



prof. dr hab. inż. Maria Kotelko
Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji
Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka
ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź
maria.kotelko@p.lodz.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Jedlińskiego

pt.: "Opracowanie konstrukcji oraz badania innowacyjnych słupów oświetleniowych z cechami bezpieczeństwa biernego"

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP z dnia 13.10.2020 r.

1. Przedmiot rozprawy

W ostatnich dekadach w przepisach dotyczących bezpieczeństwa ruchu drogowego (w tym w przepisach europejskich) kładzie się coraz większy nacisk na tworzenie bezpiecznego otoczenia drogi (infrastruktury drogowej). Również normy w zakresie konstrukcji słupów oświetleniowych zawierają obecnie określone kryteria bezpieczeństwa biernego, w tym absorpcji energii przy kolizji pojazdu ze słupem. Dlatego też projektowane obecnie słupy oświetleniowe powinny charakteryzować się zredukowaną sztywnością przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wytrzymałości. Recenzowana praca wpisuje się w obszar tych zagadnień.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest bowiem opracowanie innowacyjnej konstrukcji oraz analiza zarówno eksperymentalna, jak i numeryczna cienkościennych słupów oświetleniowych spełniających normatywne kryteria wytrzymałościowe, a zarazem charakteryzujących się zwiększoną podatnością skutkującą podwyższeniem energii zaabsorbowanej przy kolizji, przy jednoczesnym utrzymaniu kosztów produkcji na poziomie konstrukcji standardowej, nie spełniającej norm bezpieczeństwa biernego. Doktorant postawił tezę, że rozwiązanie takie jest możliwe.

Opracowano dwie rodziny słupów, tj. słupy wkopywane oraz słupy z podstawą mocowaną do betonowego fundamentu. W obu przypadkach zastosowano stalową konstrukcję cienkościenną, o grubości ścianki mniejszej niż w standardowych rozwiązaniach.

2. Treść rozprawy

Praca składa się z siedmiu rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisu literatury (bibliografii) cytowanej w tekście, zawierającej 52 pozycje, dwu załączników oraz spisu tabel, rysunków i wykresów. . Ogółem praca zawiera 119 stron.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do rozprawy, w którym omówiono normę EN12767 zawierającą wymagania dotyczące bezpieczeństwa biernego m.in. słupów oświetleniowych oraz metod ich testowania. Szczegółowo omówiono metodę obliczania dwóch wskaźników charakteryzujących bezpieczeństwo bierne dla słupów, tj. Acceleration Severity Index (ASI) i Theoretical Head Impact Velocity (THIV).

Rozdział drugi zawiera przegląd stanu wiedzy w przedmiocie rozprawy. Przedstawiono w nim różne, stosowane dotąd warianty konstrukcji słupów oświetleniowych oraz przegląd publikacji prezentujących głównie wyniki rzeczywistych testów zderzeniowych słupów oświetleniowych oraz symulacji numerycznych takich testów. Przegląd zawiera także pozycje dość odległe tematycznie od przedmiotu rozprawy, m.in. dotyczące absorpcji energii przez bariery ochronne oraz struktur energochłonnych obciążonych impulsem wybuchu. W podsumowaniu tego rozdziału Autor opisuje problem badawczy, który zamierza rozwiązać.

W rozdziale 3-m Doktorant formułuje tezę (podaną już w poprzednim paragrafie recenzji) i cel pracy. To, co Autor określa jako „cele pracy” jest także planem pracy.

