

Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia

Evaluation of airfield pavement's anti-skid properties with the use of devices for friction continuous measurement



Mariusz Wesołowski

Płk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Krzysztof Blacha

Mjr mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

krzysztof.blacha@itwl.pl



Agata Kowalewska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

aqata.kowalewska@itwl.pl



Paweł Iwanowski

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

pawel.iwanowski@itwl.pl

Streszczenie: Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych są jednym z kluczowych czynników mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu lotniczego w naziemnym polu manewrowym. Właściwości te ocenia się pośrednio poprzez analizę makro- i mikrotekstury nawierzchni lub bezpośrednio na podstawie pomiaru współczynnika tarcia. Współczynnik tarcia stanowi stosunek siły nacisku koła na nawierzchnię, do siły tarcia powstałej na powierzchni ich styku. Na chwilę obecną istnieje wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia (z ang. Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME), które, co do podstawowej zasady działania, nie różnią się znacząco między sobą. Urządzenia typu CFME mierzą siły nacisku wywierane przez koło pomiarowe na nawierzchnię i siły tarcia na styku koła nawierzchnia. Stosunek tych dwóch wartości stanowi współczynnik tarcia. Poza podobieństwami, urządzenia posiadają także istotne dla uzyskiwanych wartości różnice. Należy tu wspomnieć o różnicach w typie i rozmiarze zastosowanej opony pomiarowej, wartości poślizgu koła względem nawierzchni czy ciśnieniu w oponie. Wyniki uzyskane z pomiarów różnymi urządzeniami mogą różnić się między sobą nawet o kilkadziesiąt procent przez co nie należy porównywać ich ze sobą, jak również odnosić do tych samych wymagań. Jednocześnie każde z urządzeń pozwala na określenie warunków przeciwpoślizgowych nawierzchni względem wymagań ustanowionych dla danego typu urządzenia, co pozwala sklasyfikować nawierzchnię pod tym kątem. Biorąc pod uwagę klasyfikację możliwe jest porównanie wyników otrzymanych z różnych urządzeń pomiarowych. Artykuł prezentuje przegląd aparatury stosowanej do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia na nawierzchniach lotniskowych, przytaczając jednocześnie te stosowane na polskich drogach. Autorzy zwracają uwagę na wymagania stawiane nawierzchniom pod względem szorstkości z uwzględnieniem typu zastosowanego urządzenia. Ponadto, zaprezentowano procedurę postępowania w trakcie testów z urządzeniami, dla których dotychczas nie opracowano wymagań, a istnieje potrzeba wprowadzenia ich na rynek.

Słowa kluczowe: Właściwości przeciwpoślizgowe; Współczynnik tarcia; CFME

Abstract: Airfield pavement's anti-skid properties is one of the key factors that affects safety of air traffic on manoeuvring area. The friction coefficient constitutes the ratio of the wheel downforce and the friction on the contact surface. At the moment there are many devices for continuous measurement of the skid resistance (Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME) that, in principal do not diverge much from each other. Type CFME devices measure the wheel's downforce on the pavement and the friction on the tyre-pavement contact surface. The ratio between these two values represents a friction coefficient. In spite of similarities, devices have crucial differences that impacts on the friction coefficient. The most noteworthy are variations in the type and size of the used measuring tyre, tyre-pavement skid resistance or tyre pressure. Results obtained from the various devices may diverge by several dozen percentage, therefore they may not be compared with each other or referred to the same requirements. At the same time, each device allows to determine the pavement's anti-skid conditions in terms of the requirements specified for a given type of device, thereby enabling pavement classification in this respect. The classification allows for comparing the results obtained from various measuring devices. This paper presents an overview of equipment to measure the friction coefficient on airfield pavements, thus citing devices used on Polish roads. Authors draw attention to the requirements for pavements in terms of their roughness considering the device type. Moreover, the procedure for testing devices that have not been specified so far, with respect to launching new devices was presented.

Keywords: Anti-skid properties; Friction coefficient; CFME

W dzisiejszych czasach ogromny nacisk kładzie się na bezpieczeństwo. Jest to podyktowane głównie wysokimi kosztami społecznymi jakie niosą ze sobą zaistniałe zdarzenia. W przypadku transportu jednym z czynników mających istotny wpływ na bezpieczeństwo są właściwości prze-

ciwpoślizgowe nawierzchni. Wszelkiego rodzaju systemy bezpieczeństwa, poczynając od ABS, przez wszelkiego rodzaju kontrole trakcji, aż po zaawansowane systemy przeciwpoślizgowe, mają sens tylko wtedy, gdy zapewni się odpowiedni kontakt opony z nawierzchnią. Od strony pojazdu zna-

czący wpływ ma dobór odpowiedniej opony, czy konfiguracji zawieszenia. Ze strony nawierzchni będzie to uzyskanie jak najlepszych parametrów przeciwpoślizgowych poprzez zapewnienie właściwego współczynnika tarcia mierzonego normowymi metodami. Na całym świecie istnieje

