

prof. dr hab. inż. Jerzy Małachowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
Tel.: +48 261 839 140
E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl

Warszawa, dn. 28.12.2020 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej

*Opracowanie konstrukcji oraz badania innowacyjnych słupów oświetleniowych
z cechami bezpieczeństwa biernego*

autorstwa mgr inż. TOMASZA JEDLIŃSKIEGO

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo (sygn. DIM.63.237.2020) Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, dr hab. inż. OLAF CIZAKA, prof. PP, podyktowane uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. TOMASZA JEDLIŃSKIEGO pt. „*Opracowanie konstrukcji oraz badania innowacyjnych słupów oświetleniowych z cechami bezpieczeństwa biernego*”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. JACEK BUŚKIEWICZ, a promotorem pomocniczym dr inż. PAWEŁ FRITZKOWSKI.

2. Omówienie pracy

Recenzowana praca została napisana na 120 stronach maszynopisu formatu A4 i składa się ze streszczenia w języku polskim i języku angielskim, 7 rozdziałów, bibliografii z 52 referencjami, dwóch załączników, spisu tabel, spisu rysunków i spisu wykresów. Tytuły poszczególnych rozdziałów są następujące: (1) Wstęp; (2) Przegląd stanu wiedzy w zakresie słupów oświetleniowych spełniających normę bezpieczeństwa biernego; (3) Teza i cele pracy; (4) Konstrukcje słupów oświetleniowych; (5) Badania eksperymentalne określające bierne bezpieczeństwo konstrukcji; (6) Modelowanie i symulacje numeryczne; (7) Podsumowanie.

Przedmiot rozprawy doktorskiej oraz zaprezentowane osiągnięcie będące jego podstawą są zgodne z zapisem stosownej Ustawy, a mianowicie „3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub

artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.” (Dz. U. 2018 poz. 1668, Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). Doktorant swoje badania i rozważania nad opracowaniem nowej konstrukcji bezpiecznych słupów oświetleniowych prowadzi już od kilku lat. Przed tego typu rozwiązaniami konstrukcyjnymi, oprócz spełnienia wymogów funkcyjnych, stawia się warunek zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom ruchu drogowego, także w warunkach zderzenia kierowanego pojazdu z omawianą konstrukcją.

Na wstępie Autor dokonał przeglądu stanu literatury. W opinii Recenzenta, ten przegląd wiarygodnie i dogłębnie odzwierciedla wieloaspektowy, obowiązujący stan aktów prawnych i norm, które muszą spełniać projektowane konstrukcje słupów oświetleniowych także w zakresie bezpieczeństwa oraz uwypukla liczne aspekty naukowe podjętego zagadnienia. W oparciu o to została przez Doktoranta sformułowana teza pracy, która brzmi: „Możliwe jest zastosowanie konstrukcji cienkościennej z materiału o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych oraz modyfikacja konstrukcji w miejscu połączenia słupa z podstawą tak, aby:

- poprawą własności wytrzymałościowych stali zrekompensować utratę jej grubości i tym samym zachować wytrzymałość na obciążenia statyczne słupa porównywalną z konstrukcją standardową,
- zmniejszyć potrzebną ilość energii niezbędnej do spłaszczenia słupa w chwili uderzenia pojazdu,
- utrzymać koszty wykonania słupa na poziomie podobnym do konstrukcji standardowej o tożsamy parametrach niespełniającej normy bezpieczeństwa biernego.”

oraz cele rozprawy, do których Doktorant zaliczył:

- „zaprojektowanie i wytworzenie słupów oświetleniowych z podstawą o wysokości od 6 do 12 m, które będą spełniały wymogi normy bezpieczeństwa biernego w klasie 100HE3 przy maksymalnie 10% wzroście ceny w stosunku do konwencjonalnego słupa o tożsamy parametrach wytrzymałościowych i gabarytach,
- zaprojektowanie i wytworzenie słupów oświetleniowych wkopywanych o wysokości od 6 do 12 m, które będą spełniały wymogi normy bezpieczeństwa biernego w klasie 100HE3 przy maksymalnie 10% wzroście ceny w stosunku do konwencjonalnego słupa o tożsamy parametrach wytrzymałościowych i gabarytach,
- wykonanie testów zderzeniowych zgodnie z przywoływaną normą i badania eksperymentalne słupów,

