

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Pokusińskiego pt. „Niezawodność wybranych stalowych konstrukcji prętowych typu diagrid”

1. Informacje ogólne

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo zlecające z dnia 07.05. 2020 roku Pana prof. dr hab. inż. Marka Lefika Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Recenzowana rozprawa doktorska wydana została w formie maszynopisu na 177 stronach. Składa się z 6 rozdziałów, 3 załączników, spisu literatury obejmującego 250 pozycji plus wykazu 18 norm, rozporządzeń, ustaw i dyrektyw. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Marcin Kamiński z Politechniki Łódzkiej.

2. Opis pracy i komentarze

Problem oceny niezawodności konstrukcji stalowych typu diagrid jest bardzo ciekawym problemem naukowym. Konstrukcje te stosowane są zarówno w przekryciach o dużych rozpiętościach a także jako układy nośne w wysokich budynkach. Z faktu, że konstrukcje te o strukturze siatkowej tworzone są z wielu elementów prętowych i ich połączeń powoduje, że od strony teoretycznej powstają problemy zarówno w zakresie analizy statycznej, dynamicznej, stateczności, a także w ocenie ich niezawodności i bezpieczeństwa. Praca dotyczy oceny niezawodności stalowych konstrukcji typu diagrid.

W rozdziale pierwszym rozprawy zatytułowanym „Wprowadzenie” sformułowano tezę pracy i określono cel i zakres pracy. Głównym celem pracy jest weryfikacja następującej tezy:

„W zagadnieniach dotyczących stalowych konstrukcji prętowych typu diagrid, zastosowanie metod perturbacyjnych odpowiednio wysokiego rzędu umożliwia uzyskanie dowolnie założonej dokładności wyznaczenia wartości charakterystyk losowych z rozwiązaniem probabilistycznych metod całkowania bezpośredniego”. Sformułowano także 18 celów towarzyszących. Ważną informacją z punktu widzenia niezawodności jest podana w tym rozdziale informacja, że przyjętymi w analizie zmiennymi losowymi są moduł Younga,

grubość ścianki i długość pręta przy czym przyjęto, że wszystkie te trzy zmienne losowe mają rozkład normalny. Uważam, że we wstępie należało podać w jakim zakresie będą przyjmowane w dalszej części pracy parametry zmiennych losowych jak wartości oczekiwane, współczynniki zmienności a także jakie przyjęto obciążenia i ich wielkości. Informacje te ułatwiłyby zapoznanie się z pracą.

Rozdział drugi zatytułowany „Metody określania niezawodności konstrukcji” zawiera opis metod oceny niezawodności konstrukcji. We wprowadzeniu do tego rozdziału omówiono trzy poziomy oceny niezawodności konstrukcji. Przedstawiono podstawowe miary i metody oceny niezawodności konstrukcji w tym wskaźniki niezawodności Cornella i Hasofer-Linda stosowane w metodach pierwszego rzędu (FORM) i drugiego rzędu (SORM).

Rozdział trzeci zatytułowano „Model matematyczny dźwigarów siatkowych i jego implementacja komputerowa”. W podrozdziale 3.1 przedstawiono uogólnione prawo Hooke’a, chociaż w przypadku konstrukcji prętowej nie było to konieczne. Podrozdział 3.2 zawiera znane równania w ujęciu macierzowym statyki, dynamiki i stateczności układów dyskretnych. Niestety nie pokazano w tym miejscu przynajmniej fragmentu budowy macierzy sztywności dla przykładowej struktury siatkowej. Więcej miejsca poświęcono w tym rozdziale takim problemom jak: określanie funkcji odpowiedzi aproksymowanej wielomianem, dyskretyzacji rozkładu normalnego, wyznaczaniu współczynników rozwinięcia w szereg Taylora w metodzie perturbacji, przy uwzględnianiu wyższych charakterystyk probabilistycznych jak momenty centralne trzeciego i czwartego rzędu. Do tego rozdziału mam następującą uwagę redakcyjną: ponieważ numeracja wzorów w tym rozdziale jest kontynuacją numeracji z rozdziału drugiego należało więc połączyć te dwa rozdziały.

Rozdział czwarty został zatytułowany „Eksperymenty numeryczne”. Rozdział ten obejmuje szereg analiz numerycznych. Do pierwszych problemów przedstawionych w pracy należy ustalenie kryteriów doboru funkcji odpowiedzi, a także obszerna analiza numeryczna w celu ustalenia rzędu rozwinięcia funkcji granicznych w szereg Taylora w metodzie perturbacyjnej w celu otrzymania wyników z ustaloną dokładnością. Następny podrozdział został zatytułowany „Analiza probabilistyczna dźwigarów płaskich” i zawiera między innymi probabilistyczną analizę 8 płaskich dźwigarów stalowych zaprojektowanych zgodnie z obowiązującymi normami. Kontynuacją tej tematyki są kolejne dwa podrozdziały, w których przedstawiono probabilistyczną analizę prętowych powłok walcowych i prętowych kopuł. Obok rozwiązań z zakresu statyki przedstawiono także rozwiązania dla częstości własnych, czyli jednego z podstawowych problemów dynamiki. Przedstawiona probabilistyczna analiza obejmuje nie tylko probabilistyczne momenty pierwszego i drugiego rzędu, czyli wartości

oczekiwanej i wariancji ale także momentów wyższego rzędu w tym skośność i kurtozę. Rozwiązując problemy związane z wyznaczaniem powierzchni granicznych przeprowadzono szereg eksperymentów numerycznych wykorzystując programy komputerowe Autodesk Robot Structural Analysis w połączeniu z Maple. Uzasadniając potrzebę uwzględniania wyższych charakterystyk probabilistycznych w rozwinięciach w szereg w metodzie perturbacyjnej Doktorant odwołuje się do rzadko już cytowanej pracy, w której przedstawiono tak zwany kwartet Anscombe'a. Nie jestem przekonany, czy w przypadku zmiennej o rozkładzie normalnym można otrzymać dla tych samych charakterystyk probabilistycznych podobnie różne wykresy jak w wspomnianym kwartecie.