Tab. 1. Wymagania wg NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Badanie szorstkości [2]

Urządzenie pomiarowe	Opona testowa		Prędkość pomiarowa km/h	Grubość filmu wodnego mm	Współczynnik tarcia		
	Typ	Ciśnienie kPa			Wartości projektowe dla nowych nawierzchni	Wartości do planowania działań naprawczych	Wartości minimalne (graniczne)
Przyczepa Surface Friction Tester (ASFT)	B	700	65	1,0	0,70	0,50	0,40
	B	700	95	1,0	0,60	0,40	0,32
Przyczepa Mu-meter	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Przyczepa Skiddometer	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Przyczepa RUNAR	B	210	65	1,0	0,69	0,52	0,45
	B	210	95	1,0	0,63	0,42	0,32
Pojazd Airport Surface Friction Tester (ASFT)	B	700	65	1,0	0,70	0,50	0,40
	B	700	95	1,0	0,60	0,40	0,32
Pojazd Surface Friction Tester	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Pojazd Runway Friction Tester	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Pojazd TATRA Friction Tester	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42

wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia (z ang. Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME). Do pomiarów współczynnika tarcia na polskich lotniskach dopuszczono kilka z nich, natomiast na drogach zaledwie dwa. Od ponad 20 lat na sieci dróg krajowych w celu oceny właściwości przeciwpoślizgowych sto-

suje się zestaw pomiarowy SRT-3. Od kilku lat dopuszczone w kampaniach pomiarowych jest także urządzenie pomiarowe TWO. Obydwa urządzenia mają swoich zwolenników i przeciwników, natomiast nie są znane procedury, które umożliwiłyby dopuszczenie kolejnych urządzeń do pomiarów współczynnika tarcia na drogach krajowych. Na

chwilę obecną nie jest znana również instytucja, która certyfikowałaby tego typu urządzenia.

Międzynarodowy dokument Doc. 9137 AN/898 *Airport Services Manual - Part 2 - Pavement Surface Conditions* [1], wydany przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (z ang. International Civil Aviation Organization - ICAO) dopuszcza stosowanie nowych urządzeń pomiarowych podając kryteria oraz sposób postępowania w procesie certyfikacji urządzenia. Artykuł ma na celu przybliżenie środowisku drogowemu sposobu postępowania z nowymi urządzeniami CFME w procesie certyfikacji.

Przegląd urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia

Na całym świecie istnieje wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia typu CFME. Część z nich używana jest w Polsce. Pomimo, że każde z urządzeń mierzy ten sam parametr, to ich konfiguracja ma wpływ na uzyskany wynik. W niniejszym rozdziale zaprezentowano typowe urządzenia wykorzystywane do pomiaru współczynnika tarcia na obiektach



1. Przyczepa ASFT T-10 będąca na wyposażeniu Zakładu Lotniskowego Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL), na drugim planie pojazd ASFT



2. Pomiar współczynnika tarcia na nawierzchni płyty postoju samolotów przy użyciu urządzenia T2Go będącego na wyposażeniu Zakładu Lotniskowego ITWL



3. Griptester MK2 (po lewej) [12], Skiddometer BV11 (po prawej) [13]

lotniskowych oraz drogach na terenie Polski. [10]

Urządzenia lotniskowe

Polska norma obronna NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badanie szorstkości [2] zawiera wykaz urządzeń typu CFME jakie dopuszcza się do stosowania na polskich obiektach wojskowych. W powyższej normie określone są wymagania jakie powinno spełniać urządzenie oraz jest wskazanie na możliwość stosowania urządzeń wymienionych w AC 150/5320-12C FAA [3], Doc. 9137 ICAO [1] oraz w Załączniku 14 ICAO [4]. Z przytoczonego zapisu wynika, że także nowe urządzenia mogą zostać zastosowane, o ile spełnią określone wymagania. Tabela 1 zawiera wykaz

urządzeń wymienionych przez normę [2] wraz z warunkami pomiaru oraz wymaganiami stawianymi nawierzchniom lotniskowym.

Na Polskich obiektach lotniskowych najpopularniejszymi urządzeniami do pomiaru współczynnika tarcia są urządzenia ASFT (z ang. Airport Surface Friction Tester) zamontowane na pojeździe lub na przyczepie ASFT T-10 ciągniętej za pojazdem (rysunek 1). Obydwa urządzenia umożliwiają ciągły, liniowy pomiar współczynnika tarcia pomiędzy nawierzchnią lotniskową, a wzorcowym kołem samolotu z prędkością 65 lub 95 km/h. Wyposażone są w zbiornik na wodę oraz mechanizm zwilżający nawierzchnię do osiągnięcia wymaganego w normach filmu wodnego o grubości nie mniejszej niż 1 mm.

