

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Pokropskiego pt. „ Wpływ parametrów podpór blokowych na wytrzymałość bezpodsypkowej nawierzchni kolejowej ”

Recenzję opracowałem na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport płk. prof. dr hab. inż. Michała Kędzierskiego z dnia 10 czerwca 2021 oraz egzemplarza pracy wraz z płytą CD.

1. Podstawowe informacje o rozprawie doktorskiej

Rozprawa liczy 129 stron, podzielonych na 7 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wstępem.

Rozdział 1, zatytułowany *Charakterystyka nawierzchni niekonwencjonalnych*, przedstawia krótki opis zasadności budowy nawierzchni bezpodsypkowych, ogólny podział tych konstrukcji, opis trzech typów europejskich konstrukcji bezpodsypkowych oraz krótką charakterystykę uszkodzeń, jakie występują w tych nawierzchniach niekonwencjonalnych.

Na tym tle, w rozdziale 2 *Wymagania konstrukcyjne dla nawierzchni bezpodsypkowych*, przedstawiono precyzyjnie tezę pracy oraz metodologię badań. Następnie opisano parametry geometryczne i materiałowe konstrukcji nawierzchni z podporami blokowymi, jako obiektu, przyjętego do badań laboratoryjnych i analiz numerycznych. Wymagania te przedstawiono na podstawie postanowień normatywnych – w odniesieniu do przytwierdzeń i szyn, natomiast w odniesieniu do pozostałych elementów konstrukcyjnych – wymagania te sformułowano na podstawie analizy specyfikacji technicznych dla zrealizowanych inwestycji kolejowych. W podrozdziale dotyczącym obciążeń nawierzchni przedstawiono rozważania na temat rozkładu obciążeń w nawierzchni niekonwencjonalnej z podporami oraz modele obciążeń normatywnych, które mają zastosowanie głównie w analizie obiektów mostowych.

Rozdział 3 *Projektowanie betonu* stanowi podstawę do badań laboratoryjnych i analiz numerycznych. Omówiono parametry projektowanych i wykonywanych mieszanek betonowych, w tym analizę sitową kruszyw, wymagania dla cementu, przedstawiono projekt i szczegółowe receptury mieszanek betonowych do wykonania płyty torowej i podpór wraz z parametrami dodatków w postaci włókien stalowych, polimerowych i szklanych. W odniesieniu do płyty torowej przyjęto jeden rodzaj mieszanki betonowej.

Rozdział 4 i 5 *Badania laboratoryjne i Badania połączenia elementów nawierzchni kolejowej* stanowią jedną z podstawowych części pracy. Badania dotyczyły cech elementów betonowych, wykonanych na podstawie uprzednio zaprojektowanych mieszanek. W szczególności dotyczyło to określenia konsystencji, mrozoodporności, modułu sprężystości, wytrzymałości na ścinanie (beton płyty torowej i podpór blokowych), a - w odniesieniu do zespolenia na styku podpory blokowej z

plytą torową- wyznaczono wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, wytrzymałość na odrywanie pull-off oraz wytrzymałość na zginanie (rozciąganie przy zginaniu) w kierunku poprzecznym i podłużnym do osi toru. Te badania wykonano na modelu laboratoryjnym, stanowiącym 30% wymiarów rzeczywistej konstrukcji. W odniesieniu do wyznaczenia modułu sprężystości zastosowano dwie metody: klasyczną, w której określa się odkształcenie wzdłużne próbki przy jednorodnym stanie naprężeń ściskających oraz tzw. metodę rezonansową, w której wyznacza się moduł sprężystości na podstawie cech fali propagowanej w próbce przy wzbudzeniu impulsowym. Przy badaniu wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu wzdłużnym do osi toru wykorzystano kamerę, która umożliwiła wyznaczenie przemieszczeń pionowych i poziomych w trakcie procesu zniszczenia próbki.