W rozdziale 4-m, zatytułowanym „Konstrukcje słupów oświetleniowych” (tytuł niezupełnie oddaje treść rozdziału), Doktorant przedstawia szczegółowo konstrukcje innowacyjnej rodziny słupów, ze szczególnym uwzględnieniem połączeń słupów z podłożem. Oba warianty konstrukcji zostały opracowane, ja należy się domyślać, w firmie Europoles, w której Autor jest cyt.: „odpowiedzialny za proces wdrażania nowych produktów”. W tymże rozdziale zawarto wyniki obliczeń wytrzymałościowych zaprojektowanych słupów, przeprowadzonych zgodnie z normą PN-EN-40-3-3. Dalej w tym samym rozdziale przedstawiono wyniki prób wytrzymałościowych materiału zastosowanego do budowy słupów oraz wyniki badań zmęczeniowych słupów na stanowisku badawczym. Celem tych badań była weryfikacja wyników analizy wytrzymałościowej oraz sprawdzenie, czy badane słupy spełniają wytrzymałościowe wymagania normatywne.

Rozdział 5. zawiera wyniki badań zderzeniowych słupów na stanowisku badawczym (torze zderzeniowym) oraz terenowych testów zderzeniowych. Badaniom poddano obie rodziny słupów. Opisano stanowisko, tj. tor do badań zderzeniowych oraz bardzo szczegółowo warunki i wyniki terenowych testów zderzeniowych. Testy na torze zderzeniowym przeprowadzono przy zastosowaniu tzw. pojazdu blokowego, zaś testy terenowe z udziałem trzech różnych typów samochodów osobowych. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano m.in. przebiegi czasowe przyspieszeń oraz wskaźników ASI i THIV. Testy laboratoryjne (stanowiskowe), jak również testy terenowe przeprowadzono odpowiednio w laboratorium f-my Europoles oraz przez firmę Europoles (co wynika z załączonych certyfikatów).

Rozdział 6-ty poświęcony jest opisowi modelu numerycznego metody elementów skończonych (MES) oraz wynikom symulacji numerycznych MES zderzenia pojazdu w słup oświetleniowy. Zamodelowano wstępnie słupy standardowe (wariant 1), a następnie słupy z typoszeregu FPL, tj. mocowany do betonowego fundamentu (wariant 2). Wybrano jeden słup z typoszeregu, dla którego uzyskano największą absorpcję energii w badaniach eksperymentalnych, ściślej najwyższe wskaźniki THIV i ASI. W pierwszym wariantcie zamodelowano pojazd blokowy, zastosowany na torze zderzeniowym. W duginużyto ogólnie dostępnego modelu pojazdu FORD Geo Metro. W rozdziale 6-tym zawarto wybrane wyniki symulacji numerycznych, w szczególności porównania wizualizacji testów numerycznych z rzeczywistymi testami zderzeniowymi oraz przebiegów czasowych prędkości i wskaźników ASI i THIV. Otrzymano dobrą zgodność wyników symulacji i eksperymentu, z wyjątkiem przebiegu prędkości pojazdu.

Rozdział 7-my zawiera wnioski końcowe. Stwierdzono w nim, że teza pracy została potwierdzona. Nakreślono też kierunki dalszych badań.

3. Ogólna ocena rozprawy

Doktorant podjął się rozwiązania istotnego, z punktu widzenia zastosowań inżynierskich, zagadnienia konstrukcji cienkościennego słupa oświetleniowego, która to konstrukcja spełniałaby zarówno warunki wytrzymałościowe, a zarazem wymogi bezpieczeństwa biernego infrastruktury drogowej. Praca ma charakter wdrożeniowy, a treść rozprawy charakter naukowo-inżynierski. Postawione zagadnienie zostało rozwiązane kompleksowo, tzn. opracowano oryginalną, innowacyjną konstrukcję słupa (ściślej: dwa warianty tej konstrukcji), przeprowadzono szeroko zakrojone i poprawnie zaplanowane badania eksperymentalne oraz badania numeryczne MES.

Badania eksperymentalne przeprowadzono zarówno na torze zderzeniowym z zastosowaniem tzw. pojazdu blokowego, jak i na obiektach rzeczywistych. Przeprowadzono terenowe testy zderzeniowe słupów z samochodem osobowym. Badania te (szczególnie badania terenowe) pozwoliły na określenie głównych wskaźników bezpieczeństwa biernego, a zatem ocenę zaprojektowanych słupów. Wyniki tych badań posłużyły do kalibracji i walidacji modeli numerycznych oraz symulacji MES. W mojej opinii wyniki tych badań stanowią najbardziej wartościową część rozprawy w sensie naukowym, mają bowiem istotny walor poznawczy oraz aplikacyjny.

