

prof. Zbigniew ZEMBATY,
Politechnika Opolska
e-mail: z.zembaty@po.edu.pl
www.z.zembaty.po.opole.pl
ORCID ID: 0000-0002-1605-5167
Research Gate:
https://www.researchgate.net/profile/Zbigniew_Zembaty

Opole, 22 sierpień, 2019

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny JABŁONKI:

ANALIZA DYNAMIKI KONSTRUKCJI PRZY NIECIĄGLYCH W CZASIE WYMUSZENIACH STOCHASTYCZNYCH

1. Podstawa recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pismem Dziekana, dr hab. inż. Marii KASZYŃSKIEJ, prof. ZUT, z dnia 25 czerwca 2019.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa ma postać raportu liczącego 127 stron i obejmującego dziewięć rozdziałów oraz spis literatury. W pracy znajduje się dysk CD zawierający 27 programów i procedur numerycznych w języku Matlab. W pracy brak jest osobnego wykazu oznaczeń i skrótów co, jak zostanie pokazane dalej, jest jej pewną wadą.

Recenzowana rozprawa jest pracą o charakterze analityczno-numerycznym, przy wykorzystaniu analitycznych modeli prostych konstrukcji metod numerycznych zaimplementowanych w programie *Matlab* oraz metody Monte Carlo.

Głównym przedmiotem rozprawy jest zbadanie efektywności metody równań opisujących stochastyczne parametry odpowiedzi układów dynamicznych pod wpływem serii impulsów, których występowanie opisane jest procesami odnowy. Praca zawiera także wyniki dotyczące stochastycznej odpowiedzi dla nieliniowych układów dynamicznych.

3. Uwagi ogólne na temat pracy

Analiza dynamiki konstrukcji poddanych losowym wymuszeniom impulsowym my już długą tradycję od lat 60 tych XX wieku, związaną w dużej mierze z próbami oceny efektów ruchu pojazdów na konstrukcje mostowe. Z polskich badaczy największy wkład w ten obszar badań wnieśli profesorowie Radosław Iwankiewicz i Paweł Śniady. W przeciwieństwie do innych wpływów stochastycznych na budowle jak wiatr, falowanie morza czy efekty

sejsmiczne ten obszar wypracował specyficzne podejście wykorzystujące równanie ruchu konstrukcji nazywane równaniem stanu (łączy opis przemieszczeń i prędkości) oraz znane z fizyki równie Fokkera-Plancka-Kołmogorowa (czasem używane pod nazwą równania Kołmogorowa-Fellera). Podejście to (przy pewnych ograniczeniach) pozwala od razu operować w analizach wyników funkcjami gęstości prawdopodobieństwa odpowiedzi konstrukcji co jest bardzo atrakcyjne badawczo. Co więcej ta metodologia umożliwia analizy stochastyczne w zakresie nieliniowym co, w przypadku metod stochastycznych, napotyka na poważne trudności i ma tym samym duże walory poznawcze. Z drugiej strony równania analityczne są trudne do rozwiązywania a wyniki praktyczne dotyczą najczęściej prostych układów konstrukcyjnych jak pręty czy belki ciągłe.

Pamiętając o tych ograniczeniach i zaletach należy uznać podjęcie tej tematyki przez doktorantkę za duże wyzwanie naukowe i bardzo pozytywnie ocenić, że to przedsięwzięcie badawcze zakończyło się pozytywnie, gdyż wymagało od doktorantki opanowania trudnych zagadnień fizyki matematycznej i zaawansowanego aparatu metod stochastycznych.

Promotor Rozprawy ma w tym obszarze wybitne osiągnięcia światowe i dobrze się stało, że zachęcił doktorantkę do, choć częściowego rozwinięcia swoich wcześniejszych wyników w zakresie efektywności rozwiązywania równań opisujących statystyczne momenty odpowiedzi dla impulsowych obciążeń układów dynamicznych procesami odnowy.

