

Analiza porównawcza współczynnika tarcia różnych nawierzchni lotniskowych

Comparative analysis of the friction coefficient of various airport pavements



Łukasz Semkło

Politechnika Poznańska, Instytut Energetyki Ciepłej, Zakład Inżynierii Lotniczej

lukasz.semklo@put.poznan.pl



Agnieszka Wróblewska

Politechnika Poznańska, Instytut Energetyki Ciepłej, Zakład Inżynierii Lotniczej

agnieszka.wroblewska@put.poznan.pl

Streszczenie: Parametr określany jako współczynnik tarcia jest jednym z podstawowych parametrów, które odpowiadają za charakterystykę nawierzchni, po której poruszają się pojazdy (samochody, statki powietrzne). Współczynnik tarcia jest bardzo ważny, ponieważ odpowiada za bezpieczeństwo i niezawodność nawierzchni. W poniższej pracy przedstawiono ogólne zagadnienia dotyczące siły tarcia, jej wpływu na poruszanie się statków powietrznych po nawierzchniach lotniskowych. Zostały również omówione wymagania z zakresu oceny współczynnika tarcia. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych na czterech lotniskach dokonano analizy spadku wartości współczynnika tarcia.

Słowa kluczowe: Tarcie; Droga startowa; ASFT

Abstract: The parameter defined as the coefficient of friction is one of the basic parameters that are responsible for the characteristics of the surface on which vehicles (cars, aircraft) travel. The coefficient of friction is very important as it is responsible for the safety and reliability of the pavement. The paper below presents general issues concerning the friction force and its influence on the movement of aircraft on airport pavements. The requirements for the assessment of the friction coefficient were also discussed. Based on the results of tests carried out at four airports, an analysis of the decrease in the value of the friction coefficient was performed.

Keywords: Friction; Runway; ASFT

Wprowadzenie

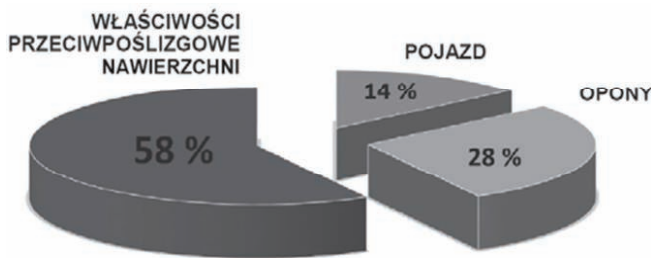
W obecnych czasach, gdzie istnieje potrzeba szybkiego i bezpiecznego podróżowania, lotnictwo odrywa bardzo istotną rolę. Dotyczy to zarówno samego transportu ludzi i towarów, jak również w aspekcie wojskowym obrony przestrzeni powietrznych. Zachowanie bezpieczeństwa jest bardzo istotnym elementem funkcjonowania lotniska.

Zgodnie z ustawą z dnia 03.07.2002 roku odnośnie prawa lotniczego, lotnisko jest to wydzielony obszar na lądzie, wodzie lub innej powierzchni w całości lub w części przeznaczony do wykonywania startów, lądowań i naziemnego lub nawodnego ruchu statków powietrznych, wraz ze znajdującymi się

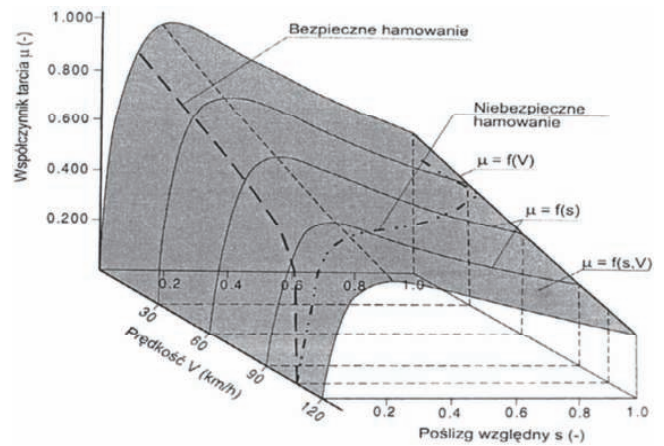
w jego granicach obiektami i urządzeniami budowlanymi o charakterze trwałym, wpisany do rejestru lotnisk. Bardzo ważną częścią lotniska jest tzw. pole naziemnego ruchu lotniczego (MovementArea). Obszar ten jest wykorzystywany do startów, lądowań oraz naziemnego ruchu statków powietrznych, obejmujący: pole manewrowe (Maneuvering-area) czyli część lotniska wykorzystywana do startów, lądowań i naziemnego ruchu statków powietrznych bez płyt postojowych i zawierająca: drogi kołowania (Taxiway) oraz pas startowy (Runway). W skład pasa startowego wchodzi: droga startowa, pobocze, strefa świateł krawędziowych oraz zjazdy przy wylotach dróg kołowania [Dz. U. z 2020 r. poz. 1970].

