

Warszawa, 2025.03.31

dr hab. inż. Piotr F. Borowski, prof. AFiBV
Akademia Finansów i Biznesu Vistula
ul. Stokłosy 3
02-787 Warszawa

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Śląskiej
prof. dr hab. inż. Piotr Folegą

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr. inż. Artura Budzyńskiego pod tytułem *Forecasting prices for road freight transport services using machine learning*

Recenzja została sporządzona zgodnie z art. 190 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Podstawą do sporządzenia recenzji pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Artura Budzyńskiego jest pismo RDILGT. 512.32.205 z dnia 20.02.2025 roku Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej dr. hab. inż. Piotra Folegę, prof. PŚ,.

Recenzowana praca doktorska została napisana jako praca pisemna w języku angielskim i zawiera się na 112 stronach. Struktura pracy obejmuje 6 rozdziałów oraz bibliografię. Praca zaczyna się od wprowadzenia, poprzez koncepcję pracy oraz rozdziały zawierające metody badawcze, analizę uzyskanych danych i ich zastosowanie w praktyce na podsumowaniu z wnioskami kończąc. Istotne jest, że Autor dysertacji przedstawił praktyczne zastosowanie metody na przykładzie statystycznym, co wzmacnia wartość badawczą pracy. Promotorem praca doktorskiej jest Pan Prof. dr. hab. Aleksander Sładkowski a promotorem pomocniczym Pan dr hab. inż. Marcin Michalak.

Przy sporządzaniu recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Budzyńskiego odniosłem się do warunków stawianych rozprawom doktorskim, a zarazem cechom, jakimi powinna wykazywać się recenzowana dysertacja, a które zostały określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Zweryfikowałem, czy spełnia ona przesłanki określone w art. 187 ustawy, które stanowią fundamentalne kryteria oceny pracy doktorskiej. Obejmują one zarówno zakres merytoryczny, jak i formalny rozprawy. Zgodnie z wymaganiami ustawowymi, rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w danej dyscyplinie oraz potwierdzać jego umiejętność prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Ponadto rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne zastosowanie wyników badań w sferze gospodarczej lub społecznej, w postaci pracy pisemnej, monografii naukowej, zbioru artykułów naukowych, pracy projektowej, konstrukcyjnej, technologicznej lub wdrożeniowej.

Mając powyższe na uwadze, podczas sporządzania niniejszej oceny rozprawy doktorskiej szczegółowo przeanalizowałem jej zgodność z powyższymi wymaganiami, uwzględniając zarówno wartość naukową pracy, jak i jej zgodność z formalnymi kryteriami odnoszącymi się do pracy doktorskiej.

1. Stwierdzenie spełnienia albo braku spełnienia przesłanki, o której mowa w art. 187 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024.1571 t.j.) dotyczącej przedmiotu rozprawy:

1.1 Czy rozprawa doktorska mieści się w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport?

Rozprawę doktorską bez problemu można przyporządkować do dyscypliny inżynierii lądowej, geodezji i transportu, ponieważ omawia kluczowe aspekty transportu drogowego towarów, który jest integralnym elementem systemów logistycznych i infrastruktury transportowej. Uzasadnienie tego przyporządkowania przedstawię w kilku kluczowych punktach. Po pierwsze dysertacja porusza aspekt transportowy, badania koncentrują się na transporcie drogowym, który jest jednym z głównych obszarów inżynierii transportu. Porusza kwestie operacyjne, efektywność systemu transportowego oraz dostosowywanie się do zmieniających się warunków gospodarczych i logistycznych. Po drugie w pracy doktorskiej omawiane są zagadnienia dotyczące infrastruktury i logistyki takie jak ciągłość łańcucha dostaw, dostępność „od drzwi do drzwi” oraz regionalne różnice w funkcjonowaniu systemów transportowych, wskazują na powiązania z inżynierią lądową i zarządzaniem infrastrukturą transportową. Po trzecie w zakresie analizy statystycznej systemów transportowych przytaczane są w dysertacji badania dotyczące transportu drogowego w wielu krajach europejskich takich jak m.in. Chorwacja czy Austria i odwołują się do metod analizy ilościowej, które są istotnym elementem badań w dziedzinie transportu i logistyki. Badania zaprezentowane w pracy doktorskiej dotyczą również litewskich przewoźników i wskazują na znaczenie kontroli załadunku ładunków, co jest istotnym elementem inżynierii transportu i bezpieczeństwa ruchu drogowego. Podsumowując ten punkt jednoznacznie mogę stwierdzić, że praca doktorska Pana mgr. inż. Artura Budzyńskiego wpisuje się w dyscyplinę inżynieria lądowa, geodezja i transport, ponieważ odnosi się do kluczowych zagadnień związanych z funkcjonowaniem transportu drogowego, jego efektywnością, bezpieczeństwem i zarządzaniem, co stanowi istotny obszar badań inżynierii transportowej.

