

Michał Stopel
18.05.2018
[Signature]

WTIM a/e

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Michał Stopel

„PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI MECHANICZNYCH PODDANYCH DZIAŁANIU OBCIĄŻEŃ NARASTAJĄCYCH Z DUŻĄ PRĘDKOŚCIĄ”

1. Podstawa prawna

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy z dnia 05.04.2018 roku /nr Umowy o dzieło 21/WIM/2018//.

2. Omówienie pracy

W przedstawionej do oceny pracy Autor zajmował się analizą wpływu narastających z dużą prędkością odkształceń na właściwości mechaniczne wybranych metali oraz aplikacją wyników w procesie projektowania i eksploatacji konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej. Praca ma zatem charakter kompleksowy, który syntetycznie można podzielić na problem poznawczy dotyczący zjawisk i aplikacyjny. Autor podejmuje zadanie dotyczące zaproponowania efektywnych metod pozwalających na wyznaczenie, w możliwie niedrogi i szybki sposób, wpływu prędkości odkształcenia na właściwości mechaniczne materiałów oddanych odkształceniom narastającym z dużą prędkością. Jest to ważne zadanie o charakterze naukowym, które samo mogło być przedmiotem rozprawy doktorskiej. Aplikacja wyników zaproponowanej metody i przedstawienie weryfikacji doświadczalnej deformacji na skutek dużej prędkości odkształcenia konstrukcji wsporczej infrastruktury drogowej, spełniające wymagania normy PN-EN 12767 pt. „Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych – wymagania i metody badań” w zakresie bezpieczeństwa biernego, stanowi bardzo cenne dopełnienie przedstawionej rozprawy doktorskiej.

Praca dotyczy zatem szeroko rozumianej problematyki poprawienia bezpieczeństwa użytkowania pojazdów w ruchu drogowym.

Ze względu na wieloaspektowość przedstawionych zagadnień **w recenzji ograniczono się do aspektu konstrukcyjnego ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień mechaniki materiałów oraz zagadnień wytrzymałościowych.**

W ostatnich latach przeprowadzono dużo prac nad poprawą bezpieczeństwa na drogach.

Jednym z obiektów technicznych narażonych na niepożądany wpływ prędkości odkształcenia, w przypadku, których badania niszczące wiążą się ze znacznymi kosztami, są konstrukcje wsporcze infrastruktury drogowej, które powinny spełnić wymagania normy PN-EN 12767.

Analizowana konstrukcja składa się przede wszystkim z masztu osadzonego na podstawie przytwierdzonej do fundamentu. Maszt z podstawą połączony jest za pomocą złącza, które pełni dwie funkcje. Złącze musi przenieść obciążenia wynikające z warunków eksploatacji, takie jak ciężar własny, napór wiatru lub ciężar pokrywy śnieżnej. Z drugiej strony złącze nie może być zbyt wytrzymałe, tak, aby w wyniku uderzenia pojazdu w konstrukcję nastąpiło rozłączenie się stopy masztu od podstawy utwierdzonej w fundamencie. W przypadku projektowania konstrukcji o tak zdefiniowanych wymaganiach bezpieczeństwa uwzględnienie

wpływu prędkości na wzrost wytrzymałości elementów złącza jest zagadnieniem złożonym ale i kluczowym.

Praca podzielona została na zasadniczych 5 rozdziałów.

W rozdziale pierwszym omówiono genezę prowadzonych badań oraz zarysowano problem badawczy niniejszej rozprawy. Sformułowano cele pracy :

Celem głównym rozprawy jest zaproponowanie metodyki wyznaczenie, w możliwie niedrogi i szybki sposób parametrów modelu Johnsona-Cook'a. W szczególności :

a) współczynnika wrażliwości materiału na prędkość odkształcenia C ,

b) współczynnika wpływu prędkości odkształcenia na uszkodzenie D .

W celu realizacji tego celu pracy Autor zrealizował następujących zadania badawcze:

- Wyznaczenie stałych modelu Johnsona-Cooka z zastosowaniem dotychczas najczęściej stosowanej metodyki.
- Zweryfikowanie poprawności sposobu modelowania MES, w którym zastosowano model materiałowy Johnsona-Cooka.
- Opracowanie algorytmu wyznaczenia parametru wrażliwości umocnienia na prędkość odkształcenia w modelu Johnsona-Cooka.
- Opracowanie algorytmu wyznaczenia parametru wrażliwości uszkodzenia na prędkość odkształcenia w modelu Johnsona-Cooka.
- Przeprowadzenie badań doświadczalnych na obiekcie rzeczywistym i ich symulacji MES z zastosowaniem stałych modelu wyznaczonych wg opracowanej hybrydowej metodyki wyznaczenia stałych modelu Johnsona-Cooka.