Mniejsze elementy funkcjonalne lotniska, których geometria uniemożliwia pomiar przy prędkości 65 lub 95 km/h, można badać używając urządzenia BVS-1 lub ręcznego przenośnego testera szorstkości T2Go (rysunek 2). W obecnej chwili znaczenie aparatury badawczej BVS-1 zmalało na korzyść T2Go. T2Go umożliwia ciągły pomiar współczynnika tarcia przy niskich prędkościach, a odpowiednia korelacja między wynikami uzyskanymi przy użyciu przyczepy ASFT T-10 pozwala na odniesienie się do wymagań zawartych w podanych wcześniej dokumentach.

Punktowy pomiar współczynnika tarcia jest możliwy przy użyciu wahała angielskiego. Wynik daje pewien obraz, jaki poziom współczynnika tarcia charakteryzuje badaną nawierzchnię



4. Zestaw pomiarowy SRT-3 [14]



5. Zestaw pomiarowy TWO [15]

nię. Natomiast odnosi się on do konkretnego punktu, w przeciwieństwie do wcześniej przedstawionych urządzeń umożliwiających pomiar ciągi. Obecnie wahadło jest stosowane głównie w ramach badań laboratoryjnych. W terenie stanowi jedynie dodatkowe porównanie do wyników uzyskanych innymi metodami. Kryteria dla wskaźnika SRT otrzymanego z badania wahadłem angielskim znane są tylko dla nawierzchni drogowych. Rzadziej, ale także obecne na naszych lotniskach są urządzenia typu Griptester MK2 firmy Findlay Irvine (rysunek 3 po lewej) oraz Skiddometer BV11 firmy Moventor (rysunek 3 po prawej). Obydwa urządzenia działają na podobnej zasadzie co ASFT T-10 umożliwiając ciągły pomiar współczynnika tarcia, przy czym Griptester MK2 charakteryzuje się niewielką wagą oraz rozmiarami. Każde ze wspomnianych urządzeń jest ciągnięte w trakcie pomiaru przez pojazd kołowy oraz wymaga ciągłego podawania wody ze zbiornika znajdującego się na pojeździe.

Griptester MK2 wykorzystuje do pomiaru współczynnika tarcia gładką oponę o średnicy 10 cali, zgodną ze specyfikacją ASTM 1844. Koła jezdne urządzenia również mają rozmiar 10 cali, lecz są bieżnikowane. Ciśnienie panujące w oponie pomiarowej w trakcie badania to 140 kPa.

Do badania współczynnika tarcia przy użyciu urządzenia Skiddometer BV11 można użyć dwóch rodzajów opon. Pierwszy rodzaj opony to niskociśnieniowa opona ASTM, a druga to gładko bieżnikowana opona wysokociśnieniowa T520. Obie zgodne z rekomendacją FAA i ICAO. Ciśnienie robo-

cze w oponie pomiarowej to 210 kPa, a poślizg koła względem kół jezdnych wynosi 17%.

Urządzenia drogowe

W środowisku drogowym również występuje wiele urządzeń stosowanych w celu oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Umożliwiają one pomiar współczynnika tarcia z prędkościami od 30 do 120 km/h. W zależności od sposobu pomiaru można wyróżnić następujące grupy urządzeń:

- „side force” - koło pomiarowe obrócone jest względem kierunku ruchu urządzenia o kąt 7,5° - 20°, mierzone są siły tarcia boczne. W tej grupie znajdują się m.in. SCRiM, SKM, Mu-Meter, Stradograf;
- „fixed slip” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia przy ustalonym poślizgu. Do tej grupy zalicza się m.in. DWW Trailer, Skidometer BV-8, Griptester, TWO;
- „variable slip” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia o zmiennym poślizgu. Przedstawicielem tej grupy jest ViaFriction;
- „locked wheel” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia przy całkowitej blokadzie koła (100% poślizgu). Do tych urządzeń zalicza się m.in. Adhera, Stuttgarter, Reibugsmesser, Pavement Friction Tester, SRT-3.

Urządzenia SRT-3 oraz TWO zostały dopuszczone do stosowania na polskich drogach krajowych zgodnie z Zarządzeniem Nr 34 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 kwietnia 2015 roku [5]. Urządzenie SRT-3 (rysunek 4) zostało zbudowane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, natomiast TWO (rysunek 5) jest konstrukcją zagraniczną.

Zestaw pomiarowy SRT-3, zaliczany do grupy „locked wheel”, umożliwia pomiar współczynnika tarcia przy pełnej blokadzie koła pomiarowego. Współczynnik tarcia może zostać określony dwoma metodami, tj. albo przez pomiar momentu hamującego powstałego na kole pomiarowym, albo bezpośrednio przez pomiar siły tarcia na styku opona-nawierzchnia drogowa. Dzięki omawianemu urządzeniu możliwy jest również pomiar maksymalnej wartości współczynnika tarcia przy zadanej prędkości pomiarowej oraz pomiar oporów toczenia. Badanie można wykonywać zarówno na prostych odcinkach dróg jak i na łukach.