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni, które charakteryzowane są współczynnikiem tarcia odgrywają bardzo ważną rolę, ponieważ poprzez zapewnienie jak najlepszych parametrów szorstkości nawierzchni zwiększa się poziom bezpieczeństwa ruchu. W związku z tym tak istotne jest okresowe sprawdzanie współczynnika tarcia na nawierzchniach, po których poruszają się statki powietrzne oraz różnego rodzaju pojazdy. Dlatego też w niniejszej pracy sprawdzono jak współczynnik tarcia zmieniał się na przestrzeni czasu na wybranych odcinkach nawierzchni.

Przedmiotem pracy podjętej przez autorów jest przedstawienie analizy wyników pomiarów współczynnika tarcia nawierzchni wybranych od-



1. Główne czynniki wpływające na długość drogi hamowania [Korzanowski 2017]



2. Funkcja przestrzenna współczynnika tarcia w zależności od prędkości i od wielkości (stopnia) poślizgu [Sandecki 2017]

ciników na wytypowanych czterech lotniskach znajdujących się na terenie naszego kraju. Badania dotyczą tylko dróg startowych, ponieważ elementy funkcyjne lotniska jak droga kołowania analizowana była już wcześniej [Semkło & Wróblewska 2022]. Celem pracy jest ocena właściwości badanych nawierzchni pod kątem wartości współczynnika tarcia. Autorzy pracy chcą przeanalizować jak w badanym okresie czasu zmieniła się wartość współczynnika tarcia na badanych lotniskach.

Współczynnik tarcia jest to stosunek wypadkowej siły tarcia wytwarzanych między hamowanym kołem urządzenia pomiarowego a nawierzchnią, po której się porusza do nacisku koła na nawierzchnię [Łądkiewicz-Krochmal 2020]. Główne czynniki wpływające na długość drogi hamowania przedstawiono na rysunku 1.

Pomiar szorstkości nawierzchni, czyli określenie współczynnika tar-

cia polega na tym, aby zasymulować wystąpienie warunku poślizgu na mokrej nawierzchni, czyli z punktu widzenia przyczepności kół pojazdów wywołanie najbardziej niekorzystnego zjawiska. Jest to o tyle istotne, że im większy współczynnik tarcia, tym skuteczniejsze hamowanie i krótszy dystans potrzebny do zatrzymania samochodu lub statku powietrznego. Zależność współczynnika tarcia od prędkości i od wielkości (stopnia) poślizgu zilustrowano na rysunku 2.

Podczas hamowania generowany jest moment hamujący, który przenoszony jest na obwód koła, a to z kolei powoduje powstanie między oponą a nawierzchnią drogi siły hamowania. [Iwanowski i Wojciechowski 2016]. Istotny wpływ ma tutaj tekstura nawierzchni, która ma bezpośredni związek z współczynnikiem tarcia. Właściwości przeciwślizgowe nawierzchni w momencie zachodzenia zjawiska tarcia pomiędzy

oponą samolotu a podłożem, są od tekstury nawierzchni bardzo zależne [Doc. 9137 ICAO ... 2002]. Drobne nierówności, których amplituda jest poniżej 0,5 mm nazywamy mikroteksturą. Jest ona odpowiedzialna za przerwanie cienkiego filmu wodnego na mokrej nawierzchni i utworzenie strefy suchego kontaktu na styku opony z nawierzchnią oraz zapewnienie odpowiedniego tarcia pomiędzy kołem a nawierzchnią w wyniku wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego. Natomiast nierówności, których długość fal znajduje się w zakresie 0,5 mm—50 mm nazywamy makrostrukturą. Nierówności te spowodowane są wystającymi ziarnami kruszywa [Łądkiewicz-Krochmal 2020, Bukowski 2017].

