



Dr hab. inż. Sławomir Duda, prof. PŚ

Gliwice, 28.12.2025 r.

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I TRANSPORTU

Data
Wpt.

07.01.2026

Podpis

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Joanny Kustos

pod tytułem:

**„Trójwarstwowy zbiornik ciśnieniowy o prostokątnym przekroju
poprzecznym do zastosowania w pneumatycznym systemie zawieszenia
pojazdów szynowych”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Kustos na temat „Trójwarstwowy zbiornik ciśnieniowy o prostokątnym przekroju poprzecznym do zastosowania w pneumatycznym systemie zawieszenia pojazdów szynowych” przygotowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 7.10.2025 r. Pismo w tej sprawie (RD/d/23/03/2025) wystosował Przewodniczący Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Jacek Pielecha w dniu 8.10.2025 r.

2. Ogólna charakterystyka zawartości rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Joanny Kustos powstała pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Krzysztofa Magnuckiego pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązek promotora. Funkcję promotora pomocniczego pełnił Pan dr inż. Damian Goliwąg.



Praca liczy łącznie 104 strony. Składa się ona z 6 zasadniczych rozdziałów. W pracy zamieszczono 65 rysunków oraz 12 tabel. Uzupełnieniem pracy są również spisy literatury, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz załącznik. Spis literatury obejmuje 61 pozycji, które są reprezentatywne dla tematu dysertacji.

Analizując strukturę pracy uwidocznioną w spisie literatury da się odczuć rozeznanie Doktorantki w prezentowanej materii teoretycznej i empirycznej. Na tej podstawie strukturę rozprawy doktorskiej uznają za poprawną.

W kwestii tematyki praca poświęcona jest zagadnieniu w pełni aktualnemu, wpisując się w prowadzone w szeregu ośrodkach krajowych i zagranicznych badania związane z opracowaniem nowych konstrukcji zbiorników ciśnieniowych w tym o nieoczywistym kształcie tj. o prostokątnym przekroju poprzecznym z wykorzystaniem struktur sandwiczowych.

Współczesny rozwój technologii inżynierskich stawia przed projektantami i inżynierami coraz wyższe wymagania w zakresie efektywności materiałów oraz wydajności konstrukcji. W szczególności, dla elementów narażonych na duże obciążenia mechaniczne, jak zbiorniki ciśnieniowe, poszukuje się nowych rozwiązań, które pozwolą na połączenie lekkości, wytrzymałości oraz odporności na zmienne warunki pracy. Jednym z obiecujących materiałów, który spełnia te wymagania, są panele sandwiczowe z rdzeniem wykonanym z pianki aluminiowej. Kompozyty sandwiczowe z pianką aluminiową w rdzeniu charakteryzują się dostateczną sztywnością przy minimalnej masie, co czyni je atrakcyjną alternatywą dla tradycyjnych materiałów, takich jak stal. Dzięki swojej strukturze, panele te oferują znaczną odporność na uderzenia, wysoką wytrzymałość na ściskanie oraz doskonałą zdolność do pochłaniania energii, co jest nieocenione w przypadku zbiorników przechowujących gaz pod dużym ciśnieniem, takich jak zbiorniki paliwowe w lotnictwie, zbiorniki wodoru w motoryzacji, czy zbiorniki ciśnieniowe w przemyśle energetycznym.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce. Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport”.