- opracowanie modelu komputerowego i analiza numeryczna za pomocą metody elementów skończonych odkształceń i naprężeń w pojeździe oraz analiza dynamiczna pojazdu po chwili uderzenia. Walidacja modelu na podstawie wyników badań eksperymentalnych i sformułowanie wstępnych wniosków dotyczących możliwości zastosowań modelowania numerycznego w projektowaniu słupów spełniających normy bezpieczeństwa biernego.”

Wyżej wymienione zadania cechuje duży poziom użyteczności i obejmują głównie: zaprojektowanie, przeprowadzenie badań eksperymentalnych i wytworzenie słupów oświetleniowych wkopywanych oraz słupów z podstawą o wysokości od 6 do 12 m, które będą spełniały wymogi normy bezpieczeństwa biernego w klasie 100HE3.

Dla potrzeb realizacji niniejszego celu Doktorant opracował model numeryczny, który obejmował opis komputerowy (symulację numeryczną) i analizę procesu zderzenia pojazdu z omawianą konstrukcją słupa z wykorzystaniem komercyjnego kodu obliczeniowego Ansys LS-DYNA. Ostatecznym dowodem potwierdzającym spełnienie postawionego celu były badania eksperymentalne mające na celu m.in. walidację całego procesu obliczeniowego, jak też sprawdzenie warunków w zakresie tzw. bezpieczeństwa biernego.

Doktorant za osiągnięcie o charakterze konstrukcyjno-wdrożeniowym uznał opracowanie konstrukcji, certyfikację oraz wdrożenie do seryjnej produkcji dwóch rodzin słupów spełniających normę bezpieczeństwa biernego, które przy prędkości uderzenia pojazdu 100 km/h pochłaniają energię w wysokim stopniu, w najwyższej klasie bezpieczeństwa kierowcy.

Zaprezentowane analizy porównawcze pomiędzy wynikami otrzymanymi z badań symulacyjnych (analiz komputerowych) a wynikami testów doświadczalnych, przeprowadzonych na torze testowym Autor uznał za satysfakcjonujące i dające podstawę do wykorzystania opracowanej ścieżki badań numerycznych jako wiarygodnej metody badawczej na etapie opracowywania i sprawdzania wstępnych koncepcji nowych konstrukcji słupów oświetleniowych.

Pan mgr inż. Tomasz Jedliński w swoim dorobku publikacyjnym (na podstawie bazy Scopus) posiada dwie współautorskie publikacje opublikowane w materiałach konferencyjnych, indeksowanych w niniejszej bazie i wynikających z przedstawionych prezentacji w ramach *3rd Polish Congress of Mechanics* (PCM 2015, Gdańsk) and *21st International Conference on Computer Methods in Mechanics* (CMM 2015, Gdańsk) i *22nd International Conference on Computer Methods in Mechanics* (CMM 2017, Lublin). Dorobek publikacyjny spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez stosowną ustawę.

3. Uwagi, pytania merytoryczne oraz dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią całej rozprawy, Recenzent chciałby otrzymać odpowiedzi/wyjaśnienia na następujące kwestie oraz wyraża swoje następujące wątpliwości natury merytorycznej:

- 1) W rozprawie spotyka się szereg żargonowych/niejednoznacznych zwrotów, które w języku inżynierskim, a szczególnie w rozprawie doktorskiej opisującej konkretne zagadnienia z obszaru inżynierii mechanicznej, nie powinny wstępować, np.: „...gwarantuje stosunkowo małe przeciążenia”, „...trudno znaleźć konstrukcję o wysokiej absorpcji energii wykonanej z materiału cienkościennego”, „...słup został zamodelowany za pomocą elementów skorupowych...”, „Fundament zamodelowano bryłowo...”, „...między fundamentem a otaczającą ziemią została...”, „W sumie wygenerowano około 6000 elementów siatki w obrębie całego modelu ...”, „Trójwymiarowy model uzyskano za pomocą modelowania powierzchniowego oraz bryłowego”, „Projekt samochodu został zmodyfikowany w celu przybliżenia podobieństwa do samochodu w eksperymencie.”, „...powinna zajść utrata połączenia słupa z gruntem ...”, „Finalnie opracowana została konstrukcja manszety, która wyeliminowała ten problem, jednak na skutek tych nieudanych testów przypadkowo opracowana została konstrukcja słupa niepochlaniającego energii kinetycznej pojazdu.”, „...przedmiotem dalszych analiz oraz kalkulacji numerycznych.”, „Rura musi być posadowiona w taki sposób, aby podczas testu jej przemieszczenie nie przekroczyło 10 mm.”, itp. Dysertacja w tym aspekcie charakteryzuje się niskim poziomem użytych sformułowań (niedoprecyzowanymi stwierdzeniami), które nie powinny być stosowane w języku inżynierskim, a tym bardziej w języku naukowym.
- 2) Na str. 20 użyto zwrotu: „Aluminiowe łączniki zaprojektowane zostały w taki sposób, że obciążenia pochodzące od wiatru oraz masy słupa i latarni przenoszone są poprzez aluminiowe żebra tworzące połączenie kształtowe.” Jak pokazują ostatnie lata, jednym z kluczowych problemów dla konstrukcji napowietrznych (np. słupów energetycznych) jest obciążenie oblodzeniem. Jak ten rodzaj obciążenia został uwzględniony przez Doktoranta i na ile jest on kluczowy dla konstrukcji słupów oświetleniowych? Jak wiemy, grubość lodu wynikająca z oblodzenia może sięgać nawet kilku centymetrów i może się znacznie różnić w zależności od wysokości elementu nad terenem. Warstwa oblodzenia może występować i w pobliżu poziomego gruntu, ale także na wyższych poziomach

- i stanowić znaczące dodatkowe obciążenie (ISO 12494:2001, *Atmospheric icing of structures*) oraz powodować wzrost obciążeń zewnętrznych wynikających z parcia wiatru. Tego faktu Autor nie odzwierciedlił także w dyskusji w punkcie:
„4.1. Specyfikacja obciążeń charakterystycznych słupów oświetleniowych.”
- 3) Co oznacza użyty zwrot (str. 57): „Wytrzymałość charakterystyczna słupa...”?
Czy Autor ma tutaj na myśli wytrzymałość materiału blachy stosowanej do wytworzenia słupa czy raczej prezentuje nośność samego słupa?
 - 4) Dla analiz przedstawionych w punkcie „4.3 Statyczne obliczenia wytrzymałościowe” nie zamieszczono prezentacji przyjętych do analiz schematów obliczeniowych.
 - 5) W punkcie „4.4.2 Stanowisko do badań wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej” w kwestii badań zmęczeniowych zawarto tylko zapis „Przy badaniach zmęczeniowych istnieje możliwość realizacji obciążenia zmiennego z częstotliwością maksymalną 10 Hz. Widok przygotowanego stanowiska pokazano na rysunkach 4.12 oraz 4.13.” Doktorant tego bardzo ważnego aspektu nie podnosi i nie analizuje w zamieszczonej do recenzji treści dysertacji.
 - 6) Zapis „Rysunek 4.14 Wykres zależności pomiędzy naprężeniem a wydłużeniem [opracowanie własne]” nie określa, jaki rodzaj naprężenia został zaprezentowany na osi pionowej oraz jaki rodzaj wydłużenia jest przedstawiony na osi poziomej. Przy okazji tej grafiki dostrzega się także dużą różnorodność jednostek stosowanych do opisu tych samych cech/wielkości, jak też część z nich opisywanych jest w języku polskim, a część w języku angielskim.
 - 7) Przy opisie rys. 4.15 („Rysunek 4.15 Wpływ momentu gnącego na przemieszczenie siłownika oraz odkształcenie podstawy [opracowanie własne]”) pomyłono uzyskany obraz deformacji struktury z odkształceniem (wielkość bezwymiarowa). Autor przy okazji zarówno badań eksperymentalnych, jak też i numerycznych, pominął problematykę lokalnej analizy deformacji (zarówno w badaniach statycznych, jak też i zderzeniach dynamicznych), a zarazem utraty lokalnej nośności ścianki słupa, która wpływa na globalne zachowanie się konstrukcji słupa i decyduje o jego sposobie utraty nośności globalnej wskutek występujących obciążeń lokalnych w miejscu uderzenia pojazdu.
 - 8) Zarówno na wykresie 5.4, 5.7, 5.10 i 5.13 brak jest informacji i wyjaśnienia związanego ze skokowym spadkiem parametru THIV. W badaniach widać, że był wykorzystany manekin, ale Autor nie zwrócił żadnych stosownych informacji lub wyjaśnień w tym względzie.

