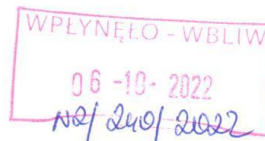


Prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski
Katedra Wytrzymałości Materiałów
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk



Gdańsk, 28.09.2022r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. **DAWIDA PROKOPOWICZA**
pt. „*Wybrane zagadnienia dynamiki, aerodynamiki i niezawodności*
rurociągowych mostów wiszących”

1. Podstawa i przedmiot recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo z dnia 15 lipca 2022 r. skierowane do mnie przez Pana prof. dr hab. inż. WOJCIECHA PULĘ, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej, z prośbą o opracowanie recenzji.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgra inż. DAWIDA PROKOPOWICZA pt. „*Wybrane zagadnienia dynamiki, aerodynamiki i niezawodności rurociągowych mostów wiszących*”, złożona na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, promotorem w przewodzie jest Pani dr hab. inż. DANUTA BRYJA, prof. uczelni. Doktorant reprezentuje dziedzinę *nauk inżynieryjno-technicznych*, dyscyplinę *inżynieria lądowa i transport*.

Podstawa prawna:

- Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm.);
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 3 października 2014 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2014, poz. 1383);
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „*Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*” (Dz.U. 2018 poz. 1668).

2. Omówienie pracy

Opiniowana dysertacja ma formę raportu uczelnianego (Raport serii PRE nr 11/2022, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska), liczy 236 numerowanych stron formatu A4, wg obliczeń recenzenta łącznie z dodatkami zawiera: 9 tablic, 92 rysunki w tym wykresy i zdjęcia, 183 numerowanych wzorów i kilkanaście nienumerowanych w dodatkach oraz 152 pozycje literatury i 10 źródeł internetowych.

Dysertacja składa się z siedmiu numerowanych rozdziałów: (1) Wstęp, (2) Przegląd problemów badawczych opisywanych w przedmiotowej literaturze, (3) Model obliczeniowy wiszącego mostu rurociągowego, (4) Drgania spowodowane ruchem transportowanego medium, (5) Drgania wymuszone turbulencją wiatru, (6) Niezawodność w sensie problemu pierwszego przekroczenia, (7) Uwagi końcowe i kierunki dalszych badań. Praca zawiera także trzy numerowane załączniki (1) Rozwój i klasyfikacja rurociągowych mostów wiszących, (2) Macierz agregacji **A**, (3) Wektor sił brzegowych **R** oraz zestawienie literatury i streszczenia w języku polskim i angielskim.

Praca poza przeglądem i omówieniem krytycznym przedmiotowej literatury, dotyczy sformułowania podstaw teoretycznych Autorskiego algorytmu obliczenia rurociągowych mostów wiszących z przytoczeniem przykładu demonstrującego efektywność proponowanego podejścia.

Dysertacja napisana jest w języku polskim, datowana jest na rok 2022.

Na wstępie recenzji pragnę zaznaczyć, że pracę ogólnie oceniam bardzo wysoko, ma ona charakter wielowątkowy, stąd poczyniłem znaczną liczbę uwag. Uwagi te nie mają jednak charakteru negatywnego, lecz stanowią element pewnej naukowej dyskusji z Doktorantem i mam nadzieję, że znajdą pozytywne odzwierciedlenie w dalszych publikacjach Doktoranta.

3. Omówienie zakresu rozdziałów i uwagi

Rozdział 1. pt. „*Wstęp*”, liczy 11 stron, zawiera 3 złożone rysunki i składa się z 3. podrozdziałów, tj.: *Wprowadzenie, Cele i tezy pracy, Układ rozprawy.*

W ramach wprowadzenia Autor przedstawia motywację podjęcia tematyki, która wynika ze stwierdzenia na podstawie przeglądu literatury pewnych luk w zakresie modelowania rurociągowych mostów wiszących, szczególnie w zakresie opisu zjawisk dynamicznych. Tu formułuje cztery cele szczegółowe oraz dwie następujące tezy pracy, cyt.:

1. *Technika podstruktur jest efektywną metodą modelowania złożonych konstrukcji belkowo-ciężnowych na potrzeby analiz drgań spowodowanych działaniem deterministycznych i losowych obciążeń zmiennych w czasie.*
2. *Parametry dynamiczne rurociągowych mostów wiszących, a w szczególności charakterystyki drgań losowych spowodowanych turbulencją wiatru i wyznaczone na tej podstawie prawdopodobieństwo przekroczenia przemieszczeń granicznych zależą od prędkości przepływu cieczy przez rurociąg, jednak w realnym zakresie prędkości jej wpływ nie jest znaczący.*

Uwagi i komentarze. Rurociągowy mosty wiszące o dużych rozpiętościach tworzą na ogół bardzo smukłe konstrukcje belkowo-ciężnowe charakteryzujących się wiotką belką oraz przestrzennie rozbudowanym charakterystycznym układem podwieszenia złożonym z ciężarów o znacznym zwisie. W kontekście olinowania Doktorant używa pojęcia ciężarów o dużym zwisie. Jak należy rozumieć „duży zwis” w odniesieniu do teorii ciężarów, i czy rzeczywiście przytaczane w pracy przykłady mostów rurociągowych kwalifikują się pod zakres tej teorii (zob. np. IRVINE H.M. (1981): *Cable structures*, The MIT Press; czy PODOLNY W., SCALZI J. (1976): *Construction and design of cable-stayed bridges*. John Wiley & Sons.)?