1.2 Stwierdzenie spełnienia albo braku spełnienia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

Problemem naukowym rozwiązany przez doktoranta jest trudność w prognozowaniu cen drogowego transportu towarowego, wynikająca z dużej liczby współzależnych zmiennych oraz czasochłonnego charakteru tego procesu. Złożoność danych, uwzględniająca różnorodne cechy transportu, takie jak rodzaj ładunku, wymagania organizacyjne, relacje transportowe czy sezonowość, która utrudnia skuteczne modelowanie i ogranicza efektywność tradycyjnych metod prognostycznych.

W ramach rozprawy doktorskiej mgr inż. Artur Budzyński podjął się próby rozwiązania tego problemu poprzez opracowanie metody wykorzystującej uczenie maszynowe, które pozwala na efektywne zarządzanie złożonymi zależnościami i optymalizację procesu prognozowania cen. Tym samym problem naukowy w tym badaniu można również określić jako problem badawczy, polegający na poszukiwaniu skutecznych metod predykcji cen w transporcie drogowym z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi analitycznych. W celu rozwiązania problemu badawczego Pan mgr. inż. Artur Budzyński opracował innowacyjne rozwiązanie powiązane z uczeniem maszynowym. Ponadto w celu rozwiązania postawionego problemu badawczego zostało sformułowane dość rozbudowane pytanie badawcze, które obejmowało trzy kluczowe aspekty analizy i stanowiło podstawę dla metody badawczej. Autor dysertacji postawił pytanie badawcze, które brzmiało następująco: Jakie czynniki wpływają na wycenę usług drogowego transportu towarowego, w jaki sposób można opracować metodologię przetwarzania danych o ofertach transportowych, aby skutecznie trenować modele uczenia maszynowego oraz czy zastosowanie tych metod może zapewnić większą dokładność prognozowania w porównaniu z podejściami opartymi na ekspertach?

Rozbudowana struktura tego pytania wynikała z potrzeby całościowego podejścia do problemu prognozowania cen transportu drogowego i uwzględniała zarówno aspekt teoretyczny, jak i praktyczny. Każda z trzech składowych pytań badawczego odpowiadała na istotne zagadnienia, które zostały przeanalizowane, aby skutecznie rozwiązać problem naukowy:

1. Identyfikacja kluczowych czynników wpływających na ceny transportu drogowego. Autor dysertacji we właściwy sposób zauważył, że zrozumienie, jakie zmienne kształtują ceny usług transportowych, jest fundamentem skutecznego prognozowania. W tym kontekście przeanalizowane zostały zarówno czynniki bezpośrednie, takie jak rodzaj ładunku, odległość, popyt i podaż, jak i czynniki bardziej złożone, np. sezonowość, warunki makroekonomiczne czy regulacje prawne.
2. Opracowanie metody przetwarzania danych o ofertach transportowych w celu skutecznego trenowania modeli uczenia maszynowego. Mgr inż. Artur Budzyński trafnie

zauważył, że skuteczność modeli uczenia maszynowego w generowaniu rzetelnych prognoz zależy od opracowania właściwej metody przetwarzania danych. Obejmuje to zarówno proces pozyskiwania danych, ich wstępne oczyszczanie, wybór odpowiednich cech, jak i optymalizację algorytmów trenowania modeli.

