

**Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Lądowa
i Transport Politechniki Warszawskiej
Pl. Politechniki 1
00-661 Warszawa**
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,
wybranego do przeprowadzenia postępowania)
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Mariusz WESOŁOWSKI
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia*30.04.2021 r.*.....

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria lądowa i transport*

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego:

*Monografia naukowa: Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów
funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów*

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***¹

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania
w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości
Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw
i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

.....*Mariusz Wesołowski*.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik nr 1 – Dane wnioskodawcy.

Załącznik nr 2 – Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora, dyplomy, świadectwa szkół wyższych.

Załącznik nr 3 – Autoreferat.

Załącznik nr 4 – Wykaz osiągnięć naukowych.

Załącznik nr 5 – Dokumentacja w wersji elektronicznej w 2 egz.

ppłk dr inż. Mariusz WESOŁOWSKI
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6
01-494 Warszawa

AUTOREFERAT

Warszawa 2021

1. Imię i nazwisko.

Mariusz WESOŁOWSKI

ORCID ID: 0000-0002-5545-8831

Scopus Author ID: 56814552700

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- Dyplom doktora nauk technicznych, specjalność: budownictwo, nawierzchnie lotniskowe wydany przez Wojskową Akademię Techniczną, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji w roku 2013.

Rozprawa doktorska pt.: *Nośność mobilnych pokryć kompozytowych stosowanych do odbudowy nawierzchni lotniskowych.*

Promotor: dr hab. inż. Piotr NITA, prof. ITWL

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jan MARSZAŁEK
prof. dr hab. inż. Antoni SZYDŁO.

- Świadectwo ukończenia studiów podyplomowych w Akademii Obrony Narodowej, Wydział Lotnictwa i Obrony Powietrznej, kierunek: zarządzanie lotnictwem w roku 2006.
- Dyplom ukończenia studiów magisterskich w Politechnice Warszawskiej, Wydział Inżynierii Lądowej, kierunek: budownictwo, specjalność: inżynieria komunikacyjna w roku 2003.
- Dyplom ukończenia studiów inżynierskich w Wojskowej Akademii Technicznej, Wydział Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej, kierunek: budownictwo, specjalność: eksploatacja i odbudowa lotnisk w roku 2000.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa. Okres zatrudnienia: od dnia 01.10.2007 do chwili obecnej.

Zajmowane stanowiska:

- 2012 do dziś Kierownik Zakładu Lotniskowego Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych,
- 2010 – 2012 - Kierownik pracowni w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych,
- 2007 – 2010 - Asystent w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Moim osiągnięciem naukowym, uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Inżynieria lądowa i transport”, określonym w art. 219. ust. 1. pkt 2. Ustawy, jest monografia naukowa pt.:

„Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów”

wydana przez Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w roku 2020, ISBN 798-83-61021-98-8, stron 276, recenzenci wydawniczy: dr hab. inż. Arkadiusz Kwiecień, prof. Politechniki Krakowskiej i dr hab. inż. Andrzej Leski, prof. Wojskowej Akademii Technicznej.

4.1. Uzasadnienie celu naukowego oraz osiągniętych wyników

Kompleksowe zarządzanie stanem technicznym nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk (EFL) jest kluczowym czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Sprawowanie kontroli nad elementami funkcjonalnymi lotniska powinno opierać się o rzetelne informacje o stanie technicznym nawierzchni uzyskiwane w sposób systemowy. Takie podejście umożliwia racjonalne planowanie napraw i remontów nawierzchni lotniskowych. Doświadczenia wielu państw potwierdzają, że właściwe zarządzanie infrastrukturą zarówno lotniskową, jak i drogową, musi polegać na szczegółowej i aktualnej informacji o stanie technicznym nawierzchni. Większości ponoszonych kosztów w procesie eksploatacji można uniknąć, diagnozując problem zanim stan nawierzchni w widoczny sposób się pogorszy, co ma związek z cyklem życia nawierzchni. Właściwe rozpoznanie stanu technicznego w danej chwili życia nawierzchni EFL oraz jego prognozowanie na przyszłość pozwala na podejmowanie odpowiednich działań znacznie wcześniej, niż bazując jedynie na wizualnej ocenie nawierzchni. Wczesne reagowanie na zmiany stanu technicznego nawierzchni pozwala na znaczne obniżenie kosztów zarówno finansowych, jak i społecznych. W pierwszej fazie życia nawierzchni proces degradacji jest powolny, a koszty naprawy ewentualnych uszkodzeń nawierzchni są niewielkie i nie różnią się między sobą w porównaniu rok do roku. Z czasem dynamika degradacji nawierzchni rośnie i w pewnym okresie osiąga taki poziom, że z roku na rok koszty naprawy zdecydowanie ulegają zwiększeniu. Jest to czas, gdy widoczne są już znaczne uszkodzenia nawierzchni, a jej stan techniczny można ocenić, jako „dostateczny”. W krótkim czasie życia nawierzchni koszty naprawy mogą wzrosnąć nawet pięciokrotnie. Właściwe zarządzanie nawierzchniami EFL, a w szczególności prognozowanie ich stanu technicznego w przyszłości wymaga użycia odpowiednich narzędzi opartych na rzetelnej i aktualnej informacji o ich bieżącym stanie technicznym.

Ze względu na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych w naziemnym polu manewrowym na szczególną uwagę zasługują ciała obce, które mogą znaleźć się na nawierzchni, tzw. FOD (ang. Foreign Object Debris). Są one szczególnie niebezpieczne ze względu na możliwość zassania ich przez silnik samolotu, co może spowodować jego uszkodzenie. Dotychczas odnotowano wiele incydentów oraz katastrof lotniczych spowodowanych obecnością FOD. Niektóre zdarzenia lotnicze, jak na przykład zassanie pachołka przez silnik samolotu, nie stanowią poważnego zagrożenia, jeśli zostaną w porę zauważone. Większe obiekty mogą istotnie uszkodzić łopatkę silnika, a nawet przedostać się do głębiej umieszczonych jego elementów. Niestety zdarzały się sytuacje, gdy ciała obce stanowiły śmiertelne zagrożenie. Jedną z najtragiczniejszych katastrof lotniczych spowodowanych zassaniem ciała obcego była katastrofa samolotu Concorde F-BTSC linii Air France, który w trakcie startu najechał na przedmiot leżący na drodze startowej. W wyniku tego uszkodzeniu uległo lewe koło samolotu, a jego fragmenty uszkodziły dolną część



skrzydła. Następstwem był tragiczny ciąg wydarzeń, w wyniku którego nastąpił pożar silnika i utrata symetrii ciągu podczas startu. Finalnie samolot rozbił się w pobliżu lotniska, a śmierć poniosło 113 osób. FOD mogą stanowić m.in. oderwane, luźne elementy nawierzchni, dlatego też tak istotna jest dbałość o jej czystość i odpowiedni stan techniczny.

W przeprowadzonym przeglądzie literatury zwrócono uwagę na wskazanie ciekawych, zdaniem autora, spostrzeżeń w zakresie analizowanych, innowacyjnych rozwiązań światowych dotyczących oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych i drogowych. Stwierdzono, że większość znanych i stosowanych aktualnie metod oceny stanu technicznego jest przeznaczona dla nawierzchni drogowych. Natomiast brakuje współczesnych, całościowych rozwiązań, które mogłyby być z powodzeniem stosowane w pełnym zakresie dla nawierzchni lotniskowych. Dlatego też znane sposoby oceny nawierzchni drogowych bardzo często adaptuje się do zastosowań lotniskowych.

Mając na uwadze powyższe oraz specyfikę pracy i procesu eksploatacji nawierzchni lotniskowych, autor zaproponował nową, systemową metodę kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL, w oparciu o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI (ang. Airfield Pavement Condition Index). Wyznaczany wskaźnik stanu nawierzchni bazuje nie tylko na uszkodzeniach powierzchniowych nawierzchni lotniskowych, ale również uwzględnia obmiar wykonanych napraw oraz parametry techniczne, takie jak: nośność, właściwości przeciwpoślizgowe, równość oraz odporność na odrywanie warstwy przypowierzchniowej. Takie podejście daje szerszy obraz faktycznego stanu technicznego nawierzchni lotniskowej i jednocześnie uwzględnia jakże istotny aspekt bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Opracowane rozwiązanie wprowadza do transportu lotniczego oraz inżynierii lądowej autorską metodę diagnostyczną, w której teoretyczne elementy statystycznej identyfikacji, klasyfikacji i analizy wielokryterialnej parametrów eksploatacyjnych, zastosowano praktycznie w sporządzonym modelu wskaźnika stanu nawierzchni lotniskowych APCI.

Głównym celem naukowym podjętej pracy było opracowanie metody kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych dającej służbom lotniskowym praktyczne i rzetelne narzędzie wspierające proces zarządzania elementami funkcjonalnymi lotnisk w sposób zrównoważony i gwarantujący bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Wskazano grupę parametrów diagnostycznych, które powinny podlegać systematycznym, okresowym sprawdzeniom w warunkach terenowych w procesie eksploatacji nawierzchni lotniskowych. Od ich wyników zależy kondycja konstrukcji nawierzchni i tym samym bezpieczeństwo lotów. Aby zrealizować główny cel naukowy pracy, przeprowadzono analizę wielokryterialną wyników wieloletnich badań diagnostycznych wykonywanych na obiektach lotniskowych w ramach systematycznych przeglądów okresowych, tj.: rocznych i pięcioletnich. Wagi wytypowanych, kluczowych z punktu widzenia bezpieczeństwa lotów parametrów technicznych oraz wyznaczonych na ich podstawie wskaźników oceny nawierzchni EFL, dobrano metodą ekspertów na podstawie wykonanej analizy statystycznej. Metoda ekspertów jest procedurą, należącą do grupy metod heurystycznych, której celem jest określenie prawdopodobieństwa lub czasu zajścia przyszłych zdarzeń. W metodzie tej do podejmowania decyzji wykorzystuje się wiedzę, doświadczenie oraz opinie ekspertów z konkretnej dziedziny. Szacowanie parametrów, np. wprowadzonego stopnia degradacji nawierzchni lotniskowych, wykonano metodą zajętej powierzchni i wartości granicznych. W metodzie zajętej powierzchni stopień degradacji bazuje na wskaźnikach uszkodzeń określonych, jako stosunek powierzchni uszkodzenia, z uwzględnieniem jego szkodliwości, do powierzchni ocenianego elementu. W przypadku metody wartości granicznych punkt odniesienia stanowi wartość graniczna dla określonych rodzajów uszkodzeń i napraw. Wartość graniczna to potencjalnie największa wartość obmiaru uszkodzenia lub naprawy, jaka może wystąpić na ocenianym elemencie.

Szczególnie istotną częścią pracy były przeglądy okresowe nawierzchni sztucznych EFL, dla których opracowano autorskie metodyki identyfikacji i klasyfikacji uszkodzeń oraz napraw nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego. Ważnym elementem realizacji przedmiotowej pracy było szczegółowe omówienie autorskiej procedury szacowania stopnia degradacji na przykładzie nawierzchni lotniskowej wykonanej w technologii betonu cementowego. Praktyczne jej wykorzystanie przedstawiono w formie prezentacji wyników z rzeczywistego, użytkowanego obiektu lotniskowego. Kolejnym celem cząstkowym było zdefiniowanie i opisanie nowego parametru diagnostycznego w postaci wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych nie ogranicza się tylko do pomiarów współczynnika tarcia określającego stan szorstkości nawierzchni, ale obejmuje również pomiary głębokości tekstury nawierzchni, tj.: mikro i makrotekstury, czyli elementu składowego charakterystyki tarcia powierzchni styku opona/nawierzchnia. Współczynnik tarcia jest podstawowym parametrem charakteryzującym nawierzchnię lotniskową pod względem szorstkości. Natomiast na teksturę nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk składa się mikro i makrotekstura. Mikrotekstura charakteryzuje nierówności nawierzchni w wymiarze fal o długości mniejszej niż 0,5 mm (tekstura o głębokości do 0,5 mm) i związana jest z teksturą pojedynczych ziaren kruszywa warstwy powierzchniowej. Makrotekstura cechuje nierówności nawierzchni w wymiarze fal o długości od 0,5 do 50 mm (tekstura o głębokości powyżej 0,5 mm) i dotyczy tekstury pomiędzy pojedynczymi ziarnami kruszywa. Prowadzone obecnie na świecie prace badawcze ukierunkowane są przede wszystkim na pozyskaniu możliwości prognozowania szorstkości nawierzchni (współczynnika tarcia) na podstawie niezależnych badań tekstury (pomiarów punktowych) prowadzonych w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych. Mając powyższe na uwadze, autor wraz z zespołem inżynierów z Zakładu Lotniskowego Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych zaprojektowali i zbudowali innowacyjny układ pomiarowy przeznaczony do pomiaru właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły. Umożliwia on dynamiczny, równoczesny pomiar głębokości tekstury i współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych w śladzie opony koła pomiarowego testera tarcia, zgodnie z obowiązującymi przepisami międzynarodowych organizacji lotniczych.

Integralnym elementem pracy było wykonanie badań terenowych w celu wyznaczenia wytypowanych parametrów diagnostycznych sztucznych nawierzchni lotniskowych, tj. wykonanych w technologii betonu cementowego i asfaltowego, a także naturalnych nawierzchni EFL. Na podstawie zgromadzonych wyników i ich analizy zaproponowano nowe podejście oparte o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI, który jest wyznaczany niezależnie dla każdego rodzaju nawierzchni sztucznych, w tym wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego oraz nawierzchni naturalnych. Metodyka obliczania wskaźnika APCI dla sztucznych nawierzchni lotniskowych uwzględnia nie tylko wyniki przeglądu okresowego uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni, ale również wyniki przeglądu wykonanych napraw, nośności, właściwości przeciwpoślizgowych, obejmujących charakterystykę tarcia i stan tekstury nawierzchni, równości oraz wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Natomiast ocenę stanu naturalnych nawierzchni lotniskowych metodą APCI prowadzi się w oparciu o wyniki badań terenowych, które swym zakresem obejmują badanie wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m oraz badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu.

Opracowana metoda kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik APCI zawiera sumę wpływów wyżej wymienionych parametrów diagnostycznych, poddanych standaryzacji i obciążonych określonymi wagami. Wagi występujące w opracowanym modelu wyznaczania wskaźnika APCI zostały dobrane metodą ekspertów, na podstawie wieloletnich badań i doświadczeń inżynierów zajmujących się



diagnostyką nawierzchni lotniskowych. Wagi poszczególnych parametrów są zmiennymi decyzyjnymi i zależą od przyjętej strategii utrzymania nawierzchni. Analiza wyników wieloletnich badań diagnostycznych potwierdziła, że największy wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne w opracowanym modelu wskaźnika APCI, mają dwa spośród wyżej wymienionych parametrów technicznych nawierzchni, tj. stopień degradacji i wskaźnik nośności. Stopień degradacji jest parametrem pozwalającym ocenić rzeczywisty stan zużycia nawierzchni EFL po latach ich użytkowania. Wraz z wiekiem nawierzchni i czasem jej eksploatacji, zbliża się do wartości 100%. Jego główną cechą charakterystyczną jest to, że bierze się w nim pod uwagę zarówno istniejące uszkodzenia, jak i uszkodzenia naprawione. Natomiast parametr nośności nawierzchni lotniskowej to zdolność jej układu konstrukcyjnego do bezpiecznego przenoszenia działających na nią obciążeń przez określony czas. Na nośność nawierzchni EFL, poza obciążeniem pochodzącym od samolotów i poruszających się po nich pojazdów, wpływają jeszcze inne czynniki zewnętrzne, w tym warunki atmosferyczne. Jako najważniejsze można wskazać:

- liczbę i rodzaj wykonywanych operacji lotniczych,
- grubość poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni,
- parametry mechaniczne materiałów tworzących poszczególne warstwy konstrukcyjne (np. wytrzymałość betonu na zginanie, moduł sprężystości, liczba Poissona),
- rodzaj i parametry podłoża gruntowego,
- temperaturę w momencie wykonywania badań terenowych.

Nośność nawierzchni lotniskowych może być wyrażana wskaźnikiem PCN (ang. Pavement Classification Number) lub dopuszczalną liczbą operacji lotniczych. W obydwu przypadkach istotną rolę odgrywa liczba dopuszczalnych powtórzeń obciążenia, która bezpośrednio wpływa na wartość parametru nośności.

W początkowej części pracy w sposób syntetyczny przedstawiono miejsce i rolę diagnostyki technicznej nawierzchni lotniskowych w procesie ich bezpiecznej eksploatacji. Zaprezentowano podstawowe modele obliczeniowe układów konstrukcyjnych nawierzchni EFL z uwzględnieniem powszechnie stosowanych modeli podłoża gruntowego. W dalszej części pracy omówiono metodykę oceny stanu technicznego sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych. Przedstawiono procedurę szacowania stopnia degradacji oraz wyznaczania wskaźnika stanu nawierzchni lotniskowych APCI. Na podstawie przeprowadzonej analizy wielokryterialnej wyników wieloletnich badań diagnostycznych wykonywanych na obiektach lotniskowych w ramach systematycznych przeglądów okresowych, opracowano metodę kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI. Rozwiązanie to stanowi użyteczne i miarodajne wsparcie służb lotniskowych w procesie zarządzania elementami funkcjonalnymi lotnisk w sposób gwarantujący bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne.

4.2. Koncepcja procesu kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów

Pierwsze dwa rozdziały zostały poświęcone wprowadzeniu do omawianej problematyki. Przedstawiono w nich zasadnicze cele, jakie przyświecały realizacji tej pracy. Rozdział pierwszy zawiera syntetyczne wprowadzenie do tematyki oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, na podstawie informacji będących wynikiem przeglądu literatury. Główną uwagę skupiono na wybranych treściach pozycji literaturowych na temat praktykowanego na świecie zróżnicowanego podejścia do diagnostyki nawierzchni lotniskowych i drogowych. Ponadto, przedstawiono w nim obowiązujące dokumenty normatywne, odnoszące się zarówno do lotnictwa cywilnego, jak i wojskowego, które stanowią podstawę do zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Funkcjonowanie lotnictwa cywilnego w zakresie infrastruktury, której



zasadniczym elementem są nawierzchnie lotniskowe, regulują przepisy ustanowione przez międzynarodowe organizacje lotnicze takie, jak: EASA (European Union Aviation Safety Agency), ICAO (International Civil Aviation Organization) i FAA (Federal Aviation Administration). W Polsce obowiązują także przepisy wydane przez ULC (Urząd Lotnictwa Cywilnego) w tym zakresie. Natomiast w lotnictwie wojskowym (państwowym) obowiązują dokumenty resortowe, których znaczną część stanowią normy obronne. W rozdziale drugim omówiono cel i zakres podjętej pracy, a także przedstawiono zagadnienia oraz informacje na temat struktury monografii.

W rozdziale trzecim omówiono zagadnienie diagnostyki technicznej nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów. Przedstawiono jej zakres w całokształcie metod, procedur i środków służących do określania stanu technicznego nawierzchni lotniskowych. Scharakteryzowano główne zadania diagnostyki technicznej nawierzchni EFL, w tym: ustalenie metod i sposobów programowania badań, wykonywanie badań okresowych, analizowanie ich wyników, wnioskowanie o stanie użytkowym nawierzchni, przewidywanie zachodzących zmian w konstrukcji nawierzchni pod wpływem obciążeń zewnętrznych i warunków klimatycznych oraz prognozowanie czasu bezawaryjnej ich eksploatacji dla istniejących warunków pracy. Uzyskany wynik badania diagnostycznego nawierzchni elementu funkcjonalnego lotniska powinien stanowić uzasadnienie dotyczące dalszego sposobu jej użytkowania w określonych warunkach lub podstawę do zmiany tych warunków oraz zakresu i rodzaju naprawy, którego dana nawierzchnia wymaga. Działanie takie jest szczególnie zasadne ze względu na skutki mogące wyniknąć z niewłaściwej diagnozy w odniesieniu do rzeczywistego stanu nawierzchni lotniskowej. Ponadto, przedstawiono założenia metody PCI (ang. Pavement Condition Index), opracowanej i używanej przez U.S. Army Corps of Engineers do oceny nawierzchni drogowych, lotniskowych oraz nawierzchni parkingów, która stanowiła punkt wyjściowy do stworzonej procedury APCI.