3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana rozprawa posiada przejrzysty układ treści. Doktorantka stopniowo wprowadza czytelnika w problematykę, od zagadnień podstawowych jak przedstawienie problemu zastosowania zbiorników ciśnieniowych w systemie zawieszenia pneumatycznego w pojazdach szynowych, poprzez omówienie kompozytowych zbiorników ciśnieniowych w tym zbudowanych ze struktur sandwichowych, zagadnienia modelowania takich struktur. W części zasadniczej pracy Autorka dysertacji przedstawia model numeryczny analizowanego zbiornika o kształcie prostopadłościennym zamodelowany w środowisku programu Abaqus 6.2.12. W prowadzonych symulacjach numerycznych Doktorantka wykorzystała pakiet Abaqus/Standard służący do przeprowadzania analiz metodą elementów skończonych ogólnego przeznaczenia. Ściany boczne jak i dennice proponowanego zbiornika modelowane były jako elementy o strukturze sandwichowej. Autorka rozważa dwa modele płyty sandwichowej. Pierwszy opracowany z wykorzystaniem bryłowych elementów skończonych wykorzystanych do zamodelowania zarówno okładzin jak i rdzenia. Drugi to model powłokowy. W tym przypadku wymagana była odpowiednia integracja elementów powłokowych celem otrzymania pełnej struktury sandwichowej. Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku rdzeń (pianka aluminiowa) modelowany był jako struktura pełna, stąd wymagane właściwości materiałowe musiały podlegać homogenizacji. Autorka dla celów prowadzonych analiz przyjęła wymagane parametry na podstawie literatury. Model płyty podparto na brzegach i obciążono powierzchnię górną ciśnieniem o wartości 1 MPa. Wyniki z symulacji numerycznych prezentowane w postaci barwnych map ugięcia i naprężeń zredukowanych były w większości zbieżne, co potwierdza poprawność modeli. Otrzymane różnice w wartościach naprężeń na krawędziach płyty nie zostały skomentowane przez Doktorantkę. Również w pracy nie znaleziono informacji o tym, dlaczego model bryłowy płyty sandwichowej został wybrany do dalszych analiz prowadzonych dla zbiorników ciśnieniowych. Ponadto, szczególnie dla tego modelu brakuje weryfikacji eksperymentalnej. Utworzenie modelowanej struktury nie nastręczało trudności, a przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliłyby na walidację modelu numerycznego, szczególnie na styku rdzenia płyty z okładzinami.



Kolejnym etapem prowadzonych badań w ramach realizowanej pracy doktorskiej było opracowanie zbiornika z wykorzystaniem opracowanego modelu płyty sandwiczowej. Do tego celu wykorzystano model bryłowy. Opracowano model oktanu rozważanej konstrukcji z uwzględnieniem odpowiednich warunków brzegowych i obciążenia. Przyjęte warunki symetrii sprawiły, że model nie wymagał dodatkowego podparcia. Przeprowadzono symulacje numeryczne dla modeli zbiornika dla różnych wariantów konstrukcji zbiornika. W pierwszym analizowano wpływ zmian wymiarów gabarytowych zbiorników na ich wytrzymałość statyczną. W drugim przeprowadzono badania numeryczne wpływu zmiany grubości okładzin płyt sandwiczowych. W trzecim analizowano wpływ grubości rdzenia płyt, a w czwartym zmianę grubości płyt sandwiczowych proporcjonalnie do grubości okładzin. W wariantie piątym badano zmienność modułu Younga piany aluminiowej rdzenia, natomiast w szóstym analizowano wpływ przegród w zbiorniku na wytrzymałość konstrukcji. Dla analizowanych konstrukcji zbiorników dokonano wyboru jednej z ich konfiguracji, opierając się na wyborze o kryterium maksymalizacji objętości zbiornika przy jednoczesnym utrzymaniu maksymalnych naprężeń zredukowanych poniżej 400 MPa. Pracę zakończono wnioskami wynikającymi z prowadzonych symulacji numerycznych i ogólnym podsumowaniem.

4. Ocena rozprawy doktorskiej

Główną wartością pracy jest to, że Autorka podjęła się trudnego zadania: opracowania modeli numerycznych sandwiczowego zbiornika ciśnieniowego o prostokątnym przekroju poprzecznym w konwencji metody elementów skończonych oraz przeprowadziła obliczenia numeryczne i dokonała analizy otrzymanych wyników. Ponadto w pracy zaproponowano schemat postępowania przy wyborze zbiorników spełniających wymagane kryteria dla całej grupy analizowanych konstrukcji w odniesieniu do uzyskiwanej objętości roboczej zbiornika czy też jego masy.

Osiągnięcie postawionego celu wymagało od Autorki:

- opracowania modelu płyty sandwiczowej odzwierciedlającej jej budowę: okładziny – płyty aluminiowe, rdzeń – pianka aluminiowa,



- opracowania modeli zbiornika bazującego na metodzie elementów skończonych dla sześciu różnych wariantów,
- przeprowadzenia obliczeń numerycznych, sumarycznie dla 481 modeli,
- opracowania algorytmu i jego implementacji w celu doboru zbiornika spełniającego postawione wymagania konstrukcyjne (maksymalna objętość dla zadanej grubości płyty sandwiczowej).