Zestaw TWO, zaliczany do grupy „fixed slip”, służy do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia zarówno na drogach jak i na obiektach lotniskowych. Urządzenie pomiarowe zamocowane jest bezpośrednio na samochodzie. Wyposażone jest w dwa koła połączone ze sobą łańcuchem w taki sposób, aby poruszały się względem siebie z poślizgiem o wartości 17,8%. Jedno koło stanowi punkt odniesienia, drugie jest kołem pomiarowym. Pomiar może zostać wykonany zarówno na mokrej, jak i suchej nawierzchni z prędkością od 2 do 100 km/h. Ilość

podawanej wody jest regulowana i umożliwia stworzenie filmu wodnego o grubości od 0,1 do 1 mm. Do pomiaru może zostać użyta zarówno opona gładka jak i bieżnikowana.

Postępowanie z nowymi urządzeniami CFME

Międzynarodowy dokument Doc. 9137 AN/898 ICAO [1] podaje kryteria dla nowych urządzeń pomiarowych typu CFME, natomiast załącznik nr 3 [6] do tego dokumentu zawiera procedury testowania tychże urządzeń. Tym samym dopuszcza się możliwość wprowadzenia do stosowania innych urządzeń, niż obecnie wyszczególnione w dokumentach normatywnych pod warunkiem spełnienia konkretnych wymagań.

Wymagania dla nowych urządzeń według Doc. 9137 AN/898

W 1974 roku przedstawiono podstawowe kryteria techniczne oraz operacyjne dla urządzeń CFME (zaprojektowane przez ICAO) i zarekomendowano do pomiarów współczynnika tarcia drogi startowej. W 1991 roku wymagania znowelizowano i zamieszczono w Podręczniku Służb Lotniskowych Doc. 9137 AN/898 ICAO [1]. Kryteria mają na celu standaryzację parametrów projektowych dla nowych urządzeń do pomiaru tarcia. Mają także na celu zapewnienie elastyczności i umożliwienie dodawania przyszłych urządzeń nie wykluczając postępu technicznego w tej dziedzinie. Podstawowe wymagania dla nowych urządzeń CFME wskazane w dokumencie to:

- tryb pomiaru, który powinien umożliwić pomiar ciągły w ruchu wzdłuż badanego elementu;
- możliwość kalibracji urządzenia w celu kontroli nad poprawnością wyników. Nawet niewielkie odchyłki w trakcie kalibracji mogą mieć istotny wpływ na wynik badania;
- tryb hamowania koła pomiarowego - koło pomiarowe powinno znajdować się w stałym poślizgu

względem nawierzchni (w zakresie od 10% do 20%), natomiast w urządzeniach symulujących działanie siły bocznej zadany kąt powinien mieścić się w granicach od 5° do 10°. Obecnie najpopularniejszą konfiguracją stosowaną na polskich lotniskach jest poślizg koła na poziomie 15% bez zadanej siły bocznej;

- ograniczenie nadmiernych wibracji - urządzenie powinno być zaprojektowane w taki sposób, aby zminimalizować, bądź wręcz wyeliminować wibracje masy amortyzowanej i nieamortyzowanej w pełnym zakresie prędkości pomiarowych, w szczególności w odniesieniu do koła pomiarowego. Wibracje mają wpływ na jakość odczytów z aparatury pomiarowej, jak również na kontrolę siły docisku koła do nawierzchni;
- stabilność urządzenia w trakcie jazdy, włączając możliwość szybkiego opuszczenia drogi startowej. Urządzenie nie może powodować zagrożenia dla ruchu lotniczego w naziemnym polu manewrowym, na żądanie kontrolera ruchu musi być zdolne jak najszybciej przemieścić się w strefę bezpieczną;
- rejestrowany współczynnik tarcia powinien zawierać się w przedziale od 0 do 1.0;
- urządzenie powinno zapewnić ciągły zapis wykresu wartości współczynnika tarcia dla drogi startowej oraz umożliwić osobie obsługującej wprowadzenie jakichkolwiek obserwacji, jak również daty i czasu zapisu. Ciągły zapis jest pewnym uproszczeniem, gdyż urządzenia typu CFME zapisują wyniki w konkretnych interwałach; dystans jaki pokonuje urządzenie jest na tyle mały względem długości odcinka pomiarowego, że można to uznać za pomiar ciągły
- urządzenie powinno być zdolne do powtarzania średnich wyników pomiarów współczynnika tarcia w granicach $\pm 0,03 \mu$, przy poziomie ufności 95,5% (lub dwa odchylenia standardowe);