Rozdział czwarty zawiera przegląd stosowanych układów konstrukcyjnych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk. Przedstawia podstawową charakterystykę najczęściej używanych modeli podłoża gruntowego oraz modeli obliczeniowych konstrukcji nawierzchni lotniskowych. Przy projektowaniu struktury nawierzchni EFL należy zwrócić szczególną uwagę na właściwe przyjęcie modelu obliczeniowego, opisującego właściwości mechaniczne poszczególnych warstw konstrukcyjnych. Pożądane jest, aby przyjęty model zachowywał się pod wpływem działającego obciążenia w sposób możliwie zgodny z zachowaniem rzeczywistych warstw, do których opisu został zastosowany.

W rozdziale piątym przedstawiono ogólną formułę opracowanego wskaźnika APCI, schemat procesu jego szacowania oraz kryteria oceny stanu technicznego nawierzchni EFL. Omówiono parametry diagnostyczne sztucznych nawierzchni lotniskowych, czyli nawierzchni wykonanych w technologii betonu cementowego i asfaltowego, które stanowią dane wejściowe do opracowanej metody kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL w oparciu o wyznaczany wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI. **Szczegółowo przedstawiono opracowaną metodykę: przeglądu okresowego uszkodzeń i napraw nawierzchni lotniskowych, oceny nośności, właściwości przeciwpoślizgowych, obejmujących pomiar współczynnika tarcia i tekstury nawierzchni, równości oraz wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie.** Monitorowanie stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jest niezwykle istotne w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa statkom powietrznym podczas wykonywania operacji lotniczych. W celu oceny stanu technicznego sztucznych nawierzchni lotniskowych, nowo budowanych jak i będących już w eksploatacji, należy prowadzić systematyczne badania diagnostyczne mające na celu określenie rzeczywistych wartości wyżej wymienionych parametrów diagnostycznych.

W rozdziale szóstym przedstawiono natomiast parametry diagnostyczne naturalnych nawierzchni lotniskowych, tworzące dane wejściowe do ich kompleksowej oceny stanu

technicznego metodą wskaźnika APCI. Omówiono metodykę badania wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m poniżej poziomu terenu oraz badania nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu. Kluczowym parametrem technicznym jest nośność, czyli zdolność nawierzchni do przenoszenia określonego obciążenia od statku powietrznego bez ryzyka jego uszkodzenia, wyrażana kalifornijskim wskaźnikiem nośności CBR (ang. California Bearing Ratio). Naturalne nawierzchnie lotniskowe odpowiadają przede wszystkim za zapewnienie bezpieczeństwa w odniesieniu do manewru przerwane go startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualnego wykołowania statku powietrznego z drogi startowej. Dla szybkiego określenia przydatności danej nawierzchni naturalnej do wykorzystania przez statki powietrzne, zasadnicze znaczenie ma głębokość koleiny H, której maksymalną wartość przyjmuje się równą 1/14 średnicy koła goleni głównej lub nosowej samolotu. **Na podstawie wieloletnich badań terenowych oraz analizy ich wyników, opracowano nowatorskie kryteria oceny stanu nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych.**

Rozdział siódmy zawiera autorską metodykę wyznaczania stopnia degradacji dla nawierzchni EFL wykonanych w technologii betonu cementowego oraz asfaltowego. Stopień degradacji nawierzchni lotniskowych jest jednym z głównych parametrów diagnostycznych charakteryzujących ich stan techniczny, który oblicza się w oparciu o dane uzyskane podczas przeglądu okresowego nawierzchni, wykonywanego w warunkach terenowych. Degradacja to proces powolny i rozłożony w czasie, na który mają wpływ czynniki zewnętrzne, powodujące zmiany zachodzące w konstrukcji nawierzchni lotniskowej. Na poziom zdegradowania nawierzchni elementu funkcjonalnego lotniska mają wpływ uszkodzenia oraz wykonane naprawy. W celu optymalnego doboru wskaźnika charakteryzującego rzeczywisty stopień degradacji nawierzchni, rozpatrywano dwa warianty obliczeń, gdzie przyjęto, że wykonanie napraw wpływa w 20% (wariant 1) lub 50% (wariant 2) na zdegradowanie nawierzchni lotniskowej. Stopień degradacji nawierzchni EFL mieści się w granicach od 0 (oznacza ją nawierzchnię w stanie idealnym) do 100 (oznacza ją nawierzchnię niezdadną do dalszej eksploatacji). Wpływ rodzaju uszkodzeń i napraw na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych uwzględnia się w obliczeniach stopnia degradacji poprzez przyjęcie wag szacowanych w oparciu o metodę ekspertów. Wyznaczona, standardowa skala oceny stopnia degradacji obejmuje 7 poziomów, natomiast skala uproszczona 3 poziomy decyzyjny opis zdegradowania elementu funkcjonalnego lotniska.

W rozdziale ósmym szczegółowo omówiono opracowaną, nowatorską metodę wyznaczania wskaźnika stanu nawierzchni lotniskowych APCI. Ocenę stanu technicznego konstrukcji nawierzchni EFL należy prowadzić w szerszym kontekście niż tylko bazując na jej uszkodzeniach powierzchniowych, co zakłada metoda PCI opracowana i używana przez U.S. Army Corps of Engineers do oceny nawierzchni drogowych, lotniskowych oraz nawierzchni parkingów. Na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne wpływa wiele czynników, w tym nośność konstrukcji, właściwości przeciwpoślizgowe oraz równość nawierzchni. Poza wspomnianymi czynnikami istotna jest także odporność warstwy przypowierzchniowej na odrywanie, w szczególności na obiektach, gdzie odbywa się ruch statków powietrznych o napędzie odrzutowym. Należy także stwierdzić, że większość wykonanych napraw nawierzchni lotniskowej nie przywraca jej pierwotnych właściwości w 100%. Takie naprawy także należy uwzględniać przy ocenie stanu nawierzchni. Kompleksowe podejście do oceny stanu technicznego nawierzchni w sposób systemowy gwarantuje zarządzanie tymi nawierzchniami w sposób efektywny i zrównoważony. Mając powyższe na uwadze, opracowano metodę bazującą na standardowej procedurze PCI rozszerzając istniejący model o wymienione powyżej parametry techniczne. W ten sposób stworzono parametr w postaci wskaźnika stanu nawierzchni lotniskowej APCI, opisujący jej kompleksowy stan techniczny. Ocena kompleksowa stanu technicznego nawierzchni EFL zawiera sumę wpływów wyżej wymienionych parametrów, poddanych standaryzacji i obciążonych określonymi wagami. Wagi poszczególnych parametrów są

zmiennymi decyzyjnymi i zależą od przyjętej strategii utrzymania nawierzchni. Na podstawie stworzonej metody oceniane nawierzchnie lotniskowe klasyfikuje się według kryteriów oceny stanu technicznego nawierzchni, bazując na uzyskanych wartościach wskaźnika APCI. W celu określenia skali wartości wskaźników stanu nawierzchni wprowadzono 7 kategorii oceny stanu technicznego dla nawierzchni sztucznych i 3 kategorie dla nawierzchni naturalnych elementów funkcjonalnych lotniska. Wartość krytyczna wskaźnika APCI jest to taka wartość, po osiągnięciu której stan techniczny nawierzchni zaczyna ulegać gwałtownemu pogorszeniu. Wartości wskaźnika stanu nawierzchni APCI zostały wyznaczone na podstawie analizy wielokryterialnej obliczonych wskaźników nieobciążonych i ważonych metodą wartości granicznych i zajętej powierzchni, dla dwóch rozpatrywanych wariantów. Podane wartości wskaźnika APCI należy stosować w procesie kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk.

Pomiary i badania wykonane w terenie stanowią dane wejściowe do analizy procesu, w wyniku którego otrzymuje się dane wyjściowe opisujące stan techniczny nawierzchni lotniskowej. Procedurę oceny przedstawiono poglądowo na rys. 1. **Opracowany model wskaźnika APCI dla sztucznych nawierzchni lotniskowych przedstawia zależność (1).**

$$APCI = 100 - \frac{(w_D D + w_N N + w_{Wpp} W_{pp} + w_R R + w_{Wod} W_{od})}{\sum w_i} \quad (1)$$

gdzie:

- w_i – wagi charakterystyczne dla rodzaju parametru,
- $\sum w_i$ – suma wag,
- D – stopień degradacji nawierzchni – stopień degradacji,
- N – wskaźnik nośności – liczba dopuszczalnych operacji lotniczych,
- W_{pp} – wskaźnik właściwości przeciwpoślizgowych,
- R – wskaźnik równości – wadliwość nawierzchni w kierunku podłużnym (R_L) i poprzecznym (R_T),
- W_{od} – wskaźnik wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie.

Dane uzyskane w wyniku przeglądu stanowią podstawę wyznaczenia stopnia degradacji D nawierzchni lotniskowej według wzoru (2).

$$D = w_i^U \cdot W_i^U + w_i^N \cdot W_i^N \quad (2)$$

gdzie:

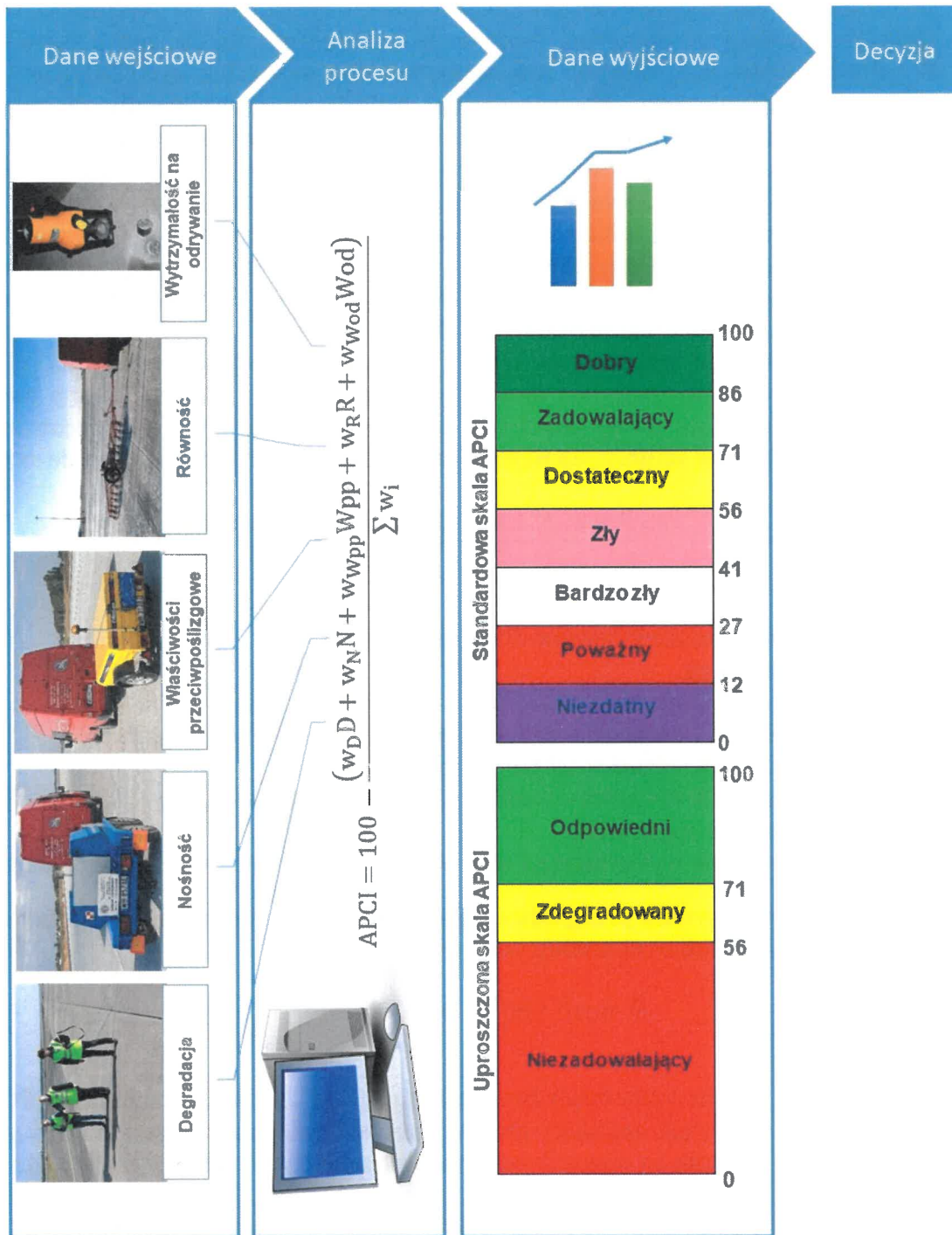
- i – indeks oznaczający beton asfaltowy (BA) lub beton cementowy (BC),
- w_i^U, w_i^N – wskaźnik ustalający proporcje uszkodzeń do napraw przyjmujący wartości 0,8 (dla U) oraz 0,2 (dla N) w wariantach U8N2 lub 0,5 (dla U i N) w wariantach U5N5,
- W_i^U – wskaźnik stopnia degradacji pochodzący od uszkodzeń obliczany w zależności od przyjętej metody,
- W_i^N – wskaźnik stopnia degradacji pochodzący od naprawionych uszkodzeń obliczany w zależności od przyjętej metody.

W modelu wskaźnika APCI nośność uwzględniana jest poprzez wskaźnik nośności N, który wyznaczany jest z zależności (3).

$$N = \left(1 - \frac{L}{L_p}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

- L – liczba dopuszczalnych operacji lotniczych uzyskana w badaniu nośności,
- L_p – projektowana liczba dopuszczalnych operacji lotniczych.



Rys. 1. Procedura oceny stanu technicznego sztucznych nawierzchni lotniskowych metodą APCI

Wynik badania właściwości przeciwpoślizgowych uwzględniany jest poprzez wskaźnik właściwości przeciwpoślizgowych W_{pp} wyznaczany ze wzoru (4), przy czym jeśli W_{ST} jest mniejsze niż 0,4, to wartość W_{pp} należy przyjąć jako 100.

$$W_{pp} = (4,6 - 6,6 \cdot W_{ST}) \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie:

W_{ST} – współczynnik właściwości przeciwpoślizgowych.

Ocenę właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych prowadzi się w oparciu o wyniki badań terenowych, które swym zakresem obejmują:

- pomiar współczynnika tarcia μ ,
- pomiar współczynnika ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury $CMPTD$.

Wynikiem końcowym zmierzonych wartości wyżej wymienionych parametrów eksploatacyjnych nawierzchni jest współczynnik właściwości przeciwpoślizgowych W_{ST} , który opisuje zależność (5).

$$W_{ST} = \frac{(w_{\mu}\mu + w_{CMPTD}p_{CMPTD}CMPTD)}{\sum w_i} \quad (5)$$

gdzie:

- w_{μ} – waga dla współczynnika tarcia,
- μ – współczynnik tarcia nawierzchni EFL,
- w_{CMPTD} – waga dla współczynnika ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury,
- p_{CMPTD} – przelicznik współczynnika ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury w odniesieniu do wartości wymagań dla współczynnika właściwości przeciwpoślizgowych zależny od rodzaju nawierzchni,
- $CMPTD$ – współczynnik ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury,
- $\sum w_i$ – suma wag.

W modelu wskaźnika APCI wskaźnik równości R jest równy wadliwości i wyznacza się go ze wzoru (6).

$$R = \max(R_T; R_L) \quad (6)$$

gdzie:

- R_T – równość poprzeczna,
- R_L – równość podłużna.

Wskaźnik wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie W_{od} oblicza się na podstawie wzoru (7), przy czym jeśli wartość f_h jest wyższa niż f_{min} , to należy przyjąć W_{od} równe 0.

$$W_{od} = \frac{f_{min} - f_h}{f_{min}} \cdot 100 \quad (7)$$

gdzie:

- f_h – przyczepność badanej próbki uzyskana w wyniku badania,
- f_{min} – minimalna, wymagana wytrzymałość warstwy przypowierzchniowej na odrywanie.

Interpretację klas stanu technicznego sztucznych nawierzchni EFL na podstawie wskaźnika APCI zawiera szczegółowo tabela 1.

Tabela 1. Ocena stanu technicznego sztucznych nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik APCI

Stan	APCI	Definicja
Dobry	86÷100	Nawierzchnia jest w dobrym stanie technicznym, ma niewielkie lub nie ma żadnych uszkodzeń i wymaga tylko rutynowych prac konserwatorskich.
Zadowolający	71÷85	Nawierzchnia jest w zadowalającym stanie technicznym, ma uszkodzenia o niewielkiej szkodliwości, które wymagają jedynie rutynowej konserwacji.
Dostateczny	56÷70	Nawierzchnia jest w dostatecznym stanie technicznym, ma uszkodzenia o niskiej i średniej szkodliwości. W krótkim czasie należy przeprowadzić rutynowe i poważniejsze naprawy.
Zły	41÷55	Nawierzchnia jest w złym stanie technicznym, ma uszkodzenia o niskiej, średniej i wysokiej szkodliwości, które prawdopodobnie powodują problemy operacyjne. Prace konserwacyjne powinny obejmować rutynowe naprawy i rekonstrukcje w najbliższym czasie.
Bardzo zły	27÷40	Nawierzchnia jest w bardzo złym stanie technicznym, ma w przeważającej mierze uszkodzenia o średniej i wysokiej szkodliwości, które powodują znaczne problemy konserwacyjne i operacyjne. Niezbędne jest niezwłoczne przeprowadzenie intensywnych prac konserwacyjnych i napraw.
Poważny	12÷26	Nawierzchnia jest w poważnym stanie technicznym, ma przeważne uszkodzenia o wysokiej szkodliwości, które powodują ograniczenia w jej użytkowaniu. Niezbędna jest natychmiastowa naprawa.
Niezdalny	0÷11	Nawierzchnia jest niezdalna do eksploatacji, pogorszenie stanu technicznego nawierzchni osiągnęło poziom, w którym bezpieczne operacje lotnicze nie są już możliwe. Niezbędna jest całkowita rekonstrukcja.

Natomiast opracowany model wskaźnika $APCI_{NN}$ dla naturalnych nawierzchni lotniskowych przedstawia zależność (8).

$$APCI_{NN} = 100 - \frac{(w_{\sigma}\sigma + w_{CBR}W_{CBR})}{\sum w_i} \quad (8)$$

gdzie:

- w_{σ} – waga dla wytrzymałości warstwy darniowej nawierzchni naturalnej,
- σ – wytrzymałość warstwy darniowej nawierzchni naturalnej EFL,
- w_{CBR} – waga dla nośności nawierzchni naturalnej,
- W_{CBR} – średni wskaźnik nośności nawierzchni naturalnej EFL,
- $\sum w_i$ – suma wag.

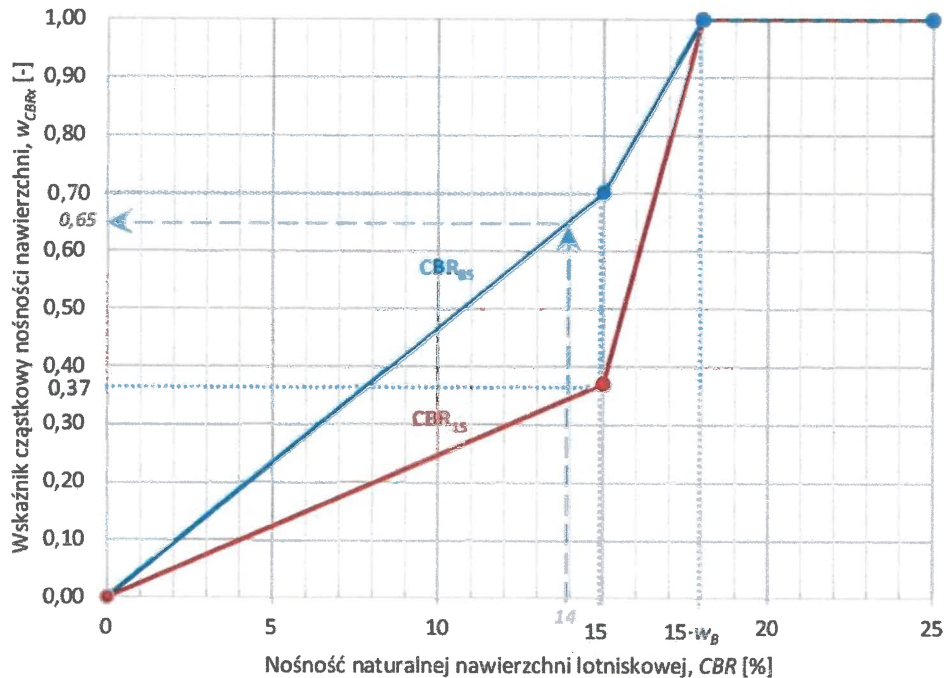
Średni wskaźnik W_{CBR} nośności nawierzchni naturalnej EFL bazuje na pojedynczych wynikach wartości CBR wyznaczonych w warstwie pośredniej 0÷15 cm oraz w warstwie 15÷85 cm. Obliczany jest na podstawie średniej geometrycznej cząstkowych wskaźników nośności W_{CBR15} oraz W_{CBR85} według zależności (9).

$$W_{CBR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{W_{CBR15i} \times W_{CBR85i}} \quad (9)$$

gdzie:

- W_{CBR15i} – cząstkowy wskaźnik nośności nawierzchni naturalnej określony dla warstwy pośredniej 0÷15 cm w i -tym punkcie pomiarowym,
- W_{CBR85i} – cząstkowy wskaźnik nośności nawierzchni naturalnej określony dla warstwy pośredniej 15÷85 cm w i -tym punkcie pomiarowym,
- n – ilość punktów pomiarowych.

