dotyczy to również wielkości wchodzących do tych wzorów. W recenzowanej pracy część wzorów posiada wymiar (np. wzór (1) i (2)), jednak większość z nich tego nie ma. Zwiększyłoby to czytelność oraz umożliwiło łatwe sprawdzenie (również Autorowi pracy) poprawności wzorów. Autor powinien zdecydować się, czy objaśnienia wielkości występujących we wzorach zamieszcza w wykazie znajdującym się na początku pracy (str. 3), czy pod każdym wzorem (tylko nieliczna część objaśnień znalazła się w wykazie symboli na początku pracy, a jest ich dość dużo). Stosując tą pierwszą metodę Autor mógłby sprawdzić, czy nie ma kolizji oznaczeń (a takie występują np. w rozdz. 6) oraz, czy poszczególne wielkości oznaczane są we wzorach tymi samymi

symbolami (niestety tak nie jest). W rozdz. 2, począwszy od str. 27 wzory opatrzone są błędnymi numerami.

- W rozdz. 2.4 Autor pracy miesza pojęcia: „dokładność” oraz „czułość” urządzenia pomiarowego (metody pomiaru) (str. 29). Należy przypomnieć, że „dokładność pomiaru” ma charakter jakościowy (duża, mała, itd.) (Arendarski J.: „Niepewność pomiarów”, Oficyna Wyd. Pol. Warszawskiej, Warszawa 2006). Nie można zatem mówić o niej jako o „krytycznym parametrze” metody pomiarowej. „Czułość przyrządu pomiarowego” jest to natomiast „najmniejsza zmiana wartości wielkości mierzonej, którą może zarejestrować przyrząd pomiarowy” (Płochocki Z.: „Słownik Fizyczny”, Wiedza Powszechna, Warszawa 1996). Nieco dalej mowa jest o potrzebie „dokładnego wyznaczania...” (str. 30). Jest to sformułowanie dość odległe od metrologii, jeśli nie operuje się żadnymi wskaźnikami liczbowymi, determinującymi tą „dokładność” pomiaru.
- Pierwsza część tezy (rozdz. 4) (dot. modelu drgań) nie budzi zastrzeżeń. Druga część tezy (ostatnie zdanie) wydaje się jednak być zbędna. Jest ona bowiem trochę tajemnicza. Czy rzeczywiście bowiem do pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej „niezbędne” jest użycie „specjalnego” urządzenia i „dedykowanego” algorytmu? A może wystarczyłoby poszukać wśród ofert producentów przemysłowych przyrządów pomiarowych gotowych rozwiązań, tym bardziej że nie ma tu mowy o jego stosowaniu w jakiś specjalnych warunkach, np. w przestrzeniach zagrożonych wybuchem?
- W rozdz. 5 brak jest jasno sformułowanych założeń techniczno-metrologicznych dla opracowywanego przyrządu (urządzenia) do pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej, które powinny być na wstępie podane. Charakterystyka metrologiczna opracowanego urządzenia pomiarowego (wyrażona liczbowo) jest dość uboga i ogranicza się w zasadzie do zakresu pomiarowego akcelerometru ($\pm 3g$) oraz częstotliwości próbkowania sygnału (400 Hz). Pomimo, że Autor używa pojęcia „dokładność pomiaru” (str. 40) nie podpira go jednak żadnymi wskaźnikami liczbowymi (choćby mówiącymi o klasie dokładności, rozdzielczości, czy czułości opracowanego przyrządu). Jak zatem dokładne są to pomiary?
- Czy czas jest wielkością wektorową (str. 41 i 44)?
- W rozdz. 6 brakuje jasno sformułowanych założeń i uproszczeń uwzględnionych w procesie modelowania. Przewijają się one wprawdzie w tekście, lecz bardziej czytelne by były, gdy zostały one wypunktowane już na wstępie.
- Tytuł rozdz. 7.3 powinien brzmieć: „Weryfikacja doświadczalna modelu drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej”, a nie „Dokładność (!) pomiaru”, jak to ma miejsce w pracy. Jak sam Autor pisze bowiem, w rozdziale tym wyznaczane są wartości błędów wyników uzyskanych z opracowanego modelu matematycznego w odniesieniu do wartości zmierzonych (str. 63).
- Na str. 63 Autor pisze, że częstotliwość przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy mieściła się w granicach $10 \div 12$ Hz, dla badanych wartości kąta niecki. Tymczasem na rys. 42 wrysowana jest na czerwono składowa o częstości ok. 20 Hz (częstość podstawowa przyspieszenia drgań). Jak więc jest?
- Stwierdzenie na str. 62, że „Wśród zaproponowanych modeli tylko modele belki reagują na zmianę sztywności przekroju poprzecznego taśmy” (jako komentarz do rys. 46) jest oczywiste – inne analizowane przez Autora modele nie uwzględniają przecież sztywności zginania taśmy z założenia.