Doktorant wspomina o zastosowaniu pewnych rozwiązań autorskich, m.in. ciągłego modelu ciężaru, opisu belek, obciążeń itd., jednakże recenzent nie odnalazł w pracy jednoznacznej i konkretnej informacji technicznej o opracowaniu aplikacji, stworzeniu kodu obliczeniowego w postaci własnego programu, procedur wsadowych, nakładki, itp.

Na str. 11 (i w kilku miejscach dalej) pojawiło się niejasne odwołanie do literatury o formie {2}. Ponadto występuje niekonsekwencja w cytowaniu wieloautorskich prac zagranicznych, *ET AL. [XX]*, czasami *I IN. [XX]*.

Rozdział 2. pt. „*Przegląd problemów badawczych opisywanych w przedmiotowej literaturze*”, liczy 33 strony, zawiera 8 rysunków i składa się z 9. podrozdziałów, tj.: *Przestrzenny układ ciężarów, Badania eksperymentalne na modelach, Bazy danych, Inspekcja i utrzymanie, Przepływ medium w rurociągu, Zagadnienie własne, Trzęsienia ziemi, Oddziaływanie wiatru, Podsumowanie oraz wnioski wynikające z przeglądu literatury.*

Przedstawiono tu studium literatury i stan wiedzy na temat głównych problemów badawczych dotyczących wiszących mostów rurociągowych. Części z tych zagadnień i sposobom rozwiązania negatywnych efektów im towarzyszących poświęcone są kolejne rozdziały. Wiszące mosty rurociągowy są konstrukcjami nietypowymi o specyficznej konfiguracji w postaci ciężarowo-belkowej bardzo smukłej struktury przestrzennej, rzadko występują w Polsce i Europie, a liczba prac dostępnych w obiegu publicznym o tej tematyce jest niezbyt liczna. Z tego względu Doktorant zdecydował się omówić, najważniejsze Jego zdaniem, publikacje związane z tą tematyką. Należy zaznaczyć, że w załączniku nr 1 dodatkowo przedstawiono obszerny przegląd dużych rurociągowych mostów wiszących występujących na całym świecie. Rozdział kończy bardzo ciekawe podsumowanie

przeprowadzonego studium literatury i wynikające z tego ważne wnioski znajdujące odzwierciedlenie w tematyce podjętej w dalszej części dysertacji.

Uwagi i komentarze. Doktorant przytaczając bezpośrednio kilka prac opublikowanych po chińsku, omawia je w znacznym zakresie. Jak pozyskano te informacje? Na podstawie angielskojęzycznych streszczeń, tłumaczeń, czy pośrednio z innych publikacji, czego nie wskazano w tekście.

W rozdz. 2.9 (podsumowaniu) m.in. Doktorant stwierdził, że we wszystkich przestudiowanych pracach, ciągną z użyciem MES modelowane są przy użyciu elementów kratownicowych, co uznał za zbyt daleko idące uproszczenie. Czy rzeczywiście nie jest to stwierdzenie nadmiernie krytyczne, nawet w przypadku, gdy stosowana jest poprawna dyskretyzacja? Oczywiście, w zależności od celu zadania, można się z tym zgodzić, np. w przypadku dyskretyzacji jednym (liniowym) elementem kratownicowym między punktami połączeń strukturalnych. Jednak uwzględniając możliwości współczesnych programów komercyjnych z grupy zaawansowanych teoretycznie, nie jest to koniecznością. Można przecież nawet przy użyciu elementów liniowych stosować podpodziały na grupy, czy też, np. wielowęzłowe elementy wielomianowe wyższego rzędu; uwzględniać wstępny naciąg generujący sztywność geometryczną i dopuszczać duże (nieliniowe) przemieszczenia. Ponadto istnieją, wprawdzie „egzotyczne”, ale w odniesieniu do cięgien atrakcyjne, elementy skończone, wykorzystujące opis deformacji poprzez krzywe łańcuchowe (funkcje ściśle), stosowane z powodzeniem np. do opisu konstrukcji nośnych kolejek linowych dużych rozpiętości.