Należy jednak podkreślić, że współczesne konstrukcje mostowe są coraz lżejsze i coraz bardziej wiotkie, a pojazdy coraz bardziej masywne więc, zdaniem Recenzenta, przyszłość badawcza należy jednak do problemów interakcji „budowla-pojazd” której w niniejszej rozprawie nie uwzględniono. Dość wspomnieć o rozwoju nanotechnologii w materiałach budowlanych i planach budowy mostów przy wykorzystaniu cięgien z grafenu. Jaka wtedy będzie proporcja mas pojazd – budowla mostowa?

Tym nie mniej z punktu widzenia inżynierii lądowej otrzymane wyniki stanowią istotny wkład do tematyki budowli mostowych poddanych trudnemu, stochastycznemu obciążeniu ruchem pojazdów i opracowane metody i analizy mogą być wykorzystane przy tworzeniu norm budowlanych w tym obszarze. Rozwój wiedzy w tym trudnym zakresie stochastycznego opisu efektów dynamicznych na budowie jest powolny, lecz niezbędny.

4. Treść rozprawy

We wstępie dokonano wprowadzenia w trudną problematykę pracy oraz scharakteryzowano krótko cel i zakres Rozprawy.

W rozdziale drugim omówiono tzw. punktowe procesy stochastyczne Poissona i procesy odnowy.

W rozdziale trzecim dokonano wprowadzenia do tematyki równań różniczkowo całkowych dla opisu tzw. „niedyfuzyjnych” procesów Markowa („Poisson-driven Markov processes”).

W rozdziale czwartym wyprowadzono równania dla momentów odpowiedzi układów dynamicznych poddanych losowym seriom impulsów.

Rozdział piąty poświęcony jest omówieniu sposobów takiego przeformułowania problemów analitycznych, aby możliwe było uzyskanie wyników numerycznych, czyli opisiu tzw. procedur „zamykających”.

W rozdziale szóstym przedstawiono metodę otrzymywania równań dla momentów odpowiedzi układu w przypadku, gdy proces wymuszenia jest generowany przez proces Erlanga z parametrem całkowitym k , oraz sprowadzono zagadnienie do problemu „markowskiego”.

W rozdziale siódmym rozszerzono tematykę badawczą na nieliniowe układy dynamiczne

Rozdział ósmy zawiera przykłady analiz numerycznych dotyczących liniowych układów dynamicznych poddanych losowej serii obciążeń ruchomych.

W rozdziale dziewiątym podano wnioski końcowe. Praca jest zakończona bibliografią liczącą 82 pozycje.

5. Ocena rozprawy

Niewątpliwie przygotowując i pisząc rozprawę Autorka napracowała się bardzo solidnie. Musiała dobrze rozpoznać niezwykle, jak na budownictwo, trudną problematykę dynamiki stochastycznej układów mechanicznych poddanych seriom impulsów losowych. Zrobiła szczegółowe omówienie kolejnych etapów opisu tego zagadnienia (procesów punktowych Poissona i Erlanga, oraz metod wyprowadzenia równań na momenty statystyczne). Doprowadziła równania stochastyczne do postaci umożliwiającej ich efektywne rozwiązywanie, co należy do niełatwych kwestii. Następnie przeprowadziła szerokie analizy numeryczne z p. systemu *Matlab* oraz weryfikację licznych rozwiązań z p. metody *Monte Carlo*. Rozwiązane przykłady dotyczą belki wolno podpartej, odpowiedzi dla belki dwustronnie przegubowej której opis drgań da się sprowadzić do drgań oscylatora Duffinga (układ nieliniowy), a także ogólnych układów dynamicznych poddanych ruchomym impulsom pojawiających się w sekwencji opisanej procesami Erlanga. Są to trudne zadania numeryczne.

Wszystko to sprawiło, że prowadzone analizy napotykały na znaczne trudności. Mimo to udało się Autorce uzyskać interesujące i niebanalne wyniki, np. te dotyczące wpływu prędkości pojawiania się obciążeń impulsowych na odpowiedź stochastyczną konstrukcji mostowej.

