

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: antoni.szydlo@pwr.edu.pl

Wrocław, 2022- 05 - 05

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Blachy pt: **”Badanie i ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa lotów”**

1. Uwagi formalne

Recenzja rozprawy została opracowana na podstawie pisma zlecającego z dnia 07.03.2022 r., podpisanego przez Z-cę Przewodniczącą Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych dra hab. inż. Mariusza Ziębę, prof. ITWL, na podstawie uchwały Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych z dnia 23 lutego 2022 roku.

Promotorem rozprawy jest: płk. dr hab. inż. Mariusz Zięba prof. ITWL.

Promotorem pomocniczym jest: ppłk dr hab. inż. Mariusz Wesołowski

2. Tematyka i aktualność rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień związanych z badaniami i oceną właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych. Właściwości przeciwpoślizgowe studiowane w pracy charakteryzowane są przez współczynnik tarcia oraz głębokość makrotekstury nawierzchni. W Polsce tematyka ta jest rozwijana i nie ma do końca wypracowanych kryteriów oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych użytkowanych przez samoloty cywilne oraz wojskowe. Praca ma charakter aplikacyjny i jest interdyscyplinarna umiejscowiona w dyscyplinach: Inżynieria Mechaniczna oraz Inżynieria Lądowa i Transport. Cel i problem naukowy w pracy są określone jednoznacznie. Celem pracy jest opracowanie metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w szczególności zaprojektowanie i wykonanie układu pomiarowego identyfikującego w sposób ciągły współczynnik tarcia oraz

głębokość tekstury nawierzchni lotniskowych. Są to zagadnienia, które są studiowane również w instytutach badawczych w światowej technice drogowej, lotniskowej i jak dotąd nie mają jednoznacznego rozstrzygnięcia. Temat pracy moim zdaniem został określony trafnie. Tematyka analizowana w pracy jest jak najbardziej aktualna tym bardziej, że w Polsce rozwijana jest budowa oraz przebudowa obiektów infrastruktury transportowej w tym nawierzchni lotniskowych.

3. Treść i zakres rozprawy

Praca składa się z 6 rozdziałów przedstawionych na 175 stronach formatu A4. W pracy zestawiono spis wykorzystywanej literatury (91 pozycji). Na początku rozprawy zamieszczone jest oznaczenie skrótów i symboli oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1, wstępie, Autor omówił wpływ stanu nawierzchni lotniskowych na bezpieczeństwo statków powietrznych, korzystających z tych nawierzchni.

W rozdziale 2 scharakteryzował pojęcie współczynnika tarcia oraz makrotekstury, definiując podstawowe parametry niezbędne do oceny tych wielkości. Przedstawił wykorzystywany w budownictwie lotniskowym sprzęt do pomiaru współczynnika tarcia oraz makrotekstury. Dokonał przeglądu literatury w zakresie oceny współczynnika tarcia oraz makrotekstury. Podał wymagania obowiązujące dla nawierzchni lotniskowych w zakresie współczynnika tarcia. Stwierdzając, że brak jest takowych dla makrotekstury. W rozdziale tym określił tezę oraz cele pracy. Tezę sformułował następująco: *Ocena właściwości przeciwpoślizgowych z wykorzystaniem opracowanego układu pomiarowego i metody badań umożliwi opracowanie nowych kryteriów odbiorczych dla nawierzchni lotniskowych.* Dla udowodnienia tezy sformułował trzy zasadnicze cele pracy:

- opracowanie metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych,
- zaprojektowanie i wykonanie układu pomiarowego do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych, umożliwiającego równoczesny, dynamiczny oraz ciągły pomiar głębokości tekstury i współczynnika tarcia,
- weryfikacja przyjętej metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych z wykorzystaniem danych pozyskanych za pomocą zaprojektowanego układu pomiarowego.

Proponowaną metodykę pomiaru Doktorant zweryfikował na istniejących obiektach lotniskowych z różnymi rodzajami nawierzchni: betonowe i mieszanki mineralno-asfaltowych.

