

Dr hab. inż. Zbigniew Perkowski, prof. uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Fizyki Materiałów
Katowicka 48, 45-061 Opole
tel.: 77 449 85 57
e-mail: z.perkowski@po.edu.pl

Opole, 01.09.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Szymona Wojciechowskiego pt. *„Analiza doświadczalna, numeryczna i teoretyczna skręcanych statycznie paneli warstwowych o sztywnych okładzinach i podatnym rdzeniu”*

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną niniejszej opinii stanowi pismo z dnia 06.07.2022 r. (sygn. RD/d/14/03/2022) skierowane do mnie przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżynieria Lądowa i Transport” Politechniki Poznańskiej, prof. dra hab. inż. Jacka Pielechę, z informacją o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Szymona Wojciechowskiego pt.: *„Analiza doświadczalna, numeryczna i teoretyczna skręcanych statycznie paneli warstwowych o sztywnych okładzinach i podatnym rdzeniu”*. Do pisma załączono kopię pracy doktorskiej i stosowne dokumenty. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Zbigniew Pozorski, prof. PP, a promotorem pomocniczym dr inż. Anna Knitter-Piątkowska.

2. Układ i zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska liczy 297 stron i składa się kolejno z następujących części: streszczenia, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, 5 rozdziałów (łącznie ze wstępem oraz podsumowaniem i wnioskami), spisu literatury, spisu rysunków, spisu tabel i 3 załączników. W pracy zamieszczono ponumerowanych: 161 rysunków, 66 tabel, 121 wzorów oraz 83 przypisy bibliograficzne (w tym 6 normatywów, 1 rekomendację techniczną i 2 instrukcje obsługi).

We rozdziale 1 (str. 13-22) przedstawiono motywację, cele, wynikające stąd tezy i zakres rozprawy oraz scharakteryzowano skrótowo przedmiot badań, jakim są panele warstwowe o sztywnych okładzinach i podatnym rdzeniu. Na końcu tej części przedstawiono przegląd literatury, w którym zwrócono uwagę na niedostateczny zakres wiedzy, dotyczącej skręcania tego typu paneli – w szczególności badań laboratoryjnych, w których można poprawnie odzwierciedlić warunki podparcia, umożliwiające swobodną deplanację prostokątnego przekroju paneli bądź przeciwnie – krępować ją.

Rozdział 2 (str. 23-52) przybliży czytelnikowi podstawowe informacje, definicje i wzory matematyczne związane z przypadkiem swobodnego skręcania prętów i skrępowanego skręcania prętów cienkościennych (odpowiednio teoria de Saint-Venanta i Własowa). Rozdział zakończono omówieniem i porównaniem istniejących ujęć analitycznych zagadnienia, pozwalających obliczyć sztywności skrętne paneli warstwowych (Seide (1956), Stamm & Witte (1974), Höglund (1986)) i składowe tensora naprężenia (Seide (1956), Stamm & Witte (1974)) przy skręcaniu swobodnym. Przedstawienie tych wiadomości w tym miejscu pracy jest słuszne z uwagi na zwiększenie klarowności dalej prowadzonych wywodów.

Rozdział 3 (str. 53-177) stanowi najważniejszą część rozprawy. Dotyczy on szeroko zakrojonego programu badań laboratoryjnych paneli. W pierwszej kolejności doktorant wyznaczył moduł sprężystości stalowych okładzin, a w przypadku ortotropowego rdzenia z pianki PIR 3 moduły sprężystości w kierunkach głównych, 1 moduł sprężystości pod kątem 45° do boków panelu i 2 moduły