Metodologia

Badania przeprowadzono przy użyciu specjalistycznego sprzętu



3. Przyczepa ASFT T-10 [Wesołowski et al 2018]



4. Urządzenie ASFT CSR [Pożarycki et al. 2019]

przedstawionego na rysunkach **3** i **4**. Urządzenia te dokonują pomiaru ciągłego. Pomiary współczynnika tarcia przeprowadza się za pomocą urządzenia zwanego ASFT (z ang. Airport Surface Friction Tester), które może być zamontowane na przyczepce lub bezpośrednio na pojeździe. Przykład urządzenia ASFT zamontowanego na przyczepce może być ASFT T-10 (Rysunek **3**) ciągniętej za pojazdem. Urządzenie ASFT zamontowane na pojeździe przedstawiono na Rysunku **4**.

Szczegółowa metodologia badań określona jest w: doc. 9137 AN/898 Airport Service Manual part 2-Pavement Surface Conditions wydany przez Międzynarodową Organizację Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organization-ICAO); załącznik 14 ICAO do konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym; AC 150/5320-12C, wydany przez Federalną Administrację Lotnictwa (Federal Aviation Administration-FAA); Polska norma obronna NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości. Wszystkie te normy opisują tą samą metodę dokonywania pomiaru. W tabeli **1** przedstawiono tabelę z wytycznych ICAO Załącznik 14 określającą skuteczność hamowania w stosunku do danej wartości współczynnika tarcia.

Powyższe parametry odnoszą się do nawierzchni, kiedy trwa tak zwany sezon zimowy, a jej drogi pokryte są ubitym śniegiem i lodem. Ocena „dobra” oznacza, że pilot lądujący na tej nawierzchni nie napotka większych trudności w utrzymaniu kierunku podczas lądowania bądź hamowania [Iwanowski i Wojciechowski 2016]. Załącznik 14 ICAO oraz norma obronna NO-17-A501:2015 wyróżnia dwa graniczne poziomy współczynnika tarcia przy badaniu szorstkości nawierzchni lotniskowych.

Według wymagań w wyżej wymienionych dokumentach, współczynnik tarcia dla drogi startowej

Tab. 1. Ocena skuteczności hamowania na podstawie wartości współczynnika tarcia [Złącznik 14 ICAO ... 2013]

| Wartość współczynnika tarcia z pomiarów terenowych | Ocena skutecznego hamowania | Cyfra kodu |
|--|-----------------------------|------------|
| 0,40 i więcej | dobra | 5 |
| 0,39–0,36 | średniadobrej | 4 |
| 0,35–0,30 | średnia | 3 |
| 0,29–0,26 | średniado złej | 2 |
| 0,25 i mniej | zła | 1 |

trzeba podawać ocenie oddzielnie dla każdej 1/3 jej długości. Do celów przekazywania danych służbom informacji lotniczej części te nazwano odpowiednio: A, B oraz C oraz zalecane jest, aby używane nawierzchnie lotniskowe poddawane były okresowym badaniom. Częstotliwość pomiarów współczynnika tarcia należy ustalić na poziomie umożliwiającym identyfikację elementów funkcjonalnych lotniska pod kątem minimalnych wartości współczynnika tarcia w celu podjęcia działań naprawczych. Pomiary powinny być przeprowadzane zawsze wtedy, gdy zachodzi ryzyko, że nawierzchnia drogi startowej może być niezdatna do użycia ze względu złych warunków atmosferycznych. Ponadto pomiary powinny być przeprowadzane przynajmniej raz na trzy miesiące. Okresowość pomiarów ma także związek z typem statków powietrznych przyjmowanych przez dane lotnisko, rodzajem nawierzchni lotniskowej, warunków atmosferycznych, zasad używania nawierzchni oraz ilości wykonywanych operacji lotniczych [Iwanowski i Wojciechowski 2016].

Podczas przeprowadzania badań współczynnika tarcia dla różnych typów nawierzchni lotniskowych, można zaobserwować, że ich wyniki często różnią się od siebie. Dzieje się tak ponieważ wszystkie badane nawierzchnie lotniskowe różnią się między sobą budową, stanem oraz wiekiem. Na wyniki pomiaru mają wpływ także inne czynniki, takie jak: czystość nawierzchni, ilość podawanej wody, rodzaj zastosowanej opony czy prędkość z jaką porusza

się pojazd. Do prawidłowo przeprowadzonego pomiaru na testowanej nawierzchni lotniskowej nie mogą, a przynajmniej nie powinny znajdować się jakiegokolwiek zanieczyszczenia. Ciało obce, które dostanie się pomiędzy koło pomiarowe a nawierzchnię działa smarująco przez co otrzymany współczynnik tarcia jest zaniżony w stosunku do oczekiwanego. Przykładem może być pył, drobny piasek lub substancja ropopochodna. Natomiast zmiana ilości podawanej wody (wymagany jest film o grubości 1 mm) w trakcie przeprowadzania pomiaru danej nawierzchni lotniskowej ma wpływ na warunki przeciwpoślizgowe, które w wyniku tego działania ulegają zmianie.