3. Ocena skuteczności metod uczenia maszynowego w porównaniu do podejść opartych na wiedzy ekspertów. Autor pracy doktorskiej zauważa, że tradycyjne podejście do prognozowania cen transportu opiera się głównie na doświadczeniu i intuicji ekspertów. Przeprowadzone badania miały na celu określenie, czy zastosowanie nowoczesnych metod analizy danych i sztucznej inteligencji może zwiększyć dokładność prognoz i usprawnić proces podejmowania decyzji w branży transportowej.

Tak sformułowane pytanie badawcze pozwoliły na kompleksową analizę problemu i określenie potencjalnych korzyści wynikających z zastosowania metod uczenia maszynowego w prognozowaniu cen drogowego transportu towarowego. Ponadto wskazuje na interdyscyplinarność przeprowadzonych badań, łącząc elementy transportu, analizy danych oraz sztucznej inteligencji, co wpisuje się w nowoczesne podejście do zarządzania logistyką i transportem.

Podsumowując ten punkt mogę stwierdzić, że została spełniona przesłanka dotycząca oryginalnego rozwiązania problemu badawczego.

2. Stwierdzenie spełnienia albo braku spełnienia o której mowa w art. 187 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce dotyczącej rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej.

Wyniki badań przeprowadzonych przez doktoranta mają praktyczne zastosowanie zarówno dla przedsiębiorstw transportowych, jak i decydentów politycznych, co potwierdza, że wyniki te mają potencjał gospodarczy i regulacyjny.

Dzięki opracowanej metodzie, wykorzystującej uczenie maszynowe, przedsiębiorstwa transportowe mogą udoskonalić strategie cenowe, dostosowując stawki do dynamicznych warunków rynkowych. Poza tym mogą poprawić zarządzanie kosztami, minimalizując ryzyko błędnych wycen i nieefektywności operacyjnych, jak również mogą zwiększyć wydajność operacyjną, ograniczając czasochłonność tradycyjnych metod prognozowania i optymalizując wykorzystanie zasobów.

Z kolei decydenci polityczni i organy regulacyjne mogą wykorzystać uzyskane wyniki do kształtowania polityki transportowej, opierając swoje decyzje na precyzyjnych

prognozach cen transportu, oraz mogą wprowadzać optymalizację rozwoju infrastruktury, uwzględniając kluczowe czynniki wpływające na koszty transportu i jego efektywność. Ponadto umożliwiają tworzenie bardziej elastycznych ram regulacyjnych, które wspierają konkurencyjność i zrównoważony rozwój sektora.

Chociaż badania koncentrowały się na rynku Unii Europejskiej, zastosowana metoda jest wysoce elastyczna i może być wdrożona także poza UE. Dzięki wykorzystaniu kodów krajów ISO, modele mogą zostać skonfigurowane do analizy rynków w różnych regionach świata, co zwiększa ich uniwersalność i wartość dla globalnej logistyki.

Podsumowując ten punkt stawiany rozprawom doktorskim mogę stwierdzić, że badanie zrealizowane przez doktoranta dostarcza kompleksowej analizy czynników wpływających na ceny drogowego transportu towarowego i ustanawia nowy standard dokładności prognozowania. Opracowana metoda, przewyższająca skutecznością tradycyjne podejścia eksperckie, stanowi przykład znaczenia uczenia maszynowego w rozwiązywaniu złożonych problemów opartych na danych. Tym samym otwiera drogę do dalszych badań i praktycznych wdrożeń w obszarze prognozowania kosztów transportu, przyczyniając się do rozwoju branży i efektywności gospodarczej. Opracowana metoda oraz uzyskane wyniki spełniają przesłankę zastosowania praktycznego, umożliwiając ich wdrożenie w przedsiębiorstwach i gospodarce na szeroką skalę nie tylko w Polsce i Unii Europejskiej, ale również w innych krajach spoza unii.