Za oryginalne elementy otrzymane przez Autorkę rozprawy uznać można

- a) Doprowadzenie zestawu trudnych równań stochastycznych opisujących tzw. 'stan' analizowanego układu dynamicznego (przemieszczenie, prędkość) do postaci umożliwiającej ich efektywne numeryczne rozwiązywanie, czyli opracowanie
 - tzw. przybliżeń zamykających i
 - zbadanie efektywności stosowania tych przybliżeń zamykających (poprzez wciągnięcie do analiz numerycznych technik symulacji Monte Carlo).
- b) Napisanie do tych wszystkich zadań procedur i programów w systemie *Matlab*.
- c) Efektywne wyznaczenie odpowiedzi konstrukcji w zakresie wartości średnich i wariancji oraz ich analizę parametryczną.

Zwraca uwagę obszerny zakres przeprowadzonych analiz i badań. Wskazuje to na bardzo duży nakład pracy wykonanej przez Doktorantkę. Szkoda, że doktorantka nie napisała osobnego rozdziału, w którym bardziej szczegółowo omówiłaby swoją implementację metody *Monte Carlo* oraz problemy numeryczne które musiała rozwiązywać co pozwoliłoby lepiej docenić wysiłek który włożyła w tym zakresie swoich badań naukowych.

6. Krytyczne uwagi o rozprawie

6.1. W Rozprawie, w celu weryfikacji wyników, stosuje się w kilku miejscach metodę *Monte Carlo*. Jest to bardzo dobre podejście. Jednak sposób stosowania tej metody zupełnie nie jest wyjaśniony. Czy zastosowano jakieś istniejące algorytmy? Jakie przyjęto założenie i ograniczenia dla tej metody? Jak opisano pojawianie się impulsów losowych? Na jakiej podstawie przyjęto, że 10 000 próbek to wystarczająca liczba stosowana w weryfikacji tą metodą itp.? Recenzent uważa, że doktorantka powinna choć częściowo uwzględnić te problemy podczas swojej prezentacji w czasie obrony doktoratu.

6.2 W rozdziale 7.3 gdzie wprowadzany jest przykład dotyczący stochastycznej analizy nieliniowego oscylatora, na stronie 53 (u góry) odnotowano przyjęcie zastosowania tylko pierwszej postaci drgań w metodzie rozwinięcia wg. funkcji własnych. Biorąc pod uwagę drobiazgowość i dokładność analiz całej rozprawy tak duże uproszczenie powinno być, zdaniem recenzenta, uzupełnione o dyskusję zakresu wynikającej z tego niedokładności. Być może powinien być przeliczony choć jeden przykład z użyciem 3-4 funkcji własnych.

Ewentualnie można było użyć Metody Monte Carlo pokazując wielkość niedokładności wprowadzonej tym uproszczeniem. Sprawa ta wymaga komentarza podczas obrony rozprawy.

6.3 Zasadniczym elementem nowości w badaniach w niniejszej rozprawie, a także we wcześniejszych publikacjach Promotora, jest zastosowanie w modelowaniu obciążenia impulsowego badanych układów dynamicznych procesów odnowy z rozkładami Erlanga. Doktorantka odnosi się do tego w rozdziale 2.2 (strona 16) powołując na literaturę światową, nie wyjaśniając jednak, dlaczego w inżynierii mostowej rozkłady Erlanga są lepsze od tradycyjnych rozkładów Poissona. Byłoby wskazane, aby przy okazji obrony doktoratu doktorantka krótko omówiła zalety stosowania w inżynierii ruchu i mostowej rozkładów Erlanga zamiast rozkładów Poissona.