ścianania w przekrojach podłużnym i poprzecznym panelu. Wykazał przy tym niepomijalny wpływ warstw wykończeniowych okładzin na ich efektywny moduł sprężystości podłużnej oraz wpływ tzw. kierunku produkcji, kierunku wycinania próbek panelu jak i strony przyłożenia obciążenia na sposób ich niszczenia się przy ścinaniu. Stwierdzono także, że rozkład właściwości mechanicznych rdzenia po szerokości i długości panelu jest nierównomierny. W badaniach ściskania i rozciągania rdzenia piankowego, z uwagi na wykorzystanie odczytów drogi tłoka maszyny wytrzymałościowej, dokonano racjonalnego oszacowania podatności układu mocującego próbki w celu eliminacji jej wpływu na wynik. Do weryfikacji pomiaru sztywności pianki wykorzystano wizyjne pomiary odkształceń i przemieszczeń. Następnie autor przedstawił konstrukcję znanych z literatury 2 stanowisk badawczych, służących do skręcania elementów płytowych (odpowiednio wg Salim & Davalos (2005), Davalos et al. (2009) i wg Pajari (2004), Broo et al. (2005)). Na ich tle pokazał koncepcję własnego stanowiska badawczego z elementów stalowych, które w porównaniu cechuje możliwość wierniejszego zadawania wyidealizowanych warunków podparcia i skręcania panelu warstwowego. M.in. w zaproponowanym przez doktoranta stanowisku oś obrotu panelu pokrywa się z jego podłużną osią symetrii dzięki odpowiedniemu usytuowaniu łożyska obrotowego na podporze ruchomej. Podpora ta obraca się w efekcie działania siłownika na przymocowaną do niej belkę, generując w panelu moment skręcający o znanej wartości. Straty momentu minimalizowane są dzięki precyzji wykonania trzpienia i piasty łożyska oraz zastosowaniu smaru. Na podporach panel przytrzymywany jest po całej szerokości elementami dociskowymi, a przemieszczenia okładzin w poprzek układu blokowane są specjalnymi ogranicznikami. W celu umożliwienia swobodnej deplanacji panelu między elementami dociskowymi a panelem zastosowano łożyska ślizgowe z warstw EPDM i teflonu. Z kolei w przypadku chęci narzucenia skrępowania na podporze nieruchomej stosuje się przekładki tylko z EPDM i przeciąga po grubości panelu pręty gwintowane z mocowaniem do elementów dociskowych. Co istotne, doktorant dokonał pomiarów oporu łożyska ślizgowego i obrotowego oraz sztywności elementów mocujących panel, pokazując, że sposób wykonstruowania tych elementów nie wpływa w istotny sposób na zakłócenie poprawnej interpretacji wyników eksperymentalnych. Przed dokonaniem właściwych badań wykonano także próbę skręcania na rurze stalowej, otrzymując zadowalającą zgodność pomiędzy pomierzoną i wyznaczoną analitycznie sztywnością skrętną elementu.

W ramach zasadniczych badań wykonano próby skręcania serii paneli o grubości 120 mm i szerokości 250 mm, 500 mm, 1000 mm oraz o grubości 160 mm i tych samych szerokościach. Mierzono m.in. w wybranych punktach paneli przemieszczenia w celu wyznaczenia ich kątów skręcania i sprawdzenia, czy zachodzi symetryczność deformacji paneli, czy następuje w sposób zadowalający ich swobodna deplanacja w próbie swobodnego skręcania i czy zgniot okładzin w kontakcie z elementami dociskowymi nie wpłynie istotnie na poprawność interpretacji wyników. Dodatkowo pomierzono tensometrycznie w otoczeniu wybranych punktów okładzin naprężenia normalne i tnące. Na tej podstawie wyznaczono sztywność skrętną paneli w próbie swobodnego skręcania, choć stwierdzono jednocześnie dzięki pomiarom przemieszczeń przekroju przypodporowego i naprężeń normalnych w okładzinach, że na podporach niemożliwe jest zapewnienie pełnej swobody deplanacji przekroju. Stało się tak nie tylko przez brak możliwości całkowitego wyeliminowania tarcia, ale także przez postępujące wgniecenia okładzin. W przypadku prób, w których skrępowano panele na podporze nieruchomej, przemieszczenia i naprężenia mierzono w sposób analogiczny. Jednak po ich analizie i stwierdzeniu uplastycznienia okładzin wokół otworów, przez które prowadzono pręty blokujące z elementów dociskowych, słusznie nie zdecydowano się na oszacowanie sztywności giętno-skrętnej paneli. Pomimo zastosowania omówionych na początku rozdziału zabiegów okazało się, że niemożliwe było przeprowadzenie skręcania w warunkach pełnego skrępowania na podporze nieruchomej. Kończąc omówienie zakresu tej części pracy, warto podkreślić fakt, że liczność przeprowadzonych prób pozwoliła doktoratowi na wiarygodne oszacowanie wartości średniej i współczynnika zmienności wyznaczanych wielkości.