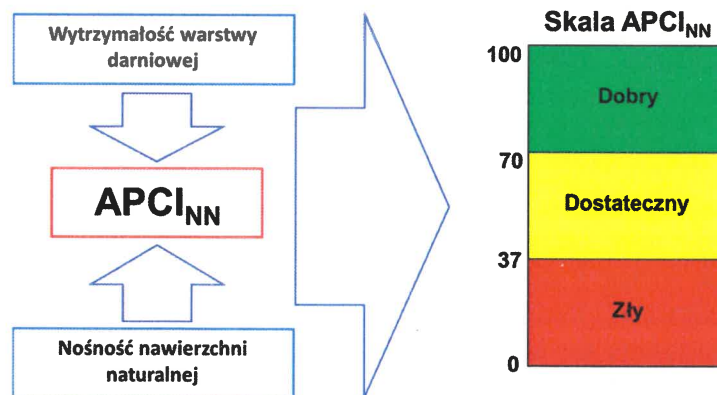
Cząstkowe wskaźniki nośności wyznacza się z wykorzystaniem nomogramu przedstawionego na rys. 2. Dla każdej wartości CBR odczytuje się z osi pionowej wartość odpowiedniego wskaźnika, w zależności od rozpatrywanej warstwy pośredniej nawierzchni naturalnej. Nomogram może zmieniać swoją postać w zależności od przyjętego współczynnika bezpieczeństwa w_B . Standardowo przyjmuje się w_B o wartości 1,2. Zwiększenie jego wartości powoduje osiąganie niższych wskaźników cząstkowych, a tym samym zaostrzenie wymagań. Wynik CBR w zakresie wartości $(15w_B, +\infty)$ każdorazowo daje wskaźnik cząstkowy o wartości 1,0.



Rys. 2. Nomogram do odczytu wskaźników cząstkowych nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych:

- CBR_{15} – krzywa dla warstwy pośredniej 0÷15 cm,
- CBR_{85} – krzywa dla warstwy pośredniej 15÷85 cm,
- w_B – współczynnik bezpieczeństwa ($w_B = 1,2$)

Kryteria oceny stanu technicznego EFL o nawierzchni naturalnej, na podstawie wyznaczonego wskaźnika $APCI_{NN}$, przedstawiono na rys. 3, zaś interpretację kategorii nawierzchni w tabeli 2.



Rys. 3. Kryteria oceny stanu technicznego naturalnej nawierzchni EFL metodą APCI



Tabela 2. Ocena stanu technicznego naturalnych nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik APCI

Stan	APCI	Definicja
Dobry	71÷100	Nawierzchnia jest w dobrym stanie technicznym, posiada niewielkie lub nie posiada żadnych uszkodzeń i wymaga tylko rutynowych prac konserwatorskich.
Dostateczny	38÷70	Nawierzchnia jest w dostatecznym stanie technicznym, posiada uszkodzenia o niskiej i średniej szkodliwości. W krótkim czasie należy przeprowadzić rutynowe i poważniejsze naprawy.
Zły	0÷37	Nawierzchnia jest w złym stanie technicznym, posiada uszkodzenia o wysokiej szkodliwości, które powodują problemy operacyjne. Prace konserwacyjne powinny obejmować natychmiastowe naprawy i rekonstrukcje.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono wyniki kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL opracowaną metodą wskaźnika APCI, na przykładzie badań terenowych wykonanych na jednym z eksploatowanych obiektów lotniskowych w Polsce. Badaniom poddano sztuczne nawierzchnie lotniskowe wykonane w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego, w tym: drogę startową, drogi kołowania i płyty postoju samolotów oraz nawierzchnie naturalne, znajdujące się na poboczach drogi startowej oraz na elementach stanowiących jej przedłużenie, określanych w przepisach międzynarodowych organizacji lotniczych jako RESA (ang. Runway End Safety Area). Analizowane spectrum obejmowało nawierzchnie lotniskowe w różnym wieku i w różnym stanie technicznym, zarówno nowe, jak i te silnie zdegradowane, wymagające całkowitego odtworzenia. Program badań terenowych dla EFL o nawierzchniach sztucznych, czyli z betonu cementowego i betonu asfaltowego, obejmował przeglądy oraz pomiary następujących parametrów diagnostycznych:

- inwentaryzację uszkodzeń i napraw nawierzchni z uwzględnieniem rodzaju, ilości oraz lokalizacji poszczególnych uszkodzeń w celu wyznaczenia stopnia degradacji,
- nośności konstrukcji,
- właściwości przeciwpoślizgowych na podstawie pomiaru współczynnika tarcia oraz tekstury nawierzchni,
- równości nawierzchni,
- wytrzymałości na odrywanie warstwy przypowierzchniowej nawierzchni.

Natomiast program badań terenowych dla EFL o nawierzchniach naturalnych, obejmował pomiary wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m poniżej poziomu terenu oraz badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu. Na podstawie uzyskanych wyników badań terenowych, przeprowadzono ich analizę wielokryterialną według opracowanej procedury i wyznaczono wartości wskaźników stanu nawierzchni lotniskowych APCI, opisujących ich kompleksowy stan techniczny.

Rozdział dziesiąty stanowi podsumowanie pracy, której celem naukowym było opracowanie nowatorskiej metody kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL, gwarantującej bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Na podstawie zgromadzonych wyników wieloletnich badań diagnostycznych i ich analizy wielokryterialnej sporządzono nową procedurę opartą o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI, który jest wyznaczany niezależnie dla każdego rodzaju nawierzchni sztucznych, w tym wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego oraz nawierzchni naturalnych. Sformułowano wnioski końcowe wynikające ze zrealizowanych badań i analiz oraz przedstawiono kierunki dalszych badań naukowych w obszarze diagnostyki nawierzchni EFL. Efektem finalnym opracowanej metody może być system informatyczny do kompleksowej analizy i oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk.

4.3. Podsumowanie

Zaprezentowana monografia, w obszarze tematycznym i poznawczym, przedstawia spójny terminologicznie i koncepcyjnie opis autorskiej metody kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL za pomocą wprowadzonego wskaźnika stanu nawierzchni lotniskowych APCI. Jest to pierwsze w Polsce i na świecie tego rodzaju podejście, które może być powszechnie stosowane w diagnostyce technicznej nawierzchni lotniskowych.

Wieloletnie badania terenowe wykonane na rzeczywistych obiektach lotniskowych dotyczyły oceny podstawowych parametrów eksploatacyjnych, od których bezpośrednio zależy stan techniczny użytkowanych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotniska oraz bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Zakres badań obejmował przeglądy okresowe uszkodzeń i wykonanych napraw powierzchniowych nawierzchni, a także pomiary: ugięć sprężystych do oceny nośności konstrukcji, właściwości przeciwpoślizgowych obejmujących charakterystykę tarcia i stan tekstury nawierzchni, równości oraz wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. **Szczególną uwagę poświęcono przeglądom nawierzchni sztucznych EFL, dla których opracowano nowatorskie, szczegółowe metodyki identyfikacji i klasyfikacji uszkodzeń oraz napraw nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego.** Zgromadzone wyniki badań stanowiły dane wejściowe do procesu analizy wielokryterialnej, w efekcie której został oszacowany stopień degradacji dla nawierzchni sztucznych oraz wskaźnik stanu dla sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych. **Wynikiem końcowym pracy jest autorska metoda kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk oparta na wprowadzonym wskaźniku stanu nawierzchni lotniskowych APCI.**

Monografia wnosi do transportu lotniczego, inżynierii lądowej oraz diagnostyki nawierzchni lotniskowych teoretyczne elementy statystycznej identyfikacji, klasyfikacji i analizy wielokryterialnej parametrów eksploatacyjnych wykorzystywanych do oceny stanu technicznego nawierzchni, co zostało praktycznie zastosowane w opracowanym modelu wskaźnika APCI. Metoda systemowego diagnozowania stanu technicznego nawierzchni EFL, bazująca na wprowadzonym wskaźniku stanu nawierzchni lotniskowych APCI, stanowi dla służb lotniskowych użyteczne i miarodajne narzędzie w procesie bezpiecznego zarządzania wykonywaniem operacji lotniczych.

Podsumowując, najważniejsze moje osiągnięcia badawcze ujęte w zwartej formie monografii to:

w zakresie naukowo-badawczym:

1. Opracowanie **modelu wskaźnika APCI**, opisującego kompleksowo ocenę rzeczywistego stanu technicznego nawierzchni EFL, z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej wytypowanych parametrów diagnostycznych. Wagi kluczowych z punktu widzenia bezpieczeństwa lotów parametrów technicznych oraz wyznaczonych na ich podstawie wskaźników oceny nawierzchni EFL, dobrano metodą ekspertów na podstawie wykonanej analizy statystycznej wyników wieloletnich badań diagnostycznych uzyskanych z obiektów lotniskowych w ramach systematycznych przeglądów okresowych: rocznych i pięcioletnich.
2. Zdefiniowanie i opisanie **nowego parametru diagnostycznego, tj. wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni**. Wskaźnik ten obejmuje charakterystykę tarcia, czyli szorstkość nawierzchni oraz stan tekstury nawierzchni, tj.: mikro i makrotekstury na powierzchni kontaktu opony statku powietrznego z nawierzchnią. W tym celu zaprojektowano i zbudowano innowacyjny układ pomiarowy do badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły. Umożliwia on dynamiczny, równoczesny pomiar głębokości tekstury i współczynnika

tarcia nawierzchni lotniskowych w śladzie opony koła pomiarowego testera tarcia, zgodnie z obowiązującymi przepisami międzynarodowych organizacji lotniczych. Układ pomiarowy obejmuje: moduł do oceny szorstkości (pomiar współczynnika tarcia μ) oraz moduł do oceny głębokości tekstury (pomiar nowego współczynnika CMPTD – Continuous Mean Profile Texture Depth, określającego ciągłą, średnią głębokość profilu i tekstury nawierzchni EFL).

3. Określenie **parametrów diagnostycznych naturalnych nawierzchni lotniskowych do ich kompleksowej oceny stanu technicznego metodą wskaźnika APCI**. Zalicza się do nich wytrzymałość warstwy darniowej do głębokości 0,3 m p.p.t. oraz nośność nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m p.p.t. Kluczowym parametrem technicznym jest nośność, czyli zdolność nawierzchni do przenoszenia określonego obciążenia od statku powietrznego bez ryzyka jego uszkodzenia, wyrażana kalifornijskim wskaźnikiem nośności CBR. Naturalne nawierzchnie lotniskowe odpowiadają przede wszystkim za zapewnienie bezpieczeństwa w odniesieniu do manewru przerwane go startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualnego zjechania statku powietrznego z drogi startowej.
4. Opracowanie szczegółowej, **autorskiej metodologii wyznaczania stopnia degradacji sztucznych nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego**. Szacowanie parametru stopnia degradacji nawierzchni EFL przeprowadzono metodą zajętej powierzchni i wartości granicznych w oparciu o dane uzyskane podczas przeglądów okresowych nawierzchni, wykonywanych w warunkach terenowych. Na poziom zdegradowania nawierzchni elementu funkcjonalnego lotniska mają wpływ zidentyfikowane uszkodzenia oraz wykonane naprawy. W celu optymalnego dobrania wskaźnika charakteryzującego rzeczywisty stopień degradacji nawierzchni, rozpatrywano dwa warianty obliczeń, w których przyjęto, że wykonanie napraw wpływa w 20% (wariant 1) lub 50% (wariant 2) na zdegradowanie nawierzchni lotniskowej. Stopień degradacji nawierzchni EFL mieści się w granicach od 0 oznaczającego nawierzchnię w stanie idealnym) do 100 (oznaczającego nawierzchnię niezdatną do dalszej eksploatacji). Wpływ rodzaju uszkodzeń i napraw na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych uwzględnia się w obliczeniach stopnia degradacji poprzez przyjęcie wag szacowanych w oparciu o metodę ekspertów. Wyznaczona, standardowa skala oceny stopnia degradacji obejmuje siedem poziomów, natomiast skala uproszczona trzy poziomy decyzyjne opisu zdegradowania elementu funkcjonalnego lotniska.
5. Opracowanie szczegółowych, **autorskich procedur identyfikacji, klasyfikacji i obmiaru uszkodzeń oraz napraw nawierzchni EFL wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego**, które są integralnym elementem stworzonej metodologii wyznaczania stopnia degradacji sztucznych nawierzchni lotniskowych.
6. Opracowanie nowej, **autorskiej metody oceny stanu technicznego, opartej na wskaźniku stanu nawierzchni lotniskowych APCI**. Wskaźnik ten jest wyznaczany niezależnie dla każdego rodzaju nawierzchni sztucznych, w tym wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego, oraz nawierzchni naturalnych. Metodyka obliczania wskaźnika APCI dla sztucznych nawierzchni lotniskowych uwzględnia nie tylko wyniki przeglądu okresowego uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni, ale również wyniki przeglądu wykonanych napraw, nośności, właściwości przeciwoślizgowych, obejmujących charakterystykę tarcia i stan tekstury nawierzchni, równości oraz wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Odporność warstwy przypowierzchniowej na odrywanie jest szczególnie istotna na obiektach lotniskowych, gdzie odbywa się ruch statków powietrznych o napędzie odrzutowym. Ważnym spostrzeżeniem było stwierdzenie, że większość wykonanych napraw nawierzchni lotniskowej nie przywraca jej pierwotnych właściwości w 100%. Ocena stanu

naturalnych nawierzchni lotniskowych metodą APCI wykonuje się na podstawie wyników badań terenowych, które swym zakresem obejmują pomiar wytrzymałości warstwy darniowej oraz nośności nawierzchni naturalnej.

w zakresie poznawczym:

1. W opracowanym modelu wskaźnika APCI spośród analizowanych parametrów diagnostycznych sztucznych nawierzchni EFL największy wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne mają stopień degradacji i wskaźnik nośności. Stopień degradacji jest parametrem pozwalającym ocenić rzeczywisty stan zużycia nawierzchni elementów funkcjonalnych lotniska w procesie ich eksploatacji. Wraz z wiekiem nawierzchni i czasem jej użytkowania zbliża się do wartości 100%. W metodyce jego wyznaczania bierze się pod uwagę zarówno uszkodzenia istniejące, jak i uszkodzenia naprawione. Wskaźnik nośności nawierzchni lotniskowej to zdolność jej układu konstrukcyjnego do bezpiecznego przenoszenia działających na nią obciążeń przez określony czas i bez nadmiernego zmniejszenia jej trwałości. Na nośność nawierzchni EFL, poza obciążeniem pochodzącym od statków powietrznych, wpływają jeszcze inne czynniki zewnętrzne, w tym warunki atmosferyczne. Do najważniejszych z nich zalicza się: liczbę operacji lotniczych, grubość poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni, parametry mechaniczne materiałów tworzących poszczególne warstwy konstrukcyjne (np. wytrzymałość betonu na zginanie, moduł sprężystości, liczba Poissona), rodzaj i parametry podłoża gruntowego, czy też temperaturę w momencie wykonywania badań terenowych. Nośność nawierzchni lotniskowych wyraża się wskaźnikiem PCN lub dopuszczalną liczbą operacji lotniczych. W obydwu przypadkach istotną rolę odgrywa liczba dopuszczalnych powtórzeń obciążenia, która bezpośrednio wpływa na wartość parametru nośności.
2. Ocena kompleksowa stanu technicznego nawierzchni EFL zawiera sumę wpływów wytypowanych parametrów diagnostycznych poddanych standaryzacji i obciążonych określonymi wagami. Wagi poszczególnych parametrów są zmiennymi decyzyjnymi i zależą od przyjętej strategii utrzymania nawierzchni. Na podstawie stworzonej metody oceniane nawierzchnie lotniskowe klasyfikuje się według kryteriów oceny stanu technicznego nawierzchni, bazując na uzyskanych wartościach wskaźnika APCI. W celu określenia skali wartości wskaźników stanu nawierzchni wprowadzono siedem kategorii oceny stanu technicznego dla nawierzchni sztucznych i trzy kategorie dla nawierzchni naturalnych elementów funkcjonalnych lotniska. Wartość krytyczna wskaźnika APCI jest to taka wartość, po osiągnięciu której stan techniczny nawierzchni zaczyna ulegać gwałtownemu pogorszeniu. Wartości wskaźnika stanu nawierzchni APCI zostały wyznaczone na podstawie analizy wielokryterialnej obliczonych wskaźników nieobciążonych i ważonych metodą wartości granicznych i zajętej powierzchni. Podane wartości wskaźnika APCI należy stosować w procesie kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk.
3. Monitorowanie stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jest niezwykle istotne w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa statkom powietrznym podczas wykonywania operacji lotniczych. W celu oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotniska, zarówno nowo budowanych, jak i będących już w eksploatacji, należy prowadzić systematyczne badania diagnostyczne mające na celu określenie rzeczywistych wartości wyżej wymienionych parametrów diagnostycznych. Kompleksowe podejście do oceny stanu technicznego nawierzchni w sposób systemowy gwarantuje zarządzanie tymi nawierzchniami w sposób efektywny i zrównoważony.
4. Opracowana metoda kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk, oparta na wprowadzonym wskaźniku APCI, stanowi istotne rozszerzenie stosowanego dotychczas zakresu diagnostyki technicznej nawierzchni

lotniskowych.

Opracowane rozwiązanie to użyteczne i miarodajne wsparcie dla służb lotniskowych, odpowiedzialnych za bezpieczeństwo statków powietrznych podczas wykonywania operacji lotniczych. Efektem wymiernym wypracowanej metody jest możliwość stałego monitorowania procesu eksploatacji nawierzchni EFL, co bezpośrednio wpływa na zapewnienie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Jej **aspekty praktyczne** stanowią:

1. Opracowane metodyki identyfikacji, klasyfikacji i obmiaru uszkodzeń oraz napraw sztucznych nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego. Dzięki nim możliwe będzie ujednoczenie i ustandaryzowanie sposobu wykonywania inwentaryzacji uszkodzeń przez służby lotniskowe w ramach obowiązujących przeglądów okresowych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk.
2. Zaproponowany w pracy nowy parametr diagnostyczny w postaci wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych sztucznych nawierzchni lotniskowych. Wprowadzony wskaźnik bazuje na pomiarze współczynnika tarcia oraz głębokości tekstury, tj.: mikro i makrotekstury na powierzchni styku opona–nawierzchnia. W celu równoczesnego pomiaru głębokości tekstury i współczynnika tarcia nawierzchni EFL w śladzie opony koła pomiarowego testera tarcia, został zaprojektowany i zbudowany innowacyjny układ pomiarowy, który przeznaczony będzie do pomiaru właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły.
3. Autorska metodologia wyznaczania stopnia degradacji nawierzchni EFL wykonanych w technologii betonu cementowego oraz asfaltowego. Stopień degradacji nawierzchni lotniskowych jest jednym z najważniejszych, oprócz wskaźnika nośności, parametrów diagnostycznych charakteryzujących ich stan techniczny. Degradacja to proces powolny i rozłożony w czasie, na który mają wpływ czynniki zewnętrzne, powodujące zmiany zachodzące w konstrukcji nawierzchni lotniskowej. Na poziom zdegradowania nawierzchni elementu funkcjonalnego lotniska i tym samym bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych mają wpływ uszkodzenia oraz wykonane naprawy. Dzięki wyznaczonej standardowej i uproszczonej skali oceny stopnia degradacji służby lotniskowe mogą precyzyjnie ocenić rzeczywisty stan zużycia nawierzchni użytkowanych elementów funkcjonalnych lotniska.
4. Opracowana metoda wyznaczania wskaźnika APCI dla sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych. Do obliczenia wskaźnika APCI dla sztucznych nawierzchni lotniskowych niezbędne są wyniki: przeglądu okresowego uszkodzeń oraz napraw powierzchniowych nawierzchni, nośności, właściwości przeciwpoślizgowych, równości i wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Natomiast do oceny stanu naturalnych nawierzchni lotniskowych wymagane są wyniki badań terenowych, których zakres obejmuje badanie wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m oraz badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m p.p.t. Ocena kompleksowa stanu technicznego nawierzchni EFL metodą wskaźnika APCI zawiera sumę wpływów wyżej wymienionych parametrów diagnostycznych, poddanych standaryzacji i obciążonych określonymi wagami. Nawierzchnie lotniskowe klasyfikuje się według kryteriów oceny stanu technicznego nawierzchni, bazując na uzyskanych wartościach wskaźnika APCI. Efektem wymiernym opracowanej metody jest możliwość precyzyjnej i kompleksowej oceny rzeczywistego stanu technicznego eksploatowanych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotniska na potrzeby użytkownika.