Dalej Doktorant stwierdził, że z wyjątkiem pracy [148] nie jest brana pod uwagę nieliniowość wynikająca z dużych przemieszczeń cięgien i rurociągu. Czy tak jest w istocie? Ponieważ, np. w pracy [151] cytowanej w tym samym akapicie co artykuł [148] (na początku rozdz. 2.9, str. 46), Autorzy ([151], str.767) piszą, że biorą pod uwagę nieliniowość geometryczną w obliczeniach dynamicznych wykonanych z pomocą komercyjnego systemu ANSYS.

Rozdział 3. pt. „*Model obliczeniowy wiszącego mostu rurociągowego*”, liczy 65 stron, zawiera 80 wzorów, 27 rysunków, 3 tabele. Jest to najobszerniejszy i zasadniczy rozdział dysertacji, składa się z 6. podrozdziałów o rozwiniętym układzie, tj.: *Technika podstruktur, Główne założenia modelu obliczeniowego i podział na podstruktury, Równania ruchu podstruktur* [w tym: *Elementy cięgnowe, Rurociąg, Wieszaki, Pylony*], *Agregacja równań (ogólne równanie ruchu wiszącego mostu rurociągowego)*, *Zagadnienia szczegółowe* [w tym: *Wstępny naciąg cięgien (globalne równanie równowagi), Tłumienie drgań, Model numeryczny przykładowego rurociągowego mostu wiszącego, Zagadnienie własne - testy numeryczne*], *Podsumowanie*.

W rozdziale na wstępie przeprowadzono szczegółowy przegląd różnych wariantów metod CSM (ang. *Component Mode Synthesis*) określanych w literaturze wspólnym mianem metod syntezy podstruktur (ang. *substructure synthesis*). W ramach tej grupy Doktorant zaproponował autorskie podejście nazwane przez Niego techniką podstruktur, które szczegółowo zdefiniował odpowiednią procedurą postępowania. Dalej, w kontekście zaproponowanej techniki, sformułował model obliczeniowy rurociągowego mostu wiszącego, wyróżniając jako podstruktury: ciągną główne i wiatrowe, odciaży, wieszaki, rurociąg oraz pylony. W pierwszym etapie uwzględniając charakterystyczne formy i cechy konstrukcyjne wyróżnionych podstruktur, sformułował dla każdej z nich osobne równania ruchu, stosując każdorazowo odpowiednio dobraną teorię mechaniki i właściwy ku temu aparat matematyczny. W drugim etapie, dysponując osobnymi grupami wzorów, Doktorant zapisał ostateczny układ równań nieliniowych drgań całego rurociągowego mostu wiszącego. Dokonał tego poprzez odpowiednie uwzględnienie w miejscach połączeń podstruktur warunków zgodności

przemieszczeń oraz warunków równowagi sił. Proces ten realizowany jest na drodze, typowej występującej w MES, agregacji macierzowych zależności poszczególnych podstruktur.

W rozdziale tym zwrócono także uwagę na potrzebę odpowiedniej regulacji wstępnego naciągu cięgien oraz konieczność doboru adekwatnego modelu tłumienia.

Rozdział kończy przykład doboru parametrów modelu obliczeniowego rurociągowego mostu wiszącego, będącego podstawą dalszych analiz numerycznych. Bazą jego oceny była wielowątkowa analiza problemu własnego. W ramach tej analizy m.in. prowadzono badania o charakterze walidacyjnym dotyczące ustalenia odpowiedniej liczby funkcji aproksymujących zachowanie cięgien oraz zbieżności podziału na elementy skończone w odniesieniu do dyskretyzacji rurociągu.

Uwagi i komentarze. W tekście wprowadzającym (str. 50) Doktorant zwraca uwagę na numeryczną uciążliwość postawionego zadania. Uciążliwość ta wynika z potrzeby rozwiązania dużych rozmiarów układów równań, generowanych wymogiem odpowiednio gęstej dyskretyzacji po przestrzeni i jednocześnie koniecznością symulowania długich przebiegów czasowych w ocenie drgań. W pierwszym przypadku jako panaceum Autor zastosował skuteczną redukcję liczby dynamicznych stopni swobody przez aplikację zaproponowanej techniki podstruktur. Jednak do całkowania w dziedzinie czasu przyjął warunkowo zbieżny schemat jawny (rozdz. 4.4). Schematy otwarte są dedykowane do obliczeń procesów szybkozmiennych typu falowego, zaś w przypadku zadań dynamiki konstrukcji, a z takim mamy tu odczynienia, za bardziej przydatne uważa się bezwarunkowo stabilne schematy zamknięte, które dopuszczają relatywnie długie kroki czasowe. Jakie są przesłanki takiego podejścia, czy rozważano możliwość zastosowania jednego z niejawnych schematów całkowania w dziedzinie czasu?