3. Stwierdzenie spełnienia albo braku spełnienia przesłanki, o której mowa w art. 187 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce dotyczącej prezentowania ogólnej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Zaprezentowana praca doktorska świadczy o umiejętności doktoranta w zakresie formułowania problemów badawczych, co jest kluczowym elementem prowadzenia samodzielnych badań naukowych. Dowodzi również jego zdolności do opracowania kompleksowego warsztatu badawczego, obejmującego zarówno odpowiednie podejście metodologiczne, jak i wybór właściwych narzędzi analitycznych.

Oprócz pytania badawczego omówionego przeze mnie w poprzedniej części recenzji Autor dysertacji sformułował hipotezę badawczą i poddał ją empirycznej weryfikacji. Na podstawie szczegółowej analizy literatury zaproponował następującą hipotezę: wdrożenie technik uczenia maszynowego w prognozowaniu cen usług transportu drogowego pozwoli na zwiększenie dokładności prognoz oraz umożliwi firmom

transportowym lepsze dostosowanie decyzji operacyjnych do zmieniających się warunków rynkowych.

Pan mgr. inż. Artur Budzyński słusznie zauważył, że uczenie maszynowe poprawia precyzję prognoz poprzez analizę złożonych wzorców w dużych i różnorodnych zbiorach danych, przewyższając ograniczenia tradycyjnych metod. Ponadto, dzięki możliwości aktualizacji modeli w czasie rzeczywistym, techniki te umożliwiają dynamiczne dostosowywanie strategii cenowych i operacyjnych do bieżącej sytuacji na rynku. Przeprowadzone badania potwierdziły, że wdrożenie technik uczenia maszynowego rzeczywiście może poprawić dokładność prognoz cenowych, co w konsekwencji pozwala przedsiębiorstwom transportowym skuteczniej dostosowywać swoje decyzje operacyjne do zmieniających się warunków rynkowych. Postawiona hipoteza została zatem pozytywnie zweryfikowana.

Doktorant wykazał się umiejętnością identyfikacji istotnych zagadnień naukowych, precyzyjnego określenia celów badawczych oraz zaplanowania skutecznych metod ich realizacji. Ponadto właściwie dobrał narzędzia badawcze, dostosowując je do specyfiki problematyki, co pozwoliło na uzyskanie rzetelnych i wartościowych wyników.

W ramach pracy doktorant zdiagnozował istotną lukę badawczą w obszarze prognozowania cen usług drogowego transportu towarowego i opracował badania dostosowane do tego problemu. Badanie to miało na celu wypełnienie istniejących braków w literaturze i praktyce poprzez stworzenie kompleksowej metody uczenia maszynowego, umożliwiającej bardziej precyzyjne przewidywanie kosztów transportu. Praca doktorska skoncentrowała się na opracowaniu solidnych ram analitycznych, obejmujących gromadzenie danych, wstępne przetwarzanie, wybór modelu, szkolenie, walidację oraz wdrażanie metod dostosowanych do specyfiki sektora drogowego transportu towarowego.

Całość pracy doktorskiej dowodzi, że Pan mgr. inż. Artur Budzyński posiada zaawansowane kompetencje badawcze, obejmujące zarówno aspekt teoretyczny, jak i praktyczny, co stanowi istotny element jego rozwoju naukowego i przygotowania do prowadzenia dalszych badań w wybranej dyscyplinie czyli inżynierii lądowej, geodezji i transportu, jak również doktorant ma duży potencjał do prowadzenia badań w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości.

