

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Hankusa pt.: "Określenie wpływu obciążeń dynamicznych na właściwości mechaniczne lin stalowych"

1. Podstawa opracowania

Podstawą wykonania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Hankusa pt.: **Określenie wpływu obciążeń dynamicznych na właściwości mechaniczne lin stalowych** jest pismo nr NSR/22/2019 Zastępcy Dyrektora ds. Geoinżynierii i Bezpieczeństwa Przemysłowego Głównego Instytutu Górnicztwa z dnia 4.02.2019 r.

2. Wprowadzenie

Zagadnienia związane z określeniem wpływu obciążeń dynamicznych na elementy konstrukcyjne oraz nośne (liny stalowe) są niezmiernie istotne przy eksploatacji wszelkiego typu maszyn i urządzeń narażonych na różnego rodzaju obciążenia, zwłaszcza w górniczych urządzeniach wyciągowych, które eksploatowane są w bardzo trudnych warunkach środowiskowych. Zmienność warunków pracy górniczych wyciągów szybowych oraz innych urządzeń stosowanych do transportu poziomego i pionowego w kopalniach powodują, że liny tam stosowane narażone są na różnego rodzaju obciążenia. Szczególnie niebezpieczne, w tym zakresie są obciążenia dynamiczne wywołujące nagłe zmiany sił przenoszonych przez liny.

Z analizy dostępnej literatury i doświadczeń osób zajmujących się badaniami i kontrolą stanu technicznego lin stalowych wynika potrzeba opracowania kompleksowej metody wyznaczenia wpływu obciążenia dynamicznego na właściwości mechaniczne lin w oparciu o wyniki rzetelnie przeprowadzonych badań w tym zakresie. Problem ten w szczególności dotyczy lin stosowanych w górnictwie głębinowym, które w czasie eksploatacji są bardzo często poddane obciążeniom dynamicznym. Od ich trwałości w istotny sposób zależne jest bezpieczeństwo i efektywność całego procesu eksploatacji górniczej.

W celu rozwiązania tego problemu badawczego autor, w oparciu o analizę literatury oraz wieloletnie własne doświadczenia, sprecyzował cele naukowe i użytkowe pracy.

3. Omówienie pracy

Autor mgr inż. Łukasz Hankus przedstawił do oceny rozprawę, którą zawarł na 173 stronach. Praca w jego redakcji podzielona jest na 10 rozdziałów, z których pierwszy i drugi to wstęp i uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy. Podsumowanie i wnioski zawarte są w rozdziale 9 oraz na końcu każdego z podrozdziału 7.1, 7.2, 7.3. Rozdziały od 4 do 8 mają

charakter merytoryczny. Na końcu pracy zamieszczono wykaz cytowanej literatury w liczbie 165 pozycji w tym 2 autorskie i 8 współautorskich.

W pracy znajduje się 123 rysunków w tym 93 autorskich, 48 tabel m.in. z danymi uzyskanymi z pomiarów oraz 10 autorskich fotografii stanowisk pomiarowych.

W rozdziale 3 Autor przedstawił cel prowadzenia badań nad określeniem wpływu obciążeń dynamicznych na właściwości mechaniczne lin stalowych.

W rozdziale 4 Autor przedstawił charakterystykę lin stalowych powołując się na wiele pozycji literatury.

Rozdział 5 i 6 traktuje o analizie stanów naprężenia i odkształcenia w linach i ich drutach odpowiednio przy obciążeniu statycznym i dynamicznym. W rozdziale 6 wyprowadzono teoretyczne zależności na naprężenia dynamiczne i wartość siły dynamicznej wywołanej spadkiem masy udarowej.

W rozdziale 7 opisano badania laboratoryjne odcinków lin stalowych obciążanych udarowo, wyniki badań magnetycznych fragmentów lin obciążanych udarowo z wykorzystaniem metody Magnetycznej Pamięci Metalu oraz wyniki badań niszczących lin i drutów przed i po obciążeniu dynamicznym celem określenia wpływu obciążenia dynamicznego na ich wybrane parametry mechaniczne.