W kontekście metody superpozycji modalnej (str. 50) pada uwaga, że metoda ta wymaga całościowego wyznaczenia częstości i form własnych. Nie jest to warunek konieczny w zakresie zadań dynamiki konstrukcji. W zadaniach dynamiki wystarczające jest wyznaczenie tylko pewnej liczby istotnych, tj. pierwszych - najniższych par własnych. Procedury tego typu są znane i dobrze opracowane w ogólnych metodach numerycznych i aplikowane w systemach komercyjnych dedykowanych dynamicznej analizie konstrukcji.

W pracy [11] (BOURQUIN F., D'HENNEZEL F. (1992): Numerical study of an intrinsic component mode synthesis method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 97(1) 49-76.) zastosowano operator Poincare-Steklova na granicy połączeń dwóch sprężystych ośrodków ciągłych. Czy istnieje jego odpowiednik do redukcji brzegowych stopni swobody w podukładach typu strukturalnego, np. o których mowa jest w dysertacji?

Czy rzeczywiście w pracy [8] (BIONDI B., MUSCOLINO G., SOFI A. (2005): A substructure approach for the dynamics analysis of train-track-bridge system. *Computers and Structures* 83(28+30) 2271-2281.) analizowany jest most wiszący?

Doktorant (str. 54) w ramach proponowanej techniki podstruktur i kroków definiującej procedury, w zakresie dot. wyboru zbioru funkcji bazowych, jako jedno z kryteriów wymienił m.in. liniową niezależność i kompletność. Jak należy rozumieć kompletność zbioru funkcji bazowych w tym podejściu?

Przy definicji stanu odniesienia (str. 57) podano, cyt.: „Naciągi wstępne cięgien są tak dobrane, aby rurociąg w stanie odniesienia nie był zginany.” Oczywiście rurociąg w każdym stanie, także odniesienia, zawsze będzie jako belka ciągła na dyskretnie rozmieszczonych wieszakach (podporach) zginany pod wpływem ciężaru własnego (i produktu). Chyba chodzi o to, że nie ma być dodatkowo zginany systemem podwieszenia?

Czy pominięcie oddziaływań zmian temperatury (str. 57) nie jest zbyt poważnym ograniczeniem? Czy oceniono wpływy temperatury i czy są one rzeczywiście pomijalne?

W tym samym akapicie, tj. 3 od góry, str. 57, pojawiają się niejasności i sprzeczności dotyczące założeń o uwzględnieniu i jednocześnie o nieuwzględnianiu oddziaływań zewnętrznych na cięgna i pylony.

Str. 59, założenia. Czy cięgno może być wiotkie nieidealnie? Ciężar własny $q(x)$, zgodnie z rys. 3.3, powinien być chyba funkcją współrzędnej bieżącej (łukowej) a nie x ? Jaką metodą całkowane są związki definiujące macierze sztywności, tłumienia i mas oraz odpowiednie wektory prawych stron wchodzące do zależności typu (3.13) i (3.14). Str. 66, stan równowagi statycznej, cyt.: „paraboliczny przebieg trasy cięgna”. Czy tu nie powinna być krzywa typu łańcuchowego, jeśli wcześniej jest mowa o rozwiązaniu ścisłym cięgien przy dużym zwisie? Str. 67 także (str. 99), nie jest jasny sposób regulacji naciągu układu zapewniający dojście do projektowanej geometrii układu w stanie równowagi statycznej, traktowanego jako układ odniesienia do dynamiki. Str. 68, co to jest „częściowo jawna postać” w odniesieniu do wektora uogólnionych obciążeń zewnętrznych.

Str. 74, jeśli belka (rurociąg) jest zginany w dwóch płaszczyznach [zob. (3.24)], to w wyrażeniu (3.26), brak składnika z pochodną v_b . Str. 77, jak w kontekście wzoru (3.31) należy rozumieć lokalność, cyt.: „są sumą rozwiązań lokalnych”? Opis elementu belkowego jest miejscami mylący (str. 78), a wynika z niego, że występują węzły środkowe w dwuwęzłowym skończonym elemencie belkowym o klasycznych funkcjach Hermite'a? Czy użycie określenia węzły środkowe jest właściwe? Chyba chodzi tu o węzły wewnętrzne podstruktury w ramach całej belki/rurociągu, które nie są węzłami połączeń konstrukcyjnych i które mogą nie wchodzić do końcowych równań układu. Str. 83÷85, na tym etapie rozważań brak definicji macierzy transformacji do której są kilkakrotnie odwołania.

Str. 86 (założenia) wieszaki są traktowane jako nieważkie pręty kratownicowe. Zdaniem recenzenta jest to zbyt silne założenie w dynamice. Czy ze względu na proporcje geometryczno-szywnościowe nie należy ich jednak potraktować jako cięgna? Ponieważ mogą one wzbudzać się lokalnie między punktami wpięcia w konstrukcję? Brak informacji co do sposobu połączenia i współpracy wieszaków z cięgnami.

Str. 89, pylony. Brak informacji jakie warunki są nałożone na fundamenty i ich podatność?