Praca doktorska jednoznacznie potwierdza, że doktorant posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, spełniając tym samym kluczową przesłankę stawianą rozprawom doktorskim. Doktorant samodzielnie zidentyfikował lukę badawczą, sformułował problem naukowy i opracował odpowiednią metodę

umożliwiający jego rozwiązanie. Wszystkie te elementy dowodzą, że doktorant spełnił wymóg dotyczący samodzielnej pracy naukowej, wykazując zdolność do prowadzenia badań na wysokim poziomie merytorycznym i aplikacyjnym.

Uwagi natury technicznej i edytorskiej do pracy doktorskiej

1. W nauce występują pojęcia: metodologia, metoda i metodyka i są one od siebie różne. Proszę nie stosować ich zamiennie.
2. Akronimy powinny mieć wyjaśnienie, gdyż nie wszystkie są znane szerokiemu audytorium i na przykład BP czy jest to Backpropagation (str.5)?
3. Opis do Rysunku 3 (str.66) mówi o liczbach natomiast na Rysunku 7 są podane procenty.
4. Opis do Rysunku 9 (str. 68) mówi, że średni koszt jest najniższy na Węgrzech, natomiast na Rysunku 9 widać, że również w Danii.
5. Opis do Rysunku 10 (str. 69) wymienia koszt 2 Euro, natomiast na Rysunku jest 2.01. Nie byłoby to błędem, gdyby w tym samym czasie w opisie nie pojawiła się wartość 0.98 Euro dla Hiszpani i taka sama wartość jest na Rysunku. Czyli w opisie były uwzględnione dwa miejsca po przecinku. Tak też powinno być opisane w przypadku Hiszpanii.
6. Na Rysunku 13 (str. 71) brakuje podpisu pod początkiem linii (jaki rok i miesiąc).
7. Nie ma spójności pomiędzy Rysunkiem 13 i 14, gdyż w miesiącu lipcu raz jest najwyższa średnia cena a raz najniższa. Być może trzeba była napisać w którym roku ta najmniejsza wartość w lipcu wystąpiła.
8. Zdanie dotyczące korelacji pomiędzy ceną paliwa a kosztami transportu na str. 88 „Sugeruje to, że wzrost cen paliw może mieć bezpośredni wpływ na wzrost kosztów transportu, co jest typowe dla branży transportowej” nie znajduje odzwierciedlenia na zaprezentowanym Rysunku 27 (str. 89).
9. Niezrozumiały jest skrót $[k^2]$ w tabeli 40 (str.92).
10. Niefortunny jest zapis: Methods for implementing the method (str. 105).

Zauważone niedociągnięcia w zakresie błędów technicznych (pisarskich), mimo że są istotne z perspektywy precyzji i staranności, nie mają wpływu na ogólną, pozytywną ocenę pracy doktorskiej Pana mgr inż. Artura Budzyńskiego. W kontekście tego typu pracy, kluczową rolę odgrywa przede wszystkim jakość merytoryczna, innowacyjność podejścia badawczego oraz znaczenie osiągniętych wyników. Praca doktora Budzyńskiego wykazuje wysoki poziom merytoryczny i naukowy, a zaproponowana metoda jest zgodna z

najnowszymi trendami w dziedzinie transportu i uczenia maszynowego. Z tego powodu, mimo drobnych błędów technicznych, które powinny być w przyszłości poprawione, praca w pełni zasługuje na uznanie i pozytywną ocenę. Niedociągnięcia te nie wpływają więc na ocenę całościową, ponieważ nie podważają zasadniczej wartości naukowej rozprawy.

Pytania dla doktoranta związane z jego pracą doktorską:

1. Proszę wyjaśnić w jaki sposób została opracowana tabela PKB i co oznaczają poszczególne wielkości, gdyż z zaprezentowanego opisu w pracy doktorskiej trudno jest zinterpretować zaprezentowane dane.
2. Proszę wyjaśnić czy okres letni wpływa na wzrost czy na spadek ceny usług transportowych?

Kończowa konkluzja i ocena

Ja, niżej podpisany stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Artura Budzyńskiego spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport o dopuszczenie Pana mgr. inż. Artura Budzyńskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