Rozdział 8 to wskazanie wytycznych odnośnie eksploatacji lin narażonych na obciążenia dynamiczne.

Pracę kończy posumowanie i wnioski (10), które mają charakter opisu podsumowującego całość rozważań. Dalej jest wykaz przytoczonych w tekście pozycji literatury przedmiotowej.

Celem naukowym (poznawczym) pracy było określenie, w oparciu o badania laboratoryjne, wpływu obciążenia dynamicznego na wybrane właściwości mechaniczne lin stalowych.

Szczegółowymi celami poznawczymi pracy było:

- opracowanie metodyki doświadczalnej identyfikacji parametrów mechanicznych lin stalowych obciążonych dynamicznie i statycznie,
- opracowanie metodyki wykorzystania magnetycznej pamięci metali (MPM) do wyznaczania właściwości lin stalowych obciążonych dynamicznie wraz z modelem łączącym właściwości mechaniczne i magnetyczne badanych lin,
- przeprowadzenie analizy porównawczej wybranych właściwości mechanicznych lin obciążonych statycznie i dynamicznie,
- opracowanie modeli matematycznych (statystyczno-regresyjnych) umożliwiających wyznaczenie wybranych parametrów mechanicznych lin.

Celem użytkowym pracy, wg autora, było wdrożenie do praktyki wiedzy pozyskanej w wyniku realizacji pracy, w zakresie opracowania metodyki badania wpływu obciążeń dynamicznych na właściwości mechaniczne lin stalowych, a w szczególności wykorzystanie tej wiedzy do oceny stanu bezpieczeństwa lin w warunkach dynamicznych obciążeń udarowych.

Szczegółowymi celami użytkowymi pracy były:

- opracowanie układów pomiarowych i metodyki prowadzenia badań stanowiskowych w celu wyznaczenia wybranych parametrów mechanicznych lin obciążonych dynamicznie i statycznie oraz drutów tych lin,
- określenie wytycznych odnośnie użytkowania lin stalowych obciążonych dynamicznie (sposobu ich kontroli i badania).

Wszystkie cele zostały sformułowane poprawnie.

4. Ocena merytoryczna

Praca ma istotne znaczenie w dziedzinie nauk technicznych, zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji lin stalowych. Wyjaśnia ona bowiem z punktu widzenia nauki, problemy dotyczące wyznaczenia wpływu obciążenia dynamicznego na właściwości mechaniczne lin. Z dokonanego przez Autora przeglądu literatury związanej z tym zagadnieniem wynika, że w literaturze brak jest takich opracowań lub zagadnienia te były poruszane marginalnie. Zatem podjęty przez Autora temat rozprawy jest bardzo celowy. Zarówno cel główny pracy, cele szczegółowe jak i cel użytkarny są prawidłowo określone i szczegółowo opisane w kolejnych rozdziałach.

W mojej ocenie merytoryczną zawartość pracy można podzielić na 4 części.

W części pierwszej (rozdział 1, 2 i 3) Autor przeanalizował stan wiedzy w zakresie tematu dysertacji uzasadniając celowość realizacji postawionych celów pracy w kontekście proponowanych badań doświadczalnych. W rozdziałach tych jest wiele powtórzonych informacji. **Rozdział 2 można było pominąć a część tam zawartych informacji przenieść do rozdziału 3.**

W części drugiej (rozdział 4) Autor zebrał informacje o budowie liny i wymaganiach technicznych odnośnie stosowania lin stalowych.

W części trzeciej (rozdział 5 i 6) dokonano analizy stanów naprężenia i odkształcenia lin oraz drutów z niej rozplecionych przy obciążeniu statycznym i dynamicznym.