W procedurze agregacji (str. 97) wektor \mathbf{q}_n^f określony jest niejednoznacznie, brak wymiaru \mathbf{q}_n^f . Wg recenzenta \mathbf{q}_n^f powinien mieć wymiar równy liczbie wpięć wieszaków, czyli podwojonej liczbie wieszaków.

W rozdziale gro miejsca poświęcono teorii i wyprowadzeniu odpowiednich równań mechaniki rozłącznych części konstrukcyjnych mostu. Zależności te są znane i dostępne np. we wcześniejszych recenzowanych i docenionych pracach Doktoranta. Zaś za pierwiastek oryginalny należy uznać zaproponowane przez Doktoranta zaaplikowanie autorskiej techniki podstruktur, której opis wydaje się „zdawkowy”. Szczególnie niedosyt informacji pojawia się w zakresie warsztatowego złożenia (syntezy) podstruktur. Np. jak realizowane jest spełnienie warunków równowagi sił interakcji w miejscach połączeń podstruktur (3.72), w globalnym/końcowym układzie równań ($\mathbf{R} = \mathbf{A}^T \mathbf{R}_y = \mathbf{0}$)? Warto zatem stworzyć elementarny przykład demonstrujący, który posłużyłby jednocześnie za przejrzysty przykład do walidacji (porównaj rozdz. 3.5.3). Chodzi o taki przykład, który pozwoliłby na łatwą realizację obliczeń, np. przy „bogatych” różnego typu dyskretyzacjach z użyciem programów komercyjnych. Stąd proszę, jako uzupełnienie, o przedstawienie algorytmu realizacji warunków ciągłości przemieszczeń (w tym parametrów przy funkcji sinus (3.8)) i równowagi sił interakcji na elementarnym przykładzie. Proponuję pochylony w przestrzeni układ, złożony z cięgna (ciężkiego) i w jego środku nieważkiego wieszaka (napiętego cięgnem). Topologia układu zgodna ze strukturą litery T, tj.: cięgno = krzywa daszek w T; wieszak = prosta nóżka w T, brzegi zafiksowane. Do obliczeń walidacyjnych lepiej przyjąć uproszczone parametry liczbowe zadania, ale zbliżone do typowych danych technicznych.

Str. 101, na podstawie jakiego kryterium ustala się „najistotniejszość” częstości drgań przy doborze parametru tłumienia konstrukcyjnego (masowego)? Możliwość zmiennego parametru tłumienia w podstrukturach nie jest niczym szczególnym. Ponieważ parametr ten może być formalnie nawet pewną funkcją ciągłą (gęstością) i podlegać typowej aproksymacji przy obliczaniu macierzy tłumienia na drodze całkowania.

Str. 101, wkraśl się błąd, *Grant Tower*, *Grand* piszę się przez literkę d , a nie t . Czy w przypadku poziomego układu cięgien wiatrowych można bezkarnie pominąć podtrzymujące je cięgna diagonalne? Co w takim stanie dzieje się z ugięciem od ciężaru własnego i drganiami cięgien wiatrowych? Str. 103, w przykładzie liczba $N_p = IV$. Czy w przypadku uproszczonego modelu mostu w *Grand Tower* o nieprzesuwnych warunkach podparcia można pominąć efekt wpływu temperatury? Czy szacowano oddziaływanie temperatury w tym układzie?

Str. 105, rodz. 3.5.4. Zapowiedzi i odniesienia do równania ruchu (3.75) sugerują, że analizowany będzie problem małych drgań nałożonych na skończone deformacje statyczne. Czy wówczas w równaniu (3.80) [zob. także (4.16)] nie powinna pojawić się styczna macierz sztywności względem (nieliniowej) konfiguracji równowagi statycznej. Do czego odnosi się parametr $s_c^J = s_c$ w tym przykładzie?

W moście w *Grand Tower* liczba wieszaków wynosi 86 i wynika z ich równomiernego rozstawu co $7,62\text{ m}$, przy rozpiętości przęsła głównego $655,32\text{ m}$. Zatem jak należy rozumieć analizę tego obiektu, przy arbitralnie zmienionej liczbie wieszaków dyktowanej cyt.: „w celu ustalenia miarodajnej liczby funkcji aproksymujących przemieszczenia cięgien (n_c)”?

Wyniki uzyskane z obliczeń programem SOFiSTiK uznano za walidujące model autorski. Na ile wyniki z SOFiSTiK są wiarygodne? Czy przeprowadzono testy zbieżności podziału, szczególnie w odniesieniu do modelowania cięgien? Jak regulowano siły naciągu? Jak uzyskane wyniki mają się do pomiarów na obiekcie rzeczywistym w *Grand Tower*?

Str. 113, podsumowanie. Czy rzeczywiście chodzi o dziedzinę czasu i tamże użycie standardowej procedury Galerkina?