- wartość współczynnika tarcia powinna stanowić stosunek podłużnej siły tarcia do pionowego obciążenia koła pomiarowego, w przypadku pomiaru symulującego siłę boczną współczynnik tarcia powinien odpowiadać stosunkowi siły bocznej do obciążenia koła pomiarowego. Wymaganie to wynika z definicji współczynnika tarcia;
- zakres możliwych prędkości pomiarowych urządzenia powinien sięgać od 40 do 130 km/h. Pomimo, że zakres pomiarowy jest szeroki, to standardowymi prędkościami przy jakich wykonuje się pomiar współczynnika tarcia są 65 i 95 km/h, pozostałe prędkości pomiarowe służą jak najlepszemu określeniu korelacji między urządzeniami;
- urządzenie powinno podawać średnią wartość współczynnika tarcia co najmniej dla: pierwszych 100 m drogi startowej, każdego 150 m odcinka pomiarowego oraz dla każdej jednej trzeciej długości drogi startowej. Podział długości drogi startowej na trzy części ma szczególne znaczenie dla pilota. Pilot podchodząc do lądowania dostaje informację o współczynniku tarcia na poszczególnych fragmentach drogi startowej. Dzięki temu wie jakich warunków może się spodziewać po przyziemieniu i w jaki sposób manewrować statkiem powietrznym w kolejnych tercjach drogi startowej;
- opona pomiarowa powinna odpowiadać typom wymienionym w dokumencie; opona może zostać wymieniona na inną pod warunkiem upewnienia się, że uzyska się rzetelne i pewne wyniki. Standaryzacja opon pomiarowych ma na celu eliminację wpływu rodzaju użytej opony na warunki pomiaru;
- urządzenie musi być zdolne wykonywać pomiary niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Pomiary współczynnika tarcia na lotniskach odbywają się najczęściej w chwili, gdy istnieje podejrzenie, że właściwości prze-

ciwpoślizgowe nawierzchni mogły ulec pogorszeniu. Zazwyczaj taka sytuacja następuje w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków atmosferycznych. Z tego powodu urządzenie musi być gotowe do pracy w każdych warunkach atmosferycznych;

- urządzenie musi być na tyle łatwe w utrzymaniu, aby zapewnić bezpieczeństwo w trakcie pomiarów oraz transportu;
- urządzenie musi być wyposażone w system samozraszający nawierzchnię, w celu zapewnienia filmu wodnego o grubości co najmniej 1 mm.

Procedura testowania nowego urządzenia

Załącznik 3 [6] wskazuje cztery podstawowe założenia, jakie powinny zostać spełnione w trakcie prowadzenia testów nowego urządzenia CFME:

- należy ustalić, czy procedury kalibracji przyrządów stosowane przez producenta do pomiaru tarcia i systemów dystrybucji wody dla urządzenia są zadowalające. Dokument nie określa tu konkretnych wymagań, dlatego niezwykle ważna jest stosowna ocena przez ekspertów biorących udział w badaniach;
- pomiary należy prowadzić na co najmniej czterech różnych rodzajach nawierzchni zapewniających szeroki zakres wyników współczynnika tarcia. Dokument nie określa tu konkretnych parametrów jakie ma spełnić nawierzchnia jak na przykład jej mikro- i makrotekstura, aczkolwiek warto zadbać, aby wybrać co najmniej cztery rodzaje nawierzchni różniących się między sobą uzyskiwanymi wartościami współczynnika tarcia
- pomiary wykonywać przy co najmniej dwóch prędkościach pomiarowych, tj. 65 i 95 km/h. Są to standardowe prędkości pomiaru współczynnika tarcia powielane w wielu dokumentach, natomiast w celu powiększenia zbioru wy-

ników można wykonać pomiary także przy innych prędkościach. Zwiększy to ilość danych i poszerzy zakres wyników;

- dla każdej kombinacji warunków pomiaru przeprowadzić pomiary w warunkach powtarzalności i jeśli to możliwe wykonać w tych samych warunkach pomiar innym, certyfikowanym urządzeniem CFME w celu sprawdzenia zgodności wyników.

Spełnienie powyższych warunków w znaczącym stopniu zapewni powtarzalność wyników oraz umożliwi kontrolę uzyskiwanych wyników.

Pomimo, że w dokumencie nie ma takiego zapisu, to warto zapewnić czystość nawierzchni, na której przeprowadzany jest pomiar. Z doświadczeń autorów wynika, że rozrzut wyników uzyskiwanych na zanieczyszczonej nawierzchni jest duży. Nawet certyfikowane urządzenia mogą nie być w stanie zapewnić powtarzalności na poziomie $\pm 0,03 \mu$, przy poziomie ufności 95,5%. W celu utrzymania odpowiedniej czystości nawierzchni w trakcie pomiarów korzystne jest oczyszczenie nawierzchni przed każdym przejazdem urządzenia pomiarowego. Na lotniskach najszybszym rozwiązaniem okazuje się użycie oczyszczarki lotniskowej.