Na uwagę zasługują opracowane przez Autora zależności analityczne na naprężenia dynamiczne (wzór 6.28) oraz wartość siły dynamicznej (wzór 6.29). W tabeli 5.1 zestawiono modele regresyjne do wyznaczania modułów sprężystości wybranych lin wstępnie obciążonych. W badaniach laboratoryjnych opisywanych w kolejnym rozdziale użyto do prób inne konstrukcje lin nie wymienione w tabeli 5.1, w dalszej części autor wyjaśnia jednak, iż *„Dla lin nowych konstrukcji i nie ujętych w tabeli, wartości te wyznacza się na podstawie badań doświadczalnych”*.

Część czwarta mojej oceny merytorycznej to rozdział 7 **będący istotnym i nowatorskim wkładem** Autora. Najważniejsze znaczenie, z punktu widzenia eksploatacji lin ma określenie skutków obciążeń dynamicznych na dalszą eksploatację liny. W tym zakresie fundamentalne znaczenie mają badania laboratoryjne, w trakcie których Autor wykazał jak obciążenie dynamiczne (np. o określonej energii) wpływa na stan badanej liny i jej właściwości mechaniczne. W rozdziale tym innowacyjnymi elementami są **badania stanowiskowe lin obciążonych udarowo, badania magnetyczne tych lin z wykorzystaniem metody MPM oraz porównanie wyników badań niszczących lin nowych i obciążonych dynamicznie.**

W podrozdziale 7.1 do prób zaproponowano 9 różnych konstrukcji lin stalowych o średnicach od 15,7 do 46 mm. W tabeli 7.11. zestawiono dla wszystkich lin modele analityczne określające zależności między naprężeniem i siłą dynamiczną a wysokością spadku masy udarowej. Niestety dla każdej z lin **przyjmowano inny zakres wysokości spadku masy udarowej**. Należało uzasadnić wybór tych wartości.

W tabeli 7.13 zestawiono autorskie modele regresyjne zmiany wartości siły dynamicznej zależnej od wysokości spadku masy i od energii kinetycznej uderzenia. W oparciu o postawiony wniosek 10 można zadać pytanie **jak modele te można wykorzystać w stanach awaryjnych. Ciekawe jest porównanie wartości naprężeń i sił obliczeniowych uzyskanych z modeli analitycznych oraz wyników badań laboratoryjnych** (tabela 7.12).

Wg Autora: „*opracowane modele analityczne mogą być z powodzeniem wykorzystane w praktyce w zakresie wyznaczania wpływu obciążenia dynamicznego na wybrane parametry mechaniczne badanych lin*” – z czym należy się zgodzić.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki poszerzyły wiedzę w zakresie analizy zachowań lin w przypadku obciążenia ich siłą dynamiczną. Wyznaczone czasowe przebiegi zmienności siły dynamicznej w stosunku do energii uderzenia stwarzają szerokie możliwości analizy zachowań cięgien wiotkich przy obciążeniu impulsowym. Powinno to zostać wykorzystane w dalszych pracach naukowych oraz w praktyce w zakresie diagnostyki i w ocenie stanu bezpieczeństwa lin.

Informacje zawarte w podrozdziale 7.2 dotyczą wykorzystania metody MPM w badaniach 5. wybranych lin, a dokładniej porównano magnetogramy dla lin przed i po obciążeniu udarowym. Na dzień dzisiejszy metoda ta pozwala na wykrywanie stref koncentracji naprężeń. Autor zamieścił przebiegi zmian parametrów magnetycznych w badanych linach, ale **na rysunkach magnetogramów nie oznaczono składowych pola rozproszenia (stycznej i normalnej) oraz nie opisano dlaczego analizowano składowe H_p-2 , H_p-6** (jak czujniki rejestrujące te składowe były usytuowane w głowicy pomiarowej w stosunku do liny). Mało czytelne są także oznaczenia magnetogramów. Należało by także zdefiniować gradient magnetyczny K .

W początkowym okresie po niewielkiej liczbie obciążeń udarowych maleją wartości parametrów rozproszenia. Po osiągnięciu minimum występuje wzrost symptomów wywołany wzrostem naprężeń i odkształceń plastycznych i być może rozwojem mikropeknięć. Z uzyskanych charakterystyk można określić zależność między wartością siły dynamicznej, wyznaczonej w trakcie obciążenia dynamicznego a maksymalną wartością gradientu magnetycznego (np. rys. 7.52, rys. 7.57, itd.).