W rozdziale 4 (str. 178-215) autor przeprowadził obszerną analizę numeryczną prób skręcania, które opisał w rozdziale 3. W pierwszej kolejności opracował model MES, który poprawnie odzwierciedlił warunki skręcania paneli warstwowch na wykonanym przez siebie stanowisku badawczym. Zastosowano elementy bryłowe do rdzenia panelu i powłokowe do jego okładzin, zakładając zgodność przemieszczeń i obrotów w węzłach elementów powłokowych i stykających się z nimi węzłów z elementami bryłowych. Wykorzystano także dane materiałowe pozyskane z własnych eksperymentów jak i z literatury. Co istotne, doktorant dokonał analizy zbieżności modelu jak i analizy

wrażliwości ze względu na zmianę parametrów materiałowych, określając de facto te, które decydują o odpowiedzi mechanicznej panelu przy skręcaniu. Następnie model komputerowy został poddany walidacji z wykorzystaniem własnych pomiarów przemieszczeń, naprężeń i sztywności skrętnej paneli. W tym zakresie doktorant uzyskał dość dobrą zgodność między danymi z obliczeń i eksperymentu, potwierdzając przydatność utworzonego narzędzia numerycznego do wiarygodnej analizy procesów mechanicznych, które zachodzą w skręcanych panelach warstwowych. Porównał ponadto wyniki naprężeń z tymi, które można otrzymać na podstawie omówionych w rozdziale 2 uproszczonych modeli analitycznych, potwierdzając możliwość ich zastosowania w omawianym zagadnieniu z inżynierskiego punktu widzenia (w przypadku weryfikowanych rodzajów paneli).

W ostatnim rozdziale 5 (str. 216-222) dokonano podsumowania pracy, sformułowano wnioski końcowe i zasygnalizowano dalsze kierunki badań. W załącznikach A (str. 242-283), B (str. 284-295) i C (str. 296-297) słusznie zamieszczono szczegółowe wyniki szeregu przeprowadzonych pomiarów i obliczeń, których bezpośrednie wprowadzenie w rozdziałach 3 i 4 utrudniłoby ich czytanie.

W podsumowaniu niniejszego punktu stwierdzam, że układ rozprawy jest logiczny i prawidłowy (kolejność rozdziałów i omawianych zagadnień, kompozycja, umiejscowienie rysunków i tablic). Strona graficzna pracy została przygotowana starannie, a poruszana problematyka jest przedstawiona w sposób zrozumiały. Spis cytowanej literatury jest wystarczający. Zawartość dysertacji pozwala stwierdzić recenzentowi, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną, wymaganą na poziomie pracy doktorskiej w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Ponadto sposób ustalenia programu badań świadczy o zdobyciu przez doktoranta umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Gdziekolwiek można znaleźć drobne błędy edycyjne, np. dotyczące interpunkcji, numeracji cytowanej literatury (na str. 80 odwołanie do pozycji [6.6]), czy niefortunne sformułowania (np. „... liniową linię trendu, ...” na str. 63, „... analitycznie sztywnych elementów powłokowych.” na str. 179). Nie rzutuje to jednak na wartość merytoryczną pracy doktorskiej.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematyki

Płyty warstwowe we współcześnie spotykanej formie zaczęto w budownictwie stosować w drugiej połowie ubiegłego wieku. Ich zalety techniczne wynikają z połączenia zewnętrznych cienkich i sztywnych okładzin z lekkim i podatnym rdzeniem, aczkolwiek na tyle sztywnym, by zapewnić stabilność wymiarów panelu podczas typowych obciążeń. W efekcie uzyskujemy dość sztywny, samonośny element poszycia budynku, który świetnie izoluje termicznie i akustycznie, nie transportuje wilgoci, a dzięki współczesnym zabezpieczeniom antykorozyjnym jest trwały w normalnej eksploatacji. Ponadto jest łatwy i wydajny w montażu oraz relatywnie tani. Takie cechy płyt warstwowych przyczyniły się w chwili obecnej do ich powszechnego użycia w przemyśle, chłodniach, sklepach wielkopowierzchniowych, obiektach sportowych, a także coraz częściej w przypadku budynków energooszczędnych. Pomimo dość długiej historii zastosowania płyt warstwowych w inżynierii lądowej należy stwierdzić, że w przeciwieństwie do badań zginania, stan wiedzy związany z ich eksperymentalnym skręcaniem jest skąpy. Po pierwsze wynika to najpewniej z faktu, że skręcanie paneli w poszyciu obiektów budowlanych nie jest z reguły znaczące w eksploatacji przy typowych geometriach i narzuconych warunkach brzegowych, a po drugie, że realizacja badań skręcania jest trudniejsza od zginania, ściskania i rozciągania z uwagi na brak odpowiednich stanowisk w powszechnym użyciu. Jednak uzyskanie możliwości swobodnego badania tego przypadku i pełne rozpoznanie efektów skręcania w panelach jest w dłuższej perspektywie nieodzowne. Przemawiają za tym następujące spostrzeżenia:

- z uwagi na coraz większe wymogi oszczędzania energii i ochrony środowiska naturalnego należy spodziewać się zastosowania coraz grubszych płyt warstwowych i relatywnie coraz cieńszych okładzin metalowych, co ze względu na sposób montażu może generować takie ich skręcanie, które będzie niepomijalne przy wymiarowaniu;
- wprowadzenie do praktyki inżynierskiej wzorów, pozwalających w sposób przystępny na sprawdzanie stanów granicznych nośności paneli przy skręcaniu, wymaga stosowania modeli

uproszczonych – np. prętowych, co z kolei wymaga nieodzownie weryfikacji eksperymentalnej zakresu ich stosowalności;

- pełne rozpoznanie zachowania się paneli warstwowych z punktu widzenia mechaniki może pozwolić na prowadzenie dokładniejszych analiz ich wpływu na globalną sztywność konstrukcji stalowych – lub opracowanie takich sposobów ich produkcji i montażu, dzięki którym będzie możliwe bez obiektywnego uwzględnienia ich roli w kształtowaniu odpowiedzi konstrukcji nośnej.

Na podstawie przytoczonej argumentacji bardzo pozytywnie oceniam dobór tematyki rozprawy doktorskiej, zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia.

3.2. Ocena celów badawczych

Wychodząc naprzeciw luce w literaturze techniczno-naukowej nt. skręcania paneli warstwowych, autor w ramach pracy doktorskiej postawił sobie do osiągnięcia następujące cele naukowe:

- 1) Budowa stanowiska, umożliwiającego pomiar zarówno sztywności giętnej jak i giętno-skrętnej paneli warstwowych o sztywnych okładzinach i podatnym rdzeniu, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zachowanie odpowiednich warunków brzegowych w tego typu eksperymentach.
- 2) Wykazanie, że możliwe jest poprawne wyznaczenie przemieszczeń i naprężeń w skręcanych statycznie panelach za pomocą modeli uproszczonych (belkowych), jeśli znana jest ich sztywność skrętna i giętno-skrętna.
- 3) Opracowanie, weryfikacja i walidacja modelu panelu warstwowego w ujęciu MES z elementami bryłowymi w przypadku rdzenia i elementami powłokowymi w przypadku okładzin.

Wymienione cele są ambitne, logicznie ze sobą powiązane i uzupełniają się, mając wymiar zarówno poznawczy jak i praktyczny. Autor z szerokim i stosownym planem badań konsekwentnie dążył do ich osiągnięcia. W szczególności należy wyróżnić cel 1 jako bardzo ambitny i to, że doktorant podjął się jego wykonania. Choć celu 1 nie udało się zrealizować w pełnym zakresie, to kandydat wskazał wyczerpująco przyczyny tego stanu rzeczy, wzbogacając tym samym powiązany stan wiedzy technicznej. Dodatkowo można stwierdzić, że wiedza zdobyta w trakcie realizacji stanowiska badawczego, może zostać wykorzystana przy budowie stanowisk do skręcania innych rodzajów elementów płytowych, a w formie istniejącej po „drobnych” modyfikacjach także do oceny nośności różnych sposobów zamocowania płyt warstwowych. W ramach celu 2 doktorant postarał się sprawdzić słuszność stosowania wzorów z analitycznych modeli uproszczonych do wymiarowania skręcanych paneli warstwowych, mając już w zanadru własne wyniki laboratoryjne i numeryczne. Z kolei w ramach celu 3 autor uzyskał tzw. „laboratorium numeryczne” zagadnienia, a więc dość dokładny model komputerowy skręcanego panelu warstwowego. Dzięki przeprowadzonej weryfikacji i walidacji umożliwi on dalsze rozpoznawanie procesów mechanicznych bez prowadzenia rzeczywistych kosztownych i czasochłonnych eksperymentów.