Rozdział 4. pt. „*Drgania spowodowane ruchem transportowanego medium*”, liczy 24 strony, zawiera 20 wzorów, 18 rysunków, 5 tabel i składa się z 5. podrozdziałów, tj.: *Wprowadzenie, Obciążenie wynikające z przepływu cieczy w rurociągu, Zagadnienie własne z uwzględnieniem ruchomej masy cieczy oraz wyznaczenie prędkości krytycznej przepływu, Analiza numeryczna drgań liniowych i nieliniowych spowodowanych przepływem cieczy, Podsumowanie.*

W rozdziale przedstawiono sformułowanie teoretyczne modelu obciążenia rurociągu płynącą cieczą traktowaną jako ruch masy balastowej oraz jego aplikację obliczeniową. Rozważono trzy przypadki: napływ, odpływ i pełen przepływ cieczy przez rurociąg. Wprowadzono wektor obciążenia oraz składniki wchodzące do macierzy bezwładności, sztywności i tłumienia generowane ruchem masy cieczy. W części obliczeniowej przeprowadzono analizę zagadnienia własnego pod kątem wpływu prędkości ruchomej masy cieczy na parametry własne układu, m.in. wyznaczając wartość krytyczną prędkości ruchu masy powodującą utratę stateczności konstrukcji. Rozważono także badania przebiegów quasi-statycznych i dynamicznych na ewolucję ugięć rurociągu w wyniku napływu, odpływu i przepływu cieczy przez rurociąg z różną prędkością. Zbadano także wpływ efektu nieliniowości geometrycznej układu na stan przemieszczenia rurociągu.

Uwagi i komentarze. Przedstawione w rozdziale rozważania teoretyczne obciążenia rurociągu cieczą są znane i dostępne, także we wcześniejszych recenzowanych i docenionych pracach Doktoranta. Formalnie we wzorach, gdzie podkreśla się zależność różnych składników od czasu, należałoby również wskazać zależność wektora przemieszczeń od czasu.

Str. 124. Wariant metody Newmarka po przyjęciu parametru $\beta = 0$ daje jej najprostszy przypadek, opisany w literaturze jak warunkowo stabilna jawna metoda różnic centralnych. Niewymieniony tu (także w [83]) parametr γ wpływa na własności tłumienia numerycznego, zaś parametr β na stabilność metody. I tylko przyjęcie $\gamma = 1/2$ nie wnosi bezpośrednio tzw. tłumienia numerycznego.

W równaniu (4.18) wkradła się pewna nieścisłość, schemat jest jawny - występujący po prawej stronie niewiadomy wektor \mathbf{q}_{i+1} , należy wyeliminować z użyciem formuły (4.17)₁. Schematy Newmarka, z założenia wymagające iteracji, są schematami niejawnymi.

Jak wyglądają algorytmy i kryteria zbieżności kończące iterację prostą rozwiązania równania (4.19)? Nieliniowość generowana przepływem produktu, czy też ruchem „świnki”, jest prawdopodobnie typu „słabego”, bowiem dotyczy tylko jednego elementu skończonego rurociągu, przez który przechodzi aktualne czoło/koniec masy cieczy lub tamże znajduje się urządzenie w ruchu. Str. 128, zaskakująco mały jest wpływ przepływów bliskich prędkości krytycznej na rozwiązania (4.20), ponieważ zgodnie z równaniem (4.12) układ dla v_{kryt} w stanie ustalonym powinien być chyba osobliwy z założenia?

Jak dobierano długość kroku całkowania h w kontekście przyjmowanej dyskretyzacji przestrzennej i parametrów materiałowych? Ile wynoszą parametry obliczeniowe typowego zdania, tj. podział i liczba stopni swobody oraz czas pojedynczej realizacji?

Ile wynosił analizowany przedział czasowy, z jakim krokiem całkowano liniowe i nieliniowe równania ruchu w zagadnieniu wpływu prędkości przepływu produktu (str. 135)? Ile kroków czasowych przypadało na przejście czoła/końca masy cieczy przez jeden element skończony? Czy obserwowano niestabilności numeryczne rozwiązań?

Rozdział 5. „Drgania wymuszone turbulencją wiatru”, liczy 37 stron, zawiera 45 wzorów, 13 rysunków i składa się z 5. podrozdziałów o rozwiniętym układzie, tj.: *Wprowadzenie, Obciążenia aerodynamiczne mostów dużych rozpiętości* [w tym: *Charakterystyka pola porywistego wiatru, Siły aerodynamiczne działające na dźwigary mostów*], *Algorytm analizy drgań wiszącego mostu rurociągowego spowodowanych wzbudzeniem turbulentnym* [w tym: *Założenia, Związki korelacyjne procesu turbulencji wiatru, Obciążenie aerodynamiczne działające na podwieszony rurociąg, Równanie ruchu mostu rurociągowego i jego rozwiązanie, Charakterystyki probabilistyczne odpowiedzi mostu*], *Analiza numeryczna odpowiedzi mostu spowodowanej jednoczesnym oddziaływaniem wzbudzenia turbulentnego oraz ruchu masy, Podsumowanie*.