Poszczególne zadania realizowane i przedstawiane są w kolejnych rozdziałach pracy.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu stanu wiedzy na temat zmian właściwości materiału podczas narastania prędkości odkształcenia. W podrozdziale 2.1 omówiono zagadnienia związane ze sprężystym i plastycznym odkształceniem metali. W ramach tego punktu zaprezentowano również przegląd matematycznych modeli umocnienia materiału. W podrozdziale 2.2 zebrano zagadnienia związane z ciągłym pękaniem metali oraz przedstawiono wybrane modele matematyczne uwzględniające uszkodzenie materiału.

W rozdziale trzecim zaprezentował Autor propozycję oryginalnej metodyki badawczej, mającą na celu wyznaczenie stałych materiałowych dla analizowanego modelu matematycznego. Przedstawiono przesłanki do opracowania własnej hybrydowej metodyki badawczej mającej na celu wyznaczenie parametrów wrażliwości materiału na prędkość odkształcenia modelu uszkodzenia i umocnienia Johnsona-Cooka. Proponowana metoda jest metodą hybrydową: eksperymentalno-numeryczną. Metoda ta wymaga przeprowadzenia testów na młocie Charpy'ego z użyciem próbek bez karbu i z karbem oraz serii obliczeń numerycznych metodą elementów skończonych symulujących proces odkształcenia próbek na młocie Charpy'ego. Analizę numeryczną przeprowadzono w środowisku LS-Dyna.

Rozdział czwarty zawiera opis badań aplikacyjnych. W ramach tego rozdziału przedstawiono warunki techniczne prowadzenia testu zderzeniowego pojazdu z infrastrukturą drogową oraz opisano przeprowadzony eksperyment zderzeniowy. Testom poddano dwie konstrukcje. Konstrukcje różniły się między sobą średnicą cięgien głównych (nośnych) oraz wyplotu. Łącznie przeprowadzono cztery testy zderzeniowe. Następnie przedstawiono symulację numeryczną metodą elementów skończonych z zastosowaniem modelu materiałowego uwzględniającego wpływ prędkości odkształcenia na zachowanie się konstrukcji. Analizę numeryczną przeprowadzono w środowisku LS-Dyna. W celu weryfikacji modelowania numerycznego testu zderzeniowego z eksperymentem porównano wyniki: czas przejazdu platformy testowej przez konstrukcje, sposób uszkodzenia złącza oraz sposób odkształcenia prętów głównych konstrukcji.

Cała praca podsumowana została w rozdziale piątym, którym sformułowano wnioski poznawcze i utylitarne oraz zaprezentowano przesłanki dla prowadzenia dalszych badań.

Praca uzupełniona jest wykazem stosowanej w pracy literatury.
Praca zawiera 117 stron tekstu .

Należy podkreślić ważność podjętej problematyki i jej całościowe ujęcie. Jest to koncepcja właściwa, która powinna być intensywnie promowana i rozwijana.

Podjęcie zatem kompleksowe problematyki projektowania i eksploatacji konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej w pracy doktorskiej jest ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

Uzyskane wnioski wyniki mogą być przydatne także w innych zastosowaniach praktycznych w technice.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Autor opracował metodykę projektowania wybranych konstrukcji inżynierskich - konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej, poddanych działaniu obciążeń narastających z dużą prędkością.

W celu określenia wpływu prędkości odkształcenia na zachowanie się konstrukcji powszechnie stosuje się badania eksperymentalne. Coraz częściej jednak, ze względu na bardzo wysokie koszty badania niszczące prowadzone dla całych obiektów, wspomaga się analizami numerycznymi Metodą Elementów Skończonych (MES). Na potrzeby takich analiz stosowane są różne środowiska numeryczne takie jak np.: LS-Dyna, Abaqus Explicite czy Ansys Autodyn. W programach tych są zaimplementowane modele materiałowe uwzględniające wpływ prędkości na właściwości materiałowe. Przykładami takich modeli są modele: Cowpera-Symodsa, Zerilli'ego-Armstronga czy też Johnsona-Cooka. Po przedstawieniu szerokiej analizy porównawczej modeli Autor uznał model Johnsona-Cooka za najbardziej dokładny.

Bazując na modelu Johnsona-Cooka w aspekcie poznawczym w rozprawie:

- zaproponowano nową metodykę wyznaczania stałych dla modelu Johnsona-Cooka bazującą na badaniach udarności w próbie Charpy'ego na próbkach gładkich (dla umocnienia materiału) na próbkach z karbem (dla uszkodzenia),
- metodę zweryfikowano dla jednego metalu, porównując stałe materiałowe wyznaczone za ich pomocą z wartościami tych stałych wyznaczonymi metodami dotychczas stosowanymi oraz przeprowadzając symulacje MES prób eksperymentalnych,
- przeprowadzono badania doświadczalne dla analizowanej konstrukcji i zweryfikowano sposób modelowania MES z uwzględnieniem modelu J-C, na podstawie porównania wyników modelowania z wynikami przeprowadzonych badań aplikacyjnych na torze zderzeniowym.