- 9) W dysertacji występują zamiast opisu matematycznego stosowanych procedur obliczeniowych (rozdział 6), przyjętych kryteriów lub funkcji opisy hasłowe związane z wykorzystywanym komercyjnym systemem obliczeniowym. Takie ujęcie nie pozwala dokonać oceny poprawności modelowego opisu realizowanych na drodze symulacji numerycznych zjawisk i procesów fizycznych.
- 10) Kluczowym elementem konstrukcyjnym w badaniach numerycznych (oczywiście także eksperymentalnych) jest słup oświetleniowy. Zaprezentowane analizy oraz sam model MES nie zawiera analiz w zakresie tzw. studium wrażliwości z uwagi np. na gęstość siatki MES, wpływu parametrów lokalnych wynikających z opisu zagadnienia kontaktu dynamicznego (brak podjęcia w opisie zagadnienia tłumienia) oraz badań pod kątem lokalnej utraty stateczności. Z punktu widzenia naukowego te elementy są niezbędne z uwagi na analizę dynamiczną procesu nieliniowości geometrycznej (lokalna utrata stateczności), jak też silnej nieliniowości fizycznej (duże lokalne odkształcenia) lub też np. zastosowanie metod adaptacyjnych (np. typu p lub typu h) dla opisu dyskretnego ciał w obszarze kontaktu i oceny ich przydatności w prowadzonych badaniach. Brak jest także jednej z kluczowych informacji, tj. prezentacji sposobu opisu modelowego podłoża (gruntu) i wpływu jego podatności na zachowanie „utwierdzonego” w nim słupa oświetleniowego. Stąd też Recenzent w pełni zgadza się z uwagą zamieszczoną na str. 102 przez Doktoranta, która brzmi „Należy jeszcze raz podkreślić, iż, ze względu na złożoność zagadnienia i bardzo praktyczny charakter niniejszej rozprawy, prezentowane badania numeryczne mają charakter badań wstępnych.”
- 11) Jak należy rozumieć dwa przeciwstawne stwierdzenia zawarte przez Autora w dysertacji, odnoszące się do modelu numerycznego zastosowanego pojazdu: „Dostępny model ma już zdefiniowane charakterystyki materiałowe oraz wygenerowaną siatkę, dzięki czemu jest on gotowy do analiz numerycznych.” na str. 95 i następnie „Główne problemy napotkane podczas modelowania i symulacji numerycznych dotyczą nadmiernej redukcji prędkości pojazdu wywołanej niewystarczającym odwzorowaniem modelu pojazdu.” na str. 102? Te stwierdzenia ewidentnie potwierdzają wspomniane wcześniej sformułowanie Doktoranta o bardzo wstępnym charakterze prowadzonych analiz numerycznych (nakłada się na to także brak procesu walidacji użytych w badaniach modeli numerycznych dwóch pojazdów testowych).

12) Na rysunkach od 6.7 do 6.12 oraz 6.13 do 6.24 dokonano porównania jakościowego procesu zderzenia pomiędzy modelowanym pojazdem, a konstrukcją słupa. Widoczne są znaczące różnice. Występuje także brak porównań w zakresie szczegółowych po kątem ilościowym (np. zmiany geometrii słupa w trakcie zderzenia, badań energochłonności, porównania zachowania się manekina (występował w badaniach poligonowych), itp.). Zaprezentowane wyniki tabelaryczne dotyczą prezentacji albo pojedynczej wielkości (np. prędkość pojazdu odnosząca się np. do prędkości pojazdu w chwili uderzenia) lub wybranej wielkości skalarnej, np. przyspieszenia wypadkowego lub ASI bez analiz chwilowych połączonych z aktualną konfiguracją badanego układu podłoże-pojazd-słup.