W opinii autora, szereg napotkanych i rozwiązanych problemów w ramach wykonanych badań i analiz skłania do konstatacji, że uzyskane rezultaty stanowią istotny wkład w rozwój nauk inżynierijno-technicznych, w dyscyplinie „*Inżynieria lądowa i transport*”, i co



najistotniejsze – mogą mieć praktyczne zastosowanie. Uwzględniając dotychczasową działalność naukową oraz rezultaty zamieszczone w niniejszej, zwartej monografii, zasadniczym wkładem w rozwój nauk w dyscyplinie „*Inżynieria lądowa i transport*” jest **opracowanie koncepcji, założeń, struktury, algorytmu i metodologii sporządzonej, autorskiej metody kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI**. Szczególną uwagę poświęcono zdefiniowaniu i opisaniu nowego parametru diagnostycznego, którym jest wskaźnik właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Wskaźnik ten obejmuje charakterystykę tarcia, czyli szorstkość nawierzchni oraz stan tekstury nawierzchni, tj.: mikro i makrotekstury na powierzchni kontaktu opony statku powietrznego z nawierzchnią lotniskową. **Efektom końcowym pracy jest opracowanie przez autora metodologii wyznaczania wskaźnika APCI dla sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych**. Do obliczenia wskaźnika APCI dla sztucznych nawierzchni lotniskowych niezbędne są wyniki: przeglądu okresowego uszkodzeń oraz napraw powierzchniowych nawierzchni, nośności, właściwości przeciwpoślizgowych, równości i wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Natomiast do oceny stanu naturalnych nawierzchni lotniskowych wymagane są wyniki badań terenowych, których zakres obejmuje badanie wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m oraz badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu. **Zaproponowana w monografii metoda kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL w oparciu o wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI, stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Inżynieria lądowa i transport”, wzbogacając obecny stan wiedzy dotyczącej diagnostyki technicznej nawierzchni.**

Należy podkreślić, że moja aktywność naukowa wciąż ewoluuje. Wszystkie podjęte działania, których dążeniem było wykonanie szeregu badań i analiz w zakresie diagnostyki technicznej, w ostatecznej formie doprowadziły do sformułowania celów i następnie sprzyjały realizacji zadania przedstawionego jako główne osiągnięcie naukowe w formie zwartej monografii pt.: „*Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów*”. Mając powyższe na uwadze można stwierdzić, że przedstawione osiągnięcie naukowe wnosi nowe treści badawczo-rozwojowe i należy je uznać za nowatorskie. Obszerną weryfikację merytoryczną uzyskanych wyników badań umożliwiło moje 20-letnie doświadczenie w budowie, eksploatacji, diagnostyce i zarządzaniu stanem technicznym nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk cywilnych i wojskowych w Polsce.

Scharakteryzowane powyżej osiągnięcie mieści się w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie naukowej „*Inżynieria lądowa i transport*”, wg klasyfikacji *Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. z 2018, poz. 1818)*. Niektóre treści merytoryczne osiągnięcia naukowego mogą być zakwalifikowane do dyscypliny „*Inżynieria mechaniczna*”, co świadczy, iż prace mają charakter interdyscyplinarny.

Zainteresowanie międzynarodowe pracami badawczymi potwierdzają poniższe dane dotyczące moich publikacji po uzyskaniu tytułu doktora, które wg stanu na dzień 30.04.2021r. przedstawiają się następująco:

- liczba artykułów w czasopismach wg wykazu MEiN (indeksowanych w Web of Science) – 15,
- liczba cytowań artykułów w czasopismach wg wykazu MEiN (indeksowanych w Web of Science) – 11,
- indeks Hirscha według bazy Web of Science – 2,
- liczba artykułów w czasopismach wg wykazu MEiN (indeksowanych w bazie Scopus)

- 27,
- liczba cytowań artykułów w czasopismach wg wykazu MEiN (indeksowanych w bazie Scopus) – 22,
- indeks Hirscha według bazy Scopus – 2,
- suma punktów wg wykazu MEiN z uwzględnieniem współautorstwa – 730,61 pkt,
- sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR) z uwzględnieniem współautorstwa – 10,443.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Zestawienie wszystkich, szczegółowych informacji o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową zamieściłem w załączniku nr 4.

5.1. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych.

Swoje zainteresowania naukowe zacząłem rozwijać w trakcie studiów na Wydziale Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej, gdzie w latach 1997–2000 uczestniczyłem w pracach Koła Naukowego Studentów „Inżynieria”. W roku 1999 za pracę pt.: „*Projekt techniczny trasy biathlonowej Kościelisko – Kiry*” zdobyłem nagrodę Rektora Wojskowej Akademii Technicznej za zajęcie I miejsca w konkursie „O nagrodę Rektora WAT”. W roku 2000 za pracę pt.: „*Projekt drogowego odcinka lotniskowego*” zdobyłem nagrodę I stopnia w Wojskowej Akademii Technicznej za najlepszą pracę inżynierską w roku 2000. W pracy dyplomowej, napisanej pod kierunkiem dr. hab. inż. Jana Marszałka, zaprojektowałem drogowy odcinek lotniskowy. Praca obejmowała niezbędne obliczenia, analizy i projekty poszczególnych elementów obiektu, które wykonałem na potrzeby eksploatacji drogowego odcinka lotniskowego przez wojskowe statki powietrzne. Studia inżynierskie w Wojskowej Akademii Technicznej ukończyłem z wyróżnieniem. W roku 2003 ukończyłem z wyróżnieniem (ocena celująca) studia magisterskie (uzupełniające) na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Pracę magisterską pt.: „*Nowe rozwiązania materiałowo-technologiczne konstrukcji nawierzchni z betonów cementowych*” napisałem pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Jerzego Piłata. W pracy przedstawiłem nowe tendencje, rozwiązania materiałowo-technologiczne konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego, takie jak: beton wałowany, nawierzchnie zbrojone w sposób ciągły, nawierzchnie złożone: betonowo-asfaltowe i w technologii „whitetopping”, a także nawierzchnie betonowe z domieszką włókien stalowych i polipropylenowych, tzw. fibrobeton.

Po ukończeniu Wojskowej Akademii Technicznej zostałem skierowany do służby wojskowej w 14 batalionie usuwania zniszczeń lotniskowych (14 buzł) w Elblągu, gdzie w latach 2000–2007 zajmowałem kolejno stanowiska: inżyniera sekcji planowania usuwania zniszczeń lotniskowych, starszego inżyniera i szefa szkolenia. Pełniąc służbę w jednostce wojskowej odpowiadałem za realizację zadań szkoleniowych i produkcyjnych wykonywanych przez pododdziały inżynieryjne 14 buzł na obiektach lotniskowych Sił Zbrojnych RP. Ponadto, współtworzyłem i rozwijałem opracowany w jednostce wojskowej narodowy program szybkiej odbudowy zniszczeń lotniskowych ADR (ang. Airfield Damage Repair).

W roku 2007 zostałem skierowany do Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych

i rozpocząłem pracę w Zakładzie Lotnikowym. W pierwszym etapie swojej pracy naukowo-badawczej zajmowałem się oceną stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk użytkowanych w Siłach Zbrojnych RP. Wykonywałem badania nieniszczące w zakresie: nośności z wykorzystaniem ciężkiego ugięciomierza dynamicznego (ang. Heavy Weight Deflectometer), równości z wykorzystaniem planografu P-3z oraz szorstkości z wykorzystaniem urządzenia BVS-1 skonstruowanego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. W swoich badaniach koncentrowałem się na ocenie stanu technicznego nawierzchni EFL w aspekcie oddziaływania na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez wojskowe i cywilne statki powietrzne.

Doświadczenie zdobyte przy realizacji badań diagnostycznych wykorzystałem w pracy badawczej nad budową demonstratora technologii stanu technicznego nawierzchni lotniskowych. Celem pracy było przeprowadzenie badań poligonowych określających podstawowe parametry eksploatacyjne nawierzchni lotniskowych, tj.: nośność, równość i szorstkość na eksploatowanych oraz nowo budowanych nawierzchniach lotniskowych. Badania poligonowe wykonano na wybranych, czterech obiektach lotniskowych. Jako reprezentatywne elementy funkcjonalne lotniska wybrano nawierzchnie dróg startowych. Ponadto, przeprowadzono inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni lotniskowych na wybranych elementach funkcjonalnych lotniska z dwóch obiektów rzeczywistych. Uzyskane wyniki z pomiarów ugięć sprężystych, równości i współczynników tarcia nawierzchni oraz informacje na temat inwentaryzacji uszkodzeń, w trakcie badań prowadzonych na wybranych elementach funkcjonalnych lotniska z obiektów rzeczywistych, zostały wykorzystane do oceny aktualnego stanu technicznego nawierzchni lotniskowych. Wyniki wykonanych prac badawczych przedstawiłem w opublikowanych rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 18-19] oraz w opracowaniu zrealizowanym w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 18].

Kolejnym elementem mojej pracy badawczo-naukowej w obszarze diagnostyki stanu technicznego nawierzchni EFL była realizacja prac dla podmiotów z sektora gospodarczego. Wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 64-85 i ppkt 4, poz. 11]. Ponadto, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 20-22].

Wiedza oraz doświadczenie praktyczne zdobyte w jednostce wojskowej w zakresie realizowania programu szybkiej odbudowy zniszczeń lotniskowych ADR sprawiły, że moim, dalszym obszarem badawczym były prace nad mobilnymi, składanymi nawierzchniami lotniskowymi, które prowadziłem w latach 2008–2012. Jednym z podstawowych warunków użycia lotnictwa w działaniach wojennych jest zabezpieczenie odpowiedniej ilości lotnisk oraz utrzymanie ich w stałej gotowości eksploatacyjnej. Jest to zadanie trudne, gdyż współczesne lotnictwo wymaga w zasadzie lotnisk o nawierzchniach utwardzonych, a czas, jakim dysponują pododdziały lotniskowe przeznaczone do odbudowy lotnisk, jest bardzo ograniczony. Sprawna odbudowa nawierzchni lotniskowych umożliwia wznowienie wykonywania operacji lotniczych w czasie możliwie najkrótszym. Dotychczasowe metody i technologie odbudowy nie były w stanie sprostać wysokim rygorom czasowym, dlatego skonstruowano mobilne, kompozytowe nawierzchnie lotniskowe. Obecnie, w naszym kraju do naprawy dużych uszkodzeń nawierzchni lotniskowych, stosuje się składane pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER, wyprodukowane przez Stocznię Żuławy Sp. z o.o.. Do produkcji mobilnej nawierzchni lotniskowej wykorzystano jako matrycę żywicę poliestrową, a jako wzmocnienie włókno szklane typu E. Pokrycie posiada wymiary: szerokość 1,8 m, długość 9,1 m i grubość 8,0 mm. Elementy połączone są ze sobą elastycznymi przegubami, które zapewniają współpracę pojedynczych segmentów pod obciążeniem. Zespół tych elementów stanowi



pokrycie o wymiarach: 16,5 x 9,1 m. Połączone ze sobą dwa pokrycia tworzą matę o wymiarach: 16,5 x 18,2 m, która spełnia wymagania naprawy dużych uszkodzeń nawierzchni lotniskowych. Wykorzystanie tego rodzaju nawierzchni pozwala na spełnienie wysokich reżimów czasowych i zapewnienie bezpieczeństwa dla poruszających się po nich statków powietrznych. Ewentualne zassanie kurzu lub kamieni może poważnie ograniczyć okres pracy silników lotniczych lub spowodować ich awarię. Również łopaty śmigłowców są narażone na uderzenia przedmiotów poderwanych z powierzchni lądowiska. Posiadanie mobilnego pokrycia kompozytowego, dzięki któremu możliwe jest zbudowanie lądowiska w terenie przygodnym, może w znacznym stopniu zabezpieczyć śmigłowce przed uszkodzeniem. Wyniki wykonanych prac badawczych przedstawiłem w opublikowanych artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 60-63] oraz w opracowaniu zrealizowanym w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 19].

Posiadając doświadczenie w obszarze diagnozowania i oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, dostrzegłem potrzebę rozwiązania zadania badawczego, dotyczącego oceny nośności przewoźnych pokryć kompozytowych wykorzystywanych do szybkiej odbudowy zniszczeń lotniskowych w sytuacjach losowych. Tematyka ta była podstawą mojej rozprawy doktorskiej pt.: „*Nośność mobilnych pokryć kompozytowych stosowanych do odbudowy nawierzchni lotniskowych*”, która została obroniona w roku 2013. W ramach działalności naukowo-badawczej, związanej z zagadnieniami analizowanymi w rozprawie doktorskiej, zrealizowałem zadanie badawcze polegające na prowadzeniu badań naukowych, prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych pt.: „*Nośność mobilnych pokryć kompozytowych stosowanych do odbudowy nawierzchni lotniskowych*”.

5.2. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.

Po obronie pracy doktorskiej moja uwaga skupiła się na problematyce systemowego podejścia do całościowej analizy badanych parametrów diagnostycznych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów. Mając na uwadze złożoność i specyfikę procesu eksploatacji nawierzchni lotniskowych przez wojskowe i cywilne statki powietrzne, rozpocząłem prace nad autorską metodą kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL.

W swojej pracy skoncentrowałem się na określeniu kluczowych parametrów eksploatacyjnych sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych, od których bezpośrednio zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. **W celu oceny stanu technicznego sztucznych nawierzchni lotniskowych należy prowadzić badania diagnostyczne mające na celu określenie takich parametrów, jak: stopień degradacji, nośność, właściwości przeciwpoślizgowe, równość i wytrzymałość na odrywanie warstwy przypowierzchniowej.**

Stopień degradacji nawierzchni lotniskowych jest jednym z głównych parametrów charakteryzujących ich stan techniczny. Szacuje się go na podstawie danych uzyskanych podczas przeglądu okresowego nawierzchni (inventaryzacji), który jest wykonywany w warunkach terenowych. Degradacja jest to proces powolny i rozłożony w czasie, na który mają wpływ czynniki zewnętrzne, które z kolei powodują zmiany w strukturze konstrukcji nawierzchni lotniskowej. Na poziom zdegradowania nawierzchni EFL mają wpływ uszkodzenia oraz wykonane naprawy. W celu optymalnego doboru wskaźnika charakteryzującego rzeczywisty stopień degradacji powierzchni nawierzchni, rozpatruje się dwa warianty obliczeń, gdzie zakłada się, że wykonanie napraw wpływa w 20% (wariant U8N2) lub 50% (wariant U5N5) na zdegradowanie nawierzchni lotniskowej. W analizie

wskaźników charakteryzujących zdegradowanie nawierzchni wpływ rodzajów uszkodzeń i napraw na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych uwzględnia się przez wprowadzenie odpowiednio dobranych wag. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie szacowania stopnia degradacji przedstawiłem w opublikowanych: rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 5 i 8], artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 3, 10, 17, 21, 30, 46, 53-55 i 59] oraz w opracowaniach zrealizowanych w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 3-17 i pkt III, ppkt 1, poz. 8-12 i 14]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 12-13, 19, 34-35, 37-38, 54, 59 i 63 oraz ppkt 4, poz. 4, 7, 9 i 11]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 1, 8, 10 i 16].

Najważniejszym parametrem eksploatacyjnym nawierzchni lotniskowej, od którego bezpośrednio zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych, jest **nośność**. Za pomocą tej cechy określa się zdolność układu konstrukcyjnego nawierzchni do prawidłowego przenoszenia działających na nią obciążeń przez określony czas, bez nadmiernego zmniejszenia jej trwałości. Na nośność nawierzchni poza obciążeniem pochodzącym od samolotów i poruszających się po nich pojazdów wpływają jeszcze inne czynniki zewnętrzne, w tym duże znaczenie odgrywają warunki atmosferyczne. Jako najistotniejsze można wskazać: grubość poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni, parametry mechaniczne materiałów tworzących poszczególne warstwy, rodzaj i parametry podłoża gruntowego oraz temperaturę w momencie wykonywania badań terenowych. Dwa pierwsze czynniki można zakwalifikować jako niezmiennie w krótkim czasie lub w przybliżeniu stałe, natomiast pozostałe dwa mogą zmieniać się znacznie wraz ze zmianą warunków meteorologicznych. Do pełnej analizy stanu nośności konstrukcji nawierzchni lotniskowej konieczna jest identyfikacja parametrów fizykomechanicznych podłoża gruntowego i materiałów stanowiących jej poszczególne warstwy konstrukcyjne. Identyfikację należy prowadzić w sposób uwzględniający rzeczywiste warunki pracy nawierzchni lotniskowej, gdyż sposób przekazywania obciążenia przez statki powietrzne na podłoże gruntowe jest zależny od rodzaju konstrukcji nawierzchni, a to z kolei ma istotny wpływ na określanie jej nośności. W zależności od rodzaju i sposobu pracy nawierzchni lotniskowej, do wyrażenia charakteru oddziaływania statku powietrznego na nawierzchnię korzysta się z odpowiednich modeli matematycznych, opisujących podłoże gruntowe oraz konstrukcje nawierzchni EFL. Nośność nawierzchni lotniskowych ocenia się metodą ACN-PCN, wprowadzoną w roku 1983 przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO). W metodzie tej liczba klasyfikacyjna samolotu ACN (ang. Aircraft Classification Number) określa względne oddziaływanie statku powietrznego na nawierzchnię lotniskową dla ustalonej standardowej nośności podłoża gruntowego. Dla każdego samolotu liczba ACN jest zbiorem liczb uzależnionych od rodzaju konstrukcji nawierzchni lotniskowej (podatna lub sztywne) oraz nośności podłoża gruntowego. Natomiast liczba klasyfikacyjna nawierzchni PCN określa nośność nawierzchni lotniskowej dla ograniczonej liczby przejazdów statków powietrznych o liczbie $ACN=PCN$. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie nośności przedstawiłem w opublikowanych: rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 4, 6 i 13], artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 11-12, 27, 31, 37, 41, 43, 45, 51 i 56] oraz w opracowaniach zrealizowanych w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 16 i pkt III, ppkt 1, poz. 3]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 2, 5, 11, 14-16, 20, 23, 31-32, 39-40, 44, 47, 49-50, 52-53, 56, 58 i 60-61 oraz ppkt 4, poz. 1, 3-5 i 9-11]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem



prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 2, 5, 7-8, 11-12, 15-16 i 18].