Opracowano także modele numeryczne MES słupów i pojazdów w warunkach kolizji, co samo w sobie jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym, ze względu na złożoność samych obiektów, jak i silną nieliniowość (zarówno geometryczną, strukturalną i fizyczną) modelowanego procesu zderzenia. Opracowano dwa modele, tj. słupa o konstrukcji standardowej w zderzeniu z pojazdem blokowym oraz jednego ze słupów z typoszeregu zaprojektowanego w ramach pracy. W drugim przypadku użyto ogólnie dostępnego modelu pojazdu, stosowanego do tego typu symulacji. Otrzymano dość dobrą zgodność wyników symulacji numerycznych i eksperymentu. Opracowane modele MES i wyniki symulacji stanowią oryginalny wkład w obszarze technik komputerowych stosowanych w inżynierii, mimo pewnych uwag krytycznych, podanych poniżej.

Układ pracy jest przejrzysty, jej redakcja jest staranna i nie budzi zastrzeżeń. Biorąc powyższe pod uwagę, moja ogólna merytoryczna ocena rozprawy jest pozytywna.

4. Uwagi krytyczne

- 4.1. Przegląd literatury przedmiotu rozprawy (52 pozycje, w tym 8 norm obliczeniowych i 2 prace magisterskie) jest dość zawężony, co prawdopodobnie wynika z faktu, iż wiele wyników badań w przedmiotowym obszarze badawczym jest objętych tajemnicą. Jednakże, w odniesieniu do pozycji traktujących bardziej ogólnie zagadnienie absorpcji energii w konstrukcjach cienkościennych, przegląd ten jest dość fragmentaryczny i chaotyczny. Zawiera bowiem pozycje dość odległe związane z badanym zagadnieniem (np. 28,30,44,50), nie zawiera natomiast publikacji (m.in. monografii i artykułów w renomowanych czasopismach) o charakterze bardziej ogólnym i fundamentalnym (m.in. prac Normana Jonesa, Wierzbieckiego i Abramowicza, Alghamdi'ego) oraz prac bliższych rozpatrywanemu zagadnieniu (np. Rena i Vesenjaka dotyczących absorpcji energii w barierach drogowych).
- 4.2. Nie podano dokładnie źródeł wzorów normatywnych w rozdziale 4-tym (par.4.1). Pochodzą one z norm [32-35]. Jednakże dla przejrzystości wywodu byłoby wskazane podać szczegółowe referencje dla poszczególnych wzorów.

4.3. W paragrafie 4.3 opisano wyniki analizy wytrzymałościowej słupów. Dla przejrzystości tego opisu wskazane byłoby zamieszczenie przyjętego w obliczeniach schematu obciążenia słupa. Schemat taki rozwiałby pewne wątpliwości, a mianowicie:

- słupy oświetleniowe mają nad ziemią (w tym przypadku 1 m nad ziemią) (Rys. 4.8) otwór rewizyjny/podłączeniowy zamknięty drzwiczkami o wysokości 400 mm; to jest najniższa część słupa obciążonego ciężarem lampy; obciążenie słupa od wiatru, wzięte pod uwagę w obliczeniach, powoduje skręcanie przekroju otwartego (o małej sztywności i wytrzymałości na skręcanie) w otworze rewizyjnym; na ten stan obciążenia nakłada się uderzenie poniżej otworu, ale deformacja przodu samochodu może dojść aż do otworu, brakuje zatem pogłębionej analizy tego stanu,
- wątpliwość budzi bardzo niska wartość momentu skręcającego u podstawy słupa (0,02 kNm) oraz brak tej wartości dla wysięgnika.
- brak danych o rozpiętościach wysięgników i ciężarach lamp (są one „ukryte” w dalszej części rozprawy, co utrudnia lekturę paragrafu 4.3).