W aspekcie aplikacyjnym na podstawie przeprowadzonych testów zderzeniowych opracowano wnioski odnośnie konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej :

- uwzględnienie wpływu prędkości odkształcenia na zachowanie się materiału podczas modelowania eksperymentu poprawia skuteczność analiz. Umożliwiło to w ramach badań aplikacyjnych na lepsze odwzorowanie rzeczywistego zachowania materiału w ramach symulacji,
- w analizowanym przypadku zastosowanie modelu materiałowego Johnsona-Cooka nie wpłynęło na zmianę cech geometrycznych konstrukcji, ale potwierdziło poprawność stosowanego modelu,
- dokładne odwzorowanie zachowanie materiału przy zadanych obciążeniach z jednoczesnym zastosowaniem w procesie konstrukcyjnym wyników analiz MES, może prowadzić do zmniejszenia badań doświadczalnych całych konstrukcji.

Reasumując Autor postawił sobie jasny cel, sformułował i rozwiązał ważny problem naukowy. Wyniki analiz materiałowych zostały wykorzystane w szerokich badaniach

eksperymentalnych zachowania się konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej w warunkach zderzenia z pojazdem. Autor także wykazał się umiejętnością prowadzenia pracy naukowej.

Mgr inż. Michał Stopel posiada ogólną wiedzę w zakresie mechaniki i wytrzymałości materiałów oraz potrafi stosować metody badania stanu wyężenia i modelowania układów mechanicznych z wykorzystaniem metod numerycznych.

Rozprawa wprowadza nową metodykę analizy modelu J-C i projektowania konstrukcji poddanych obciążeniom narastającym z dużą prędkością, na przykładzie konstrukcji wsporczych infrastruktury drogowej, z przyjęciem warunków bezpieczeństwa biernego.

4. Uwagi krytyczne

4.1 Uwagi ogólne

Przy ogólnej bardzo pozytywnej ocenie rozprawy, w pracy zauważyłem pewne problemy dyskusyjne:

- W tytule pracy moim zdaniem powinien być fraza „konstrukcje wsporcze infrastruktury drogowej”. Sformułowanie „konstrukcje mechaniczne” w mojej ocenie zbyt szerokie. Akcent w pracy położony jest na spawaną konstrukcję prętową.

- Podobna uwaga dotyczy sformułowania „dużych prędkości „

- Cennym uzupełnieniem w pracy byłaby informacja na jakiej podstawie zaprojektowano użyte w badaniach konstrukcje (wymiary prętów) do analizy wpływu prędkości pojazdu w przypadku kolizji z konstrukcją wsporczą na pojazd i konstrukcję. Wskazany byłby dokładniejszy komentarz na ten temat.

- Uwaga Autora o „przeważającym znaczeniem cech geometrycznych nad cechami materiałowymi na wytrzymałość projektowanej konstrukcji „ jest niefortunne i wymaga komentarza.

- Dlaczego zastosowano do prób udarności próbkę niestandardową z karbem U a nie V. W kontekście proponowanej metodyki estymacji parametrów modelu materiału J-C wskazany komentarz.

Uwagi te głównie natury dyskusyjnej nie umniejszają wysokiej wartości naukowej i aplikacyjnej rezultatów rozprawy..

4.2 Uwagi szczegółowe

Drobne usterki natury redakcyjnej;

Str.6 - Zdanie „Wymaga się wówczas, aby naprężenie eksploatacyjne σ_{exp} było mniejsze od naprężeń dopuszczalnych ... „ Czy może być inaczej ?

Str. 26 – literówka - zbędne „w” w pierwszym akapicie

Str. 41 – pierwszy akapit – literówka „ prędkość został” - literówka „została”

Str.44 - brak informacji o gatunku /nazwie/ materiale na śruby

Str.45 - Czy ITS jest Instytutem PAN ?

Str.81 – styl (żargon) „prób łamania próbki”. Ten problem determinuje Norma „Próba udarności ...”

Str.104 – Ostatni akapit – To nie „wydaje się...” ale taka jest, a raczej powinna być, praktyka inżynierska

Praca jest starannie zredagowana. Logicznie przedstawione są kolejne etapy rozważań.

Powyższe uwagi głównie natury dyskusyjnej i redakcyjnej nie zmieniają bardzo wysokiej oceny całej rozprawy doktorskiej.

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że praca mgr inż. Michała Stopel p.t.” PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI MECHANICZNYCH PODDANYCH DZIAŁANIU OBCIĄŻEŃ NARASTAJĄCYCH Z DUŻĄ PRĘDKOŚCIĄ” spełnia warunki stawiane w Ustawie /Dz.U.2016.1586/ rozprawom doktorskim.

Praca wyróżnia się kompleksowym podejściem do rozważanego zagadnienia, starannością i oryginalnością analiz materiałowych, w tym numerycznych, oraz szerokim zakresem badań doświadczalnych.

Stawiam więc wniosek o dopuszczenie mgr inż. Michała Stopel do publicznej obrony, a po jej pozytywnym przebiegu nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

