

dr hab. inż. Marta Kadela, prof. Instytutu  
Instytut Techniki Budowlanej  
ul. Filtrowa 1  
00-611 Warszawa  
e-mail: [m.kadela@itb.pl](mailto:m.kadela@itb.pl)

Katowice, 2 maja 2022 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Przemysława Górnasia** pt.:

*„Nośność doraźna asfaltowych nawierzchni drogowych w aspekcie dynamicznych obciążeń  
wywołanych ruchem pojazdów”*

Promotor: dr hab. inż. Mieczysław Słowik, prof. PP

Promotor pomocniczy: dr inż. Andrzej Pożarycki

### **1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 1 marca 2022 r. o powołaniu recenzenta i prośbą Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny, Profesora dr. hab. inż. Jacka Pielechy, sformułowaną w piśmie nr RD/d/18/1/2022 z dnia 3 marca 2022 r.

### **2. Ocena zasadności podjęcia tematu**

Ocena nośności nawierzchni drogowych stanowi podstawowe zagadnienie przy ocenie trwałości nawierzchni drogowych i projektowaniu ich wzmocnień. Zagadnienie to było przedmiotem wielu rozważań, jednakże z uwagi na stały rozwój w zakresie komputeryzacji oraz rozwój możliwości badawczych zachodzi konieczność ciągłego doskonalenia w tym zakresie i prowadzenia dalszych prac badawczych. W analizowanej pracy Kandydat podejmuje ważne zagadnienie oceny nośności doraźnej asfaltowych nawierzchni drogowych, rozumianej jako nośność nawierzchni wyrażoną trwałością zmęczeniową określoną dla konkretnych warunków, w których wykonano pomiary. Efektem czego jest opracowanie autorskiej metody oceny nośności doraźnej nawierzchni asfaltowych, w której uwzględnia się dynamiczne obciążenia wywołane ruchem pojazdów po nawierzchni jezdni z nierównościami. Rozwiązanie takie daje duże możliwości aplikacyjne oraz wpływa na ułatwienie i skrócenie czasu analiz oceny nośności nawierzchni poprzez m.in. niwelację potrzeby przeliczania modułu sztywności warstw asfaltowych do temperatury ekwiwalentnej.

W pracy zostało przedstawione bardzo kompleksowe podejście do rozwiązywanego zagadnienia, a opracowana metodyka badawcza i opracowane oryginalne kody komputerowe w środowisku programu MATLAB mają charakter aplikacyjny i mogą, a wręcz powinny, posłużyć do analiz oceny nośności asfaltowych nawierzchni drogowych. Tym samym należy stwierdzić, iż podjęty temat rozprawy jest zarówno ważny i cenny z naukowego punktu widzenia, jak i posiada wartość użytkową.

### 3. Krótka charakterystyka i zakres pracy

Przedstawiona do recenzji praca ma charakter pracy badawczej. Rozprawa została przedstawiona na 187 stronach maszynopisu formatu A4, które obejmują część zasadniczą (151 strony), składającą się z 11 rozdziałów, w tym wniosków i kierunków dalszych prac badawczych. Poza tym w pracy zamieszczono wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów stosowanych w pracy, spis literatury (19 stron) oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. W rozprawie zawarto 140 rysunków i 15 tablic.

**Rozdział 1 (Wstęp)** stanowi zwięzłe wprowadzenie w tematykę przedmiotu rozprawy. Doktorant przedstawił podjęty w rozprawie problem naukowy oraz zasadność jego podjęcia.

**W rozdziale 2 (Studium literatury)** szeroko omówiony został przedmiot nośności nawierzchni asfaltowych. Przedstawione zostały empiryczne metody oceny nośności nawierzchni asfaltowych, w tym inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni, metoda pomiaru ugięć nawierzchni, oraz bardzo szczegółowo i dokładnie mechanistyczne metody oceny nośności. Rozdział został zakończony podsumowaniem ze studium literatury, który stanowi podstawę do **rozdziału 3**, w którym określono tezę, cel i zakres pracy. Analizowana w pracy nośność doraźna została opisana w **rozdziale 4 (Wprowadzenie pojęcia nośności doraźnej nawierzchni oraz przyjęcia założeń autorskiej metody jej oceny)**. Rozdział został zakończony proponowanym schematem postępowania.

**W rozdziale 5 (Metody wyznaczania wartości parametrów modeli nawierzchni asfaltowych)** Autor przedstawia, że „w ocenie nośności nawierzchni drogowych metodami mechanistycznymi istotne jest to, żeby wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci stanów naprężenia i odkształcenia w jak największym zakresie odpowiadały wartościom, jakie powstałyby w warunkach rzeczywistych”. W tym celu przedstawia konieczność określenia grubości poszczególnych warstw nawierzchni, wartości parametrów materiałów, z których są te warstwy zbudowane oraz profilu nawierzchni jezdni, co dotychczas nie było standardowo analizowane w pracach przy ocenie nośności podatnych nawierzchni drogowych. Do ich określenia posługuje się nowoczesnymi urządzeniami, są to kolejno: georadar (GPR), urządzenie FWD, skaner laserowy. Autor pracy w kolejnych podrozdziałach na podstawie przykładowych wyników pomiarów przedstawia w sposób bardzo szczegółowy eksperymenty numeryczne i ich analizę. Następnie na podstawie zaobserwowanych i przeanalizowanych zjawisk, Autor opracował numeryczne modele dla poszczególnych badań i zaimplementował je w środowisku komputerowym MATLAB. Kody zostały załączone do pracy w formie załączników do niniejszej pracy doktorskiej.

**Rozdział 6 (Weryfikacja doświadczalna metod wyznaczania wartości parametrów modeli nawierzchni asfaltowych)** stanowi weryfikację opracowanej metodyki badawczej wyznaczania parametrów modeli nawierzchni i elementów z tym związanych, bazując na rzeczywistym odcinku doświadczalnym, stanowiącym fragment ulicy Jacka Rychlewskiego w Poznaniu. Bazując na opracowanej metodologii, w rozdziale tym przedstawiona została baza wartości modułów sprężystości materiałów warstw modelu nawierzchni, która następnie została poddana weryfikacji z uwagi na ocenę wartości w zależności od temperatury pakietu górnych warstw asfaltowych, zmierzonej na głębokości połowy sumy grubości tych warstw, oraz w zależności od częstotliwości. Na podstawie analiz opracowano wnioski w tym zakresie, przedstawione na 128 stronie pracy.

W kolejnym podrozdziale pracy weryfikacji poddano metody skanowania profilu nawierzchni jezdni, w tym celu odtworzono zakres przedstawionego w rozdziale 5.3. eksperymentu z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

**Rozdział 7 (Opracowanie modelu nawierzchni)** przedstawia model nawierzchni, do opracowania którego posłużono się procedurami obliczeniowymi, opracowanymi w Rozdziale 5 i zweryfikowanymi w Rozdziale 6. Opracowane zostały dwa moduły obliczeniowe (obciążenia oraz nawierzchni), przy wykorzystaniu których obliczane są odpowiednio wartości dynamicznych oddziaływań oraz wartości stanu odkształcenia i naprężenia w poszczególnych warstwach nawierzchni i jej podłożu. W dalszej części rozdziału przedstawiono wyniki obliczeń wykonywanych przy ich zastosowaniu dla wybranych eksperymentów numerycznych. Rozdział w sposób zwięzły podsumowano (str. 139-140). Otrzymane wartości posłużyły do wyznaczenia trwałości zmęczeniowej (**Rozdział 8**) oraz obliczeń nośności doraźnej nawierzchni (**Rozdział 9**). Na podstawie przeprowadzonej procedury obliczeniowej, uzyskano wartości modułów sprężystości poszczególnych warstw modelu nawierzchni, wartości wielkości kryterialnych (wartości odkształceń poziomych w spodzie warstw asfaltowych i wartości odkształceń pionowych w górnej powierzchni podłoża gruntowego) oraz wyznaczono trwałość zmęczeniową dla pakietu warstw asfaltowych i podłoża nawierzchni. Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano zwięzłe wnioski (str. 149).

Bazując na powyższym w **Rozdziale 10** przedstawione zostały zwięzłe wnioski z przeprowadzonego programu badawczego oraz w **Rozdziale 11** – dalsze plany badawcze.

W pracy powołano się na 285 pozycji literaturowych. W dużej mierze są to prace, opublikowane w ciągu ostatnich 20 lat. Wśród podanych pozycji Kandydat jest autorem i/lub współautorem dziewięciu publikacji.

Na zakończenie rozprawy zamieszczono załączniki zawierające kody komputerowe w środowisku programu MATLAB.

#### **4. Ocena formalna (Ocena programu, zakresu pracy i problemu naukowego)**

Przedstawiona praca ma charakter badawczy i obejmuje ważne zagadnienia naukowe z zakresu oceny nośności asfaltowych nawierzchni drogowych oraz metodyki ich badań. Kandydat opracował autorską metodę oceny nośności doraźnej asfaltowych nawierzchni drogowych. Oryginalność rozwiązania polega na wyznaczeniu wartości parametrów materiałowych warstw modeli nawierzchni uzyskanych z obliczeń na podstawie analizy wyników pomiarów ugięć nawierzchni, wywołanych obciążeniem dynamicznym (uzyskanych z pomiarów aparatem FWD).

Celem oryginalnego rozwiązania postawionego problemu naukowego przyjęto obszerny program badawczy, który obejmował analizę literatury, opracowanie metod wyznaczania parametrów modeli nawierzchni, weryfikację tych metod na odcinku testowym, stanowiącym fragment rzeczywistej drogi, opracowanie modelu obliczeniowego nawierzchni, implementację opracowanych zależności do obliczania nośności doraźnej nawierzchni asfaltowych wyrażanej pozostałą trwałością zmęczeniową, wykonanie obliczeń opracowaną metodą oceny nośności doraźnej dla modelu nawierzchni odcinku testowego, analizę wyników obliczeń nośności doraźnej nawierzchni na odcinku testowym oraz sformułowanie wniosków. W tym celu zostały przeprowadzone badania terenowe in situ i analityczne, jak

również przeprowadzone zostały analizy numeryczne MES. Zarówno program prac badawczych, jak i zakres pracy uznaje się za właściwy i kompleksowy, doceniając podejście badawcze, a zarazem inżynierskie.

Przeprowadzony w odpowiednich krokach program badawczy wskazuje na duży potencjał Kandydata, jak również zdaniem recenzentki stanowi cenne całościowe opracowanie metodyki badawczej wyznaczenia wartości parametrów materiałowych warstw modeli nawierzchni uzyskanych z pomiarów aparatem FWD. Dopełnienie stanowią opracowane przez Kandydata kody komputerowe w środowisku programu MATLAB. W wyniku czego opracowane w pracy zależności mają charakter wdrożeniowy i wyjątkowy potencjał aplikacyjny. Doceniając pracę Kandydata nie mogę jednak nie dodać, że w pracy brakuje wyartykułowania, które badania terenowe były bezpośrednio przez niego przeprowadzone, a z których wyników prac skorzystał, celem opracowania procedur obliczeniowych. Zostało to szczegółowo opisane w punkcie 6. Uwagi krytyczne i pytania recenzentki do pracy.

Uzyskane w rozprawie wyniki badań i analiz oraz opracowana autorska metoda oceny nośności doraźnej asfaltowych nawierzchni drogowych, jak również poszczególne procedury obliczeniowe w postaci kodów komputerowych w środowisku MATLAB, bazując na wynikach badań terenowych są oryginalnym osiągnięciem Doktoranta. Należy także podkreślić kompleksowe podejście Doktoranta do realizowanego tematu w zakresie wykonanych badań, prac analitycznych oraz modelowych. Kandydat wykazał się przygotowaniem do prowadzenia prac badawczych, analizy wyników i komputerowego modelowania. Przedstawiony w pracy doktorskiej tok postępowania, celem osiągnięcia założonego celu pracy, jak również przedstawiony program badawczy i zaplanowane obszary przyszłych badań naukowych świadczą o gotowości Kandydata do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych, otwierając równocześnie nowe drogi badawcze dla przyszłych naukowców lub obszar przyszłych badań Doktoranta.

Praca jest napisana językiem poprawnym, a zamieszczone w niej w dużej liczbie rysunki w istotny sposób podnoszą wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej.

## **5. Ocena w zakresie redakcji naukowej**

Ogromną zaletą pracy jest łatwość przekazu, z jaką Kandydat przedstawia sformułowany (niełatwy) problem badawczy oraz praktycznie czystość językowa, co wpływa na to, że pracę czyta się łatwo.

W strukturze rozdziałów rozprawy występuje pewne widoczne zróżnicowanie w zakresie ich objętości. Przeprowadzone studium literaturowe zostało przedstawione na 24 stronach, a wynikający z niego cel, teza i zakres pracy na 1 stronie. Analogicznie wprowadzenie odbiorcy do pojęcia nośności doraźnej, stanowiące osobny rozdział (Rozdział 4), zostało przedstawione na 2 stronach. Natomiast objętość kolejnego rozdziału 5 wynosi 77 stron, a rozdziału 6 – 18 stron. Następnie rozdziału 7 z opisem modelu – 7 stron, implementacji opracowanych zależności do obliczeń nośności doraźnej – 2 strony, analiza wyników 6 stron oraz wnioski z pracy i dalsze plany badawcze po 1 stronie. Zaletą takiego rozwiązania jest widoczny warsztat naukowy, na którym w znaczącej części skupia się Kandydat, a mianowicie najobszerniejsze rozdziały przedstawiają jego badania własne, ich

wyniki, ich analizę oraz interpretację. Jako wadę rozpatruję zwięzłość w zakresie podsumowania pracy.

Na podkreślenie zasługuje poprawność stylistyczna i językowa.

## **6. Uwagi krytyczne i pytania recenzentki do pracy**

Uwag stricte krytycznych nie mam, a samą pracę uważam za wyjątkowo wartościową. Jednak po zapoznaniu się z pracą doktorską pojawiają się trzy główne uwagi o charakterze, wymagającym dyskusji lub uzupełnienia.

Pierwszą stanowi brak dokładnych danych o materiałach warstw nawierzchni oraz podłożu gruntowym w przedstawianych w pracy przykładach. W przytoczonych przykładach stosowanych w eksperymentach numerycznych nie ma pełnej informacji odnośnie materiałów stosowanych w konstrukcji nawierzchni oraz rozpoznania podłoża gruntowego. Sytuacja ta jest analogiczna w przypadku omawiania poligonu badawczego, stanowiącego rzeczywisty fragment drogi. Proszę o wyjaśnienie czy Kandydat wykonywał badania terenowe gruntu oraz badania laboratoryjne dla próbek z odwiertów, np. dla mieszanek mineralno-asfaltowych i jakie różnice otrzymał. Proszę o uzupełnienie danych w przypadku przedstawionego w pracy poligonu badawczego.

Drugą uwagę stanowi konieczność wyjaśnienia jaka jest dokładność pomiarów samej aparatury badawczej stosowanej w poszczególnych badaniach i jak błąd pomiarowy aparatury wpłynął na otrzymane wyniki. Proszę o wyjaśnienie, czy jest możliwość uwzględnienia błędów pomiarowych w zaproponowanych algorytmach i jeśli tak, to w którym miejscu.

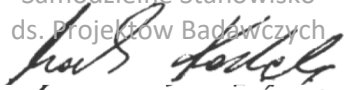
Trzecia jest związana z przedstawionym w pracy modelem numerycznym. Na otrzymane w modelach numerycznych wielkości duży wpływ ma przyjęta wielkość obszaru obliczeniowego, jak również inne uproszczenia związane z koniecznością odzwierciedlenia zjawisk rzeczywistych w modelu numerycznym. Kandydat przedstawił na rys. 60 opracowany model nawierzchni, nie omówił jednak budowy modelu obliczeniowego układu nawierzchnia-podłoże gruntowe, m.in. warunków brzegowych, przyjętej wielkości oczek siatki dyskretyzującej. Z tym wiąże się również konieczność podania uzasadnienia stosowanych uproszczeń na wielkości otrzymane w analizach. Uzupełnienia także wymaga informacja jak przyjęte do analizy wstecznej wielkości zmierzone (z pewną dokładnością) wpływają na analizowane w pracy wartości parametrów materiałowych.

Poza tym w pracy występują pewne drobne nieścisłości, wymagające uzupełnienia. Proszę o informację, czy praca była wykonywana w ramach projektu naukowego w ramach programu badań stosowanych, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (nr PBS3/B6/38/2015) czy w pracy wykorzystano już efekty tej pracy.

Komentarza wymagają także przytoczone w pracy dane. Kandydat przedstawił przykładowe dane, np. w przypadku pomiaru grubości warstw nawierzchni na rys. 20, czy skanowania profilu nawierzchni – na rys. 67-69, jednakże nie podał skąd pochodzą dane i kto jest ich autorem. Brak jest także określenia, odnośnie kto jest autorem poszczególnych zdjęć przytoczonych w pracy. Bardzo proszę o uzupełnienie tych informacji w trakcie publicznej obrony.

## 7. Ocena końcowa

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) oraz Ustawą z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata, a także umiejętność prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że warunki te w odniesieniu do rozprawy **mgr. inż. Przemysława Górnasia** pt. *„Nośność doraźna asfaltowych nawierzchni drogowych w aspekcie dynamicznych obciążeń wywołanych ruchem pojazdów”* zostały spełnione. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Przemysława Górnasia** do publicznej obrony. Ponadto z uwagi na osiągnięcie naukowe w znacznym potencjale aplikacyjnym – opracowanie autorskiej metody oceny nośności doraźnej nawierzchni drogowej oraz wykazany warsztat naukowca w zakresie zaawansowania w wykorzystaniu środowiska narzędzi komputerowych wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Samodzielne Stanowisko  
ds. Projektów Badawczych  
  
dr hab. inż. Marta Kadela, prof. ITB