Kolejne kroki procedury testowania nowych urządzeń CFME według Załącznika 3 [6] są następujące:

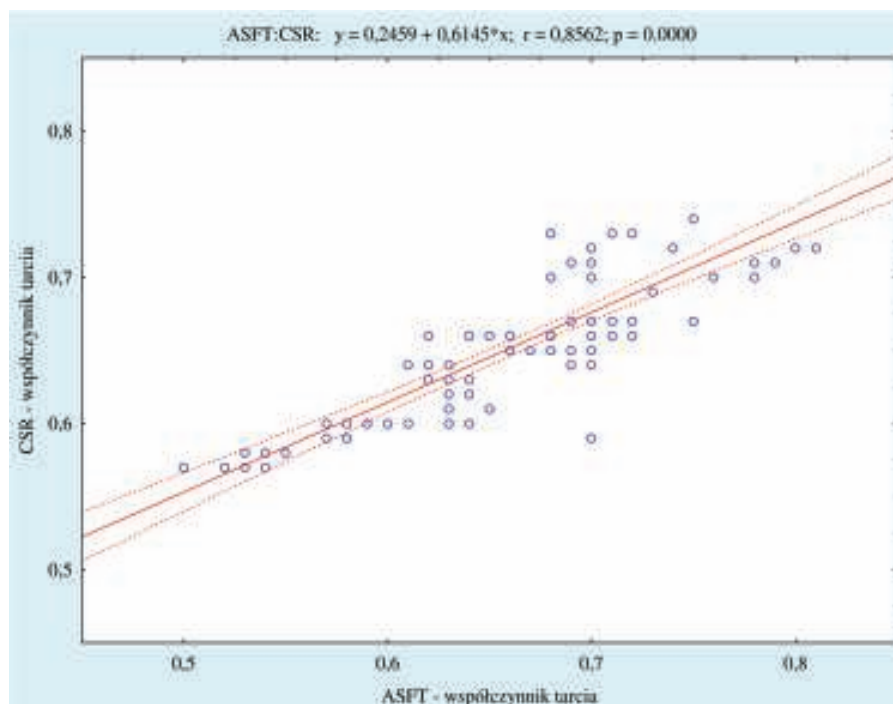
- sprawdzenie podzespołów urządzenia, opony oraz systemu zapisu danych pod kątem prawidłowej konfiguracji i warunków działania.
- przeprowadzenie kalibracji urządzenia według instrukcji producenta i zapisanie wyników.
- wykonanie sprawdzenia systemu rozpraszającego wodę pod względem zgodności ilości rozprószonej wody z założeniami oraz czy woda podawana jest prawidłowo pod koło pomiarowe przy różnych prędkościach. Dokument nie definiuje w jaki sposób takie sprawdzenie przeprowadzić. W praktyce mierzy się długość i szerokość powstałego w trakcie pomiaru śladu wodnego i na pod-

stawie ubytku wody w urządzeniu określa się grubość filmu wodnego utworzonego przed kołem.

- powtórzenie pierwszych trzech kroków dla drugiego, certyfikowanego urządzenia CFME użytego w celu określenia korelacji wyników, jeśli takowe będzie wykorzystane.
- w przypadku, gdy do testów używa się więcej niż jednego urządzenia, należy określić kolejność tych urządzeń w trakcie przejazdów i zachowywać tę kolejność przez cały czas trwania testów. Jest to istotne, gdyż w celu określenia korelacji porównuje się wyniki z poszczególnych przejazdów urządzeń pomiarowych. Pomimo, że nie jest to wskazane w dokumencie to należy zadbać, aby czas między przejazdami porównywanych urządzeń był możliwie krótki.
- wykonanie dwóch lub trzech przejazdów testowych każdym z urządzeń CFME na założonej nawierzchni, w celu ustabilizowania współczynnika tarcia dla mokrej nawierzchni oraz osiągnięcia akceptowalnej powtarzalności na poziomie $\pm 0,03$. Jeśli akceptowalny poziom powtarzalności przy dwóch przejazdach z podobną prędkością nie zostanie osiągnięty, należy sprawdzić system pomiarowy oraz zapisu danych, w celu znalezienia nieprawidłowości. Jeśli to konieczne, należy poprawić wszelkie nieprawidłowości i przeprowadzić ponownie kalibrację urządzenia przed kontynuacją testów.
- przy każdej analizowanej prędkości należy przeprowadzić co najmniej 6 przejazdów pomiarowych dla każdego urządzenia, dla każdej z co najmniej 4 rodzajów nawierzchni. Naturalnie wraz ze wzrostem liczby pomiarów rośnie prawdopodobieństwo poprawnej oceny urządzenia.
- na każdej z wybranych nawierzchni należy wykonać pomiary przy minimum dwóch prędkościach pomiarowych - 65 i 96 km/h. Inne prędkości pomiarowe pozwolą na dokładniejsze określenie zależno-

ści współczynnika tarcia od prędkości.