4.4. Nie podano, czy w modelu konstytutywnym materiału słupa, zastosowanym w analizie MES, uwzględniono wpływ prędkości odkształcenia na charakterystykę materiału, który ma bardzo istotne znaczenie dla stali, szczególnie przy założonych prędkościach. Podano jedynie, że zastosowano model multiliniowy.

4.5. W modelu obliczeniowym dla słupa typu FPL zastosowano ogólnie dostępny model pojazdu, tj. Forda Geo Metro, po czym wyniki symulacji MES porównano z wynikami testów zderzeniowych przeprowadzonych na innych pojazdach. Konstrukcja strefy zgniotu w zastosowanym modelu prawdopodobnie odbiegała od analogicznej konstrukcji w pojazdach użytych do testów zderzeniowych. Zatem porównanie wyników symulacji z wynikami testów na obiektach rzeczywistych budzi wątpliwości. Pewne zastrzeżenia budzi także porównywanie wyników samego eksperymentu dla różnych pojazdów, z przyczyn podanych wyżej (m.in. różnej konstrukcji stref zgniotu).

4.6. Nie przeprowadzono pogłębionych analiz odkształceń ścianki słupa, szczególnie w obszarze otworu rewizyjnego i poniżej. Nie wynika jasno z opisu modelu MES, czy i jak zamodelowano ten otwór. W tym obszarze należy się spodziewać wyboczenia lokalnego ścianki, które można by przeanalizować na podstawie symulacji MES, a które ma wpływ na absorpcję energii przez konstrukcję cienkościenną (inicjuje odkształcenie plastyczne).

Powyższe uwagi krytyczne nie umniejszają ogólnej wysokiej oceny merytorycznej rozprawy. Jednakże zawartość rozprawy budzi pewne wątpliwości natury formalnej. Z treści jej bowiem nie wynika jasno, co jest autorskim, oryginalnym wkładem Kandydata w rozwiązanie postawionego zagadnienia. W szczególności:

- czy zaprezentowane innowacyjne konstrukcje słupów oświetleniowych są całkowicie autorskimi rozwiązaniami Kandydata; ma to bardzo istotne znaczenie, bowiem praca, jak wspomniano wyżej ma charakter wdrożeniowy,
- jaki był indywidualny wkład Doktoranta w zaplanowanie, przeprowadzenie i opracowanie wyników badań doświadczalnych,
- czy zaprezentowane modele obliczeniowe MES stanowią autorskie opracowanie Doktoranta.

Ponieważ obowiązująca Ustawa „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce” stawia wyraźny wymóg, cyt: *” Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań*

naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.”, konieczne jest wyjaśnienie i uwypuklenie w tekście rozprawy, co stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego przez Doktoranta. Dlatego też rozprawa wymaga uzupełnienia, najlepiej w postaci suplementu, w którym powyższe kwestie byłyby wyjaśnione.

5. Wniosek końcowy

Jak wspomniałam wyżej, moja ocena pracy w sensie merytorycznym jest pozytywna. Doktorant przedstawił kompleksowe rozwiązanie zarówno problemu inżynierskiego, jak i naukowego.

Dorobek publikacyjny Doktoranta jest skromny (dwie publikacje pokonferencyjne według bazy Scopus), co spełnia, aczkolwiek w stopniu zaledwie dostatecznym, wymagania ustawy. Należy też wziąć pod uwagę, że część wyników badań przedstawionych w rozprawie jest objęta tajemnicą.

W konkluzji stwierdzam, że będę wnioskować o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Jedlińskiego do publicznej obrony, po jej przeredagowaniu. Sugeruję, jak wspomniano wyżej, uzupełnienie rozprawy o suplement wyjaśniający, co stanowi oryginalny, autorski wkład Doktoranta w rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

Łódź, 5. grudnia 2020 r.

Alina Kotełko
Alina Kotełko