Właściwości przeciwpoślizgowe są kolejnym elementem składowym procesu kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Parametr ten umożliwia określenie przyczepności opony statku powietrznego do nawierzchni, czyli zdolności do wytwarzania siły tarcia pomiędzy nawierzchnią elementu funkcjonalnego lotniska, a kołami statku powietrznego w warunkach wzajemnego poślizgu. Podstawowym parametrem mającym decydujące znaczenie przy określaniu stanu technicznego nawierzchni lotniskowej w zakresie właściwości przeciwpoślizgowych jest współczynnik tarcia. Jest to parametr determinujący prawidłową trajektorię poruszającego się statku powietrznego w polu naziemnego ruchu lotniczego. Stosowane systemy hamulcowe nie zadziałają, jeśli koło samolotu nie będzie miało odpowiedniej przyczepności do nawierzchni. W praktyce dąży się do tego, aby po przyziemieniu samolot poruszał się ruchem opóźnionym, tzn. żeby siły hamowania zostały zrównoważone przez siłę tarcia. W sytuacji gdy siły hamowania przewyższają siłę tarcia, koło zaczyna się ślizgać po nawierzchni, czego efektem jest częściowa lub całkowita utrata przez pilota kontroli nad maszyną. Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych nie ogranicza się tylko do pomiarów współczynnika tarcia określającego stan szorstkości nawierzchni, ale obejmuje również pomiary głębokości tekstury nawierzchni, tj. mikro- i makrotekstury, czyli elementu składowego charakterystyki tarcia powierzchni styku opona–nawierzchnia. Podobnie jak stosowane spadki poprzeczne, tekstura ma kluczowe znaczenie w odprowadzaniu wody z nawierzchni, czyli na powstawanie zjawiska akwaplanacji. Złe właściwości przeciwpoślizgowe bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych i mogą być przyczyną np. wypadnięcia statku powietrznego poza drogę startową. Istnieją oczywiście metody mające na celu poprawę właściwości przeciwpoślizgowych, takie jak rowkowanie (ang. grooving) i szlifowanie (ang. grinding) nawierzchni czy systematyczne zabiegi usuwania gumi, ale niekiedy mogą one doprowadzić do powstania tzw. nawierzchni ostrej, co w konsekwencji może skutkować uszkodzeniem opon samolotu podczas lądowania lub startu, a także wpływać na ich szybsze zużycie. Należy także podkreślić, że fragmenty pochodzące z uszkodzonej opony, stanowiące ciało obce, mogą być np. zassane przez silnik lotniczy lub doprowadzić do innych uszkodzeń, a w konsekwencji do tragicznego w skutkach zdarzenia lotniczego, jakie miało np. miejsce w lipcu 2000 r. we Francji z udziałem Concorde'a. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie właściwości przeciwpoślizgowych przedstawiłem w opublikowanych: rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 1 i 9], artykułach w czasopiśmie naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 5, 7, 14-16, 19-20, 23, 25, 29, 33, 36, 39-40 i 42] oraz w opracowaniach zrealizowanych w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 1 i 16 oraz pkt III, ppkt 1, poz. 4 i 6]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 2, 4, 5, 14-15, 20, 28-29, 31, 36, 39-40, 43, 46, 49-50, 52 i 56 oraz ppkt 4, poz. 8]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 2, 9 i 19].

Następny parametr eksploatacyjny nawierzchni lotniskowej, który wpływa na bezpieczeństwo statku powietrznego podczas wykonywania operacji lotniczych to **równość**. W wyniku obciążeń dynamicznych, nieodpowiedniej technologii budowy nawierzchni czy złych warunków atmosferycznych powstają odchylenia od pożądanego stanu w postaci nierówności podłużnych i poprzecznych. Stan równości nawierzchni mogą bezpośrednio odczuć i zauważyć jej użytkownicy. Nieprawidłowości te to w głównej mierze zły komfort jazdy, niedostateczne odprowadzenie wód opadowych, tworzenie się zastoisk wodnych, czy

też zwiększone oddziaływania dynamiczne. Nierówności nawierzchni wpływają również negatywnie na opory toczenia kół, przyspieszoną degradację nawierzchni, a tym samym przyczyniają się do pogorszenia warunków bezpieczeństwa. Kryteria, jakim muszą sprostać nawierzchnie lotniskowe zarówno na obiektach cywilnych, jak i wojskowych są znacznie wyższe niż kryteria stawiane nawierzchniom drogowym. Wynikają one nie tylko z odmiennego charakteru pracy nawierzchni czy większych oddziaływań dynamicznych, ale również z braku możliwości prowadzenia prac remontowo-naprawczych bez zamykania ruchu czy ograniczenia prędkości dla pojazdów spowodowanego złym stanem nawierzchni, jak ma to miejsce na obiektach drogowych. Wymagania dotyczące oceny stanu równości nawierzchni lotniskowych znajdują się w dokumentach normatywnych Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO), Federal Aviation Administration (FAA) oraz Normie Obronnej NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości, zgodnie z którymi na obiektach lotniskowych pomiary mogą być wykonywane przy pomocy profilografu, planografu czy łaty i klina. Stosowane urządzenia pomiarowe do oceny stanu równości różnią się między sobą wymiarami oraz dopuszczalnymi, pojedynczymi nierównościami nawierzchni lotniskowej. Wyżej wymieniona Norma Obronna w odróżnieniu od pozostałych dokumentów określa metodykę prowadzenia oceny stanu równości nawierzchni lotniskowych na poszczególnych elementach funkcjonalnych lotniska, kryteria oceny oraz sposób przedstawiania otrzymanych wyników z badań terenowych. Ponadto, zwraca uwagę na konieczność określania stanu równości nawierzchni nowo budowanych i remontowanych przed oddaniem ich do eksploatacji oraz na systematyczne poddawanie ich kontrolnym badaniom okresowym podczas dalszego procesu użytkowania. Przedstawione czynności umożliwiają śledzenie zachodzących zmian podczas eksploatacji, wyznaczenie obszarów, w których degradacja postępuje szybciej, ale również pozwala prognozować tempo i lokalizację ich występowania. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie równości przedstawiłem w opublikowanych: artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 18, 24 i 35] oraz w opracowaniach zrealizowanych w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 16 oraz pkt III, ppkt 1, poz. 5]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 2, 5, 20, 39, 49-50, 52 i 58 oraz ppkt 4, poz. 3]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 1 i 19].

Bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne w naziemnym polu manewrowym zależy także od właściwego stanu technicznego i eksploatacyjnego nawierzchni EFL. Na szczególną uwagę zasługują ciała obce, które mogą znaleźć się na nawierzchni, tzw. FOD (ang. Foreign Object Debris). Są one wyjątkowo niebezpieczne ze względu na możliwość zassania ich przez silnik samolotu, co może spowodować jego uszkodzenie. FOD mogą stanowić m.in. oderwane, luźne elementy nawierzchni, dlatego też tak istotna jest dbałość o jej czystość i odpowiedni stan techniczny warstwy powierzchniowej. W ocenie trwałości i bezpieczeństwa eksploatacji nawierzchni lotniskowych przez statki powietrzne bardzo istotnym parametrem jest **wytrzymałość warstwy powierzchniowej na odrywanie**. Sprawdzanie wytrzymałości na odrywanie wykonuje się metodą „pull-off” dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska. W wielu przypadkach metoda ta okazuje się niezastąpionym źródłem wiedzy podczas podejmowania decyzji technicznych dotyczących potrzeby przeprowadzenia napraw czy też remontów z zastosowaniem odpowiedniej technologii. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie bezpieczeństwa lotów, obejmującego FOD oraz wytrzymałość warstwy powierzchniowej na odrywanie, przedstawiłem w opublikowanych: rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 7, 10-12 i 14-17], artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 2, 6, 32, 34, 38, 44, 47-50, 52 i 57-58] oraz



w opracowaniach zrealizowanych w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 2 oraz pkt III, ppkt 1, poz. 2, 7 i 13]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 21-22, 26-27, 41-42, 51, 55 i 62 oraz ppkt 4, poz. 3-4, 6-8 i 11]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 1, 4-6, 8, 10, 12, 14 i 18].

Naturalne nawierzchnie lotniskowe odpowiadają za zapewnienie bezpieczeństwa w odniesieniu do manewru przerwane go startu bądź opóźnionego lądowania statku powietrznego i ewentualnego jego wykołowania z drogi startowej. Jednak do niedawna wymagania oraz metodyka dotyczące oceny nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych nie były uregulowane, co spowodowało, że zostały one częściowo zaniedbane, a to bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. W zależności od rodzaju lotniska i jego funkcji naturalne nawierzchnie lotniskowe spełniają określone zadania. Obecnie naturalne nawierzchnie lotniskowe występują na elementach funkcjonalnych, lotniska takich jak:

- boczne pasy bezpieczeństwa (BPB, pobocza), które zabezpieczają statek powietrzny przed uszkodzeniami, w sytuacji awaryjnego zjechania z drogi startowej. Nawierzchnie naturalne powinny być przygotowane lub zbudowane w taki sposób, aby w przypadku ewentualnego zjazdu statku powietrznego z drogi startowej nie spowodowały jego uszkodzenia i infrastruktury podziemnej oraz aby gwarantowały szybkie przywrócenie zdolności operacyjnej lotniska poprzez sprawne usunięcie statku powietrznego przez służby lotniska;
- czołowe pasy bezpieczeństwa (CzPB, RESA), które gwarantują, aby manewr przerwane go startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualnego wykołowania statku powietrznego z drogi startowej mógł zostać przeprowadzony bez jego uszkodzenia;
- nieutwardzone drogi startowe na mniejszych lotniskach lub roboczy pas startowy (RPS – EFL na lotniskach wojskowych), które są częścią pasa startowego przeznaczoną do rozbiegu i oderwania statku powietrznego przy starcie oraz do przyziemienia i dobiegu przy lądowaniu.

Do kluczowych parametrów eksploatacyjnych naturalnych nawierzchni lotniskowych, od których bezpośrednio zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych, zalicza się: wytrzymałość warstwy darniowej do głębokości 0,30 m poniżej poziomu terenu (p.p.t.) oraz nośność nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m p.p.t.

Wytrzymałość warstwy darniowej podlega sprawdzeniu podczas badań w warunkach terenowych, które wykonuje się za pomocą sondy darniowej (SD). Pomiar wytrzymałości warstwy darniowej wykonywany jest do głębokości 0,3 m p.p.t. i polega na pomiarze liczby uderzeń obciążnika przypadających na głębokość 0,1 m oraz 0,3 m głębokości wpędu końcówki sondy w ocenianą warstwę. Średnia wartość wytrzymałości warstwy darniowej dla badanego EFL powinna być nie mniejsza niż 1,0 MPa. W sytuacjach wyjątkowych – pojedynczy start lub lądowanie statku powietrznego – wytrzymałość warstwy darniowej może być niższa, ale nie mniejsza niż 0,8 MPa. Natomiast pomiary **nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych** prowadzone są za pomocą sondy dynamiczno-stożkowej (SDS) do głębokości 0,85 m p.p.t., dla trzech wydzielonych warstw, tj.: do głębokości 0,15 m (warstwa pierwsza), od głębokości 0,15 m do głębokości 0,50 m (warstwa druga) i od głębokości 0,50 m do głębokości 0,85 m (warstwa trzecia). Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wyraża się kalifornijskim wskaźnikiem nośności CBR. Minimalna wartość wskaźnika CBR dla badanego EFL powinna wynosić 15% dla pierwszej warstwy (do głębokości 0,15 m p.p.t.) oraz 8% dla warstwy drugiej (od głębokości 0,15 m do głębokości 0,50 m p.p.t.) i trzeciej (od głębokości 0,50 m do głębokości 0,85 m p.p.t.). Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie naturalnych nawierzchni lotniskowych

przedstawiłem w opublikowanych: rozdziałach monografii naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 2-3], artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 4, 13, 22, 26 i 28] oraz w opracowaniu zrealizowanym w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [załącznik 4, pkt III, ppkt 1, poz. 1]. Ponadto, wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach i protokołach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 7, 25, 30 i 47 oraz ppkt 4, poz. 2 i 10]. Oprócz tego, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 2 i 7].

Wszystkie przedstawione powyżej parametry diagnostyczne mają wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne w naziemnym polu manewrowym i są wykorzystywane do kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL.

Podstawą mojej pracy były wyniki wieloletnich badań diagnostycznych, które wykonałem na rzeczywistych obiektach lotniskowych, oraz będące ich następstwem wnikliwe analizy zmierzonych parametrów eksploatacyjnych. Zakres badań obejmował przeglądy okresowe uszkodzeń i wykonanych napraw powierzchniowych nawierzchni, a także pomiary: ugięć sprężystych do oceny nośności konstrukcji, właściwości przeciwpoślizgowych, obejmujących charakterystykę tarcia i stan tekstury nawierzchni, równości oraz wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Wyniki zrealizowanych prac badawczych przedstawiłem w opracowanych sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 2, poz. 1, 3, 6, 8-10, 12-13, 17-19, 24, 33-35, 37-38, 45, 48, 54, 57, 59 i 63]. Ponadto, na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców, realizowałem prace badawcze w formie ekspertyz, których wyniki przedstawiłem w sprawozdaniach [załącznik 4, pkt III, ppkt 5, poz. 1-3, 8, 10, 13 i 15-19].

Efektom końcowym mojej pracy jest opracowana, nowatorska metoda kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL, bazująca na zdefiniowanym wskaźniku APCI, obejmującym sumę wpływów wyżej wymienionych parametrów diagnostycznych, poddanych standaryzacji i obciążonych określonymi wagami. Wyniki wykonanych prac badawczych w zakresie oceny stanu technicznego nawierzchni EFL, z zastosowaniem autorskiej metody wskaźnika APCI, przedstawiłem w monografii naukowej pt.: „*Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów*” oraz opublikowanych artykułach w czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 1, 8 i 9].

Metoda systemowego diagnozowania stanu technicznego nawierzchni EFL, bazująca na wprowadzonym wskaźniku stanu nawierzchni lotniskowych APCI, stanowi istotne rozszerzenie stosowanego dotychczas zakresu diagnostyki technicznej nawierzchni lotniskowych. Efektem wymiernym stworzonej metody jest możliwość stałego monitorowania przez służby lotniskowe procesu eksploatacji nawierzchni EFL, co bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Kompleksowe podejście do oceny stanu technicznego nawierzchni w sposób systemowy gwarantuje zarządzanie tymi nawierzchniami w sposób efektywny i zrównoważony.

Ponadto, efektem wymiernym wykonanych prac badawczych w zakresie oceny stanu technicznego nawierzchni EFL, uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora, są opublikowane artykuły w międzynarodowych i krajowych czasopismach naukowych [załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 1-59]. Najistotniejsze z nich to:

- 1) Wesołowski M., Rumak A., Iwanowski P., Poświata A., 2020, “*Assessment of the Impact of Atmospheric Corrosivity on the Cement Concrete Airfield Pavement’s Operation Process*”, Sustainability 2020, 12(22), 9560, MDPI, Basel, Switzerland, str. 13, DOI: 10.3390/su12229560.

Artykuł jest pracą współautorską, zawierającą wyniki własnych badań, jest napisany w języku angielskim. Liczba punktów według listy MEiN w roku publikacji – 70. Jest w bazie **Journal Citation Reports (IF=2,576)** oraz **Web of Science i Scopus**.

Artykuł stanowi część obszernej pracy naukowo-badawczej mającej na celu powiązanie zjawiska korozji atmosferycznej z procesem degradacji nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk wykonanych w technologii betonu cementowego. Końcowym efektem naukowym pracy będzie model matematyczny sformułowany na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej, umożliwiający szacowanie tempa degradacji betonowych nawierzchni lotniskowych w kontekście powstawania uszkodzeń powierzchniowych. Natomiast efektem praktycznym pracy będzie określenie bezpośredniego wpływu korozyjności atmosferycznej na trwałość konstrukcji nawierzchni EFL podczas prowadzenia operacji lotniczych przez statki powietrzne w naziemnym polu manewrowym. W artykule przedstawiono zagadnienie oceny korozji w naturalnych warunkach atmosferycznych na podstawie prowadzonych, okresowych badań próbek wybranych materiałów pochodzących z konstrukcji lotniczych. Próbkę poddawane są okresowym obserwacjom w celu oznaczenia w ustalonych odstępach czasu wielkości ubytków korozyjnych, ich postaci i wyglądu, oraz zmian własności fizycznych. W podjętej pracy badawczej, przygotowane próbki poddano narażeniu na działanie środowisk atmosferycznych w wyznaczonych miejscach usytuowanych na terenie wybranych wojskowych obiektów lotniskowych. Próbkę korozyjne w postaci próbek standardowych o wymiarach 50 mm x 100 mm i grubości w zakresie od 1 mm do 3 mm umieszczane są na specjalnych ramach znajdujących się w obrębie ogrodzonych stacji korozyjnych. Szybkość korozji określonego metalu, wyrażona przez ubytek korozyjny, zależy od warunków środowiskowych. W artykule oceniana jest kategoria korozyjności atmosfery z punktu widzenia ubytku masy lub grubości próbek wzorcowych wykonanych ze stali niskowęglowej, cynku, miedzi i aluminium, po jednym roku ekspozycji.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji oraz zdefiniowaniu hipotezy badawczej, przygotowaniu założeń do artykułu, opracowaniu metodologii oceny korozji w naturalnych warunkach atmosferycznych na podstawie prowadzonych okresowo badań próbek wybranych materiałów pochodzących z konstrukcji lotniczych, a także udziale w opracowaniu tekstu artykułu. Mój udział szacuję na 25%.

- 2) Wesołowski M., Blacha K., Pietruszewski P., Iwanowski P., 2020, “*Analysis of the Actual Contact Surface of Selected Aircraft Tires with the Airport Pavement as a Function of Pressure and Vertical Load*”, *Coatings* 2020, Volume 10, Issue 6, 591, MDPI, Basel, Switzerland, str. 20, DOI: 10.3390/coatings10060591.

Artykuł jest pracą współautorską, zawierającą wyniki własnych badań, jest napisany w języku angielskim. Liczba punktów według listy MEiN w roku publikacji – 100. Jest w bazie **Journal Citation Reports (IF=2,436)** oraz **Web of Science**.

Tematyka artykułu dotyczy części realizowanego projektu badawczego, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, mającego na celu opracowanie innowacyjnego w skali światowej urządzenia oraz metody do ciągłego pomiaru parametru nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. Aspekt naukowy artykułu stanowi zweryfikowanie powszechnie stosowanych modeli matematycznych, opisujących powierzchnię styku obciążonego koła z nawierzchnią. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania rzeczywistej powierzchni styku koła statku powietrznego z nawierzchnią lotniskową w warunkach laboratoryjnych na specjalnie zaprojektowanym stanowisku badawczym. Badania prowadzono dla czterech typów opon. Dwie z nich były oponami samolotowymi pochodzącymi od samolotu PZL M28 Skytruck/Bryza oraz Sukhoi Su-22. Dwie kolejne pochodziły od lotniskowego testera tarcia ASFT (Airport Surface Friction Tester) – jedna gładka typu ASTM, druga gładko bieżnikowana typu T520. Opony badano w zakresie ciśnienia w kole od 200 do 800 kPa.



Zakres obciążenia pionowego koła na nawierzchnię mieścił się w granicach od 3,23 do 25,93 kN dla opon samolotowych, oraz od 0,8 do 4,0 kN dla opon pochodzących od testera tarcia. Badania dowiodły istotny wpływ wartości ciśnienia w kole oraz nacisku koła na nawierzchnię na uzyskane pole powierzchni styku koła z nawierzchnią. Wielkość powierzchni kontaktu, jej kształt oraz rozkład naprężeń przy powierzchni nawierzchni na istotny wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia operacji lotniczych w naziemnym polu manewrowym. Wpływa ona również w znacznym stopniu na wielkości powstających w konstrukcji naprężeń, co przekłada się na trwałość i niezawodność nawierzchni lotniskowej. Badania prowadzono w wielu, różnych od siebie kontekstach. Analizowano między innymi wpływ różnych czynników na powierzchnię styku, na jej kształt, na sposób rozkładu naprężeń, ale też interesowano się takimi parametrami, jak chociażby właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni. Rozpatrując wpływ ciśnienia w oponie oraz siły nacisku między kołem, a nawierzchnią lotniskową na wielkość pola powierzchni styku wykazano, iż powszechnie stosowane wzory na teoretyczną powierzchnię styku odbiegają od uzyskanych w trakcie badań laboratoryjnych wyników. Pokazano, że ciśnienie w kole, siła nacisku oraz rozmiar opony nie są jedynymi parametrami wpływającymi na pole powierzchni kontaktu koła z nawierzchnią.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji oraz hipotezy badawczej, przygotowaniu założeń do artykułu, udziale w przygotowaniu planu badań, opracowaniu metody wyznaczania rzeczywistej powierzchni kontaktu koła statku powietrznego z nawierzchnią lotniskową oraz udziale w opracowaniu tekstu artykułu. Mój udział szacuję na 40%.

- 3) Wesołowski M., Iwanowski P., 2020, “*APCI Evaluation Method for Cement Concrete Airport Pavements in the Scope of Air Operation Safety and Air Transport Participants Life*”, International Journal of Environmental Research and Public Health 2020, Volume 17, Issue 5, 1663, MDPI, Basel, Switzerland, str. 14, DOI: 10.3390/ijerph17051663.

Artykuł jest pracą współautorską, zawierającą wyniki własnych badań, jest napisany w języku angielskim. Liczba punktów według listy MEiN w roku publikacji – 70. Jest w bazie **Journal Citation Reports (IF=2,849)** oraz **Scopus** i **Web of Science**.