W rozdziale 3 przedstawił Doktorant koncepcję własnego układu pomiarowego w tym modułu do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia, oraz modułu do pomiaru ciągłego makrotekstury. Do oceny współczynnika tarcia wykorzystał tester tarcia – Airport Surface Friction Tester. Dla tego testera zamontował moduł do oceny głębokości tekstury tj. skaner profilu 2D/3D typu scanCONTROL HIGH_SPEED 2660-100 firmy Micro-Epsilon. Wykorzystał programy pomiarowe umożliwiające rejestrację profilu. W efekcie skonstruowany zestaw pomiarowy umożliwia jednocześnie ciągły pomiar współczynnika tarcia oraz współczynnika CMPTD współczynnika ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury (zdefiniowanego przez Autora).

W rozdziale 4, który jest podstawowym w pracy, przedstawił zakres oraz wyniki badań. Badania podzielił na badania wstępne oraz badania terenowe (zasadnicze). Badania wstępne obejmujące badania laboratoryjne oraz wstępne badania terenowe. Badania laboratoryjne miały na celu określenie korelacji pomiędzy metodą proponowaną przez Doktoranta w zakresie (makrotekstury) a metodami profilometryczną (aparatura ELATextur) i objętościową. Wstępne badania terenowe miały za zadanie konfigurację zaproponowanego modułu do oceny głębokości tekstury w warunkach *in situ*. Badania zasadnicze terenowe wykonane zostały na rzeczywistych obiektach lotniskowych przy różnych prędkościach pomiarowych (65 km/h oraz 95 km/h) na nawierzchniach z betonu cementowego oraz z betonu asfaltowego. Nawierzchnie te były w różnym przedziale czasowym eksploatowane. Badał nawierzchnie nowe – N, eksploatowane – E, planowane do remontu – S (z powodu niskiego wsp. tarcia). W badaniach zasadniczych Doktorant określał w sposób ciągły zaproponowany wskaźnik makrotekstury CMPTD, współczynnik tarcia oraz parametry MPD i ETD wyznaczone metodą profilometryczną punktową.

W rozdziale 5 Doktorant przeprowadził analizę statystyczną wyników badań stosując modele statystyczne oraz eksperckie w celu oceny współczynnika tekstury CMPTD w powiązaniu ze współczynnikiem tarcia. Ustalił dla nowych nawierzchni z betonu asfaltowego oraz betonu cementowego proponowane wartości współczynnika CMPTD odpowiednio 0,67 mm oraz 0,28 mm. Wykorzystując zależności statystyczne określił wymagane parametry tekstury nowych nawierzchni określanymi metodą profilometryczną punktową, chodzi o parametry MPD i ETD. Są one mniejsze od aktualnie wymaganych wartości MTD równych 1 mm.

W rozdziale 6 Autor przedstawił podsumowanie i wnioski wynikające z pracy. W rozdziale podsumowując wyniki swoich badań zaproponował kryteria oceny makrotekstury dla nawierzchni lotniskowych, wykorzystując zaproponowany system pomiarowy

współczynnika CMPTD, który ocenia makroteksturę w sposób ciągły jak również zaproponował kryteria oceny za pomocą metody punktowej profilometrycznej. Kryteria oceny sformułowane przez Doktoranta odnoszą się do nawierzchni nowych, eksploatowanych i przewidzianych do działań naprawczych oraz wartości graniczne dla dwóch rodzajów nawierzchni z betonu asfaltowego oraz z betonu cementowego.