Prędkości badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni są z góry określone. Różne prędkości urządzenia pomiarowego dadzą różne wyniki współczynnika tarcia. Dzieje się tak ponieważ współczynnik tarcia jest zmienny w funkcji prędkości. Wraz ze zmianą prędkości poruszania się obiektów między sobą zmienia się także współczynnik tarcia. Obydwa urządzenia wymienione wyżej umożliwiają ciągły liniowy pomiar współczynnika tarcia pomiędzy nawierzchnią lotniskową, a wzorcowym kołem samolotu z prędkością 65 lub 95 km/h. Posiadają one zbiornik na wodę oraz mechanizm, który pozwala zwilżyć nawierzchnię tak aby uzyskać wymaganą w normach grubość filmu wodnego, która jest nie mniejsza niż 1 mm [Weśółowski et al 2018]. Różnorodność urządzeń pomiarowych wiąże się także z zastosowanymi w nich spe-

cyjnymi oponami pomiarowymi. Do wykonania pomiaru używa się najczęściej dwóch rodzajów opon: UNITESTER T520 do badania z filmem wodnym oraz ASTM E1551 do badań bez filmu wodnego (Rysunek 5a). Opony mocowane są na urządzeniu pomiarowym (Rysunek 5b).

Wyniki badań

Pomiar współczynnika tarcia przeprowadzono dla drogi startowej nawierzchni wykonanej z betonu cementowego. Długość sprawdzanego odcinka wynosiła 200 metrów. Stan techniczny wszystkich obiektów, na których przeprowadzono pomiary można ocenić jako bardzo dobry. Współczynnik tarcia nawierzchni zmierzono z podawaniem filmu wodnego pod koło pomiarowe przy prędkości 95 km/h na wyznaczonych odcinkach. Na rysunku 6 – 9 przedstawiono wyniki wartości pomiarowych na 4 wybranych lotniskach.

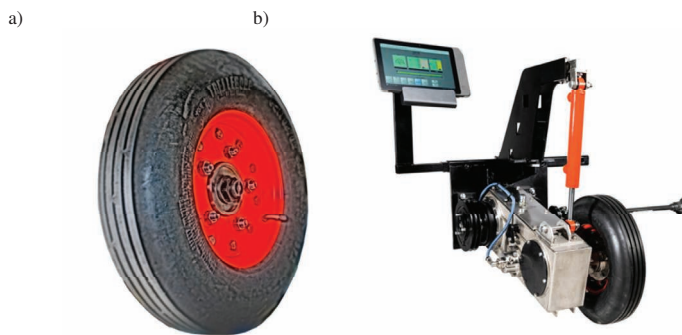
Na rysunku 6 można zaobserwować, że wielkości współczynnika tarcia są utrzymywane w granicach między 0,7 a 0,8. Zatem wartość współczynnika jest stabilna dzięki ciągłym remontom, aby stan nawierzchni drogi startowej był na jak najlepszym poziomie

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki pomiarowe dla drugiego ołńska. Tutaj wartości znajdują się w przedziale 0,7 – 0,83. Rozbieżność jest większa niż w przypadku drogi startowej numer 1, ale nadal droga startowa numer 2 uzyskuje bardzo zadowalające wyniki.

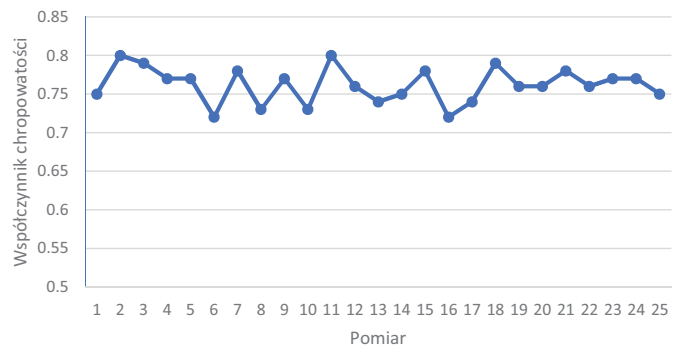
Wyniki przedstawiona na rysunku 8 pokrywają się z wynikami przedstawionymi dla dróg startowych 1 i 2. Przedział dla DS3 również znajduje się pomiędzy wartościami 0,7 a 0,82. Można stwierdzić, że pas startowy numer 3 utrzymywany jest również w bardzo dobrym stanie technicznym jak wcześniejsze dwie drogi startowe (DS1 i DS2).