Artykuł jest uzupełnieniem tematyki podjętej w monografii. **Celem naukowym artykułu było zwrócenie uwagi na bezpieczeństwo prowadzenia operacji lotniczych w naziemnym polu manewrowym w aspekcie uszkodzeń nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk wykonanych w technologii betonu cementowego.**

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania wskaźnika APCI (Airfield Pavement Condition Index) dla nawierzchni betonowych. Wskaźnik ten jest wykorzystywany do oceny rzeczywistego stanu technicznego nawierzchni w procesie jej eksploatacji, na podstawie danych z przeglądów okresowych, tj. rocznych i pięcioletnich. Zarządzanie nawierzchniami lotniskowymi powinno odbywać się w oparciu o rzetelną informację na temat ich aktualnego stanu technicznego. Powstało wiele metod i procedur dostarczających danych opisujących kondycję nawierzchni. Znaczna większość z nich oparta jest o standardową procedurę PCI (Pavement Condition Index). Niektórzy dołączają inne parametry takie, jak równość, czy nośność nawierzchni. Poza informacją o aktualnym stanie nawierzchni istotna jest możliwość przewidywania jej stanu w przyszłości. Tu także opracowano techniki pozwalające na ocenę wskaźników takich, jak Remaining Service Life. Powstają jednocześnie metody wspierane sztucznymi sieciami neuronowymi pozwalające na predykcję postępu degradacji nawierzchni. Wszystkie metody będą działać poprawnie, jeśli system zbierania informacji o nawierzchni będzie rzetelny i pełny. Zaproponowana procedura APCI takiego właśnie spektrum danych dostarcza. Na dane wejściowe składają się takie parametry, jak: degradacja nawierzchni, nośność, równość, właściwości przeciwpoślizgowe oraz odporność betonu na odrywanie. Degradację nawierzchni ocenia się uwzględniając zarówno uszkodzenia, jak i wykonane już naprawy.

Ocena nośności bazuje na pomiarze ugięć sprężystych urządzeniem HWD (Heavy Weight Deflectometer) oraz pełnym rozpoznaniu konstrukcji i podłoża gruntowego. Właściwości przeciwpoślizgowe wchodzi do modelu jako współczynnik tarcia, natomiast w ocenie równości uwzględnia się zarówno równość podłużną, jak i poprzeczną. Równocześnie z procedurą powstała skala oceny stanu nawierzchni lotniskowych poparta wieloletnimi badaniami oraz wiedzą i doświadczeniem ekspertów z branży budownictwa komunikacyjnego. Metoda APCI może stanowić rzetelne źródło informacji w procesie szacowania przyszłego stanu nawierzchni lotniskowej. Rozważa się wprowadzenie do modelu informacji o korozyjności atmosfery w obszarze eksploatowanych nawierzchni podlegających ocenie. Takie dane nie wprowadzają nic nowego do aktualnego stanu nawierzchni, natomiast stanowią nieocenione źródło informacji w procesie prognozowania kondycji nawierzchni. Prowadzone są badania mające na celu powiązanie standardowych metod oceny korozyjności atmosfery z podatnością betonu na korozję atmosferyczną. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego z wykorzystaniem wskaźnika APCI, przygotowaniu założeń do artykułu, opracowaniu planu badań terenowych, udziale w badaniach terenowych będących podstawą do wyznaczenia wskaźnika APCI, opracowaniu struktury, algorytmu i metody wyznaczania wskaźnika APCI dla nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego oraz udziale w opracowaniu tekstu artykułu. Mój udział szacuję na 60%.

- 4) Wesołowski M., Iwanowski P., 2020, "*Evaluation of Asphalt Concrete Airport Pavement Conditions Based on the Airfield Pavement Condition Index (APCI) in Scope of Flight Safety*", Aerospace 2020, Volume 7, Issue 6, 78, MDPI, Basel, Switzerland, str. 22, DOI: 10.3390/aerospace7060078.

Artykuł jest pracą współautorską, zawierającą wyniki własnych badań, jest napisany w języku angielskim. Liczba punktów według listy MEiN w roku publikacji – 70. Jest w bazie **Scopus** i **Web of Science**.

Artykuł stanowi uzupełnienie tematyki podjętej w monografii oraz częściowe podsumowanie wieloletnich prac naukowo-badawczych. **Celem naukowym artykułu była ocena nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk wykonanych w technologii betonu asfaltowego z wykorzystaniem opracowanego modelu wskaźnika APCI (Airfield Pavement Condition Index).**

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania wskaźnika APCI. Wskaźnik ten jest wykorzystywany do oceny rzeczywistego stanu technicznego nawierzchni w procesie jej eksploatacji, na podstawie danych z przeglądów okresowych, tj. rocznych i pięcioletnich. Właściwe zarządzanie nawierzchniami lotniskowymi z betonu asfaltowego oraz powiązane z nim utrzymanie powinno odbywać się w oparciu o rzetelną informację o stanie technicznym nawierzchni. Dobre rozpoznanie zmian stanu technicznego nawierzchni lotniskowej jest możliwe tylko i wyłącznie na podstawie poprawnej oceny aktualnego stanu technicznego. Obecnie istnieje wiele narzędzi umożliwiających tego typu ocenę. Najpopularniejszą na całym świecie jest metoda PCI (Pavement Condition Index) oraz wszelkiego rodzaju jej modyfikacje. Na jej podstawie powstają także systemy zarządzania nawierzchniami lotniskowymi. Przykładem tego rodzaju systemu może być opracowany przez U.S. Army Corps of Engineers system PAVER oparty na procedurze PCI. Procedura PCI ma swoje zalety, jak chociażby czas wykonania, ale ma też swoje wady. Najważniejszą z nich jest fakt, że uwzględnia ona jedynie wyniki inwentaryzacji zaobserwowanych uszkodzeń powierzchni. Inne parametry techniczne nawierzchni są pomijane. Wychodząc naprzeciw autorzy opracowali metodę APCI, która poza inwentaryzacją uszkodzeń nawierzchni asfaltowej zawiera także obmiar wykonanych napraw oraz inne parametry techniczne nawierzchni. Do pozostałych parametrów autorzy zaliczyli nośność nawierzchni, jej właściwości przeciwpoślizgowe, równość, a także



bardzo istotny parametr eksploatacyjny, którym jest wytrzymałość warstwy przypowierzchniowej na odrywanie. Ten ostatni parametr ma duże znaczenie dla bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, z uwagi na utrzymanie czystości nawierzchni lotniskowych na wymaganym poziomie. Zaprezentowane w artykule wyniki dotyczą jednego z obiektów lotniskowych, na którym wykonano badania 11 elementów funkcjonalnych. Przebadano drogę startową, drogi kołowania oraz płaszczyzny postoju statków powietrznych. Uzyskane wyniki badań wprowadzono do modelu APCI poprzez wskaźniki poszczególnych parametrów. Wskaźniki zostały ujednoczone poprzez sprowadzenie do wspólnej jednostki. Dzięki takiemu zabiegowi możliwe było ich uśrednienie. Wagi poszczególnych parametrów zostały dobrane metodą ekspertów i wprowadzają dane wejściowe w sposób charakteryzujący ich wpływ na stan techniczny nawierzchni. Opracowanie modelu APCI przedstawionego w niniejszej pracy pozwala na znaczne zautomatyzowanie procesu oceny stanu technicznego nawierzchni z betonu asfaltowego. Jednocześnie pomniejsza się wpływ czynnika ludzkiego na wyniki analizy. Ma to istotne znaczenie w cyklu zarządzania nawierzchniami lotniskowymi w aspekcie bezpieczeństwa lotów. W przyszłości przedstawione podejście wagowe, może zostać w łatwy sposób zastąpione modelem sieci neuronowych. Zastosowanie modeli predykcyjnych pozwoli w przyszłości na stosunkowo precyzyjne szacowanie Remaining Service Life. Opracowanie systemu opartego o metodę APCI umożliwi także dostarczanie aktualnych informacji o stanie nawierzchni odpowiednim służbom w czasie rzeczywistym. Ponadto, zbieranie danych na temat któregośkolwiek parametru może w każdej chwili zostać zamienione metodą równoważną, co powoduje, że model staje się niezwykle uniwersalny.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu asfaltowego z wykorzystaniem wskaźnika APCI, przygotowaniu założeń do artykułu, opracowaniu struktury, algorytmu i metody wyznaczania wskaźnika APCI dla nawierzchni lotniskowych z betonu asfaltowego, wykonaniu badań terenowych stanowiących dane wejściowe do modelu APCI oraz udziale w opracowaniu tekstu artykułu. Mój udział szacuję na 60%.

- 5) Wesołowski M., Kowalewska A., 2020, "*The impact of a geogrid system on load-bearing capacity of natural airfield pavements*", Archives of Civil Engineering 2020, Volume 66, Issue 2, Warsaw University of Technology Faculty of Civil Engineering and Committee for Civil Engineering Polish Academy of Sciences, s. 45-61, DOI: 10.24425/ace.2020.131795.

Artykuł jest pracą współautorską, zawierającą wyniki własnych badań, jest napisany w języku angielskim. Liczba punktów według listy MEiN w roku publikacji – 100. Jest w bazie Scopus i Web of Science.

Analiza zaprezentowana w artykule stanowi część obszernej pracy naukowo-badawczej, której celem naukowym jest opracowanie skutecznego systemu wzmacniania naturalnych nawierzchni lotniskowych, charakteryzujących się obniżonym parametrem nośności. Artykuł uzupełnia i rozszerza informacje przedstawione w monografii, dotyczące naturalnych nawierzchni lotniskowych i ich znaczenia dla bezpieczeństwa lotów.

W artykule przedstawiono zagadnienie nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, która w bezpośredni sposób wpływa na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Dotychczasowe badania wykazują, że znaczna część naturalnych nawierzchni lotniskowych w Polsce nie spełnia wymagań odnośnie nośności i wymaga wzmocnienia. Omówiono zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne polegające na wzmocnieniu naturalnej nawierzchni lotniskowej systemem geokrat, czyli geosyntetyków komórkowych. W tym celu wykonano szereg badań poligonowych mających na celu

określenie nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych przed zastosowaniem wzmocnienia oraz po jego zastosowaniu. Analiza wyników z przeprowadzonych badań potwierdziła, że nośność badanej nawierzchni naturalnej po wzmocnieniu systemem geokrat wzrosła o około 30%. Wartość modułu sprężystości dla niewzmocnionej nawierzchni naturalnej wyniosła 54 MPa, natomiast moduły odkształcenia warstw ulepszonych wyniosły średnio 82 MPa z badania płytą VSS oraz 128 MPa z badania ugięciomierzem lotniskowym. W omawianym przypadku, oprócz geosyntetyków komórkowych zastosowanych do wzmocnienia nawierzchni naturalnej, zaprojektowano i wykonano technologię wzmocnienia podłoża, która również miała wpływ na polepszenie parametru nośności nawierzchni.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji i zdefiniowaniu hipotezy badawczej, przygotowaniu założeń do artykułu, przygotowaniu planu badań terenowych, analizie wyników nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych wzmocnionych i niewzmocnionych systemem geokrat oraz udziale w opracowaniu tekstu artykułu. Mój udział szacuję na 50%.

Ponadto, w obszarze analizy właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni EFL i ich znaczącego wpływu na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne, zwróciłem szczególną uwagę na potrzebę zdefiniowania nowego parametru diagnostycznego w postaci wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych sztucznych nawierzchni lotniskowych. Wprowadzony wskaźnik bazuje na pomiarze współczynnika tarcia oraz głębokości tekstury, tj.: mikro i makrotekstury na powierzchni styku opona – nawierzchnia. Mając na uwadze aktualnie stosowaną w Polsce i na całym świecie metodykę oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych, opracowałem autorską koncepcję nowego podejścia do określania ww. parametru eksploatacyjnego. Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych i drogowych były i nadal są przedmiotem badań, które realizowane są przez ośrodki naukowe, a także państwowe instytucje lotnicze i drogowe na całym świecie. Dokonując przeglądu literatury w przedmiotowym obszarze można dostrzec, iż obecne prace badawcze ukierunkowane są przede wszystkim na pozyskanie możliwości prognozowania szorstkości nawierzchni (współczynnika tarcia) na podstawie niezależnych badań tekstury (pomiarów punktowych) prowadzonych w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych. W związku z tym, w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych został zaprojektowany i zbudowany innowacyjny układ pomiarowy przeznaczony do pomiaru właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły. Umożliwia on dynamiczny, równoczesny pomiar głębokości tekstury i współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych w śladzie opony koła pomiarowego testera tarcia, zgodnie z obowiązującymi przepisami. Zbudowany układ pomiarowy składa się z:

- modułu do oceny szorstkości – pomiaru współczynnika tarcia,
- modułu do oceny głębokości tekstury.

Cechy charakterystyczne i zadania modułu do oceny szorstkości nawierzchni lotniskowych (pomiaru współczynnika tarcia) są następujące:

- umożliwia pomiar współczynnika tarcia według obowiązujących dokumentów normatywnych,
- zawiera system samozraszający zapewniający film wodny grubości 1 mm pomiędzy oponą koła pomiarowego, a badaną nawierzchnią,
- jest dostosowany do pomiarów przy prędkości 65 km/h i 95 km/h,
- zapewnia stałą wartość nacisku pionowego na nawierzchnię o wartości 1400 N,
- zapewnia stały poślizg koła pomiarowego o wartości od 10 do 20% (wskazane 13%),
- ma bezprzewodową łączność pomiędzy komputerem głównym (urządzenie pomiarowe), a komputerem pomiarowym (obsługa podczas pomiaru),
- ma możliwość eksportowania danych z pomiaru,
- umożliwia odczytanie wartości współczynnika tarcia z interwałem co najmniej

10 m,

- umożliwia pomiar z dokładnością do 0,01 (bezwymiarowa wartość współczynnika tarcia),
 - umożliwia montaż modułu do oceny głębokości tekstury nawierzchni lotniskowych.
- Moduł do oceny szorstkości stanowi tester tarcia nawierzchni lotniskowych firmy ASFT na przyczepie T-10.

Natomiast zbudowany moduł do oceny głębokości tekstury nawierzchni lotniskowych:

- umożliwia pomiar z dokładnością do 0,01 mm (wartość głębokości tekstury),
- umożliwia odczytanie wartości głębokości tekstury z interwałem co najmniej 1 m,
- zapewnia szybkość pomiarów (częstotliwość) do 4000 Hz przy liczbie punktów/profilu do 640,
- zawiera kontroler wbudowany w głowicy,
- umożliwia pomiar przy dużych prędkościach, tj. do 95 km/h,
- stopień ochrony czujnika wynosi IP65,
- umożliwia pracę w zakresie temperatur od 0 do 45°C,
- zawiera kanały wyjścia Ethernet i RS 422,
- zawiera wbudowany profil obliczeń do podstawowych zadań pomiarowych,
- jest wyposażony w komputer przenośny do obsługi oprogramowania pomiarowego.

Moduł do oceny głębokości tekstury stanowi skaner profilu 2D/3D typu scanCONTROL HIGH-SPEED 2660-100 (LLT 2660-100) firmy Micro-Epsilon, umożliwiający bezkontaktowy pomiar wielkości geometrycznych.

W wyniku przeprowadzonych analiz, przyjętych założeń i zastosowania wyżej opisanych modułów, zbudowano na platformie testera tarcia nawierzchni lotniskowych ASFT na przyczepie T-10 (wyposażonej dodatkowo w skaner laserowy profilu 2D/3D) innowacyjny układ pomiarowy do badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły. Dzięki niemu możliwy jest równoczesny, dynamiczny oraz ciągły pomiar głębokości tekstury i współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych według warunków określonych dla oceny szorstkości nawierzchni lotniskowych w obowiązujących przepisach międzynarodowych organizacji lotniczych. Układ pomiarowy obejmuje:

- moduł do oceny szorstkości – pomiar współczynnika tarcia μ ,
- moduł do oceny głębokości tekstury – pomiar nowego współczynnika *CMPTD** (ang. Continuous Mean Profile Texture Depth) określającego ciągłą, średnią głębokość profilu i tekstury, w którym ma zastosowanie nowy algorytm obliczeniowy (do przeliczenia wartości uzyskanych z pomiaru w celu określenia współczynnika *CMPTD**).

Jako czynniki determinujące sposób budowy i montażu układu pomiarowego przyjęto:

- pomiar głębokości tekstury w śladzie opony koła pomiarowego testera tarcia (w kierunku równoległym do kierunku jazdy),
- pomiar głębokości tekstury na szerokości odpowiadającej szerokości śladu opony pomiarowej testera tarcia (w kierunku prostopadłym do kierunku jazdy),
- montaż skanera (odległość głowicy od nawierzchni) zapewniający zachowanie wymaganego pola pomiarowego (minimum 60,0 mm w kierunku prostopadłym do kierunku jazdy),
- wyeliminowanie oddziaływania wody pochodzącej z dyszy systemu samozraszającego testera tarcia na głowicę skanera,
- zastosowanie stałego uchwytu na platformie testera tarcia umożliwiającego szybki montaż / demontaż skanera,
- zastosowanie obudowy skanera zabezpieczającej go przed ewentualnym uszkodzeniem w czasie pracy.

W celu weryfikacji zbudowanego układu pomiarowego przeprowadzono wstępne badania w warunkach terenowych na rzeczywistych obiektach lotniskowych. Badania obejmowały pomiary przy prędkości 65 km/h na nawierzchniach wykonanych w technologii betonu



cementowego. Badania terenowe zostały poprzedzone badaniami laboratoryjnymi, które miały na celu weryfikację układu pomiarowego (kalibrację modułu do oceny głębokości tekstury). Badania laboratoryjne obejmowały określenie korelacji pomiędzy nową metodą pomiarową, a metodami istniejącymi (metoda profilometryczna i objętościowa). Uzyskane wyniki potwierdzają słuszność przyjętej metodyki badawczej i poprawność zaprojektowanego modułu układu pomiarowego.

Podczas wykonanych w warunkach rzeczywistych wstępnych badań weryfikacyjnych zaprojektowanego układu pomiarowego uzyskano bardzo zbliżoną wartość współczynnika korelacji (jak w badaniach laboratoryjnych) pomiędzy nowym współczynnikiem *CMPTD* oraz współczynnikiem tarcia μ . Uzyskany współczynnik korelacji pomiędzy współczynnikiem *CMPTD*, a współczynnikiem tarcia μ wynosi $r = 0,87$. Natomiast obliczony współczynnik korelacji pomiędzy współczynnikiem *CMPTD*, a współczynnikiem *MPD* (ang. Mean Profile Depth - średnia głębokość profilu mierzona metodą profilometryczną) wynosi $r = 0,85$, a współczynnik korelacji pomiędzy współczynnikiem *CMPTD*, a współczynnikiem *MTD* (ang. Mean Texture Depth - średnia głębokość tekstury mierzona metodą objętościową) wynosi $r = 0,88$. Na tej podstawie można wnioskować o poprawności opracowanej metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem przedmiotowego układu pomiarowego. Należy podkreślić, że są to wstępne wyniki badań, dlatego opracowany i przyjęty program badań terenowych jest kontynuowany.

Zaprojektowany i zbudowany układ pomiarowy umożliwia badanie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły poprzez równoczesny pomiar tekstury i współczynnika tarcia, według warunków określonych przez międzynarodowe organizacje lotnicze dla pomiaru szorstkości nawierzchni lotniskowych. Wyniki dotychczasowych badań terenowych (weryfikacyjnych) są satysfakcjonujące i potwierdzają słuszność przyjętej metodyki badawczej oraz poprawność zbudowanego układu pomiarowego. Zbudowany układ pomiarowy jest aktualnie wykorzystywany w pełnym zakresie do realizacji przyjętego planu badań terenowych, którego celem jest określenie wpływu tekstury na szorstkość nawierzchni lotniskowych.

Przedstawione powyżej rozwiązanie projektowe pod nazwą: urządzenie do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni zgłoszono w dniu 15.06.2020 r. do Urzędu Patentowego RP do ochrony patentowej jako wynalazek (pod numerem P.434310), w kontekście uzyskania prawa własności przemysłowej. Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, przeznaczone do diagnozowania w sposób ciągły zdatności nawierzchni lotniskowych dla prowadzenia operacji lotniczych. Mój wkład w proponowanym rozwiązaniu projektowym, konstrukcyjnym i technologicznym polegał na: opracowaniu koncepcji i przygotowaniu założeń do budowy układu pomiarowego, opracowaniu formuły matematycznej wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych na podstawie wykonanych badań terenowych, obejmujących pomiary współczynnika tarcia oraz współczynnika ciągłej, średniej głębokości profilu i tekstury w sposób ciągły. Szczegółowy opis rozwiązania projektowego przedstawiłem w załączniku 4 [pkt II, ppkt 5 oraz pkt III, ppkt 3].