Rejestrowane symptomy metodą MPM dotyczą raczej warstwy zewnętrznej liny. Co zatem z anomaliami magnetycznymi generowanymi przez uszkodzenia wewnętrzne. Trochę na wyrost, bez poparcia wniosków wynikami badań, Autor wskazuje na zalety metody MPM w odniesieniu do lin stalowych.

Brakuje także informacji jaki jest wpływ zakończenia stożkowego na rejestrowane symptomy w MPM. W analizie magnetogramów dla różnych lin badano odcinki lin o różnej długości, co wpływa na skrajne wartości rejestrowanych sygnałów (lina jest magnezem ze swoimi biegunami).

Warto także dokonać analizy wniosku 9, w odniesieniu do uszkodzeń położonych w warstwach wewnętrznych liny.

Podrozdział 7.3. traktuje o parametrach mechanicznych wybranych lin. Zakres prac obejmował badania na rozciąganie lin i drutów oraz badania na zginanie drutów rozplecionych z lin dla 6 konstrukcji. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że **obciążenie dynamiczne ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne badanych lin.**

W badanym zakresie wartości sił zrywających liny były niższe dla lin nowych niż dla tych samych lin po obciążeniach udarowych. Wartości te uzyskiwały wzrost w przedziale od kilku do kilkunastu procent (rys. 7.81, rys. 7.87 i rys. 7.90). Stwierdzono także istotne zmiany wartości wydłużenia dla tych lin w trakcie tych prób. Liny, wcześniej obciążane dynamicznie wykazywały spadek wydłużenia nawet o ponad 20% względem lin nowych. Świadczy to o wzroście wartości siły zrywającej i sztywności liny na rozciąganie, w wyniku obciążenia dynamicznego udarem swobodnie spadającej masy. Można przyjąć, że wskutek obciążenia dynamicznego następuje w tych linach umocnienie materiału drutów, podniesienie granicy plastyczności, a w konsekwencji zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie. **Rodzi się pytanie jak mierzono średnicę drutów kompaktowanych i w jakich płaszczyznach je przeginano.**

W przypadku porównania wyników badań dla drutów również widać zmiany badanych właściwości mechanicznych. Druty z lin nieobciążonych osiągały niższe wartości siły zrywającej w stosunku do drutów z lin obciążanych dynamicznie. Natomiast druty z lin obciążonych dynamicznie osiągnęły mniejsze wartości liczby przegięć w stosunku do drutów z lin nieobciążonych dynamicznie.

Można więc przyjąć, że obciążenie dynamiczne w tym przypadku zwiększyło wytrzymałość drutów, natomiast zmniejszyło ich wytrzymałość na zginanie.

Uzyskane, z analizy porównawczej wyniki potwierdzają więc założenia przyjęte w pracy, że w warunkach dynamicznych obciążeń udarowych, zmieniają się właściwości mechaniczne drutów i lin stalowych.

Ta część pracy (rozdział 7) jest w całości oryginalna i stanowi o wartości merytorycznej w aspekcie poznawczym i użytecznym całej rozprawy. Osiągnięty został cel naukowy pracy, gdzie na podstawie badań stanowiskowych i przeprowadzonej analizy porównawczej określono wpływ obciążenia dynamicznego na wybrane właściwości mechaniczne lin stalowych.

5. Uwagi krytyczne.

Autor w trakcie pisania rozprawy nie ustrzegł się szeregu mniej istotnych usterek, błędów i pomyłek, które zamieściłem poniżej. W pracy występuje również wiele błędów interpunkcyjnych, np. zbyt dużo przecinków.

Kilka razy wskazywane są także cele pracy: we wstępie, w uzasadnieniu i w p.3.

Osobiście razi mnie fakt braku tezy pracy, którą można było wypracować przy tak dużej liczbie badań stanowiskowych.