Z wymienionych powodów bardzo pozytywnie oceniam dobór postawionych w rozprawie celów badawczych.

3.3. Ocena osiągnięć naukowych

Zdaniem recenzenta przedstawione w dysertacji badania pozwoliły jej autorowi osiągnąć oryginalne rozwiązania problemów naukowych, które spełniają w pełni wymogi ustawowe. Są to przede wszystkim:

- 1) Budowa autorskiego stanowiska badawczego do skręcania płyt warstwowych w warunkach zbliżonych do teoretycznego skręcania swobodnego lub przy częściowej blokadzie deplanacji przekroju na jednej z podpór. Elementy stanowiska zostały poddane szeregowi badań i analiz naukowych, które pozwoliły ocenić jego przydatność w realizacji badań skręcania płyt warstwowych i określania na tej podstawie ich sztywności skrętnej. Co istotne, oryginalność rozwiązania pozwoliła kandydatowi na w pełni uzasadnione zgłoszenie wynalazku w Urzędzie Patentowym.

- 2) Opracowanie modelu MES skonstruowanego stanowiska w programie ABAQUS oraz jego weryfikacja i walidacja na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Uzyskany model może posłużyć jako tzw. „laboratorium numeryczne” do identyfikacji innych efektów skręcania w płytach warstwowych.
- 3) Wykazanie niepomijalnego wpływu warstw wykończeniowych na efektywny moduł sprężystości podłużnej okładzin badanych płyt warstwowych.
- 4) Wykazanie wpływu tzw. kierunku produkcji, kierunku wycinania jak i strony przyłożenia obciążenia na sposób niszczenia się próbek z płyt warstwowych przy ścinaniu.
- 5) Wykazanie liczbowo niejednorodności rozkładu modułów ścinania rdzenia po długości i szerokości badanych paneli.
- 6) Dokonanie analizy wrażliwości modelu komputerowego ze względu na zmianę parametrów materiałowych i określenie na tej podstawie modułu ścinania ortotropowego rdzenia płyty w przekroju podłużnym i modułu ścinania okładzin jako decydujących o sztywności skrętnej badanych płyt warstwowych.
- 7) Potwierdzenie, że modele Stamma i Witte’a (1974) oraz Seide’a (1956) w zakresie badanych przemieszczeń i naprężeń paneli warstwowych opisują poprawnie ich zachowanie się przy skręcaniu swobodnym.
- 8) Potwierdzenie, że można wykorzystać teorię Własowa w zakresie badanych przemieszczeń i naprężeń paneli warstwowych do opisu ich zachowania się przy skręcaniu nieswobodnym.