Sytuacja w przypadku drogi startowej numer 4 przedstawionej na rysunku 9 ma się troszeczkę inaczej. Można zaobserwować, porównując wcześniejsze wyniki dla pozostałych dróg startowych, że minimalna wartość współczynnika tarcia oscyluje w okolicach 0,65. Natomiast maksymalna wartość nie przekracza 0,77. Może to być spowodowane tym, że na lotnisku 4 obciążenie operacjami lotniczymi jest znacznie większe niż w przypadku pozostałych lotnisk.

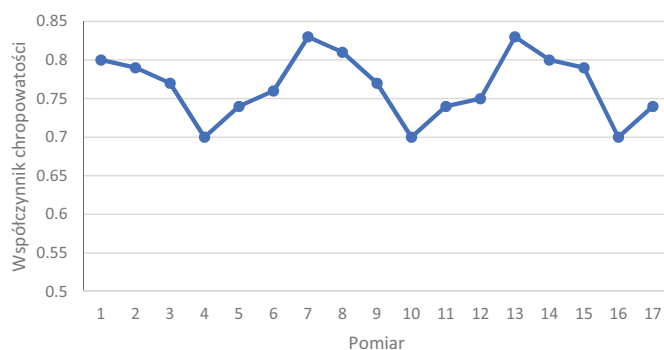
Wyniki otrzymane z przeprowadzonych badań wykazują pewną oscylację jeżeli chodzi o wartości otrzymanych wyników. Wprowadzono zatem linie trendu, aby lepiej można było porównać wszystkie badane drogi startowe. Analizę zbiorczą przedstawiono na rysunku 10. Dzięki takiemu zestawieniu można zaobserwować, że wszystkie drogi startowe zużyły się w badanym okresie czasu. Zużycie jest zróżnicowane w zależności od tego z jaką częstotliwością wykonywane



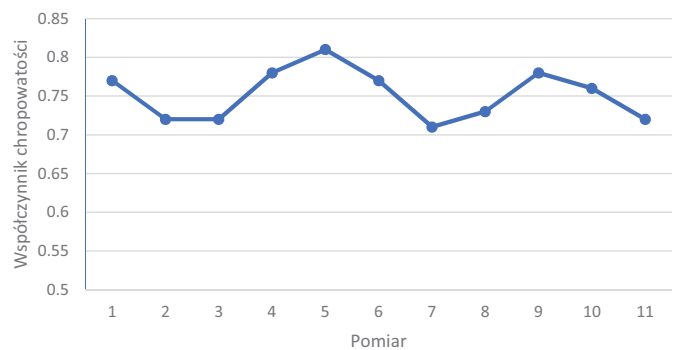
5. a) Opona pomiarowa Unisester T520; b) urządzenie pomiarowe [źródło: <https://gfte.se/products>]



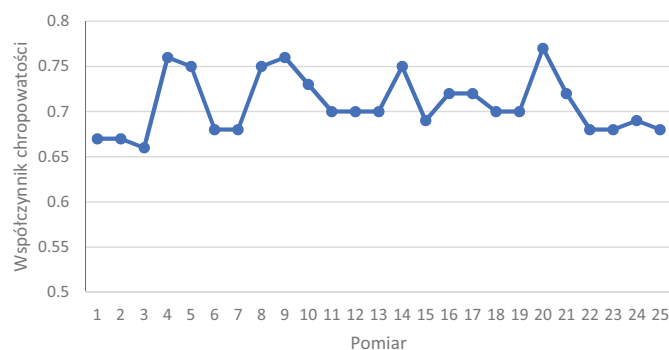
6. Przebieg zmienności współczynnika tarcia wyznaczony dla nawierzchni drogi startowej o oznaczeniu DS1 przy prędkości 95 km/h oraz z filmem wodnym