- W podpisie rys. 52 mowa jest o zakresie pracy rezonansowej. Tymczasem na przecięciu dwóch linii mamy pojedynczy punkt, a nie zakres (przedział).
- Na rys. 65 nie przedstawiono „rozkładu średniej i maksymalnej amplitudy”, jak to zaznaczono na str. 77, lecz wartości amplitudy przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej dla przenośnika pustego i załadowanego.
- Wnioski zawarte w rozdz. 10 są dość oszczędne. Nie stwierdzono w nich wprost, czy teza pracy została udowodniona. Jedyne wnioski szczegółowe zawierające wartości liczbowe jakichś konkretnych wskaźników potwierdzających osiągnięcie celów pracy (wnioski „e”) nie do końca wynika bezpośrednio z treści pracy. Brak, moim zdaniem jest wniosków szczegółowych wynikających z przeprowadzonych badań teoretycznych i eksperymentalnych, a jedynie podano wnioski ogólne.

3) Zagadnienia wymagające wyjaśnienia

- Dlaczego w zakresie pracy (rozdz. 4) nie przewidziano zbadania wpływu rozstawu podpór krążnikowych z wykorzystaniem opracowanego autorskiego modelu, skoro w rozdz. 3 – „Motywacja” tak mocno akcentowano brak korelacji wyników obliczeń z wykorzystaniem znanych modeli matematycznych z wynikami badań doświadczalnych?
- W rozdz. 5 mowa jest o kalibracji opracowanego przyrządu pomiarowego (str. 40) – standardowej i uzupełniającej. Na czym ona polegała? Czy wyniki pomiaru porównano z wynikami uzyskanymi z jakiegoś innego przyrządu (referencyjnego)? Czy dokonano wzorcowania opracowanego przyrządu?
- W opisie metody pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej opracowanym przyrządem pomiarowym mowa jest o jego „przytwierdzeniu (utwierdzeniu)” do taśmy (str. 37, 42 i 69), po czym mowa jest o „zrzucie na taśmę” (str. 41) i „upuszczaniu specjalistyczną metodą” (!) (str. 42). Słowo „przytwierdzenie” wskazuje na przymocowanie czegoś do czegoś (trwale bądź tymczasowe związanie). Co Autor miał zatem na myśli używając tych pojęć?
- Z czego wynika obecność składowej stałej wynoszącej ok. 14 m/s^2 na przebiegach czasowych przyspieszenia drgań pokazanych na rys. 23, 24, 26 ÷ 28?
- Na str. 46 mowa jest o „wąskich oknach” dla transformaty Fouriera. Jak wąskie są to okna (brak informacji na ten temat)?
- Dlaczego na str. 60 najpierw mowa jest o uśrednianiu uzyskanych częstotliwości dla serii pomiarowych, a następnie pokazuje się medianę zbioru zmierzonych wartości (wykresy na rys. 44 i 45)?
- Dlaczego w analizie wpływu kąta niecki nie operuje się wartością skuteczną (*RMS*), a wartością średnią przyspieszenia? Czyż nie jest tak, że wartość średnia jest w przybliżeniu równa zero (przebieg prawie symetryczny względem poziomu zerowego)?
- Próba wyjaśnienia wyraźnie większego, w porównaniu do innych kątów niecki, rozrzutu wartości amplitudy przyspieszenia drgań dla $\lambda=38^\circ$ jest niejasna (str. 60). Dodatkowo Autor mówi o „sporej ilości zakłóceń” w przebiegu czasowym amplitudy przyspieszenia drgań (str. 61). Co Autor rozumie tu pod pojęciem zakłócenia, i jak wyjaśnić taki charakter widma zarejestrowanego sygnału drganiowego?
- Na str. 65 Autor pisze: „Przeprowadzono obliczenia z wykorzystaniem modelu belki rozciąganej, podstawiając kolejne częstotliwości wzbudzenia przez krążnik, ...” Gdzie w modelu matematycznym opracowanym przez Autora pracy znajduje się częstotliwość

wymuszenia? Model ten umożliwia przecież wyznaczenie częstotliwości drgań własnych (swobodnych) taśmy przenośnikowej.