Na początku Doktorant omówił wybrane publikacje wynikające z przyjętego zakresu dysertacji, a dotyczące drgań mostów, powodowanych oddziaływaniem wiatru, rozważania te zakończone są wnioskami. Dalej, po przedstawieniu ogólnych zależności teoretycznych dotyczących oddziaływania aerodynamicznego wiatru na konstrukcje mostowe, świadomie ograniczył swoje dalsze rozważania do losowego wzbudzenia turbulentnego (buffetingu). Tym niemniej, na przykładzie buffetingu opracował tok postępowania ważny także w przypadku ogólnego oddziaływania wiatru. Rozważania przedstawił w zakresie teorii korelacyjnej w dziedzinie czasu w ramach klasycznego podejścia quasi-ustalonego (z pominięciem sił samowzbudnych), zapisując równania we współrzędnych fizycznych i z analitycznym ujęciem turbulencji wiatru poprzez procesy stochastyczne. Technicznie oddziaływania pola wiatru podzielił na segmenty wzdłuż rozpiętości wiszącego mostu rurociągowego obciążonego ruchomą masą cieczy. Przy podziale na segmenty uwzględnił przestrzenną i czasową korelację składników obciążenia porywami wiatru. Ostatecznie wyznaczył wartości oczekiwane i wariancje poziomych przemieszczeń rurociągu z uwzględnieniem wpływu prędkości ruchu masy cieczy w jego wnętrzu.

Uwagi i komentarze.

Podobnie jak w przypadku wcześniejszych rozdziałów przedstawione rozważania teoretyczne w zakresie obciążenia siłami aerodynamicznymi są znane i dostępne, także we wcześniejszych recenzowanych i docenionych pracach Doktoranta.

W przypadku siły unoszącej, czasami we wzorach występuje znak plus, czasami minus.

Czym jest podyktowane ograniczenie się w tych badaniach do liniowego modelu mostu (str. 148)? Czy wynika to z potrzeby racjonalnego zastosowania zasady superpozycji?

W pracy przyjęto, że rurociąg jest idealnie gładkim walcem kołowym. Oczywiście ze względu na obszerność tematyczną dysertacji jest to słuszne ograniczenie tematu! Brakuje jednak podkreślenia, że są to tylko warunki idealne, bowiem w rzeczywistości może wystąpić np. losowe oblodzenie obiektu, które nie tylko zmienia masę konstrukcji, ale także współczynnik oporu aerodynamicznego itp.

We wzorze (5.45) wynikającym z redukcji zależności (5.15), jest błąd, zgubiono pośredni znak równości.

Rozdział 6. pt. „*Niezawodność w sensie problemu pierwszego przekroczenia*”, liczy 17 strony, zawiera 24 wzorów, 9 rysunków i składa się z 4. podrozdziałów, tj.: *Wprowadzenie, Prawdopodobieństwo przekroczenia założonego poziomu granicznego, Losowe drgania wiszącego mostu rurociągowego - analiza problemu pierwszego przekroczenia, Podsumowanie.*

W rozdziale, po wprowadzeniu z zakresu teorii niezawodności, Doktorant rozważył zagadnienie szczególne. Zagadnieniem tym jest niezawodność w sensie pierwszego przekroczenia stanu granicznego w odniesieniu do obciążeń dynamicznych rurociągu z ruchomą masą cieczy i losowymi turbulencjami wiatru (buffeting). W analizie tego zagadnienia, wykorzystując wyniki z poprzedniego rozdziału, wyznaczono podstawowe miary niezawodności, tj. średnie liczby przekroczeń w jednostce czasu oraz prawdopodobieństwo co najmniej jednokrotnego przekroczenia dopuszczalnych ugięć rurociągu w zależności od prędkości przepływu produktu.

Uwagi i komentarze. Ta część pracy tj. niezawodność w sensie pierwszego przekroczenia stanu granicznego rurociągowych mostów wiszących, nie była wcześniej przedstawiona w dostępnej literaturze i nie była publikowana przez Doktoranta. Stąd można uznać, że nosi ona znamiona oryginalności.

Na jakiej podstawie ustalono kryterium dotyczące stanu granicznego w odniesieniu do przemieszczeń poziomych? Czy sprawdzono jednocześnie zakres drgań pionowych oraz czy kontrolowano stan wyężenia konstrukcji? Czy uzyskane wyniki potwierdzają intuicyjne odczucia, że most z pustym rurociągiem jest jednym z niebezpieczniejszych stanów w kontekście wzbudzeń powodowanych wiatrem? Czym kierowano się w wyborze punktów 1, 2, tj. w $\frac{1}{4}$ oraz $\frac{1}{2}$ rozpiętości wiszącego rurociągu, do oceny wstępnej procesu zliczania przekroczeń poziomu granicznego?