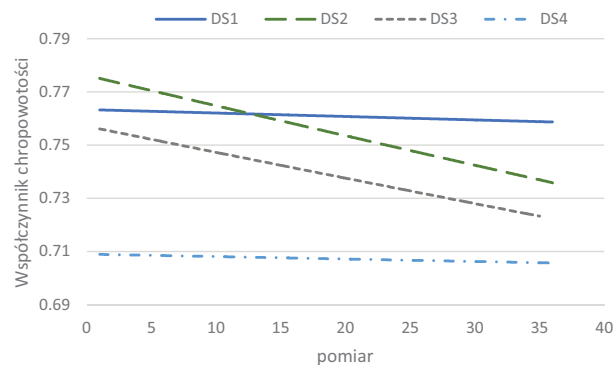
7. Przebieg zmienności współczynnika tarcia wyznaczony dla nawierzchni drogi startowej o oznaczeniu DS2 przy prędkości 95 km/h oraz z filmem wodnym



8. Przebieg zmienności współczynnika tarcia wyznaczony dla nawierzchni drogi startowej o oznaczeniu DS3 przy prędkości 95 km/h oraz z filmem wodnym



9. Przebieg zmienności współczynnika tarcia wyznaczony dla nawierzchni drogostartowej o oznaczeniu DS4 przy prędkości 95 km/h oraz z filmem wodnym



10. Linia trendu dla dróg stratowych DS1 – DS4

są operacje lotnicze oraz od masy startowej statków powietrznych.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań pomiarów współczynnika tarcia, które przeprowadzane zostały na nawierzchniach drogi startowej. Pod uwagę wzięto pomiary dokonane na czterech lotniskach znajdującym się na terenie naszego kraju. Badania zaprezentowane w pracy przeprowadzono na nawierzchniach betonowych oraz z podawaną wodą pod koło pomiarowe. Badania dokonywano przy prędkości 95 km/h.

Wyniki tych pomiarów dowiodły, że wartość współczynnika tarcia zmienia się wraz z upływem czasu użytkowania danych nawierzchni lotniskowych. Wyniki współczynnika tarcia z poszczególnych lotnisk mieściły się w normach opisanych w pracy. Oznacza to, że bezpieczeństwo na tych obiektach w tym aspekcie jest zapewnione.

Poza wynikami badań współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych, w pracy opisano także czynniki, które mają wpływ na ów współczynnik. Były to między innymi: rodzaj nawierzchni, obecność zanieczyszczeń, ilość podawanej wody w trakcie badania oraz prędkości dokonywania pomiaru. ◀

Materiały źródłowe

[1] Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Trans-

portation, Federal Aviation Administration (FAA), 18.03.1997 z późn. zm.

[2] Bukowski L., 2017, Zagadnienia dotyczące współczynnika tarcia nawierzchni jezdni, Drogownictwo, 10, 2017, 337-344

[3] Doc. 9137 ICAO AN/898 Airport Service Manual Part 2 - Pavement Surface Conditions, ICAO, Fourth Edition, 2002

[4] Dz. U. z 2020 r. poz. 1970 - ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze

[5] Iwanowski P., Wojciechowski M., 2017, Interpretacja właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych i lotniskowych na podstawie pomiaru współczynnika tarcia, Autobusy 12/2017.

[6] Iwanowski P., Wojciechowski M., Charakterystyka tarcia nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, Autobusy 12/2016.

[7] Korzanowski G., 2017, Wpływ kruszyw na właściwości przeciwpoślizgowe i hałaśliwość nawierzchni, Polski Kongres Drogowy, Warszawa

[8] Łądkiewicz-Krochmal K., 2020, Współczynnik tarcia nawierzchni – analiza zagadnień, urządzenia pomiarowe, Drogownictwo 2/2020.

[9] Nita P., 2008, Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych, WKŁ, Warszawa 2008r.

[10] NO-17-A501:2015 Na-

wierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.

[11] Pożarycki A., 2019, Wesołowski M., Moralewski T. Badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni urządzeniami do testów w trybie ciągłym, Drogownictwo 9/2019

[12] Sandecki M., 2017, Kształtowanie ramp na drogach dwujezdniowych, Drogownictwo, 2, 2017, 52-59.

[13] Semkło Ł., Wróblewska A., 2022, Analiza współczynników tarcia dla drogi strtovej oraz kołowania., Nauka dla obronności bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej Tom 2, Wyd. ITWL, Warszawa 2022

[14] Wesołowski M., Blacha K., Kowalewska A., Iwanowski P., 2018, Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia, Przegląd Ko-munikacyjny 12/2018.

[15] Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I - Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 6, lipiec 2013.

[16] Załącznik do Zarządzenia Nr 34 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30.04.2015 roku, Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania, Warszawa 2015.