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa mgra inż. Krzysztofa Blachy dotyczy ważnego problemu występującego w budownictwie lotniskowym ale i również w budownictwie drogowym nie tylko polskim ale również światowym związanym z oceną właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych oraz drogowych. Są to istotne badania decydujące o bezpieczeństwie korzystających z nawierzchni statków powietrznych jak również korzystających z nich pasażerów. Doktorant podjął się trudnego i ambitnego zadania badawczego, którego efekty w praktyce mogą być widoczne na nawierzchniach lotniskowych po kilkuletnim okresie eksploatacji. Praca ta moim zdaniem ma ważne znaczenie poznawcze i techniczne dla rozwoju metod oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych. Problem ma również aspekt ekonomiczny, gdyż przedwczesne degradacje nawierzchni lotniskowych prowadzą do wzrostu nieprzewidywanych kosztów w zakresie utrzymania. Doktorant metodycznie i systematycznie realizował cele pracy. Zaproponował zestaw aparatury, który umożliwia w jednym przebiegu ciągły pomiar współczynnika tarcia oraz współczynnika określającego makroteksturę. Wykonując szereg badań na różnych rodzajach nawierzchniach jeżeli chodzi o materiał (beton asfaltowy i beton cementowy) jak i również różny wiek nawierzchni zaproponował własne kryteria oceny makrotekstury za pomocą zaproponowanego własnego układu pomiarowego, który realizuje pomiar w sposób ciągły. Zaproponował równocześnie kryteria oceny makrotekstury wykorzystując znane i obowiązujące metody punktowe profilometryczne.

Kryteria te opracował korzystając z pomiarów współczynnika tarcia dla oceny którego wykorzystał opracowane dla testera (tarcia) – Airport Surface Friction Tester, kryteria.

Doktorant wnioski formułował wykorzystując własne zbiory wyników badań oraz weryfikując modele statystyczne i systemy eksperckie. Przedstawione w zakończeniu pracy wnioski opierają się o rezultaty badań wykonanych w laboratorium oraz na rzeczywistych obiektach lotniskowych, stanowiąc ich uogólnienie. Interesujący jest zaproponowany przez

Doktoranta zestaw pomiarowy umożliwiający ciągły pomiar makrotekstury równocześnie z pomiarem współczynnika tarcia. Prezentowana w rozprawie bibliografia odnosi się do zagadnień studiowanych w pracy i jest obszerna i merytoryczna.

5. Uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy nasuwają się następujące uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta na które oczekuję odpowiedzi podczas obrony:

- 1) Chciałbym uzyskać informację od Doktoranta na temat cech badanych nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych oraz betonów cementowych np. maksymalnego uziarnienia lub sposobu wykańczania górnych powierzchni zwłaszcza w odniesieniu do nawierzchni z betonu cementowego. Parametry te mogą wpływać na identyfikowane współczynniki tarcia bądź makroteksturę.
- 2) Wiadomym jest, że wartości współczynnika tarcia zależą od rodzaju zastosowanego sprzętu pomiarowego. Dla każdego sprzętu stosuje się różne kryteria oceny nawierzchni. Proszę wyjaśnić jaki faktycznie powinien być obiektywny współczynnik tarcia dla nawierzchni lotniskowych i od czego on zależy?
- 3) Czy temperatura nawierzchni ma wpływ na wartości współczynników tarcia i czy Doktorant analizował taki wpływ zwłaszcza w nawierzchniach z mieszanek mineralno-asfaltowych?
- 4) Śledząc rejestrowane przez Doktoranta wyniki pomiarów zwłaszcza współczynnika tarcia zauważyłem, że dla eksploatowanych nawierzchni uzyskiwał w niektórych przypadkach większe wartości tego współczynnika niż dla nowych. Jak to należy wytłumaczyć?
- 5) Doktorant twierdzi, że na badanych nowych nawierzchniach lotniskowych w Polsce trudno jest osiągnąć średnią głębokość makrotekstury MTD równą 1 mm. Stąd poszukiwania korelacji ze współczynnikiem tarcia i poszukiwanie innych wymaganych wartości głębokości makrotekstury. W związku z tym rodzi się pytanie czy nie należy poszukiwać zwiększenia głębokości makrotekstury w zmianie technologii wykańczania górnych powierzchni nawierzchni lotniskowych? Przykładowo w budownictwie drogowym w nawierzchniach drogowych stosuje się technologię tzw. odkrytego kruszywa.