W rozdziale 6 *Modelowanie numeryczne* przyjęto dwuetapową analizę. W pierwszym etapie wyznaczone zostały reakcje podpór dla szyny jako sprężystej belki, spoczywającej na podporach o stałej wartości sprężystej i stałym rozstawie. Parametry sprężystego podparcia szyny przyjęto na podstawie – wyznaczonych na podstawie badań laboratoryjnych, a w doniesieniu do podbudowy i szyny założonych - parametrów mechanicznych i geometrycznych poszczególnych warstw konstrukcji:: podbudowy, płyty torowej oraz podpór blokowych. Przyjęto tylko jeden typ obciążenia, tzn. dwie osie lokomotywy o nacisku 210 kN i rozstawie 2,6 m. W drugim etapie analizy, na podstawie reakcji podporowych uzyskanych w etapie pierwszym, po przyjęciu równomiernego rozkładu obciążeń podpór, wyznaczono naprężenia w poszczególnych punktach podpór i płyty torowej, z uwzględnieniem zróżnicowanych modułów sprężystości betonu podpór blokowych, zależnych od dodatków do mieszanki betonowej w postaci włókien (łącznie cztery warianty, trzy z dodatkami i jeden porównawczy). Wyznaczono różnice wartości naprężeń przy zastosowaniu podpór o zróżnicowanym module sprężystości w wybranych punktach. Wyniki analiz modelowych porównano z wynikami badań laboratoryjnych.

W rozdziale 7 *Podsumowanie i wnioski końcowe* sformułowano najważniejsze wnioski, syntetyzujące przeprowadzoną w pracy analizę, z czego wynika wykazanie tezy pracy.

Bibliografia zawiera 74 pozycje literatury, w tym 5 stanowi odwołania do stron internetowych.

2. Ogólna ocena rozprawy

Jednym z podstawowych pytań, na jakie trzeba odpowiedzieć przy ocenie prac dyplomowych z inżynierii jest to, czy temat jest ważny i aktualny. W odniesieniu do rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Pokropskiego odpowiedź na postawione pytania jest pozytywna. Zagadnienie trwałości konstrukcji bezpodsypekowych jest z pewnością istotnym problemem współczesnego transportu szynowego. Przytoczony w pracy przykład metra warszawskiego jest znamieny; nawierzchnia na podłożu betonowym, przy zastosowaniu podpór blokowych stwarza istotne problemy eksploatacyjne, ale – wg wiedzy recenzenta – głównie na drugiej linii metra, gdzie, prawdopodobnie ze względów technologicznych, występuje konieczność napraw w rejonie styku podpór blokowych z płytą torową i to przy elastycznym powiązaniu podpory z płytą torową. Praca Autora jest inaczej ukierunkowana – poprawę rozkładu naprężeń w płycie torowej uzyskuje się nie poprzez elastyczne posadowienie podpory, ale przez wzmocnienie betonu w podporach. Tym niemniej podjęty temat jest ważny i aktualny.

Istotną cechą pozytywną rozprawy jest umiejętne powiązanie badań doświadczalnych z analizą teoretyczno-numeryczną, co stanowi całościowe ujęcie zagadnienia.

Układ pracy jest prawidłowy, rozważania prowadzone są prawidłowo. Praca napisana jest starannie, cytowana literatura dobrana jest prawidłowo, choć dużą ich część stanowią normy techniczne i inne dokumenty normatywne.

Projekt mieszanek betonowych oraz badania laboratoryjne stanowią podstawową część pracy. Przeprowadzono wszechstronny opis warunków badań i analizę ich wyników. Na szczególną uwagę zasługują badania zginania fragmentów nawierzchni w kierunku poprzecznym i podłużnym do osi toru. Na ich podstawie wykazano zasadność wzmocnienia betonu podpór blokowych poprzez dodanie włókien na zachowanie się całości konstrukcji. Tym samym wykazano eksperymentalnie tezę pracy. Przyjęcie zmniejszonych wymiarów próbek badawczych wydaje się być w pełni uzasadnione, zwłaszcza z uwagi na porównawczy charakter tych badań w doniesieniu do mieszanek betonowych z zastosowaniem trzech typów włókien jako dodatków do betonu i próbki referencyjnej.

Zastosowanie dwuetapowej analizy numerycznej z zastosowaniem metody elementów skończonych i pakietu obliczeniowego Autodesk Robot Structural Analysis Profesional jako metody rozwiązania problemu należy uznać za uzasadnione. Niejasnym jest natomiast to, że nie wykonano więcej analiz w ramach pierwszego etapu, w którym uwzględniono by inne typy obciążeń, a także sztywność przytwierdzeń, co opiszę w dalszej części recenzji. Analizy numeryczne również potwierdziły tezę pracy, choć – jak sam Autor zauważa – różnice naprężeń przy zastosowaniu włókien i w podporze referencyjnej nie są zbyt duże.