W tekście rozprawy zauważyłem następujące błędy:

- str. 13 tabela 2.1, str.14 tabela 2.2 – brak odniesienia w tabeli do pozycji literatury,

- str.17 w opisie parametrów wzoru 2.16 występują wielkości: E,F l,v które nie występują w tym wzorze,
 - str.29 3 linijka od dołu –złe oznaczenie rysunku (rys.4.09)
 - str.42 5 linijka od dołu –nie oznaczono wyrazu wolnego a_0
 - str.43 wzór 5.7 nie ma odniesienia do literatury z której zaczerpnięto ten model -str.50 wzór 6.21 szybki skrót myślowy utrudnia weryfikację tego wzoru
 - str.55 i 127 różne oznaczenia lin 6x19KS i 6xK19S
 - str. 64 wiersz 5 od dołu: jak dobierano do średnicy i nominalnej siły zrywającej masy trawersy
 - str.70 w opisie tabeli jest mowa o linie typu 6x31WS a w tabeli pod rysunkiem przekroju liny jest oznaczenie 6x36 WS
 - dlaczego w próbach dynamicznych są przyjmowane różne ilości prób
 - str.77 wiersz 10 od góry: Jaka masa uderowa była przyjęta w próbie
 - str,79 wiersz 4 od dołu wartość energii 2,846kJ określono dla spadku masy uderowej z wysokości 0,1m a nie 0,06m
 - str. 84 rys. 7.32 Dlaczego akurat ten przypadek analizowano
 - str.89 wiersz 11 od dołu: „Dla reszty badanych lin” –styl
 - str.91 wiersz 7 od dołu - styl: „wykorzystania w praktyce oraz podobnych badaniach”
 - str.96.rys.7.40. brak parametrów metrologicznych urządzenia
 - str. 54 i135 inne oznaczenia liny 6xV32B-FC i 6xV35B-FC
 - str.141 rys.7.87 , rys 7.90 w opisie kolorów brak przy słowie lina literki „a”
- Powtórzono rysunki nr 7.54 i 8.3
- str.107 3 linijka od góry styl: „Naprężenia zwijające”
 - str 107 od dołu 11 linijka „ koncentracja naprężeń parametrów magnetycznych”
 - str.158 od dołu 3 linijka styl : nie ma niższych warstw w linie
 - str.159 wiersz 9 od dołu: jak będzie można oszacować energię dynamiczną
- W wykazie literatury można było zamieścić więcej pozycji dotyczących badań metodą MPM nie tylko autorstwa A. Dubova.

Wszystkie moje krytyczne uwagi oraz wykaz błędów i pomyłek, jakie dostrzegłem w trakcie czytania pracy przekazałem na piśmie jej autorowi i na większość z nich otrzymałem zadawalające wyjaśnienia.

6. Wnioski końcowe

Podsumowując uważam, że mgr inż. Łukasz Hankus w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułował, rozwiązał i opisał zadanie naukowe jakim jest **Określenie wpływu obciążeń dynamicznych na właściwości mechaniczne lin stalowych.**

Treść pracy odpowiada tematowi określoneemu w tytule. Pomimo wyszczególnionych uwag (przedyskutowanych z Autorem), nieznacznie obniżających poziom pracy, postawiony problem naukowy został zrealizowany. Praca zawiera rozwiązania, które poszerzają problematykę bezpieczeństwa eksploatacji lin stalowych. Autor wykazał się właściwym opanowaniem prezentowanych zagadnień oraz umiejętnościami w posługiwaniu się techniką eksperymentu.

W związku z powyższym stwierdzam, że Kandydat spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 16 kwietnia 2003 r. Nr 65 poz. 595, rozdz. 2 art. 13. ustęp 1).

W konkluzji wnioskuję do Dyrektora ds. Geoinżynierii i Bezpieczeństwa Przemysłowego Głównego Instytutu Górnictwa o przyjęcie przedłożonej przez Pana mgr. inż. Łukasza Hankusa rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kusobek'.