Rozdział piąty zatytułowany „Analiza i porównanie niezawodności konstrukcji prętowej” zawiera analizę wskaźnika niezawodności wykonaną dla prętowych dźwigarów płaskich, prętowych powłok walcowych i prętowych kopuł. Sformułowano dość prosty, liniowy warunek graniczny, w którym stan nośności lub przemieszczeń jest jednoznacznie określony. We wszystkich analizach przyjęto, że obciążenie jest deterministyczne. Warty podkreślenia jest fakt, że Doktorant zauważa, że konstrukcja o wyższym wskaźniku niezawodności a więc bardziej bezpieczna, może być znacznie droższa, zatem bada między innymi wpływ ciężaru własnego na zmianę wskaźnika Cornella wykazując, że wielkość tego ciężaru ma istotny wpływ na ten wskaźnik.

Rozdział szósty jest podsumowaniem pracy i zawiera szereg wniosków ogólnych i szczególnych wynikających z przeprowadzonych analiz numerycznych.

3. Ocena pracy

W celu pokazania jakim problemem inżynierskim zajmował się Doktorant w swojej rozprawie doktorskiej warto przedstawić jak są sformułowane problemy niezawodności konstrukcji na poziomie drugim. Miarami niezawodności według poziomu drugiego są wskaźniki niezawodności, a mianowicie wskaźnik prosty (wskaźnik Cornella) oraz wskaźnik geometryczny (wskaźnik Hasofer-Linda). Prosty wskaźnik zdefiniowany jest jako odwrotność współczynnika zmienności funkcji granicznej. Wynika stąd, że do jego określenia potrzebna jest znajomość wartości oczekiwanej i wariancji funkcji granicznej. Wskaźnik geometryczny definiowany jest jako najkrótsza odległość powierzchni granicznej od początku układu w bazie standaryzowanych zmiennych o rozkładzie normalnym. W przypadku liniowego warunku granicznego oba wskaźniki są sobie równe i dla zmiennych o rozkładzie normalnym można określić prawdopodobieństwo przekroczenia stanu granicznego (awarii). W przypadku nieliniowego warunku granicznego oba wskaźniki wyznacza się w inny sposób.

W przypadku prostego wskaźnika niezawodności problem rozwiązuje się rozwijając funkcję graniczną w szereg Taylora wokół wartości średnich zmiennych losowych, a następnie wyznacza się odpowiednie charakterystyki probabilistyczne tej funkcji. Gdy wyznacza się geometryczny wskaźnik niezawodności wówczas transformuje się zmienne losowe w przestrzeń standaryzowanych zmiennych losowych o rozkładzie Gaussa, a następnie określa się odległość punktu projektowego, którego położenie jest nieznanne, od początku układu i ta odległość jest wskaźnikiem niezawodności. Szukane rozwiązanie dla nieliniowej funkcji granicznej otrzymuje się stosując procedury iteracyjne. W analizie niezawodności konstrukcji stosowane są oba wskaźniki, przy czym warto pamiętać, że geometryczny wskaźnik niezawodności jest bardziej obiektywny niż prosty wskaźnik niezawodności w ocenie niezawodności konstrukcji.

Tradycyjnie nieliniową funkcję graniczną w przypadku prostego wskaźnika rozwija się w szereg Taylora ograniczając się do dwóch pierwszych wyrazów rozwinięcia a więc do formy liniowej. Doktorant do oceny niezawodności zastosował prosty wskaźnik niezawodności ale rozwija funkcję graniczną do wielu wyrazów i wykorzystuje momenty probabilistyczne wyższego rzędu dla zmiennych o rozkładzie Gaussa. Dzięki zastosowaniu tej procedury otrzymuje dokładniejsze wyniki w ramach wskaźnika prostego. W przypadku wielu zmiennych losowych i stosowania procedur obliczeniowych jak metoda elementów skończonych, elementów brzegowych czy też zastosowanie różnic skończonych, nie jest znana funkcja graniczna w postaci analitycznej a tylko w dyskretnych punktach przestrzeni zmiennych losowych. Niemożliwe jest wówczas wyznaczenie odpowiednich pochodnych funkcji granicznej. Zachodzi potrzeba aproksymacji funkcji granicznej pewną formą analityczną. Problemowi temu poświęcono szereg prac. Również Doktorant zajął się tym problemem proponując własne rozwiązanie bazujące na wielomianach. Problem nie jest łatwy i jego praktyczne rozwiązanie wymaga na wstępnym etapie analizę przyjętych danych empirycznych. Główny nacisk w pracy położono na analizę numeryczną analizowanych problemów, badania dokładności wyników itp. Doktorant łączył metodę MES z stochastyczną metodą elementów skończonych, metodą perturbacyjną. Doktorant wykonał olbrzymią pracę w zakresie analizowanych problemów numerycznych - przykładowo przeanalizował 48 grup funkcji, które mogą być użyte w analizowanym problemie. Przeprowadzone analizy numeryczne pozwoliły potwierdzić założone tezy pracy.

4. Wniosek końcowy

W podsumowaniu chciałbym stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Pokusińskiego pt. „Niezawodność wybranych stalowych konstrukcji typu „diagrid” jest samodzielnym rozwiązaniem zadania naukowego i odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim i na podstawie Art.13, pkt. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65, poz.598), wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Biorąc pod uwagę szereg problemów rozwiązanych w pracy uważam, że praca zasługuje na wyróżnienie.