Chociaż zakres badań został jasno sformułowany, tym niemniej nie wspomniano o tym, że obciążenia nawierzchni kolejowej są dynamiczne, zwłaszcza przy większych prędkościach – zagadnienie to opiszę dalej w recenzji.

Podsumowując ogólną ocenę pracy stwierdzam, że zawiera one elementy oryginalne, głównie dowód tezy pracy. Autor wykazał się umiejętnością planowania i wykonania zarówno badań eksperymentalnych jak i analiz numerycznych, a uzyskane wyniki stanowią istotny przyczynek do rozwoju bazy wiedzy na temat zachowania się konstrukcji nawierzchni szynowych.

3. Uwagi szczegółowe

1. Omawiając obciążenia nawierzchni w podrozdziale 2.3 Autor przytacza postanowienia normatywne nie wspominając o prędkościach obciążenia. Badania cech betonu prowadzone są w statycznych warunkach i tutaj nie ma żadnych wątpliwości. Nasuwa się jednak pytanie, czy ruchome obciążenie, zwłaszcza przy wysokich prędkościach ma wpływ na warunki współpracy powierzchni podpór z płytą torową, czy też na powstawanie mikropęknięć w betonie płyty torowej. Nasuwa się też pytanie, dlaczego, przynajmniej w ograniczonym zakresie, w analizie numerycznej nie uwzględniono efektu ruchomego obciążenia. W opinii recenzenta brakuje w pracy jakiegokolwiek komentarza w tej sprawie.
2. W rozdziale 6 opisując sposób modelowania numerycznego Autor podaje, str. 105 „...aby zapewnić przejrzystość modelu dokonano podziału analizy numerycznej na dwa etapy”. Można zgodzić się z tym stwierdzeniem. Trzeba jednak zauważyć, że zadanie pierwszego etapu jest nieporównywalnie prostsze od etapu drugiego. W pierwszym etapie mamy bowiem obiekt jednowymiarowy (szynę jako belkę o stałych parametrach) obciążoną układem sił skupionych. Dlatego niezrozumiałym jest to, że nie przeprowadzono obliczeń dla innych obciążeń i konfiguracji osi, np. dla węglarek o nacisku osi 221 kN i rozstawu osi w wózku 1,8 m. Przyjęcie innych obciążeń znacznie

wzbogaciłoby analizę, wskazując inne rozkłady obciążeń na podpory, a tym samym inne rozkłady naprężeń w konstrukcji. Można by w drugim etapie przeprowadzić dodatkowe obliczenia np. tylko dla betonu Z4 i Z5

3. Opisując systemy nawierzchni niekonwencjonalnych w podrozdziale 1.2 należałoby przynajmniej wspomnieć o bezpodsypkowych konstrukcjach w Japonii (konstrukcja VA, opisana np. w pozycji literatury [17]), które zaczęto na masową skalę wprowadzać do eksploatacji znacznie wcześniej niż w Europie i które, po niewielkich modyfikacjach, są eksploatowane także obecnie.
4. W spisie literatury nie znalazłem żadnej pozycji Autora.

4. Podsumowanie i wniosek

Rozprawę doktorską mgr inż. Dominika Pokropskiego oceniam wysoko. Autor wykazał się umiejętnością harmonijnego powiązania analizy teoretycznej (numerycznej) i badań doświadczalnych. Uzyskał dobrą zgodność wyników uzyskanych z analizy modelowej i badań eksperymentalnych. Z przeprowadzonej analizy uzyskał oryginalne wyniki, z których najistotniejszym jest wykazanie, że zastosowanie dodatków w postaci włókien do betonu, z którego wykonane są podpory blokowe nawierzchni bezpodsypkowej poprawia warunki pracy całej konstrukcji.

Biorąc to pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dominika Pokropskiego spełnia warunki stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z 20 lipca 2018 roku (Dz. U z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) oraz wymogi, stawiane zwyczajowo dla prac doktorskich w zakresie nauk technicznych. Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do obrony.

Włodzimierz Czyczuła