- przeanalizowanie zapisanych danych w celu określenia dokładności, powtarzalności oraz zgodności wyników dla każdej z nawierzchni oraz prędkości pomiarowych.
- dla porównania z uzyskiwanymi współczynnikami tarcia na mokrej nawierzchni, należy przeprowadzić dwa testy na sucho dla każdej z nawierzchni oraz przy podobnych prędkościach pomiaru, jakie wykorzystano przy pomiarach na nawierzchni mokrej.
- przeprowadzenie ponownej kalibracji urządzeń zgodnie z wytycznymi producenta na zakończenie testów i zapisanie wyników. Uzyskane wartości w trakcie kalibracji powinny być zbliżone do tych z przed testów. Jeśli nie są, należy ustalić przyczynę i w razie konieczności powtórzyć testy.
- wykonanie wykresów zależności wartości współczynnika tarcia od prędkości dla każdej z nawierzchni. W przypadku wykorzystania więcej niż jednego urządzenia należy nanieść wykresy dla każdego z urządzeń na tym samym wykresie.
- wyznaczenie liniowej zależności oraz współczynnika korelacji dla każdego przypadku. Wartości powinny zostać pokazane na każdym z wykresów.
- przygotowanie zestawienia głównych parametrów przeprowadzonych testów w tym: data badania, ilość przejazdów testowych, godziny pomiarów, rodzaj nawierzchni, prędkość pomiaru, kierunek pomiarów, głębokość filmu wodnego, średnie wartości współczynnika tarcia,
- utworzenie kopii danych historycznych testów, ogólnych notatek, warunków pogodowych oraz innych obserwacji, w celu przedłożenia właściwej instytucji certyfikującej. Na ogół dokumenty przekazywane są do ICAO, która to sprawdza poprawność przeprowadzonej procedury i zatwierdza urządzenie. W Polsce jednostką,



6. Wykres korelacji wyników współczynnika tarcia uzyskanych urządzeniami CSR i ASFT T-10

która może dopuścić urządzenie do stosowania na krajowych lotniskach jest Urząd Lotnictwa Cywilnego.

Dokument rekomenduje wykonanie zdjęć lub filmów w trakcie prowadzenia testów, aczkolwiek nie jest to obligatoryjne. Z doświadczeń wynika, że jest to istotny zabieg ułatwiający odtworzenie procesu testowania urządzenia.

Praktyczne zastosowanie Procedury

Zaprezentowana procedura testowania nowych urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia nie jest dokumentem martwym. Wiele urządzeń zostało certyfikowanych zgodnie z jej założeniami. Niektóre z nich, jak choćby ViaFriction, są stosowane również na drogach.

Na naszym rodzimym rynku również testowane są urządzenia według przedstawionej procedury. Bardzo dobry przykład stanowi tu nowe urządzenie do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia o nazwie CSR (ang. Continuous Skid Resistance). Autorzy wykonali badania wspomnianego urządzenia zgodnie z procedurą zawartą w Załączniku nr 3 [7]. Założenia do badań były następujące;

- dwie prędkości pomiarowe - 65 i

95 km/h,

- wartość poślizgu koła pomiarowego - 15%,
- sześć różnych rodzajów nawierzchni,
- cztery pory roku (różne warunki atmosferyczne),
- pomiar na mokro i na sucho,
- po 10 przejazdów w każdej serii pomiarowej,
- serie pomiarowe wykonywane w warunkach powtarzalności.

W sumie uzyskano blisko 1000 wyników pomiaru w różnych warunkach pomiarowych. Pozwoliło to na rzetelne oszacowanie powtarzalności pomiaru testowanym urządzeniem. Uzyskano powtarzalność na satysfakcjonującym poziomie nie przekraczającym założeń Procedury.

Równocześnie wykonywano pomiary urządzeniem referencyjnym w tych samych warunkach pomiarowych. Jako urządzenie referencyjne wykorzystano certyfikowaną przyczepę ASFT T-10. Pozwoliło to na określenie korelacji między obydwooma urządzeniami.

Na rysunku 6 przedstawiono wykres korelacji będący fragmentem obszerniejszej analizy. Wykres dotyczy porównania wyników współczynnika tarcia uzyskanych z wykorzystaniem ASFT T-10 z wynikami współczynnika

tarcia uzyskanymi w trakcie pomiaru urządzeniem CSR. Pomiary wykonano w lecie przy prędkości 65 km/h na mokro (tj. z zapewnieniem filmu wodnego o grubości ok. 1 mm). Uzyskano współczynnik r-Pearsona na zadowalającym poziomie 0,86. Pas regresji wyznaczony przy poziomie ufności 0,95 jest stosunkowo wąski, a rozrzut wyników wokół linii regresji jest zadowalający.