4. Uwagi

- 1) We wzorze (2.22) przemieszczenie w kierunku osi s oznaczono jako v , a stronę wcześniej jako p .
- 2) Słuszność ostatniego założenia na stronie 40 wg I teorii Paula Seide’a wymaga szerszego komentarza.
- 3) Czy grubość kleju mocującego próbki rdzenia (widoczne na rys. 3.14a i 3.15a) do podciągaczy była taka sama jak w przypadku sklejonych ze sobą samych podciągaczy (rys. 3.17a)?
- 4) Dlaczego nie zastosowano w całości systemu ARAMIS do pomiarów odkształceń próbek rdzenia przy wyznaczaniu modułu odkształcalności podłużnej? Pytanie recenzenta wynika z krępości tych próbek i braku swobody odkształceń poprzecznych przy styku z podciągaczami (albo sklejką), a także z dokonania pomiaru zmian długości próbek na podstawie drogi tłoka maszyny wytrzymałościowej. Wykorzystanie systemu wizyjnego umożliwiłoby określenie stref wolnych od efektów skrępowania poprzecznego próbek, wyznaczenie odkształceń z tych stref i w efekcie eliminację potrzeby oszacowania podatności układu mocującego w celu korekty wyników.
- 5) Na rys. 3.28a pokazano schemat próbki z podporami umożliwiającymi obrót, natomiast na jej zdjęciu w maszynie (rys. 3.28b) nie są one widoczne. Być może jest to tylko efekt ujęcia elementu na zdjęciu.
- 6) Na rys. 3.79b zaznaczono 4 miejsca, w których mierzono kąty skręcenia rury, natomiast wyznaczenia jej sztywności skrętnej dokonano na podstawie kątów obrotu z 2 przekrojów bliższych środkowi elementu (tj. φ_2 i φ_3) z powodu spodziewanych zaburzeń od efektów brzegowych. Brak jest porównania zmian kątów obrotu na odcinkach pomiędzy punktami 1 i 2, 2 i 3 oraz 3 i 4. Pozwoliłoby to wyrobić pełniejszy pogląd czytelnikowi w tej sprawie.
- 7) Na rys. 3.108 pokazano zestaw czujników przemieszczeń, które stosowano w przypadku skręcania nieswobodnego płyt warstwowych. Dlaczego, analogicznie jak w przypadku skręcania swobodnego, nie zastosowano czujników w kierunku poziomym na powierzchni bocznej od strony podpory nieruchomej? Pozwoliłoby to wprost ocenić skuteczność zastosowanej blokady deplanacji.
- 8) Na str. 187 jest informacja, że w modelu komputerowym płyty współczynnik tarcia między okładziną a ramą podporową przyjęto równy 0,075 (jak w przypadku łożyska ślizgowego z warstwą EPDM i teflonu). Brak jest informacji jak przyjęto ten współczynnik w przypadku modelu skrępowanych płyt, gdzie zastosowano tylko przekładkę z EPDM ze znacznie wyższym współczynnikiem tarcia.
- 9) W punkcie 4.5 wskazane jest zamieszczenie wykresu przemieszczeń u_x w przekroju podporowym płyty, który byłby analogiczny do zamieszczonego na rys. 4.21. Pozwoliłoby to czytelnikowi wyrobić pełniejszy pogląd nt. skuteczności zastosowanej blokady deplanacji.

5. Wnioski końcowe

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Szymon Wojciechowski przedstawił rezultaty badań skręcania płyt warstwowych z okładzinami stalowymi i rdzeniem z pianki PIR ze swobodą i częściową blokadą deplanacji ich przekroju. W pierwszym przypadku pozwoliło to kandydatowi m.in. na wiarygodną ocenę sztywności skrętnej tego typu elementów. W tym celu doktorant przeprowadził odpowiednie badania materiałowe oraz zaprojektował i zbudował oryginalne stanowisko do skręcania lekkich elementów płytowych, poddając racjonalnej ocenie skuteczność jego działania. Stanowi to najważniejsze osiągnięcie rozprawy, zgłoszone także jako wynalazek w Urzędzie Patentowym. Następnie doktorant zbudował model numeryczny skręcanej płyty warstwowej, który zweryfikował i zwalidował na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnych. W efekcie mógł także poddać ocenie stosowalność istniejących uproszczonych ujęć analitycznych w przewidywaniu stanu naprężeń w skręcanych panelach warstwowych.

Warto podkreślić, że przedstawione badania wymagają koniecznie dalszego rozwoju, na co doktorant sam zwraca uwagę w ostatnim rozdziale. Otwiera to przed nim drogę do twórczej pracy naukowej w przyszłości.

Na podstawie analizy przedłożonej do opinii dysertacji mogę stwierdzić, że nakreślone na jej wstępie cele naukowe zostały osiągnięte na poziomie wymagań, które stawia się rozprawom doktorskim. W toku dociekań autor osiągnął oryginalne rozwiązania problemów naukowych, a także wykazał się ogólną wiedzą z zakresu dyscypliny inżynieria lądowa i transport oraz umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych.

Uwagi wymienione w punkcie 2 i 4 mają charakter edycyjny, porządkowy lub dyskusyjny.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Szymona Wojciechowskiego spełnia wymagania, o których mowa w ustawie z dnia 20.07.2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę argumentację przedstawioną w p. 3 recenzji, a w szczególności podjęty przez doktoranta bardzo szeroki zakres badań oraz uzyskane wyniki o znaczeniu poznawczym i praktycznym, stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.

Wojciech Perkowski