Kolejnym, istotnym obszarem działalności naukowo-badawczej prowadzonej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych jest **realizacja projektu badawczego pt.: „Bezzałogowa, autonomiczna platforma pomiarowa do badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły”**. Aktualnie stosowane metody do oceny nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych oparte są na pomiarach punktowych. Prowadzenie pomiarów w taki sposób wymaga dużego nakładu czasu oraz zaangażowania wielu osób, a otrzymane wyniki z pomiarów nie odzwierciedlają w pełni rzeczywistego stanu nośności nawierzchni. Otrzymywane wyniki obarczone są błędem wynikającym m.in. z tego, że pomiary prowadzone są w sposób nieciągły, tj. w odstępach co 50 m (CzPB) lub co 100 m (RPS, BPB). Oceniane naturalne nawierzchni lotniskowe znajdują się w strefie operacyjnej

lotniska, a dostęp do nich jest ograniczony z uwagi na prowadzone operacje lotnicze oraz pracujące systemy łączności/nawigacji, np. system ILS (ang. Instrument Landing System). Oznacza to, że na większości lotnisk prace związane z oceną nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych mogą być prowadzone jedynie w porze nocnej po wcześniejszym wprowadzeniu procedury NOTAM (ang. Notice To AirMen – zwięzła depesza telekomunikacyjna, zawierająca informacje i ustanowienia o stanie lub zmianach urządzeń lotniczych, służb, procedur, a także o utrudnieniach i niebezpieczeństwie, których znajomość we właściwym czasie jest istotna dla personelu) i wyłączeniu systemów naprowadzania statków powietrznych. Jednak dynamiczny i prężny rozwój lotnictwa, który możemy zaobserwować na przestrzeni ostatnich lat, spowodowany m.in. przez znaczny wzrost tanich przewoźników komercyjnych oraz rozwój nowoczesnych technologii, ogranicza dostępność obiektu nawet w porach nocnych. W związku z tym, zostaje ograniczona możliwość prowadzenia pomiarów terenowych, co w konsekwencji wydłuża okres realizacji prac na danym obiekcie.

Z uwagi na powyższy problem oraz dalszy dynamiczny wzrost transportu lotniczego, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych opracował i rozpoczął realizację projektu budowy innowacyjnej metody pomiarowej służącej do oceny nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. **Projekt ma na celu zbudowanie bezzałogowej, autonomicznej platformy pomiarowej, która w sposób ciągły pozwoli określić nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych.** Realizacja powyższego przedsięwzięcia pozwoli na:

- wykonanie oceny nośności naturalnej nawierzchni w sposób ciągły (pomiar wykonywany co 1 cm, w tradycyjnej metodzie co 100 m);
- skrócenie czasu prowadzenia badań w porównaniu do dotychczasowej metody o około 90%;
- odwzorowanie rzeczywistych oddziaływań statku powietrznego na naturalną nawierzchnię lotniskową;
- ograniczenie liczby personelu wykonującego badanie do jednej osoby.

Oprócz tego, główną korzyścią wynikającą z realizacji projektu będzie zwiększenie bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji lotniczych na wojskowych i cywilnych obiektach lotniskowych. Autorskie rozwiązanie tworzone jest w celu wyznaczenia głębokości koleiny względem płaszczyzny odniesienia w kontrolowanych warunkach obciążenia. Wywierając nacisk o znanej wartości na znormalizowane koło pomiarowe, urządzenie tworzy koleinę w ocenianej warstwie nawierzchni naturalnej. Jednocześnie wykonywany jest pomiar głębokości utworzonej koleiny względem znanej płaszczyzny odniesienia. Bazując na zgromadzonej informacji oraz wypracowanych modelach matematycznych, możliwe będzie uzyskanie wskaźnika nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. Metoda zostanie zwalidowana i skorelowana z istniejącymi metodami normowymi.

Przedmiotowe rozwiązanie projektowe w dniu 25.02.2019r. zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego RP do ochrony patentowej jako wynalazek. **W dniu 18.11.2020r. Urząd Patentowy RP, po rozpatrzeniu zgłoszenia oznaczonego numerem P.429039, udzielił na rzecz Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych PATENTU (Pat.237034) na wynalazek pt.: *Urządzenie do ciągłego, autonomicznego pomiaru nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej i warstw nawierzchni z mieszanki niezwiązanej.*** Mój wkład w powstanie zaproponowanego, innowacyjnego urządzenia diagnostycznego polegał na: opracowaniu koncepcji, założeń i metodologii do ciągłego pomiaru parametru nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych i warstw z mieszanek niezwiązanych w warunkach terenowych. Szczegółowy opis rozwiązania projektowego przedstawiłem w **załączniku 4 [pkt II, ppkt 9 oraz pkt III, ppkt 3]**.

Innym obszarem mojej aktywności naukowo-badawczej jest realizacja projektu w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, którego celem jest zaprojektowanie autorskiego systemu informatycznego do kompleksowej oceny stanu

technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk *NAWLOT*. Przedmiotowy system będzie integralnym modułem wdrożonego w Siłach Zbrojnych RP *Kompleksowego Systemu Analizy i Oceny Bezpieczeństwa Lotów Lotnictwa Sił Zbrojnych RP TURAWA*, który będzie wspomagał służby lotniskowe w procesie zarządzania bezpieczeństwem podczas wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. System informatyczny *TURAWA* jest wdrożony we wszystkich jednostkach organizacyjnych Sił Zbrojnych RP, w tym jednostkach lotniczych, zaangażowanych bezpośrednio w eksploatację wojskowych statków powietrznych. Zakres realizowanego projektu obejmuje:

- analizę funkcjonowania służby Infrastruktury Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych RP w lotnictwie Sił Zbrojnych,
- opracowanie założeń taktyczno-technicznych systemu informatycznego wsparcia procesu zarządzania stanem technicznym nawierzchni lotnisk wojskowych,
- analizę metod diagnostycznych oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk stosowanych w ramach badań terenowych,
- analizę parametrów charakteryzujących stan techniczny nawierzchni lotniskowych uzyskiwanych na podstawie badań z wykorzystaniem urządzeń i aparatury pomiarowej w warunkach terenowych,
- ocenę parametrów diagnostycznych uzyskanych podczas badań nawierzchni lotniskowych wybranych elementów funkcjonalnych eksploatowanych obiektów,
- wybór parametrów dominujących, charakteryzujących: degradację, nośność, właściwości przeciwpoślizgowe, równość i wytrzymałość na odrywanie warstwy przypowierzchniowej, w celu oceny stanu technicznego nawierzchni EFL nowo budowanych, jak i będących w eksploatacji,
- przeprowadzenie analizy parametrów charakteryzujących: degradację, nośność, właściwości przeciwpoślizgowe, równość i wytrzymałość na odrywanie warstwy przypowierzchniowej, w celu kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni EFL nowo budowanych, jak i będących w eksploatacji,
- wyznaczenie wskaźnika APCI dla ocenianych i monitorowanych nawierzchni EFL.

Autorska koncepcja systemu informatycznego *NAWLOT*, do kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk, zakłada zapewnienie zdolności sieciocentrycznych w zarządzaniu lotnictwem Sił Zbrojnych RP w aspekcie niezawodności i bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych.

Ważnym elementem mojej aktywności naukowo-badawczej był także odbyty **staż naukowy w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach na Wydziale Budownictwa i Architektury w Katedrze Inżynierii Komunikacyjnej**. Celem odbytego stażu było podniesienie kwalifikacji oraz rozwój naukowy w zakresie dyscypliny „*Inżynieria lądowa i transport*”. Zakres merytoryczny stażu naukowego obejmował następującą tematykę:

- metody projektowania składu mieszanki betonowej,
- ocenę parametrów betonu cementowego w ujęciu trwałości konstrukcji,
- ocenę budowy wewnętrznej kompozytów betonowych z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń diagnostycznych,
- metody obliczeniowe i optymalizacja w mechanice konstrukcji lotniskowych.

Ponadto, w czasie stażu zapoznałem się z nowymi metodami obliczeniowymi, badawczymi i numerycznymi, a także poszerzyłem wiedzę z zakresu analizy danych. Staż naukowy odbyłem w terminie od 04.11.2020 r. do 09.12.2020 r. (5 tygodni). Osobą sprawującą nadzór merytoryczny nad przebiegiem stażu ze strony Politechniki Świętokrzyskiej była dr inż. Małgorzata Linek.

Kolejnym obszarem mojej aktywności naukowej jest **realizacja współpracy naukowo-dydaktycznej i badawczej z innymi uczelniami technicznymi w Polsce**, w tym z:

- 1) **Politechniką Świętokrzyską** – Wydział Budownictwa i Architektury, na podstawie podpisanego porozumienia z dnia 22.10.2019 roku. Współpraca dotyczy następujących



obszarów:

- problematyki badań i oceny własności składowych materiałów infrastruktury technicznej obiektów drogowych i lotniskowych;
- diagnostyki technicznej i oceny infrastruktury technicznej obiektów drogowych i lotniskowych;
- wzajemnej współpracę w dziedzinie podwyższania doświadczeń badawczych i umiejętności pracowników i studentów Politechniki Świętokrzyskiej w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych i pracowników ITWL na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej;
- wymiany informacji i permanentnych studiów z zakresu rozwoju techniki drogowej i lotniskowej, szczególnie zaś w zakresie: inżynierii materiałowej, metod projektowania i zagadnień realizacyjnych;
- wzajemnej współpracy w pozyskiwaniu projektów badawczych, grantów rozwojowych, itp.;
- wspólnych publikacji w wydawnictwach naukowych Politechniki Świętokrzyskiej i Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych oraz innych, punktowanych wydawnictwach krajowych i międzynarodowych, znajdujących się na Wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych, opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego;
- rozwoju kadry naukowo – badawczej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych i Politechniki Świętokrzyskiej.

Jednym z wyników realizowanej współpracy naukowej z Politechniką Świętokrzyską jest publikacja niżej wymienionego artykułu naukowego, tj.:

- Linek M., Wesołowski M., 2019, *“Selected aspects of evaluating the technical condition of concrete airport pavements in terms of service life”*, Structure and Environment, Volume 11, 4/2019, Wydział Budownictwa i Architektury oraz Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej, s. 265-277, DOI: 10.30540/sae-2019-020.

Szczegółowo przedstawiono go w załączniku 4 [pkt II, ppkt 4, poz. 10].

- 2) **Politechniką Krakowską** – Wydział Inżynierii Lądowej, na podstawie podpisanego porozumienia z dnia 20.12.2019 roku. Współpraca dotyczy następujących obszarów:
- technologii „złączy podatnych” związanych z możliwością szybkiej naprawy i budowy nawierzchni lotniskowych oraz z produkcją nowoczesnych materiałów kompozytowych;
 - metody diagnostycznej bazującej na „funkcji inertancji dynamicznej”, która może być przydatna w rozwoju technik oceny nawierzchni lotniskowych;
 - uczestnictwa zespołów badawczych i pracowników obu Stron w projektach międzynarodowych oraz w programach badawczo-rozwojowych współfinansowanych przez Unię Europejską;
 - współpracy w zakresie transferu technologii oraz wdrożenia projektów badawczych na linii nauka – gospodarka;
 - opracowywania nowych metod badawczych nawierzchni lotniskowych;
 - rozwoju nieniszczących metod diagnostycznych i innowacyjnych kompozytów;
 - organizacji konferencji, seminariów, warsztatów oraz szkoleń opartych o posiadany potencjał kadrowy i aparaturowy Stron;
 - prowadzenia wspólnych działań obejmujących szkolenie kadr, realizację badań doświadczalnych i analiz teoretycznych, publikowanie wyników badań oraz wymianę doświadczeń naukowych;
 - promocji wspólnych, jak i odrębnych działań każdej ze Stron.

- 3) **Politechniką Poznańską** w zakresie przygotowania i publikacji wspólnych artykułów naukowych w czasopismach międzynarodowych i krajowych, tj.:
- Wesołowski M., Wróblewska A., 2019, „*Analysis of the operating conditions of mobile composite airfield pavements*”, Road Materials and Pavement Design, Published online: 06 Jun 2019, Taylor & Francis Online, str. 20, DOI: 10.1080/14680629.2019.1620844.
 - Pożarycki A., Moralewski T., Wesołowski M., 2018, „*Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych przy użyciu urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem*”, Przegląd Komunikacyjny, R. 73, 12/2018, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, s. 37-41.
 - Pożarycki A., Fengier J., Wyczałek M., Skrzypczak P., Wesołowski M., Blacha K., 2017, „*Analiza wyników metody fotogrametrycznej w świetle właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni*”, Drogownictwo, 3/2017, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, s. 75-84.
- Szczegółowo przedstawiono je w załączniku 4 [pkt II, ppkt 4, poz. 12, 25 i 39].
- 4) **Politechniką Śląską**, na podstawie podpisanej umowy nr 1/2014 z dnia 01.06.2014r. i aneksu nr 1 z dn. 05.01.2015r. Współpraca dotyczyła realizacji pracy badawczej pod tytułem: „*Oznaczenie struktury porowatości betonu wg PN-EN 480-11 dla 60 próbek betonów, metodą mikrotomografii komputerowej o rozdzielczości 2-5 µm z cyfrową analizą obrazu w dwóch prostopadłych przekrojach każdej próbki*”. Wyniki pracy zostały przedstawione w Sprawozdaniach Nr 9/24/15 i 41/24/15, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2015.
- 5) **Politechniką Rzeszowską**:
- na podstawie podpisanej umowy nr U/18/TI/2010 z dnia 30.07.2010r. oraz aneksu nr 1 z dnia 30.11.2010r. i aneksu nr 2 z dnia 05.04.2011r. Współpraca dotyczyła realizacji pracy badawczej pod tytułem: „*Konsultacje technologiczne, badania kontrolne zastosowanych materiałów i elementów budowlanych podczas realizacji zadania inwestycyjnego pn.: Rozbudowa i doposażenie Ośrodka Kształcenia Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza w Jasionce*”. Wyniki pracy zostały przedstawione w Sprawozdaniu Nr 9/24/11, Wesołowski M. [i in.], Warszawa: ITWL, 2011.
 - na podstawie otrzymanego zamówienia nr NA/OKL/150/2013 z dnia 11.12.2013r. Współpraca dotyczyła realizacji pracy pod tytułem: „*Opinia nt. wyników analizy wskaźnika nośności PCN dla nawierzchni drogi startowej w Ośrodku Kształcenia Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej*”. Wyniki pracy zostały przedstawione w opinii z dnia 30.12.2013r., Wesołowski M., Warszawa: ITWL, 2013.

Ponadto, uczestniczę także w realizacji współpracy edukacyjnej i naukowej pomiędzy Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych i Politechniką Lwowską na podstawie podpisanego porozumienia z dnia 21.11.2019 r.

Na uwagę zasługują również prace badawcze zrealizowane dla kontrahentów zagranicznych. Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych aktywnie uczestniczyłem w zespołach badawczych, które wykonały niżej wymienione prace:

- Badania środków odladzających w postaci płynu Clearway F1 i granulatu Clearway SF3, mające na celu wydanie orzeczenia o przydatności tych środków do stosowania na nawierzchniach lotniskowych. Zleceniodawca - firma Taminco Finland Oy (Finlandia). Sprawozdanie Nr 7/24/19, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2019.
- Badania środków odladzających w postaci płynu Nordway KF i granulatu Nordway NF, mające na celu wydanie orzeczenia o przydatności tych środków do stosowania na nawierzchniach lotniskowych. Zleceniodawca - firma UAB ESSPO (Litwa).

- Sprawozdanie Nr 2/24/18, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2018.
- Badania przydatności masy zalewowej na gorąco RoadSaver 506 firmy Crafcro do wypełniania szczelin dylatacyjnych i spękań w nawierzchniach lotniskowych. Zleceniodawca - firma REKMA – Trading, spol. s.r.o. (Czechy). Sprawozdanie Nr 22/24/17, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2017.
 - Badania czujnika aktywnego odnośnie do temperatury zamarzania, zgodnie ze specyfikacją techniczną CEN/TS 15518-4:2013. Zleceniodawca - firma BOSCHUNG MECATRONIC AG (Szwajcaria). Sprawozdanie Nr 11/24/17, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2017.
 - Badania wpływu środków odladzających w postaci granulatu na bazie mrówczanu sodu o nazwie UNISALT SF oraz płynu na bazie mrówczanu potasu o nazwie UNISALT PF, na beton asfaltowy. Zleceniodawca - firma UAB STEGA (Litwa). Sprawozdanie Nr 4/24/17, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2017.
 - Badania środków odladzających w postaci granulatu na bazie mrówczanu sodu o nazwie UNISALT SF oraz płynu na bazie mrówczanu potasu o nazwie UNISALT PF. Zleceniodawca - firma UAB STEGA (Litwa). Sprawozdanie Nr 17/24/16, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2016.
 - Badania elementów systemów odwodnień produkowanych przez firmę CS-BETON pod kątem możliwości ich zastosowania do systemu odwodnienia liniowego elementów funkcjonalnych nawierzchni lotniskowych. Zleceniodawca - firma CS-BETON s.r.o. (Czechy). Sprawozdanie Nr 11/24/15, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2015.

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych uczestniczyłem także w zespole badawczym, który zrealizował pracę dla firmy niemieckiej POSSEHL SPEZIALBAU GMBH pt.: „Badania i ocena przydatności technologii POSSEHL ANTISKID do zastosowania na nawierzchniach lotniskowych”. Sprawozdanie Nr 14/24/10, Kowalska D. [i in.], Warszawa: ITWL, 2010.

Technologia POSSEHL ANTISKID® to cienkowarstwowa, szorstka, bardzo przyczepna, specjalna powłoka przeciwpoślizgowa dla nawierzchni lotniskowych dróg startowych, produkowana zgodnie z dyrektywami ICAO (International Civil Aviation Organization) oraz wymogami FAA (Federal Aviation Administration).

Swoją aktywność naukową realizowałem także poprzez członkostwo w Radzie Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w kadencji 2015-2017 oraz realizuję obecnie w trakcie trwającej kadencji 2017-2021.

Do swojego dorobku naukowego, zdobytego po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, potwierdzającego istotną aktywność naukową, mogę zaliczyć:

- **17** opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych, w tym: 6 w monografiach anglojęzycznych i 11 w monografiach polskojęzycznych [**załącznik 4, pkt II, ppkt 2, poz. 1-17**];
- **59** opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych, w tym: 27 w języku angielskim i 32 w języku polskim [**załącznik 4, pkt II, ppkt 4, poz. 1-59**];
- **23** wystąpienia na międzynarodowych konferencjach naukowych i **39** wystąpień na krajowych konferencjach naukowych [**załącznik 4, pkt II, ppkt 7**];
- recenzje **10** prac naukowych w czasopismach międzynarodowych i **4** prac naukowych w czasopismach krajowych [**załącznik 4, pkt II, ppkt 13**];
- pełnienie funkcji członka wspomagającego kolegium redakcyjne czasopisma Journal of KONBiN, ISSN: 1895-8281, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych;
- członkostwo w Grupy Problemowej Sekcji Inżynierii Komunikacyjnej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Do swoich osiągnięć dydaktycznych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych mogą zaliczyć sprawowanie opieki naukowej w charakterze promotora pomocniczego nad następującymi doktorantami:

- 1) mgr inż. Bartosz Świerzewski w przewodzie doktorskim *„Betonowa płyta prefabrykowana przeznaczona do odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych”*, przewód doktorski jest prowadzony na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej od roku 2019;
- 2) mjr mgr inż. Krzysztof Blacha w przewodzie doktorskim *„Badanie i ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa lotów”*, przewód doktorski jest prowadzony w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych od roku 2019;
- 3) mgr inż. Agata Kowalewska w przewodzie doktorskim *„Wpływ zastosowania geokrat w podłożu gruntowym na nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych”*, przewód doktorski jest prowadzony w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych od roku 2019;
- 4) mgr inż. Danuta Kowalska w przewodzie doktorskim *„Badania i ocena właściwości użytkowych elementów czyszczących specjalistycznego sprzętu do utrzymania lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów”*, przewód doktorski jest prowadzony w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych od roku 2019.