W tym punkcie recenzji, zauważalny jest brak prezentacji zaproponowanego całościowego algorytmu badawczego z wyraźnym podkreśleniem kryteriów i całym pakietem założeń upraszczających, które zostały przyjęte na poszczególnych etapach badań w celu osiągnięcia założonego celu rozprawy.

Zamieszczone powyżej uwagi mają posłużyć Doktorantowi do przygotowania w dalszych tego typu badaniach bardziej szczegółowych i dogłębnych analiz pozwalających uzyskać wyniki, które nie tylko spełniają wymogi normowe, ale także dają potencjał do rozważań o charakterze naukowym.

4. Ocena końcowa przedłożonej rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska cechuje się ważnym aspektem poznawczym i użytkowym. Z tego też względu w dysertacji jest szereg rozważań skupiających się głównie na inżynierskim aspekcie przedstawionych badań. Zarówno testy eksperymentalne, jak też modelowanie numeryczne, charakteryzują się szeregiem aspektów naukowych, których Autor nie podjął w dyskusji w przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej i skupił się wyłącznie na prezentacji zakresu ograniczonego do celu aplikacyjnego, tj. „wdrożenie nowej konstrukcji bezpiecznych słupów oświetleniowych”.

W opinii Recenzenta pewnego rodzaju osiągnięciami autorskimi/oryginalnymi tejże rozprawy doktorskiej, które wymagane są do spełnienia wymogów stosownej ustawy, są:

- 1) oryginalna i wieloaspektowa analiza literaturowa w zakresie badań konstrukcji słupów i zagadnień związanych z bezpieczeństwem ich użytkowania,

- 2) opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych słupów wkopywanych oraz słupów z podstawą o wysokości od 6 m do 12 m w kategorii 100HE3,
- 3) zaproponowanie ścieżki badań numerycznych i eksperymentalnych z wykorzystaniem pełnowymiarowych obiektów (słupów oświetleniowych oraz pojazdów testowych).

Niewątpliwie realizacja przedstawionego programu badań postawiła przed Doktorantem potrzebę przeprowadzenia dużego zakresu badań i analiz i to zarówno od strony eksperymentalnej, jak też numerycznej, którym Autor musiał sprostać. Otrzymane i zaprezentowane wyniki, w opinii Recenzenta, stanowią cenny materiał do dalszych rozważań pod kątem naukowym, szczególnie mając na względzie możliwość prowadzenia analiz optymalizacyjnych badanych konstrukcji słupów oświetleniowych oraz możliwość publikacji osiągniętych wyników np. w czasopiśmie z listy JCR (np. *Traffic Injury Prevention* lub *Journal of Crashworthiness*).

Recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska jest napisana na niskim poziomie edycyjnym, czego dowodem był szereg uwag zawartych w tym aspekcie. Należy dodać, iż w recenzji zawarto tylko te główne uwagi, które wynikały ze stylu lub niepoprawności użytych sformułowań. Drobne uwagi natury edycyjnej z uwagi na ich licznosc nie zostały w recenzji zamieszczone i dyskutowane.

5. Wniosek końcowy

Mając na względzie, iż przedmiotem rozprawy doktorskiej jest osiągnięcie o charakterze konstrukcyjnym/technologicznym, którego funkcjonalność w zakresie spełnienia stosownych norm została potwierdzona przez spółkę Altran Concept Tech GmbH z Austrii oraz fakt braku dołączenia do przesłanej rozprawy doktorskiej stosownych dokumentów potwierdzających autorski/współautorski udział Doktoranta, Recenzent wnosi o warunkowe dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr inż. TOMASZA JEDLIŃSKIEGO, do czasu powstania stosownego uzupełnienia (suplementu) do recenzowanej dysertacji.