W części tytułowej wykresu zamieszczono równanie regresji, na podstawie którego można w przystępny sposób odnieść wyniki uzyskane urządzeniem CSR do wyników uzyskanych urządzeniem ASFT T-10. W konsekwencji takiej transformacji możemy odnieść się do wymagań normowych stawianych badanym nawierzchniom pod względem ich właściwości przeciwpoślizgowym.

Podsumowanie

Spektrum dostępnego na świecie sprzętu do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia jest bardzo szerokie. Istnieje wiele tego typu urządzeń i co pewien czas powstają nowe. Jednym z czynników, które temu sprzyjają jest zapewnienie odpowiednich warunków przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych i lotniskowych poprzez ich kontrolę i szybkie reagowanie w razie zaobserwowanych nieprawidłowości. Ma to na celu zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom dróg i lotnisk.

Polska norma obronna [2], bazując na dokumentach międzynarodowych, podaje wykaz urządzeń możliwych do wyznaczenia współczynnika tarcia na elementach funkcjonalnych lotnisk. Wykaz zawiera osiem najpopularniejszych urządzeń, z czego kilka używanych jest przez służby operacyjne polskich obiektów lotniskowych. Norma dopuszcza również zastosowanie dwóch alternatywnych urządzeń (BVS-1 oraz ASFT T2Go), gdy wymiary geometryczne elementu nie pozwalają na użycie standardowej aparatury badawczej.

Na drogach krajowych standardem jest urządzenie SRT-3 produkcji IBDiM,

które na co dzień użytkuje Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Poza tym w kampaniach pomiarowych można stosować urządzenie TWO wg zarządzenia [5].

Środowisko lotnicze nie zamyka się na urządzenia obecnie wskazane w dokumentach normatywnych i pozostawia możliwość wprowadzenia do badań nowych urządzeń CFME. Dokument Doc. 9137 AN/898 [1] dosyć szczegółowo podaje, jak postępować w takim przypadku. Zawiera wymagania dla nowych urządzeń oraz procedurę ich testowania przytoczoną w niniejszym artykule. Załącznik 3 [6] do powyższego dokumentu określa kolejne kroki postępowania, wraz z podaniem warunków testów, podstawowych założeń, wymagań w stosunku do interpretacji wyników oraz poprawnej dokumentacji testów.

Artykuł ma na celu przedstawienie środowisku drogowemu procedurę testowania nowego urządzenia CFME w procesie jego certyfikacji na obiektach lotniskowych oraz możliwości wprowadzania nowej aparatury pomiarowej do wykazu urządzeń dopuszczonych przez lotnicze instytucje państwowe i międzynarodowe.

Przedstawiony w artykule przykład testowania nowego urządzenia do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia pokazuje, że Procedura zaprezentowana w artykule nie jest dokumentem martwym i jest wykorzystywana nie tylko na Świecie, ale również w Polsce.

Autorzy poddają pod rozważenie możliwości adaptacji zaprezentowanej metody do stosowania przez środowisko drogowe, w celu dopuszczenia alternatywnych urządzeń do badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] J.W. Hall, K.L. Smith, L. Titus-Glover, J.C. Wambold, T.J. Yager, Z. Rado, Guide for pavement friction, Contractor's final report for NCHRP Project, 2009
- [2] Doc. 9137 AN/898 Airport Services Manual - Part 2 - Pavement Surface Conditions,
- [3] NO-17-A501:2015 Airport pavements - Friction testing,
- [4] AC 150/5320-12C FAA Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces
- [5] Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Airfields - Volume I - Engineering and operation of airfields
- [6] Ordinance no. 34 of the General Director of National Roads and Motorways of 30 April 2015
- [7] Appendix 3 NASA Certification Test Procedure for New Continuous Friction-Measuring Equipment Used at Airport Facilities
- [8] W. Gardziejczyk, M. Wasilewska, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz, Przegląd urządzeń do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych [Overview of devices intended for assessing the anti-slip properties of road pavements], VIII Techniczne dni drogowe, Białystok 2015
- [9] W. Gardziejczyk, M. Wasilewska, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz, Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych przy wykorzystaniu urządzeń two, ctm i dft, journal of civil engineering, environment and architecture, 2016
- [10] Iwanowski P., Blacha K., Wesołowski M., Review of modern methods for continuous friction measurement on airfield pavements, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, tom 356
- [11] <http://www.asft.se>, wrzesień 2018
- [12] <http://www.griptester.us>, wrzesień 2018
- [13] <http://www.moventor.com>, wrzesień 2018
- [14] <http://www.docplayer.pl>, wrzesień 2018
- [15] <http://www.two-friction.com>, wrzesień 2018