6.4 Mimo tego, że rozprawa jest napisana bardzo starannie to jednak czyta się ją bardzo źle. Stosunkowo mało jest ilustracji rysunkowych do jej trudnej problematyki a wyprowadzenia wzorów prowadzone są tak, że (przy braku ogólnego spisu symboli) bardzo trudno jest zidentyfikować poszczególne oznaczenia we wzorach. Charakterystycznym przykładem jest początek rozdziału trzeciego, gdzie pojawiają się symbole 'a' oraz 'b' ze znakami tyldy (~) zupełnie nie wytłumaczone. Stosuje się oznaczenie 'f' jako opis ogólnej funkcji, ale też do oznaczenia gęstości prawdopodobieństwa. Takich przykładów braku rzetelnego omówienia analizowanego problemu i braku precyzyjnego zdefiniowania oznaczeń matematycznych jest znacznie więcej. Poważnie utrudnia to recepcję treści Rozprawy. Zdaniem Recenzenta ta rozprawa powinna mieć osobny rozdział poświęcony zestawieniu wszystkich najważniejszych oznaczeń i symboli.

6.5 W pierwszym zdaniu pod-rozdziału 2.3 „*Odpowiedzi układu na ciąg impulsów...*” którą można przedstawić w postaci „*procesu przefiltrowanego*” wprowadza się zapewne układ dynamiczny (jaki?). Jedynym do tego odniesieniem jest pojawienie się poniżej wzoru (2.3) enigmatycznej „*funkcji kształtu*” (...) „*przyczynowo-skutkowej*”. Czytelnik Rozprawy jest w trudnej sytuacji nie wiedząc o co tu chodzi.

6.6 Podpisy do rysunków z wykresami wyników numerycznych (szczególnie te z rozdziału 7, np. 7.4 do 7.79) są niewystarczające. Zdaniem Recenzenta podpisy pod wykresami powinny umożliwiać Czytelnikowi całkowitą identyfikację przykładów z tekstu a to jest utrudnione.

6.7 We wstępie, na stronie 7, napisano:

„(...) W wielu zagadnieniach obciążenia dynamiczne konstrukcji są nieciągłe i mogą być opisane jako seria zdarzeń, polegająca na tym, że w losowych chwilach pojawia się, obciążenie trwające przez pewien krótki czas. Tym sposobem można zamodelować rzeczywiste warunki obciążeń takich

jak silne i nagłe porywy wiatru, obciążenia konstrukcji mostu wskutek przejeżdżających pojazdów lub kładek pod wpływem strumieni ruchu pieszych, wstrząsy pojazdów wynikające z nierówności nawierzchni drogowych, uderzenia w wyniku kolizji, uderzenia, którym poddane są wysięgniki koparek wielonaczyniowych w kopalniach odkrywkowych. (...)”,

Można zgodzić się z całą tą wypowiedzią za wyjątkiem kwestii modelowania porywów wiatru (*gust loads*) które tradycyjnie, od czasu pionierskich badań A.G. Davenporta z lat 60-tych XX wieku, formułowane są z pełnym sukcesem w zakresie zwykłych, ciągłych procesów stochastycznych i ich wartości szczytowych.

7. Wnioski i końcowa ocena pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Anny JABŁONKI zawiera wyniki trudnych badań dotyczących mechaniki konstrukcji i nowoczesnej inżynierii ruchu.

W Rozprawie objęto badaniami nowoczesną metodologię analizy modalnej, teorii wrażliwości oraz metod stochastycznych. Jednocześnie przygotowując i pisząc rozprawę Doktorantka zdobyła specjalistyczne doświadczenia w stosowaniu trudnych stochastycznych metod fizyki matematycznej w inżynierii lądowej. Rozwijany w rozprawie kierunek badań dotyczący identyfikacji dynamicznej konstrukcji budowlanych rokuje dalsze nadzieje na kolejne, interesujące i niebanalne wyniki. Rozprawa zawiera cały szereg elementów oryginalnych w szczególności w zakresie zastosowania metod numerycznych w analizę odpowiedzi konstrukcji mostowej na ruchome wymuszenia o charakterze impulsów losowych o rozkładach Erlanga (por. punkt 5 tej recenzji).

Biorąc powyższe pod uwagę uznać można, że spełnia ona wymagania aktualnie obowiązującej Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 3 lipca 2018 (Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669), art. 14 ust. 1 pkt 1, ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. poz. 261).

Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