W mojej ocenie kluczowym osiągnięciem było opracowanie modelu MES płyty sandwiczowej z założonych materiałów okładzin i rdzenia oraz modelu zbiornika ciśnieniowego złożonego z zaproponowanych modeli płyty sandwiczowej. Pozwoliło to na przeprowadzenie wielu obliczeń numerycznych, które dostarczyły nowej wiedzy na temat danej konstrukcji i pozwoliły na wyciągnięcie istotnych spostrzeżeń.

Recenzowana praca wskazuje, że Doktorantka wykazała się umiejętnością budowy modeli w konwencji metody elementów skończonych. Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne, takie jak:

- we wszystkich analizowanych konstrukcjach zbiorników ciśnieniowych największe naprężenia zredukowane koncentrują się na wewnętrznych krawędziach modelu. W recenzowanej pracy Autorka nie komentuje tego faktu a jedynie go wskazuje. Brakuje wciąż odpowiedzi, na ile wyznaczone wartości naprężeń wynikają z rzeczywistego stanu, a na ile mamy do czynienia z osobliwością numeryczną wynikającą z modelowania obiektu za pomocą MES. Prezentowane w pracy modele są uproszczone względem rzeczywistej technologii ich wykonania. Doktorantka wspomina o możliwym łączeniu poszczególnych płyt sandwiczowych poprzez spawanie (rysunek 65 w pracy). O ile uwzględnienie spawu w całościowym modelu zbiornika mogłoby spowodować nadmierny wzrost elementów skończonych użytych do jego dyskretyzacji, to analiza wpływu spawu w miejscu łączenia płyt dla modelu jak na rysunku 65 wniosłaby wiele pożytecznych informacji. Mam nadzieję na przedstawienie wyników takiej analizy w trakcie publicznej obrony pracy doktorskiej.

- tak jak wspomniałem w rozdziale poprzednim recenzji, w pracy brakuje weryfikacji eksperymentalnej opracowanych modeli numerycznych. Szczególnie dla modelu płyty sandwiczowej wykorzystywanej do modelowania zbiorników ciśnieniowych. Nasuwa się pytanie, czy przyjęta w pracy granica plastyczności dla litej płyty aluminiowej (414 MPa) będzie miała uzasadnienie również dla pianki aluminiowej i co za tym idzie, czy przy danych odkształceniach płyty nie nastąpią trwałe odkształcenia pianki?

Recenzowana rozprawa posiada przejrzysty układ treści. W większości jej treść napisana jest poprawną polszczyzną. Choć zdarzają się nieliczne błędy stylistyczne. Irytujące są, zdaniem recenzenta, pojawiające się w wielu miejscach błędy edytorskie w postaci zdublowania numeracji rysunków np. str. 66 „Rysunek 5252. Wpływ zmian ...”. Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- wykazane przez Autorkę umiejętności praktycznej budowy modeli numerycznych, opracowanych w środowisku programu Abaqus,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

5. Ocena końcowa

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny, nie pomniejszają jednak osiągnięć Doktorantki w uzyskiwaniu wartościowych wyników naukowych i poznawczych. Mają zwrócić uwagę na dalszą pracę i uczulić na staranność w przygotowaniu samodzielnych opracowań naukowych, wnikliwą analizę oraz zgłębianie realizowanych przez Autorkę problemów badawczych. Uważam, że zarówno zakres pracy, jak również metoda opracowania i przedstawienia problemu są właściwie ujęte i odpowiednio dobrane.



Podsumowując to, co zostało szczegółowo wykazane w niniejszej recenzji, rozprawa mgr inż. Joanny Kustosz pt. „Trójwarstwowy zbiornik ciśnieniowy o prostokątnym przekroju poprzecznym do zastosowania w pneumatycznym systemie zawieszenia pojazdów szynowych” spełnia wszystkie wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.), tj.: – prezentuje wiedzę teoretyczną oraz praktyczną Autorki w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport w zakresie budowy modeli konstrukcji sandwichowych w konwencji metody elementów skończonych, potwierdza umiejętność samodzielnego definiowania problematyki badań naukowych, ich prowadzenia oraz analizowania i interpretacji ich wyników, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w postaci opracowania koncepcji sandwichowego zbiornika ciśnieniowego o prostokątnym przekroju poprzecznym, spełnia wymogi formalne w zakresie posiadania formy monografii naukowej opatrzonej streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Joanny Kustosz pt. „Trójwarstwowy zbiornik ciśnieniowy o prostokątnym przekroju poprzecznym do zastosowania w pneumatycznym systemie zawieszenia pojazdów szynowych” i dopuszczenie jej do dalszego procedowania.

Stanomir Dudek