- Z czego wynika wniosek, że przy prędkości taśmy wynoszącej 1,3 m/s mamy do czynienia z rezonansem „dla wartości ośmiokrotnego wzbudzenia drgań przez krążnik” (chodzi chyba o częstotliwość wymuszenia równą 8-krotnej częstotliwości obrotów krążników)? Z danych wynika, że częstość kołowa krążników jest równa 19,5 rad/s ($f_k=3,1$ Hz), a częstotliwość podstawowa przyspieszenia drgań f wynosi ok. 12 Hz. Jest ona zatem 4-krotnie większa od f_k . Jak wyjaśnić fakt, że wymuszenie drgań przez krążniki jest tu wielokrotnością ich prędkości obrotowej? Czy były one zniekształcone lub uszkodzone (ze zdjęć wynika, że badany przenośnik był w dobrym stanie technicznym)?
- Dlaczego w programie QNK-TT trasa przenośnika została podzielona tylko na 12 odcinków, a nie jak to zrobiono w trakcie analizy zarejestrowanego sygnału drganiowego na odcinki o długości wynikającej z rozstawu podpór krążnikowych (w liczbie ~100)?
- W tabeli 7 (str. 74), w ostatniej kolumnie podano wartości średniego błędu bezwzględnego (MAE) dla pomiarów przenośnika pustego i załadowanego. Z czym porównywano wartości zmierzone przy wyznaczaniu tego błędu?
- Na stronie 74 mowa jest o podobieństwie rozkładów częstotliwości drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej do rozkładu normalnego. Czy wykonano stosowane testy statystyczne potwierdzające tę hipotezę (Shapiro-Wilka, Kołmogorowa-Smirnowa)?
- W podpisie rys. 64 mowa jest o „średniej ważonej”. Co stanowiło wagę tej średniej?
- W rozdz. 8.4 dokonuje się predykcji siły napięcia taśmy. W oparciu o jaki wzór wyznaczano wartości tej siły w przypadku autorskiego modelu drgań poprzecznych?
- Na stronie 78 Autor dość pewnie twierdzi, że „wyznaczenie przyrostu sił w taśmie (opracowaną metodą) jest możliwe z dużą precyzją, co nie jest możliwe do osiągnięcia przy pomocy żadnej innej metody pomiarowej”. Co dla Autora oznacza pojęcie „duża precyzja” i skąd jest On pewien, że nie ma lepszych metod?

4. Wnioski końcowe

Biorąc pod uwagę całokształt recenzowanej pracy, dostrzegając w niej duży wkład pracy Doktoranta w realizację badań teoretycznych (opracowanie modelu matematycznego drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej), prac konstruktorskich i programistycznych (opracowanie i wykonanie autorskiego przyrządu do pomiaru przyspieszenia drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej) oraz badań doświadczalnych (na obiekcie laboratoryjnym oraz w warunkach eksploatacyjnych w kopalni), jak również uzyskane efekty tych prac stwierdzam, że dysertacja p. mgr inż. Maksymiliana Ozdoby pt. „*Modelowanie i identyfikacja drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej*”:

- prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zwłaszcza w zakresie modelowania i badania górniczych przenośników taśmowych,
- Autor pracy wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz rozwiązywania problemów badawczych na drodze teoretycznej i eksperymentalnej,
- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie modelowania i badania drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej górniczych przenośników taśmowych, diagnostyki technicznej przenośników taśmowych, monitorowania stanów rezonansowych

taśmy przenośnikowej oraz identyfikacji źródeł wymuszenia drgań rezonansowych, a ponadto jest ona wynikiem własnych badań literaturowych, teoretycznych i doświadczalnych Autora pracy,

- stanowi oryginalny wkład Doktoranta w rozwój konstrukcji i projektowania górniczych przenośników taśmowych oraz ich diagnostyki technicznej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska p. mgr inż. Maksymiliana Ozdoby pt. „*Modelowanie i identyfikacja drgań poprzecznych taśmy przenośnikowej*” spełnia warunki określone w art. 187, ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 2022 r., poz. 574 z późniejszymi zmianami).

Wnoszę zatem o dopuszczenie Doktoranta do dalszego toku postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz o dopuszczenie przedmiotowej rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

