

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgra inż. Przemysława Górnasia pt: „NOŚNOŚĆ DORAŻNA ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH W ASPEKTCIE DYNAMICZNYCH OBCIĄŻEŃ WYWOŁANYCH RUCHEM POJAZDÓW”

#### 1. PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 01.03.2022 r. oraz pisma zlecającego nr RD/d/18/2/2022 z dnia 03.03.2022 r., podpisanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Jacka Pielechę.

#### 2. PRZEDMIOT RECENZJI

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Nośność dorażna asfaltowych nawierzchni drogowych w aspekcie dynamicznych obciążeń wywołanych ruchem pojazdów” wykonana w Instytucie Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej przez mgra inż. Przemysława Górnasia. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Mieczysław Słowik, prof. PP, a promotorem pomocniczym jest dr inż. Andrzej Pożarycki.

Rozprawa została przygotowana w formie książki w formacie A4 i składa się z 187 stron, w tym 16 stron to Załączniki. Bibliografia obejmuje 285 pozycji, w tym 13 norm i 16 instrukcji technicznych.

#### 3. OMÓWIENIE TREŚCI ROZPRAWY

Rozprawa składa się z 11 rozdziałów o bardzo zróżnicowanej wielkości, których zakres krótko omówiono w rozdziale 3 rozprawy. Wszystkie rozdziały rozprawy stanowią spójną całość, tzn. poszczególne rozdziały wprowadzają czytelnika do tematyki rozprawy i wzajemnie uzupełniają się.

Niniejsza praca doktorska ma dwa zasadnicze cele – naukowy, jak i praktyczny, które omówiono w rozdziale 3. Celem o charakterze naukowym jest ocena nośności dorażnej asfaltowych nawierzchni drogowych, w której uwzględnia się dynamiczne obciążenia wywołane ruchem pojazdów, pokonujących nierówności nawierzchni jezdni. Praktycznym celem jest zaś opracowanie autorskiej metody oceny nośności dorażnej asfaltowych nawierzchni drogowych, w której wyznaczono parametry materiałowe warstw modeli nawierzchni uzyskanych z obliczeń na podstawie analizy wyników pomiarów ugięć nawierzchni wywołanych obciążeniem dynamicznym. Oba cele reprezentują interesujące i ambitne zagadnienie, które jest, z jednej strony, potrzebne w polskiej przestrzeni naukowej oraz z drugiej strony istotne w sensie praktycznym, uwzględniając czas w jakim znajduje się Polska sieć drogowa, tj. czas potrzeby diagnostyki i utrzymania wybudowanych nawierzchni w Polsce. Autor rozprawy postawił tezę, także w rozdziale 3 rozprawy, że istnieje zgodność między warunkami brzegowymi w statycznym modelu nawierzchni, a warunkami, które wymuszane są w trakcie pomiarów ugięć nawierzchni jezdni wywołanych obciążeniem dynamicznym, którą udowadnia w przeprowadzonych analizach w funkcji czasu.

Rozdział 1 stanowi ½ stronicowy wstęp, w którym autor wskazał na atrakcyjność omawianych w pracy zagadnień związanych z oceną parametrów stanu nawierzchni jakim między innymi jest nośność nawierzchni.

Rozdział 2 stanowi wprowadzenie do studiów na temat nośności nawierzchni, gdzie omówiono metody pomiarowe nośności w przypadku metod empirycznych oceny. Natomiast w przypadku metod mechanicznych omówiono modele nawierzchni, metody wyznaczania parametrów materiałowych warstw oraz ich szepności i obciążenia nawierzchni, jak i funkcje empiryczne oceny nośności. Przegląd literatury jest syntetyczny i zawiera elementy uwzględnienia w ocenie nośności nawierzchni dynamicznego obciążenia i lepkosprężyste zachowanie się mieszanek mineralno-asfaltowych.

Rozdział 4 prezentuje wprowadzone przez autora rozprawy pojęcie nośności doraźnej nawierzchni oraz przyjęcie założeń autorskiej metody oceny nośności doraźnej nawierzchni.

Rozdziały 5, 6 i 7 stanowią najważniejsze elementy recenzowanej rozprawy. Te rozdziały bardzo dobrze prezentują przykład samodzielnej pracy naukowej mgr inż. Przemysława Górnasia. W Rozdziale 5 zostały szczegółowo przedstawione metody wyznaczania wartości parametrów modeli nawierzchni asfaltowych tj. grubości i modułów sprężystości poszczególnych warstw nawierzchni wraz z podłożem nawierzchni oraz wielkości oddziaływania dynamicznego na podstawie wyników pomiarów pozyskanych z badań in situ, odpowiednio: prześwietleń georadarowych nawierzchni, ugięć nawierzchni urządzeniem FWD oraz skanowań profilu nawierzchni metodą triangulacji laserowej.

W przypadku wyznaczenia grubości poszczególnych warstw nawierzchni do modelu na podstawie pomiarów georadarem GPR zastosowano metodę modelowania numerycznego. Autor umiejętnie zaimplementował wyszukany w literaturze skrypt do oprogramowania MATLAB, gdzie z wykorzystaniem wyidealizowanego jednowymiarowego numerycznego modelu badania nawierzchni metodą profilowania refleksyjnego przetworzył pomiary urządzeniem GPR i obliczał grubości warstw. Opracowany model obliczeniowy pozwolił w pracy zrealizować cykle obliczeniowe, które wskazywały na różnice do 5 mm przyjętych i obliczonych grubości warstw.

Moduły sprężystości warstw modelu nawierzchni zostały wyznaczone na podstawie autorskiej procedury obliczeniowej pomierzonych ugięć nawierzchni urządzeniem typu FWD. Procedurę obliczeniową oparto na teorii sygnałów, gdzie funkcje siły i przemieszczeń poddawano transformacji Fouriera w dziedzinie częstotliwości pozbawionej efektów dynamicznych. Dzięki czemu połączono statyczny model i quasi-statyczną krzywą ugięć, zapewniając zgodność warunków brzegowych, między dynamicznym charakterem badań FWD, a statyczną definicją obciążenia w modelu sprężystym nawierzchni, który wykorzystano do obliczeń nawierzchni. Jednocześnie autor rozprawy rozszerzył zakres obliczeń parametrów materiałowych z uwzględnieniem obciążeń dynamicznych w opracowanych przez siebie skryptach do oprogramowania MATLAB. Obliczenia prowadzono z wykorzystaniem kilku modeli i wielu częstotliwości i wielkości obciążenia. Opracowane procedury obliczeniowe zaprezentowano w modelu obliczeniowym nawierzchni przy pomocy komercyjnego oprogramowania Abaqus (MES), gdzie wykorzystano warunki obciążenia i warunki brzegowe takie jakie występują podczas badań urządzeniem FWD. Wykonane obliczenia odwrotne modułów sprężystości i sztywności w modelu nawierzchni uwzględniają materiał lepkosprężysty w przypadku warstw asfaltowych oraz sprężysty w przypadku pozostałych warstw. Proponowany model obliczeniowy wskazuje na niskie, poniżej 1%, różnice względne między wartościami modułów zdefiniowanych i obliczonych.

Oddziaływanie dynamiczne poruszającego się pojazdu po ocenianej nawierzchni wyznaczono poprzez zamodelowanie ruchu obciążenia po zeskanowanym profilu nawierzchni. Metodę triangulacji laserowej profilu nawierzchni doktorant wykorzystał, którą już wcześniej wypracowano podczas realizacji projektu badawczego na zlecenie NCBiR pt. Inteligentny system monitoringu stanu nawierzchni jezdni, w którym Przemysław Górnaś był jednym z współautorów. Dodatkowo Doktorant wprowadził nowy element, procedurę wyliczenia profilu nawierzchni, uwzględniającą korekty wynikające z drgań i obrotów układu kamera - linia laserowa względem skanowanego profilu nawierzchni.

Rozdział 6 prezentuje weryfikację doświadczalną opracowanych modeli wyznaczenia wartości parametrów nawierzchni asfaltowych opartą o wyniki badań nawierzchni odcinka testowego tj. wyznaczenie grubości warstw poprzez skanowanie GPR, wyznaczenie modułów sprężystości poprzez obliczenia odwrotne pomierzonych ugięć z aparatu typu FWD fragmentu ulicy Jacka Rychlewskiego w Poznaniu w pobliżu Politechniki Poznańskiej oraz weryfikację doświadczalną metody skanowania profilu nawierzchni, w której Autor wprowadził korekty związane ze zmianą lokalizacji kamery i lasera względem skanowanej powierzchni.

W rozdziale 7 zaprezentowano model nawierzchni do dwuetapowego obliczania krytycznych wartości odkształceń, który uwzględni wcześniej wypracowane metody do wyznaczenia parametrów nawierzchni: zmiennej grubości warstw w przekroju podłużnym, zmiennych modułów sprężystości w funkcji częstotliwości w przekroju podłużnym i profilu nawierzchni oraz model poruszającego się obciążenia dynamicznego nawierzchni. W pierwszym etapie wyliczane są parametry dynamicznego obciążenia w funkcji prędkości modelu pojazdu po zmierzonym profilu nawierzchni, które stanowią podstawę drugiego etapu, do obliczeń statycznych w modelu sprężystym nawierzchni w funkcji zmiennego obciążenia w określonej częstotliwości oraz wartości modułów sprężystości warstw w określonej częstotliwości wartości amplitudy siły. Tak obliczone odkształcenia krytyczne w poszczególnych warstwach przeliczono do zależności od lokalizacji w profilu podłużnym.

W rozdziale 8 Autor dokonał implementacji empirycznych zależności do obliczenia nośności doraźnej nawierzchni asfaltowych do powszechnie stosowanych w Polsce kryteriów zmęczeniowych opracowanych przez Instytut Asfaltowy z USA tj. kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych oraz kryterium deformacji strukturalnych podłoża gruntowego w zależności od lokalizacji w profilu podłużnym.

Rozdział 9 rozprawy doktorskiej dotyczy analizy wyników obliczeń nośności doraźnej nawierzchni na odcinku testowym z wykorzystaniem numerycznie wygenerowanego profilu nawierzchni, którego analiza wyników miała być jednoznaczna w zakresie związku nierówności i nośności nawierzchni. Stwierdzono, że większe nierówności nawierzchni wpływają jednoznacznie na ocenę doraźnej nośności nawierzchni, zwracając niższe wartości trwałości zmęczeniowych w obu kryteriach.

Całość rozprawy zamyka rozdział 10, wnioski z całej pracy oraz rozdział 11, w którym zawarto kierunki dalszych prac badawczych.

#### **4. OCENA ROZPRAWY**

Ocena rozprawy została przedstawiona w dwóch częściach. W pierwszej części znajduje się ogólna ocena merytoryczna z wyszczególnieniem wybranych oryginalnych, według recenzenta, aspektów rozprawy. Natomiast w drugiej części oceny zawarto szczegółowe również wybrane uwagi recenzenta zarówno natury merytorycznej, jak i redakcyjne oraz pytania do Doktoranta.

##### **Ocena merytoryczna**

Dobór tematyki, cele badawcze oraz zakres prac recenzowanej rozprawy dobrze adresują obecne potrzeby naukowe w dziedzinie drogownictwa rozpatrywane w Polsce i na świecie. Zagadnienie jest potraktowane poprawnie i kompleksowo. Praca zawiera przegląd literatury, część tworzenia algorytmów do metod przetwarzania danych pomiarowych nawierzchni: z georadaru GPR, urządzenia typu FWD i skanera laserowego profilu nawierzchni, weryfikację doświadczalną opracowanych metod przetwarzania danych pomiarowych, opracowanie modelu nawierzchni i obciążenia oraz implementację opracowanych metod przetwarzania danych w opracowanych modelach do wyznaczenia doraźnej nośności nawierzchni asfaltowych. Jest to dobre ujęcie zagadnienia i efektywna próba analizy stanu konstrukcji nawierzchni asfaltowej przy uwzględnieniu dynamicznego obciążenia nawierzchni powodowanego nierównościami nawierzchni z wykorzystaniem obecnie najbardziej zaawansowanych urządzeń do badań nawierzchni drogowych.

Niniejsza praca przedstawia oryginalny i kompleksowy projekt dotyczący, oceny nośności nawierzchni, nośności doraźnej nawierzchni asfaltowej z wykorzystaniem w procedurze oceny nośności badań stanu nawierzchni asfaltowych urządzeniami GPR, FWD, skaner laserowy po udoskonaleniu pewnych elementów samych pomiarów oraz elementów procedur obliczeniowych przy obróbce danych pomiarowych i obliczaniu finalnych wartości pomiarowych oraz nośności nawierzchni. Ostatecznie doktorant zaproponował etapowo zaawansowane procedury przetworzenia samych danych pomiarowych dla każdego stosowanego badania terenowego urządzeniami GPR, FWD i skanera laserowego oraz procedurę obliczania nośności doraźnej nawierzchni asfaltowej z wykorzystaniem oddziaływania dynamicznego poruszającego się pojazdu po nierównej nawierzchni. W pracy Pan mgr inż. Przemysław Górnia poruszył szereg istotnych zagadnień związanych z przetworzeniem wyników pomiarowych i przedstawił kilka oryginalnych rozwiązań, które mogą posłużyć innym polskim naukowcom w adaptacji jego procedur przetwarzania danych pomiarowych lub dalszemu rozwojowi tych zagadnień. Autor podjął się trudnego i ambitnego zadania, którego efekty w praktyce (różnice w ocenie nośności) mogą być widoczne po kilkuletnim, kilkunastoletnim okresie eksploatacji. Praca ta moim zdaniem ma ważne znaczenie poznawcze w zakresie metod przetwarzania danych oraz techniczne dla rozwoju coraz dokładniejszych metod oceny stanu nawierzchni, a przede wszystkim maksymalnego wykorzystania rejestrowanych sygnałów pomiarowych w nowoczesnych i zaawansowanych badaniach nawierzchni drogowych urządzeniami GPR, FWD i skanerem laserowym, coraz powszechniej stosowanych. Podjęte zagadnienia mają także aspekt ekonomiczny i społeczny, gdyż precyzyjna znajomość stanu nawierzchni, w tym przypadku nośności doraźnej nawierzchni pozwala efektywniej zarządzać nawierzchniami, czyli odpowiednio wydatkować środki finansowe na poszczególne interwencje w nawierzchnie, przewidując potrzebę głębszej naprawy lub istotnego wzmocnienia, czy wręcz rozbiórki.

Doktorant wykonał bardzo zaawansowane i obszerne w swoim zakresie analizy przetwarzania danych pomiarowych, gdzie wprowadził kilka oryginalnych rozwiązań i autorskich procedur obliczeniowych, a w tym: kompleksową procedurę obliczeń odwrotnych opartą na teorii sygnałów, zapewniając zgodność warunków brzegowych z samego badania i w modelowaniu do wyznaczenia modułów sprężystości/sztywności; korekty związane ze zmianą lokalizacji kamery i lasera względem skanowanej nawierzchni; metodę wyznaczenia wielkości oddziaływania dynamicznego poruszającego się obciążenia po nierównej nawierzchni oraz wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej do weryfikacji korekt związanych ze zmianami kamery i lasera podczas badania profilu. Ostatecznie Doktorant wprowadził szczegółowy parametr oceny stanu nawierzchni tj. nośność doraźną nawierzchni oraz przede wszystkim opracował autorską metodę oceny nośności doraźnej nawierzchni asfaltowej z uwzględnieniem dynamicznego obciążenia, co było głównym celem pracy.

Na zakończenie ogólnej oceny merytorycznej należy wspomnieć, że recenzowana praca jest przygotowana na wysokim poziomie merytorycznym, demonstrująca zaawansowane umiejętności doktoranta. Doktorant wykazał zaawansowane umiejętności w niezbędnym dziś w nauce, gdzie gromadzone są wielkie ilości danych pomiarowych, oprogramowaniu MATLAB. Należy dodać i podkreślić, że niektóre elementy opracowanej procedury oceny nośności nawierzchni oraz metod wyznaczania parametrów do opracowanego modelu nawierzchni zostały już zweryfikowane podczas międzynarodowych recenzji do najbardziej prestiżowego czasopisma w środowisku drogowym - Road Materials and Pavement Design (Q1; IF=3,792), gdzie Doktorant opublikował artykuły jako współautor.

#### **Uwagi merytoryczne i redakcyjne**

1. Str. 30 stwierdzono, że współczynniki przeliczeniowe na osie standardowe nie uwzględniają szeregu czynników związanych z dynamiką ruchu tych pojazdów, podczas gdy ostatnio opublikowane w roku 2014 współczynniki uwzględniają takie oddziaływania, jednak przyjęto jedną reprezentatywną wartość niezależnie od stanu nawierzchni i klasy technicznej drogi.
2. W tekście rozprawy doktorant posługuje się terminem w przypadku badań nawierzchni – w skali naturalnej lub badania wielkoskalowe. Nie ma powodów by tworzyć nowe terminy dla już

utartego nazewnictwa w drogownictwie. W Polsce od lat stosuje się termin – w pełnej skali, które pochodzi od anglojęzycznego terminu – full-scale.

3. Str.40 literówka KR5, powinno być KR2.
4. W punkcie 5.3 doktorant wskazał "współrzędne przestrzenne". W związku z tym na Rys. 66 powinno zostać wskazane urządzenie GNSS, lub powinien zostać wskazany lokalny układ XYZ. Bez jego definicji trudno jest odnieść się do poszczególnych osi wynikowych.
5. Doktorant odwołuje się do "triangulacji laserowej" jednak w pracy nie ma jej szerszego opisu.
6. Rys. 79 i 80. Jeżeli zostały wyznaczone powierzchnie, to czy można uzyskać ich parametry? Z Rysunków niewiele wynika.
7. Rys. 92. Czy na pewno jest to nawierzchnia? Nie jest czytelne.
8. Rys. 96. Pojawiło się wiele zmiennych w opisie Rysunku. Która zmienna co oznacza i gdzie to jest zaznaczone?
9. W pracy pojawia się zapis, dotyczących sztucznych sieci neuronowych. Jeżeli zostały wykorzystane kluczowe są parametry. W jaki sposób została ona zbudowana? Na jakich zasadach?
10. Co było wartościami zdefiniowanymi, na jakiej zasadzie zostały ustalone grubości warstw, że ustalono różnice 1%?
11. Niewątpliwie Doktorant wykazał się dużym nakładem pracy, jednak pokazanie parametrów kalkulacji jest bardzo ważne. W przypadku publikacji tych wyników, jest to obowiązek by to pokazać.
12. Brak zamieszczonych analiz wrażliwości wyników pomiarowych na poszczególne obliczane parametry, czy nośność doraźną. Dlaczego takich analiz nie zamieszczono w pracy?
13. Obserwowano zmienność grubości pakietu asfaltowego dochodzącą do 5 cm (rys. 24), na bardzo krótkim odcinku od nowa budowanej nawierzchni. Z czego wynikają takie różnice? Taka zmienność grubości warstw asfaltowych wydaje się być mało prawdopodobna.
14. Rys. 139, pokazuje różnice w obliczonych trwałościach zmęczeniowych przy uwzględnieniu dynamicznego oddziaływania obciążenia. Natomiast wartości modułów sprężystości i wartości grubości warstw nawierzchni przyjęto z jednego profilu, a obciążenie reprezentuje całą powierzchnię: długość i szerokość. Czy na zmianę trwałości zmęczeniowej wpływa tylko zmiana nierówności; pomijany jest wpływ grubości warstw, gdyż z jednego przekroju? Podobnie sprawa wygląda w przypadku modułów E, gdyż pomiar FWD w jednym przekroju/profilu. Brak w pracy analiz wrażliwości wyliczanej trwałości na zmianę poszczególnych parametrów.
15. Na rys. 140 przedstawiono międzyszczytowe wartości w przekroju poprzecznym, skoro tylko jeden profil pomiaru grubości h i modułu E bez komentarza czy wcześniejszego wyjaśnienia.
16. Rys. 140, lokalizacja na szerokości 0-3 m to jaką pozycję/stronę nawierzchni reprezentuje?
17. W opinii recenzenta w pracy zabrakło porównań wyliczeń poszczególnych parametrów według autorskich metod doktoranta z uznanymi, często uproszczonymi, ale komercyjnymi metodami, które są stosowane szeroko przez użytkowników na świecie.
18. W opinii recenzenta w pracy mogłyby pojawić się wyliczenia wpływu, wprowadzonych przez Doktoranta rozszerzeń i dokładniejszego wykorzystania wyników pomiarów na poszczególnych etapach do powszechnie stosowanych metod wyliczania parametrów, na wynik końcowy tj. nośność nawierzchni.

#### **Pytania do Doktoranta**

1. Do wyliczeń trwałości zmęczeniowej wykorzystywano obciążenie dynamiczne obliczane przy pomocy profilu nawierzchni, czy w takim przypadku grubości warstw nawierzchni oraz moduły sprężystości warstw były wyliczane z tej samej płaszczyzny pomiarowej co profil?
2. W analizie mechanicznej uśredniono wartości grubości warstw, wprowadzono wartości modułów i obciążenia. Co było powodem, jakie jest uzasadnienie takiego podejścia? Brak analizy wrażliwości.

3. Czy zaproponowane metody wyliczania poszczególnych parametrów  $h$ ,  $E$  i profili nawierzchni mogą być wykorzystane wprost do analiz wyników pomiarowych z komercyjnie produkowanych urządzeń GPR, FWD i LCMS?
4. Weryfikacja/walidacja z wykorzystaniem lepkości była dla temperatury około 20°C. Jakie jest ograniczenie zakresu temperatury, dla których walidacja jest prawidłowa? Czy zmienne warunki terenowe przy jakich wykonuje się badania FWD w warunkach rzeczywistych (między 5 a 35°C w skrajnych przypadkach) mieszczą się w zakresie danych, które były wykorzystane do weryfikacji/walidacji. W pracy nie uszczegółowiono ograniczeń.
5. Jakie są ograniczenia opracowanych i wprowadzonych metod pomiarowych do oceny nośności doraźnej nawierzchni?
6. Ile czasu potrzeba do przetworzenia opracowanymi procedurami wszystkich wyników pomiarowych 10 km 1 pasa nawierzchni asfaltowej, żeby można było: a) rozpocząć analizy poszczególnych parametrów, b) wykonać analizy nośności doraźnej nawierzchni? Czy zostały opracowane środowiska/platformy do obsługi tych czynności przez technika/inżyniera, użytkownika ze strony zarządcy dróg?
7. Jak uwzględnia się lub można uwzględnić ograniczoną szczepność międzywarstwową w pakiecie warstw asfaltowych w ocenie nośności doraźnej nawierzchni?
8. Czy Doktorant analizował wpływ osłabienia warstwy wiążącej w grubym pakiecie warstw asfaltowych ze względu na spadek odporności na wodę na ocenę nośności doraźnej nawierzchni? Jak należy rozwiązać problem braku zmian w obliczanych parametrach pakietu warstw asfaltowych, podczas gdy na powierzchni obserwowane są istotne spękania nawierzchni powodowane osłabieniem warstwy wiążącej?
9. Jak wpłynie na metody wyznaczania parametrów warstw nawierzchni w przypadku oceny długich odcinków zmiana temperatury nawierzchni podczas kampanii pomiarowej o 15°C?

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Rozprawa ma charakter naukowy i jest świadectwem dużego wkładu Autora w rozwój i aplikacje metod przetwarzania danych pomiarowych oraz ich szerokiego wykorzystania w modelowaniu poszczególnych procesów pomiarowych oraz modelowaniu kompleksowej nawierzchni. Pomimo właściwie niewielkiej liczby niejasności wspomnianych powyżej, dobrze oceniam zarówno zakres oraz wykonanie rozprawy doktorskiej. Pan mgr inż. Przemysław Górnaś wykazał się bardzo dobrymi umiejętnościami analitycznymi i przedstawił kompleksową analizę nośności doraźnej asfaltowej nawierzchni drogowej z uwzględnieniem efektów dynamicznych od poruszających się pojazdów. Wszystkie postawione cele zostały zrealizowane a tezę potwierdzono. Mam nadzieję, że Pan mgr inż. Przemysław Górnaś będzie w przyszłości kontynuował ten kierunek i udoskonalał zaproponowane przez siebie podejście do oceny stanu nawierzchni.

Niniejszym potwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Przemysława Górnasia spełnia warunki Ustawy i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jednocześnie recenzowana rozprawa wykazuje bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Przemysława Górnasia i potwierdza Jego umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

**Wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Przemysława Górnasia do publicznej obrony przed Komisją Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej.**

Z poważaniem,

  
dr hab. inż. Piotr Jaskuła, prof. PG