Ponadto, do swoich osiągnięć dydaktycznych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych mogą zaliczyć również sprawowanie nadzoru merytorycznego nad przebiegiem stażu naukowego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych w Zakładzie Lotniskowym niżej wymienionych pracowników naukowych:

- 1) dr inż. Małgorzata Linek - adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Świętokrzyskiej. Zakres merytoryczny zrealizowanego stażu naukowego w terminie od 28.09.2020 r. do 31.10.2020 r. obejmował następującą tematykę:
 - Nowoczesne rozwiązania technologiczne stosowane w budowie nawierzchni lotniskowych.
 - Ocenę parametrów użytkowych nawierzchni lotniskowych.
 - Metody obliczeniowe w mechanice konstrukcji nawierzchni lotniskowych.
 - Diagnostykę nawierzchni lotniskowych.
 - Analizę funkcjonalną nawierzchni w ujęciu wydłużonej trwałości obiektu.
- 2) dr inż. Marta Wasilewska - adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Katedra Budownictwa i Inżynierii Drogowej Politechniki Białostockiej. Zakres merytoryczny realizowanego obecnie stażu naukowego w terminie od 15.03.2021 r. do 29.04.2021 r. obejmuje następującą tematykę:
 - Metody pomiarowe stosowane do oceny makrotekstury i właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych.
 - Nowoczesne rozwiązania technologiczne stosowane w budowie nawierzchni lotniskowych.
 - Ocenę parametrów użytkowych nawierzchni lotniskowych.
 - Metody obliczeniowe w mechanice konstrukcji nawierzchni lotniskowych.
 - Diagnostykę nawierzchni lotniskowych.



Moja działalność dydaktyczna po obronie pracy doktorskiej obejmuje także prowadzenie zajęć dydaktycznych w formie wykładów, seminariów oraz szkoleń, w tym:

- 1) Prowadzenie zajęć dydaktycznych ze studentami **Politechniki Warszawskiej – Wydział Inżynierii Lądowej**, 1 wykład (3 x 45 min.) w semestrze, temat wykładu: *Nawierzchnie lotniskowe - element systemu bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne*. Ilość wykładów za lata 2014-2021 – 13.
- 2) Prowadzenie zajęć dydaktycznych ze studentami **Wojskowej Akademii Technicznej – Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji**, 2 wykłady (1 wykład: 8 x 45 min. i 2 wykład: 6 x 45 min.) w roku w ramach kursu doskonalącego dla żołnierzy zawodowych i pracowników cywilnych wojska służby infrastruktury, temat wykładu: *Diagnostyka nawierzchni lotniskowych. Utrzymanie infrastruktury lotniskowej (nawierzchni) i nadzór nad bezpieczną jej eksploatacją*. Ilość wykładów za lata 2018-2021 – 3.
- 3) Przeprowadzenie seminarium w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych dla przedstawicieli służby Infrastruktury w Siłach Zbrojnych RP, temat seminarium: *Kompleksowy system informatyczny wsparcia analizy i oceny stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk*. Seminarium jednodniowe, przeprowadzone w roku 2015.
- 4) Prowadzenie szkoleń specjalistycznych dla przedstawicieli **Urzędu Lotnictwa Cywilnego – Departamentu Lotnisk**, w tym:
 - szkolenie jednodniowe w roku 2019 (wykład wraz z pokazem: 8 x 45 min), temat szkolenia: *Diagnostyka sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych – szkolenie teoretyczno-praktyczne*.
 - szkolenie jednodniowe w roku 2017 (szkolenie praktyczne: 8 x 45 min), temat szkolenia: *Utrzymanie infrastruktury lotniskowej (nawierzchni) i nadzór nad bezpieczną jej eksploatacją – szkolenie praktyczne*.
 - szkolenie dwudniowe w roku 2016 (wykład: 16 x 45 min), temat szkolenia: *Utrzymanie infrastruktury lotniskowej (nawierzchni) i nadzór nad jej bezpieczną eksploatacją*.
- 5) Prowadzenie szkoleń specjalistycznych dla przedstawicieli **Portów Lotniczych**, w tym:
 - Międzynarodowego Portu Lotniczego Kraków-Balice: szkolenie jednodniowe w roku 2019 (wykład: 4 x 45 min), temat szkolenia: *Utrzymanie wymaganego, bezpiecznego stanu technicznego sztucznych i naturalnych nawierzchni lotniskowych*.
 - Międzynarodowego Portu Lotniczego Katowice w Pyrzowicach: szkolenie jednodniowe w roku 2017 (wykład: 4 x 45 min), temat szkolenia: *Inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni lotniskowych w aspekcie ich zdegradowania i wykonania napraw*.
 - Międzynarodowego Portu Lotniczego Katowice w Pyrzowicach: szkolenie jednodniowe w roku 2015 (wykład: 6 x 45 min), temat szkolenia: *Szkolenie z zakresu diagnostyki stanu technicznego i napraw uszkodzeń nawierzchni lotniskowych*.
 - Mazowieckiego Portu Lotniczego Warszawa/Modlin: szkolenie jednodniowe w roku 2013 (wykład: 4 x 45 min), temat szkolenia: *Szkolenie z zakresu diagnostyki stanu technicznego i napraw uszkodzeń nawierzchni lotniskowych*.
 - Portu Lotniczego Bydgoszcz: szkolenie jednodniowe w roku 2013 (wykład: 4 x 45 min), temat szkolenia: *Szkolenie z zakresu inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni lotniskowych*.

6) Prowadzenie szkoleń specjalistycznych dla przedstawicieli służby **Infrastruktury Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych RP**, w tym:

- szkolenie jednodniowe w roku 2019, temat szkolenia: *Kontrola pięcioletnia stanu technicznego obiektów infrastruktury lotniskowej.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2018, temat szkolenia: *Dokumenty normatywne do zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności nawierzchniom lotniskowym podczas ich eksploatacji na obiektach Sił Zbrojnych RP.*
- szkolenie dwudniowe w roku 2018, temat szkolenia: *Szkolenie żołnierzy i pracowników resortu Obrony Narodowej w zakresie przeprowadzania badań nośności naturalnych nawierzchni lotnisk wojskowych zgodnie z NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Naturalne nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2017, temat szkolenia: *Problematyka eksploatacji sieci lotniskowej Sił Zbrojnych RP.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2017, temat szkolenia: *Utrudnienia eksploatacyjne sztucznych i darniowych nawierzchni lotniskowych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2016, temat szkolenia: *Zagrożenia i problemy eksploatacyjne nawierzchni lotniskowych na obiektach wojskowych Sił Zbrojnych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2015, temat szkolenia: *Unormowania resortowe w zakresie wymagań dla środków do przeciwdziałania oblodzeniu sztucznych nawierzchni lotniskowych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2015, temat szkolenia: *Charakterystyka współcześnie stosowanych środków odladzających do przeciwdziałania oblodzeniu sztucznych nawierzchni lotniskowych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2015, temat szkolenia: *Eksploatacja wojskowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie nowo opracowanych norm obronnych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2015, temat szkolenia: *Dobór technologii remontu wojskowych nawierzchni lotniskowych na podstawie wykonywanej inwentaryzacji uszkodzeń.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2014, temat szkolenia: *Zimowe utrzymanie nawierzchni lotniskowych – wybrane problemy, normalizacja.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2014, temat szkolenia: *System informatyczny do kompleksowej analizy i oceny stanu technicznego sztucznych i gruntowych nawierzchni lotniskowych.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2014, temat szkolenia: *Stosowanie środków odladzających w czasie zimowego utrzymania nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego – wybrane problemy.*
- szkolenie jednodniowe w roku 2013, temat szkolenia: *Problemy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne współczesnych nawierzchni lotniskowych.*

Do mojej działalności dydaktycznej przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych mogę zaliczyć przeprowadzenie seminarium w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych dla przedstawicieli służby Infrastruktury w Siłach Zbrojnych RP, temat seminarium: *Walory eksploatacyjne i użytkowe elastycznych pokryć lotniskowych typu KRATER.* Seminarium jednodniowe, przeprowadzone w roku 2009.

Natomiast moja działalność organizacyjna po obronie pracy doktorskiej obejmuje przede wszystkim aktywny udział w rozwoju Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Od roku

2012 do chwili obecnej, pełnię funkcję Kierownika Zakładu Lotniskowego. Moja działalność organizacyjna obejmowała również inne przedsięwzięcia mające na celu popularyzację nauki. Byłem członkiem komitetu organizacyjnego i naukowego oraz aktywnie uczestniczyłem w organizacji następujących konferencji:

- 1) Konferencja Naukowa pt. „Nauka dla obronności i środowiska”, Poznań, 24.09.2020 r.
- 2) Ogólnopolska Konferencja Naukowa pt. „Działania przemysłu obronnego na rzecz infrastruktury krytycznej i obronnej państwa” w ramach XXVIII Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego na terenie Targów Kielce S.A., Kielce, 08.09.2020 r.
- 3) Konferencja Naukowo – Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie dróg ekspresowych, autostrad i lotnisk”, Jelenia Góra, 15-16.11.2018 r.
- 4) I Konferencja Naukowo – Techniczna Infrastruktury Wojskowej „Współczesne problemy infrastruktury wojskowej w okresie transformacji”, Warszawa, 28.05.2015 r.

Szczegółowy opis wyżej wymienionych konferencji przedstawiłem w załączniku 4 [pkt II, ppkt 8, poz. 1-4]. Ponadto, do moich osiągnięć organizacyjnych oraz popularyzujących naukę mogę zaliczyć także:

- 1) Udział w realizacji 2 projektów badawczych, w tym:
 - Projekt o numerze rejestracyjnym POIR.01.01.01-00-0919/19 finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Tytuł projektu: *Bezzałogowa, autonomiczna platforma pomiarowa do badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły*. Pełniona funkcja w projekcie: **Kierownik B+R [załącznik 4, pkt II, ppkt 9, poz. 1]**.
 - Projekt 5D-AeroSafe w ramach programu HORIZON 2020. Finansowanie w ramach H2020-EU.3.4. Koordynowany przez AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (Francja). Identyfikator umowy o grant: 861635. Tytuł projektu: *5 services of Drones for increased airports and waterways safety and security*. Pełniona funkcja w projekcie: członek zespołu badawczego [załącznik 4, pkt II, ppkt 9, poz. 2].
 - 2) Udział w zespołach badawczych realizujących projekty finansowane z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Ilość projektów: **17**, w tym: w **4 pełniona funkcja kierownika projektu** i w 13 pełniona funkcja członka zespołu badawczego [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 3-19].
 - 3) Udział w zespołach badawczych realizujących projekty finansowane z Funduszu Badań Własnych Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Ilość projektów: **2**, a **pełniona funkcja to kierownik projektu** [załącznik 4, pkt II, ppkt 15, poz. 1-2].
 - 4) Udział w opracowaniu **5 dokumentów normatywnych**, tj. norm obronnych wprowadzonych do stosowania w resorcie Obrony Narodowej z zakresu nawierzchni lotniskowych [załącznik 4, pkt III, ppkt 1, poz. 1-5].
 - 5) Członkostwo w Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Warszawie, członek zwyczajny stowarzyszenia od roku 1998 [załącznik 4, pkt II, ppkt 10].
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Dążąc do podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych uczestniczyłem w wielu kursach, szkoleniach i studiach podyplomowych w krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych i akademickich (układ chronologiczny), w tym:

- 1) Kurs doskonalący nt.: „Pozyskiwanie sprzętu wojskowego”, organizator: Wojskowa Akademia Techniczna, miejsce odbycia kursu: Warszawa, 11.01. – 05.02.2021 r.
- 2) Szkolenie z zakresu badań nieniszczących nt.: „MRT Examination using the LRM[®]XXI Diagnostic system for detection and localization weakness in wire ropes and for evaluation technical condition of wire ropes from recorded inspection result, organizator: Laboratorium LRM-NDE, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2020.
- 3) Szkolenie nt.: „Akwizycja i przetwarzanie danych przy pomocy georadaru Ris HiMod firmy IDS”, organizator: SejsCom s.c. - wyłączny przedstawiciel firmy IDS w Polsce, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2016.
- 4) Szkolenie nt.: „Świadomość Ochrony Lotnictwa Cywilnego [Rozporządzenie Komisji UE nr 185/2010 pkt 11.2.6]”, organizator: Ośrodek Szkolenia Służb Lotniskowych, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2014.
- 5) Seminarium nt.: „Programy i projekty finansowane przez NCBiR, realizacja i rozliczenia finansowe”, organizator: Centrum Analizy Wartości, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa Oddział Warszawski, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2013.
- 6) Kurs kwalifikacyjny w pionie funkcjonalnym zabezpieczenia o stopniu etatowym podpułkownik w korpusie osobowym logistyki, organizator: Wojskowa Akademia Techniczna, miejsce odbycia kursu: Warszawa, rok 2013.
- 7) Szkolenie nt.: „System zarządzania w laboratorium. Zadania kierownika ds. jakości i kierownictwa technicznego”, organizator: Polskie Centrum Akredytacji, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2011.
- 8) Szkolenie nt.: „Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka”, organizator: Studio Doradztwa Europejskiego, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2011.
- 9) Szkolenie z zakresu badań nośności nawierzchni lotniskowych i drogowych z wykorzystaniem ciężkiego ugięciomierza udarowego typu HWD (Heavy Weight Deflectometer), organizator: Dynatest, miejsce szkolenia: Glostrup (Dania), rok 2011.
- 10) Szkolenie z zakresu obsługi oprogramowania Geostar, organizator: SOFT-PROJEKT, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2010.
- 11) Szkolenie w zakresie obsługi i użytkowania prasy MATEST model S205 wraz z oprogramowaniem MATEST UTM II, organizator: ToRoPoL Sp. z o.o., miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2010.
- 12) Szkolenie nt.: „Zasady wykonywania działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym w dziedzinie techniki lotniczej, zgodnie z wymaganiami Ustawy z dnia 22.06.2001 (Dz.U.01.67.679) oraz związanymi z nią Rozporządzeniami”, organizator: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, miejsce szkolenia: Warszawa, rok 2008.
- 13) Szkolenie nt.: „Technologie remontowe nawierzchni drogowych”, organizator: Centrum Kształcenia Ustawicznego w Inżynierii Komunikacyjnej „IKKU” Sp. z o.o., miejsce szkolenia: Nadarzyn, rok 2008.
- 14) Kurs specjalistyczny w Wojskowej Akademii Technicznej – Wydział Elektroniki nt.: „Szacowanie niepewności pomiarów”, miejsce odbycia kursu: Warszawa, rok 2007.



- 15) Kurs specjalistyczny w Wojskowej Akademii Technicznej – Wydział Elektroniki nt.: „Budowa i utrzymanie systemu zarządzania jakością w laboratoriach pomiarowych i ich akredytacja”, miejsce odbycia kursu: Warszawa, rok 2007.
- 16) Studia podyplomowe w Akademii Obrony Narodowej, Wydział Lotnictwa i Obrony Powietrznej, kierunek: zarządzanie lotnictwem, miejsce odbycia studiów: Warszawa, rok 2006.
- 17) Ukończenie z wyróżnieniem (ocena celująca) studiów magisterskich na Politechnice Warszawskiej, Wydział Inżynierii Lądowej w roku 2003.
- 18) Ukończenie z wyróżnieniem studiów inżynierskich (ocena bardzo dobra z wyróżnieniem) w Wojskowej Akademii Technicznej, Wydział Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej w roku 2000.
- 19) Zdobyte nagrody I stopnia w Wojskowej Akademii Technicznej za najlepszą pracę inżynierską w roku 2000. Tytuł pracy: Projekt drogowego odcinka lotniskowego.
- 20) Zdobyte nagrody Rektora Wojskowej Akademii Technicznej za zajęcie I miejsca w konkursie „O nagrodę Rektora” w roku 1999 za pracę: Projekt techniczny trasy biathlonowej Kościelisko – Kiry.
- 21) Dyplom jubileuszowego XX seminarium Koła Naukowego Studentów „Inżynieria” za udział i przedstawienie pracy nt.: „Prezentacja programu MARC do analizy zadań z mechaniki budowli metodą elementów skończonych” w roku 1998.
- 22) Członkostwo w Kole Naukowym Studentów „Inżynieria” w Wojskowej Akademii Technicznej na Wydziale Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej w latach 1997-2000.

Podsumowując, w wyniku prowadzonych przeze mnie prac naukowo-badawczych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, powstał dorobek naukowy przedstawiony w poniższych tabelach:

Tabela 1. Informacja o liczbie punktów MNiSW

Lp.	Pozycje	Liczba		Sumaryczna liczba punktów	Liczba punktów z uwzględnieniem podziału na współautorów
		przed doktoratem	po doktoracie		
1.	Opublikowane monografie naukowe.	0	1	80	80,00
2.	Opublikowane rozdziały w monografiach naukowych.	2	17	380	107,50
3.	Opublikowane artykuły w czasopismach naukowych indeksowanych w bazie JCR: - <i>Sustainability</i> : IF=2,576, liczba punktów 70; - <i>Coatings</i> : IF=2,436, liczba punktów 100; - <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : IF=2,849, liczba punktów 70; - <i>Road Materials and Pavement Design</i> : IF=2,582, liczba punktów 140.	0	4	380	217,50
4.	Opublikowane artykuły w czasopismach naukowych znajdujących się na liście MEiN (poza bazą JCR).	2	48	670	306,86
5.	Pozostałe opublikowane artykuły w czasopismach naukowych.	2	7	---	---
6.	Patent krajowy: Pat.237034.	0	1	75	18,75
				1 585	730,61

Tabela 2. Dorobek naukowy

Lp.	Pozycje	Liczba		
		przed doktoratem	po doktoracie	Razem
1.	Wykaz opublikowanych monografii naukowych.	0	1	1
2.	Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.	2	17	19
3.	Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych.	4	59	63
4.	Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych.	0	1	1
5.	Informacja o wystąpieniach na międzynarodowych konferencjach naukowych.	1	23	24
6.	Informacja o wystąpieniach na krajowych konferencjach naukowych.	6	39	45
7.	Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych.	0	4	4
8.	Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych	0	2 (w trakcie realizacji)	2
9.	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych.	1	1	2
10.	Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych.	0	1	1
11.	Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism.	0	1	1
12.	Informacja o recenzowanych pracach naukowych w czasopismach międzynarodowych.	0	10	10
13.	Informacja o recenzowanych pracach naukowych w czasopismach krajowych.	0	4	4
14.	Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.	0	1	1
15.	Informacja o udziale w zespołach badawczych.	2	17	19
16.	Wykaz dorobku technologicznego.	0	14	14
17.	Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym.	22	63	85
18.	Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty krajowe lub międzynarodowe.	0	1 + 1 zgłoszenie patentowe w trakcie procedury w UP RP	1
19.	Informacja o wdrożonych technologiach.	1	10	11
20.	Informacja o wykonanych ekspertyzach lub innych opracowaniach wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.	3	19	22
21.	Informacja o punktacji Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR).	0	10,443	10,443
22.	Informacja o liczbie publikacji według bazy Web of Science.	1	15	16
23.	Informacja o liczbie publikacji według bazy Scopus.	0	27	27
24.	Informacja o liczbie cytowań według bazy Web of Science.	0	11	11
25.	Informacja o liczbie cytowań według bazy Scopus.	0	22	22
26.	Informacja o posiadanym indeksie Hirscha według bazy Web of Science.	0	2	2
27.	Informacja o posiadanym indeksie Hirscha według bazy Scopus.	0	2	2
28.	Informacja o sumarycznej liczbie punktów MNiSW.	57	1 528	1 585
29.	Informacja o liczbie punktów MNiSW z uwzględnieniem podziału na współautorów.	29,67	700,94	730,61

.....
Mariusz Wesołowski
 ppłk dr inż. Mariusz WESOŁOWSKI

ppłk dr inż. Mariusz WESOŁOWSKI
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6
01-494 Warszawa

**WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO
ARTYSTYCZNYCH, STANOWIĄCYCH
ZNACZNY WKŁAD W ROZWÓJ
OKREŚLONEJ DYSCYPLINY**

SPIS TREŚCI

I.	INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY	4
1.	Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy	4
2.	Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy	4
3.	Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c Ustawy	4
II.	INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ	5
1.	Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1).	5
2.	Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.	5
3.	Informacja o członkostwie w redakcjach naukowych monografii.	17
4.	Wykaz opublikowanych artykułów w czasopiśmie naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.2).	17
5.	Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).	54
6.	Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).	62
7.	Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.	62
8.	Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.	75
9.	Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.	76
10.	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.	81
11.	Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.	81
12.	Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).	82

13.	Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopiśmie międzynarodowych.	82
14.	Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.	84
15.	Informacja o udziale w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9.	84
16.	Informacja o uczestnictwie w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.	92
III.	INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM	93
1.	Wykaz dorobku technologicznego.	93
2.	Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym.	98
3.	Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty, krajowe lub międzynarodowe.	124
4.	Informacja o wdrożonych technologiach.	125
5.	Informacja o wykonanych ekspertyzach lub innych opracowaniach wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.	129
6.	Informacja o udziale w zespołach eksperckich lub konkursowych.	136
7.	Informacja o projektach artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.	136
IV.	INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE	137
1.	Informacja o punktacji Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).	137
2.	Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.	137
3.	Informacja o posiadanym indeksie Hirscha.	137
4.	Informacja o liczbie punktów MNiSW.	137