- 6) Czym należy tłumaczyć uzyskiwaną w badaniach Doktoranta wysoką wartość współczynnika tarcia i małą głębokość makrotekstury. Powstaje pytanie czy mała głębokość makrotekstury wystarczy na odprowadzenie wody spod opony.
- 7) Czy próbował Doktorant mierzyć głębokość makrotekstury za pomocą profilometru laserowego RSP używanego w budownictwie drogowym?
- 8) Zaproponowane kryteria oceny makrotekstury powinny mieć adnotację przy jakich prędkościach pomiarowych są określone.

6. Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest poprawnie pod względem redakcyjnym. Czyta się ją z zainteresowaniem. Ciekawe są rozdziały z przeglądem literatury. Podczas studiowania pracy nasunęły mi się uwagi redakcyjne z których jako najważniejsze, moim zdaniem, podaję poniżej:

- 1) Moim zdaniem wyniki badań zamieszczone w rozdziale 4 można było zamieścić w załączniku a w rozdziale tym rozbudować analizę wyników m.in. o analizę hipotez statystycznych z oceną różnych populacji.
- 2) Niekiedy tłumaczenia z angielskiego są tłumaczeniami dosłownymi np. okrągły miernik tekstury.
- 3) Ponadto zauważono w pracy kilka omyłek redakcyjnych, literówek itp.

Mam nadzieję, że przy ewentualnej publikacji wyników badań Autor wyeliminuje w/w uwagi redakcyjne.

7. Osiągnięcia zawarte w rozprawie

Biorąc pod uwagę całość przedstawionej rozprawy stwierdzam, że dotyczy ona ważnego zagadnienia związanego z oceną cech powierzchniowych nawierzchni lotniskowych pod kątem właściwości przeciwpoślizgowych. Badania Doktoranta pozwoliły na opracowanie zestawu pomiarowego do ciągłego i równoczesnego pomiaru współczynnika tarcia oraz profilu i głębokości makrotekstury. Ponadto wyniki badań i analiz Autora wykazały, że jest możliwe określenie badanych parametrów na różnych nawierzchniach biorąc pod uwagę ich technologię budowy (z mieszanek mineralno-asfaltowych oraz z betonów cementowych) jak również ich wiek eksploatacji, począwszy od nowych do wyeksploatowanych. Ciekawym osiągnięciem Doktoranta jest korelacja uzyskanych wyników współczynnika CMPTD ciągłej

średniej głębokości profilu i tekstury w funkcji współczynników MPD (średniej głębokości profilu) i ETD (szacowanej głębokości profilu). Interesujące są wyniki badań Doktoranta w kwestii propozycji nowych kryteriów oceny nawierzchni lotniskowych w zakresie makrotekstury dla nawierzchni nowowytbudowanych, eksploatowanych oraz granicznych. Kryteria te odnoszą się do nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych oraz z betonów cementowych. Autor do realizacji celów pracy i udowodnienia postawionych tez wykonał obszerny program badań, zbierając dane empiryczne w warunkach laboratoryjnych oraz na rzeczywistych obiektach lotniskowych. W sposób czytelny metodami naukowymi (na podstawie wyników obserwacji zebranych w badaniach laboratoryjnych oraz pomiarach na rzeczywistych obiektach z wykorzystaniem modeli statystycznych i metod eksperckich) Doktorant rozwiązał zadanie naukowe i udowodnił postawioną tezę. Zdefiniował kryteria oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych. Podane powyżej uwagi merytoryczne i redakcyjne nie umniejszają wartości rozprawy jako całości i mam nadzieję, że zostaną wyjaśnione podczas obrony pracy.

8. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Blachy pt: "Badania i ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa lotów", przedstawia rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na dobry poziom wiedzy Doktoranta z dyscyplin Inżynieria Lądowa i Transport oraz Inżynieria Mechaniczna, a także na umiejętność prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Stwierdzam, że opiniowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania określone przez ustawę zgodnie z którą procedowana jest recenzowana praca doktorska.

Przedkładam Radzie Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