Rozdział 7. pt. „*Uwagi końcowe i kierunki dalszych badań*”, liczy 5 stron. Sformułowano tu wnioski końcowe i stwierdzenie spełnienia obu tez postawionych w pracy, a także przedstawiono potencjalne kierunki dalszych badań.

Praca zawiera **3 załączniki** pt.: „1. *Rozwój i klasyfikacja rurociągowych mostów wiszących*”, „2. *Macierz agregacji A*”, „3. *Wektor sił brzegowych R*”. Liczą one łącznie 22 strony i zawierają 1. tabelę oraz 14 nienumerowanych wzorów o bardzo złożonej strukturze. Pracę, poza zestawieniem cytowanej literatury zawierające 152 pozycje i 10 źródeł internetowych, kończą streszczenia w języku polskim i angielskim.

Uwagi i komentarze. Załącznik nr 1, jest tożsamy z tekstem pkt. 2 „*Historia i rozwój wiszących mostów rurociągowych*”, dostępnego w sieci współautorskiego artykułu, pt.:

PROKOPOWICZ D., BRYJA D. (2015): Wiszące mosty rurociągowy - historia i przegląd stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. *Przeгляд Budowlany* 9, 30÷37.

Niestety nie odwołano się do tego artykułu, nie zamieszczono go w spisie literatury. Recenzent rozumiejąc celowość przytoczenia tego bardzo ciekawego tekstu w dysertacji, zwraca jednak uwagę, że takie postępowanie, bez odwołania i uzasadnienia, ma znamiona autoplagiatu i nie powinno mieć miejsca w przyszłych publikacjach Autora.

Literatura, w trakcie czytania zauważono kilka poniższych błędów.

[1], [27] i [28] - przedstawiono nazwiska autorów, drugiego z trzecim.

[80] - przedstawiono kolejność nazwisk autorek, dodano drugi człon do nazwiska KNAWA.

[81] - brak roku wydania 2021.

[92] - prawdopodobnie brak nazwiska drugiego współautora, tj.: CIOŁKO A.T.

[129] - pomyłono nazwisko z imieniem.

[133] - powinno być Part II.

[138] - niepełny tytuł książki: *Random vibrations: theory and practice*.

[150] - błąd w skrócie imienia ZIENKIEWICZ OLGIERD CECYL.

4. Ogólna ocena rozprawy

Pragnę jeszcze raz podkreślić, że wcześniej poczynione uwagi do kolejnych rozdziałów, nie mają charakteru negatywnego, są raczej przyczynkiem do sprowokowania konstruktywnej dyskusji naukowej z Doktorantem. Ogólnie pracę oceniam bardzo wysoko. Niedosyt może budzić tylko ograniczenie się przez Doktoranta do jednego przykładu technicznego. Jednak i tutaj trzeba podkreślić, że model obliczeniowy konstrukcji stanowiący rdzeń tego przykładu służy w kolejnych etapach pracy do analizy zróżnicowanych teoretycznie problemów naukowych wynikających z zakresu i kontekstu treści poruszanych w danym rozdziale.

O wartości merytorycznej dysertacji decydują następujące cechy:

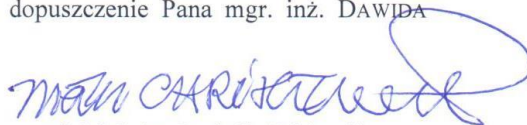
- tematyka rozprawy jest wielowątkowa od strony teoretycznej, dobrze dobrana, interesująca z poznawczego punktu widzenia, wymagająca szerokiej wiedzy i kompleksowego podejścia;
- stanu wiedzy literaturowej w zakresie tematyki poruszanej w rozprawie jest dobrze rozpoznany;
- struktura pracy jest logiczna, poszczególne rozdziały oraz analizy są dobrze udokumentowane i właściwie podsumowane, zawierają ciekawe i ważne wnioski;
- tezy i cele podane w rozprawie należy uznać za wykazane i osiągnięte;
- zagadnienia naukowe dowiadują do potrzeb praktyki inżynierskiej.

Od strony technicznej, pomijając drobne mankamenty, rozprawa jest dobrze zredagowana, starannie przygotowana pod względem edytorskim. Zamieszczone liczne rysunki, zdjęcia i tabele są komunikatywne. Terminologia pracy jest poprawna i poparta sprawnością językową.

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa Pana mgr. inż. DAWIDA PROKOPOWICZA pt.: „Wybrane zagadnienia dynamiki, aerodynamiki i niezawodności rurociągowych mostów wiszących” spełnia warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami) oraz uwzględniając art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami). Dlatego wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Pana mgr. inż. DAWIDA PROKOPOWICZA do publicznej obrony.

Gdańsk 28.09.2022 r.



prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski