

Mariusz WESOŁOWSKI, Krzysztof BLACHA
Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)

ESTIMATING THE IMPACT OF TEXTURE DEPTH ON THE ROUGHNESS OF CEMENT CONCRETE AIRFIELD PAVEMENTS

Szacowanie wpływu głębokości tekstury na szorstkość nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego

Abstract: *Appropriate skid resistance properties of airfield pavements are extremely important in terms of the safety of air operations. Their evaluation is not limited to the measurements of the coefficient of friction, which determines the roughness of a pavement, but also involves measuring the depth of the pavement texture (micro- and macrotecture), which is a component of the tire-pavement contact surface friction characteristics. It should be stressed that the current aviation documents do not contain a strict interconnection between the texture depth parameter and airfield pavement coefficient of friction criteria. Based on the result population gathered in the course of the field tests, the authors plan to determine the impact of texture on the roughness of airfield pavements.*

Keywords: concrete airfield pavement, skid resistance properties, texture, roughness

Streszczenie: *Odpowiednie właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych są niezwykle istotne w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Ich ocena nie ogranicza się tylko do pomiarów współczynnika tarcia określającego stan szorstkości nawierzchni, ale obejmuje również pomiary głębokości tekstury nawierzchni (mikrotekstura i makrotekstura), czyli elementu składowego charakterystyki tarcia powierzchni styku opona/nawierzchnia. Należy podkreślić, iż w chwili obecnej w dokumentach lotniczych nie ma ścisłego powiązania kryteriów dla parametru głębokości tekstury i parametru współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych. Na podstawie zgromadzonej populacji wyników podczas badań terenowych, autorzy chcą określić wpływ tekstury na szorstkość nawierzchni lotniskowych.*

Słowa kluczowe: betonowa nawierzchnia lotniskowa, właściwości przeciwoślizgowe, tekstura, szorstkość

1. Introduction

The safety of air operations depends on several elements participating in this process, which can be divided into three groups, i.e.: man, aircraft and the environment (including **airfield pavements**).

Airfield pavements, in the aspect of air operation safety, are characterized by the determination of their technical condition. A component of this process is the evaluation of their skid resistance properties. They characterize the adhesion of aircraft tyres to the pavement, namely, the ability to generate the force of friction between an airfield functional element (AFE) pavement and the wheels of an aircraft in conditions of mutual skidding.

Poor skid resistance properties directly impact the safety of air operation execution and can be the cause of, e.g. aircraft (AC) runway (RW) excursions. Currently, as in the past, there are recorded air incidents caused by loss of aircraft tire grip to the pavement. An example can be an incident of January 2018 in Turkey, when a Boeing 737-800 failed to stop on the runway during landing in rainy conditions and with the entire pavement wet, and slid onto a steep slope by the waterfront.

There are, of course, methods aimed at improving the skid resistance properties, such as grooving and grinding of the pavement or systematic rubber removal operations, but they can sometimes lead to the formation of a so-called “sharp pavement”, which in consequence, can lead to damaged AC tyres during landing or take-off, and also impact their accelerated wear (fig. 1). An example can be an incident from September 2018 in Serbia (Belgrade), when two Boeing 737-800 tyres burst during landing (fig. 1). Furthermore, fragments of a damaged tyre, which are foreign bodies, can be, e.g. sucked in by an aviation engine or lead to other damage, and subsequently to an air incident, e.g., such as was the case in July 2000 in France and involved a Concorde. In addition, attention shall also be paid to the economic aspect, since the cost of a single Boeing 737 tyre is in the order of several thousand PLN.

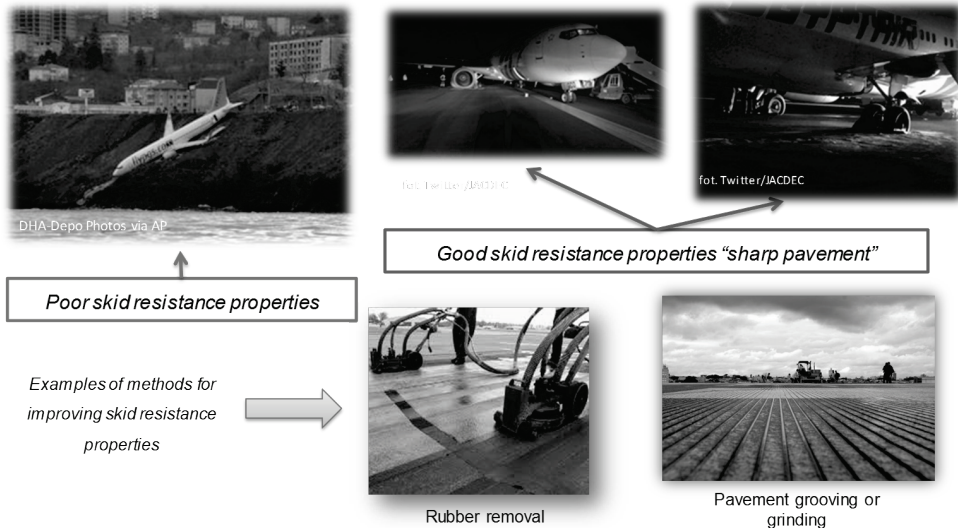


Fig. 1. Skid resistance properties - safety of air operation execution

2. Operational and research problem

The basic parameter, which is decisive when determining the technical condition of an airfield pavement in terms of skid resistance properties is the coefficient of friction, defined as a dimensionless ratio of the friction force between two bodies to the pressure force of these bodies. It is a parameter, which determines the correct trajectory of an aircraft moving within the manoeuvring area of an airfield. The used braking systems will not work if an aircraft wheel does not exhibit appropriate grip to the surface. In practice, the aim is for an aircraft after touchdown to move with a retarded motion, i.e., for the braking forces to be balanced by the friction force. In a situation when the braking forces exceed the friction force, a wheel starts to skid on the pavement, which results in a partial or complete loss of control over the machine by the pilot.

In real condition, evaluating the skid resistance properties of airfield pavements is not limited only to the measurements of the coefficient of friction, which determines the roughness of a pavement, but also involves measuring the depth of the pavement texture (micro- and macrotexture), which is a component of the tire-pavement contact surface friction characteristics. Similarly to the applied longitudinal slopes and crossfalls, the texture is crucial in draining water from the pavement, i.e., based on the aquaplaning phenomenon, which in turn directly impact the safety of air operations.

Airfield pavement roughness is evaluated based on the regulation of international aviation authorities such as EASA [14], ICAO [3, 13] and FAA [1] and a Polish defence standard developed on their basis and resulting from many years of experience [9]. These regulations define the minimum coefficient of friction values for individual age ranges of pavements, i.e.: „values for new pavements”, „values for pavements in operation, after exceeding which, remedial actions should be taken” and „minimum limit values”. The measurements are conducted using a continuous friction measuring device, and the pavement roughness assessment criteria are related to two measurement speeds, i.e. 65 km/g or 95 km/h.

Airfield pavement texture is evaluated based on the volume patch method, otherwise known as the volumetric method, (mean texture depth *MTD* measurement) according to PN-EN 13036-1:2010 *Road and airfield surface characteristics. Test methods. Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique* [10] or the profilometric method (means profile depth *MPD* measurement) according to PN-EN ISO 13473-1:2005 *Characterization of pavement texture by use of surface profiles. Part 1: Determination of mean profile depth* [11].

In terms of texture depth, the applicable aviation documents [1, 3, 4, 13, 14] stipulate the practical requirements only for new airfield pavements, mainly applicable to runway pavement, and furthermore, they are not unequivocal (fig. 2).

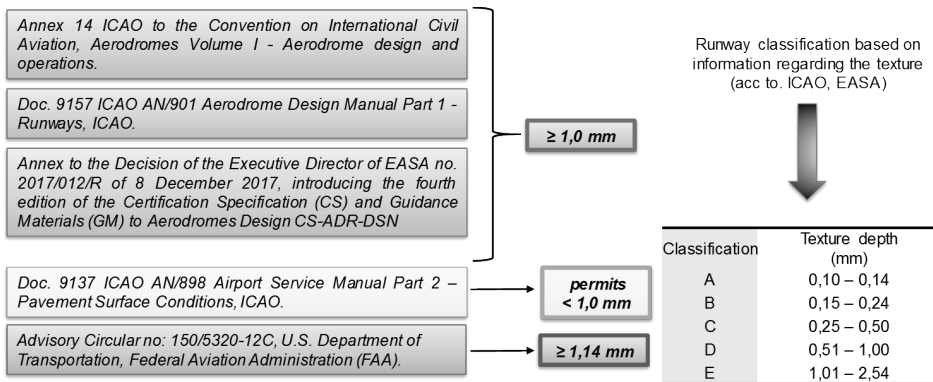


Fig. 2. Airfield pavement texture evaluation – requirements

It would seem that because roughness, as well as the texture of airfield pavements are features verified for the same reason, the measurement methods or at least their requirements, should be interconnected. However, in reality, it is quite different (fig. 3).

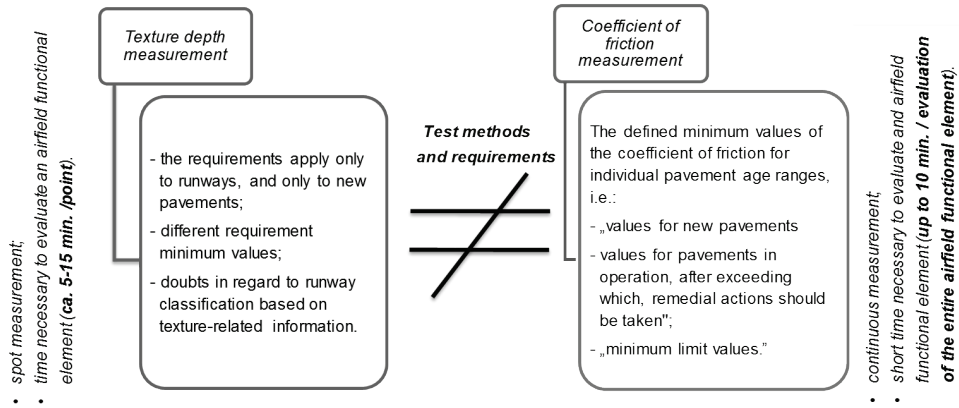


Fig. 3. Evaluation of airfield pavement skid resistance properties - existing solutions

3. Test method

In the light of the presented operational (research) problem in terms of evaluating airfield pavement skid resistance properties (roughness and texture), an attempt was made at determining the impact of texture on airfield pavement roughness or in other words, the close relationship between these two properties. The adopted solution to the research problem involved a new method for the evaluation of skid resistance properties using a designed measuring system, which enables a simultaneous, dynamic and continuous measurement of the texture depth and coefficient of friction, constructed on the base of an airfield pavement friction tester equipped with a 2D/3D profile high-frequency laser scanner, enabling the measurement of texture along the trace of a friction tester measuring wheel (fig. 4). Similar attempts are also made by others [2, 5, 6, 7, 8], but the research methods adopted by them do not include the simultaneous measurement of these two parameters.

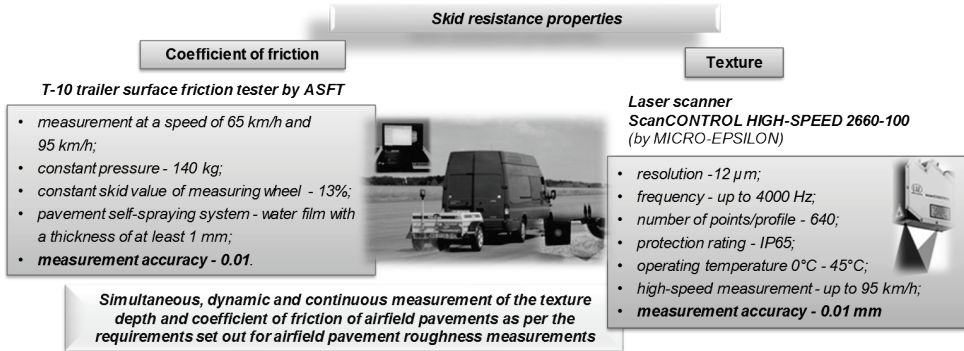


Fig. 4. Solution to the research problem – adopted research method

The measuring system contains:

- roughness evaluation module – coefficient of friction measurement;
- texture depth evaluation module – measurement of a new **CMPTD** (*Continuous Mean Profile Texture Depth*) coefficient, which determines the continuous mean depth of the profile and texture.

In order to determine the impact of texture on airfield pavement roughness (a close relationship between these two properties) and to simultaneously verify the adopted solution, it was planned to conduct field tests on actual airfield structures. It was assumed that the test plan must include measurements:

- at speeds of 65 km/h and 95 km/h;
- on pavements in the cement concrete and asphalt cement technology;
- on pavements within each of the age ranges.

4. Test results

The article presents sample results of field tests, which were conducted on airfield pavements in the cement concrete technology.

The field tests were, of course, preceded by laboratory tests aimed at verifying the measuring system (texture depth evaluation module calibration). They involved determining the correlation between the new measurement method and the existing methods (volumetric and profilometric methods). The obtained results confirm the validity of the adopted research method and the correctness of the designed measuring module, which is shown in table 1 and fig. 5 – 6 below (confidence interval of 0.95).

Table 1

Laboratory test results

Sample no.	Measurement			
	CMPTD [mm]	MPD [mm]	ETD [mm]	MTD [mm]
1	1.12	0.92	0.94	0.97
2	1.35	1.17	1.13	0.99
3	0.55	0.64	0.72	0.61
4	0.92	0.66	0.73	0.68
5	0.92	0.86	0.89	0.75
6	0.92	0.96	0.96	0.88
Mean [mm]	0.96	0.87	0.90	0.81
S [mm]	0.266	0.199	0.154	0.157
V [%]	27.635	22.899	17.262	19.310

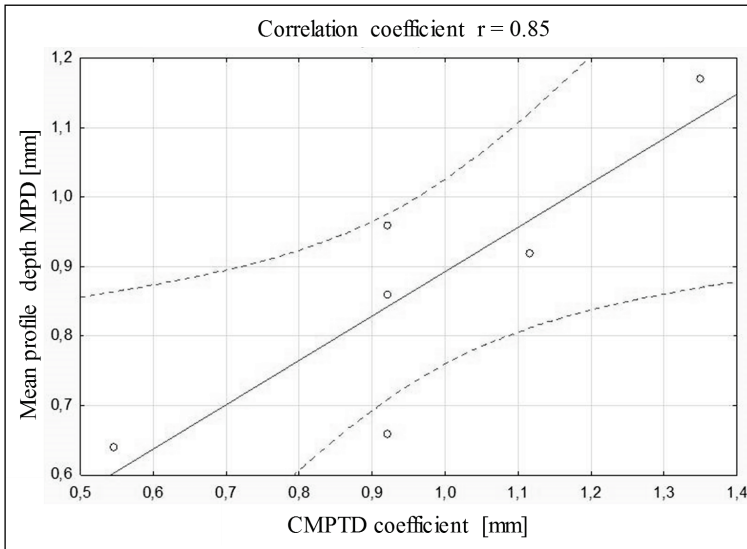


Fig. 5. Correlation between the new measuring method and the profilometric method (given the mean profile depth MPD)

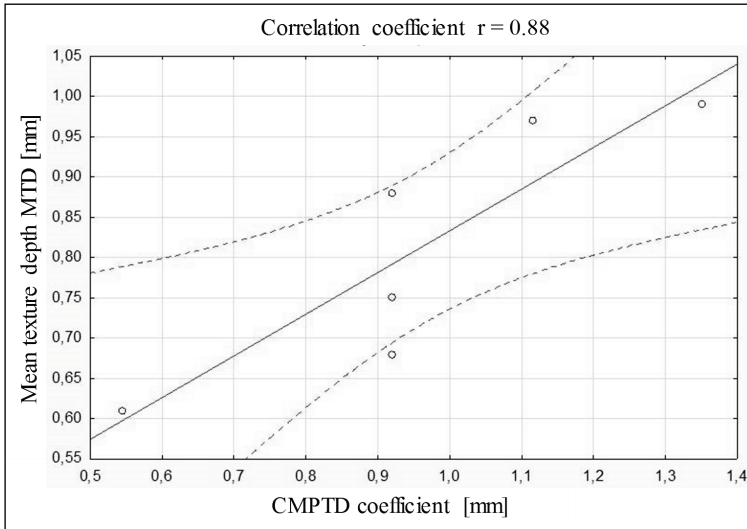


Fig. 6. Correlation between the new measuring method and the volumetric method (given the mean texture depth MTD)

The preliminary verification tests of the designed measuring system conducted in real conditions provided a very similar value of the correlation factor (as in the laboratory tests) between the new *CMPTD* coefficient and the μ coefficient of friction, which confirms the rightness of the proposed method for assessing the skid properties using the measuring system in question. The results obtained in the course of the field tests conducted on cement concrete airfield pavements are shown in table 2 and fig. 7 below.

Table 2

Field test results

Research area no.	Measurement	
	CMPTD [mm]	μ [-]
1	0.35	0.74
2	0.37	0.65
3	0.23	0.59
4	0.19	0.57
5	0.10	0.55
6	0.14	0.56
7	0.14	0.50

table 2 cont.

Mean [mm, -]	0.22	0.59
<i>S</i> [mm, -]	0.106	0.078
<i>V</i> [%]	48.862	13.209

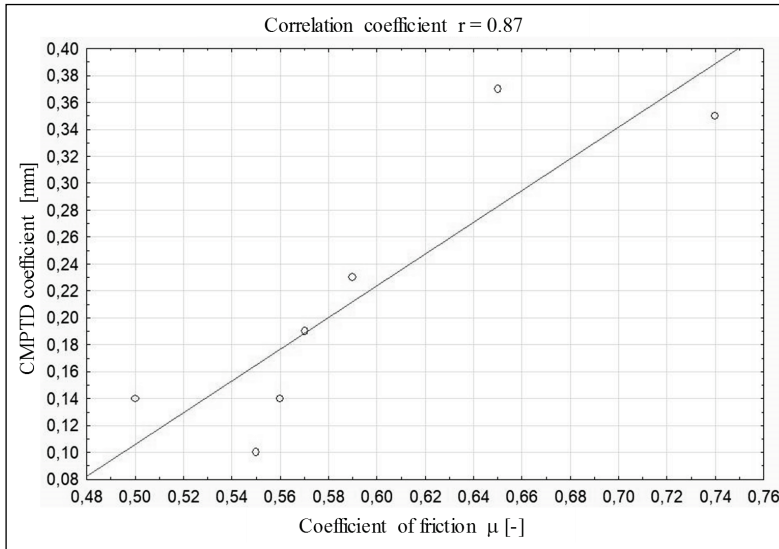


Fig. 7. Correlation between the *CMPTD* coefficient and the μ coefficient (new measuring system)

5. Conclusions

The issue addressed by the authors is extremely important from the point of view of air operation safety. In practice, the aim is for airfield pavements to be characterized by good skid resistance properties, which should be defined by determined (required) values, in this case of the coefficient of friction and the texture/profile depth. Testing the pavement roughness does not give rise to any doubt, both in terms of the measurement methods, as well as the obtained results. Whereas the pavement texture/profile depth test, relative to the evaluation of the obtained results, is not so explicit, i.e., it is not possible to definitely answer the question – *what texture/profile depth value corresponds to good skid resistance properties and what value to poor properties?* Furthermore, keep in mind that “too good” skid resistance properties can lead to the formation of the so-called “sharp

pavement”, which should also be taken into account in the context of air operation safety. Hence the addressed issue associated with the application of a solution enabling simultaneous, dynamic and continuous measurement of airfield pavement texture depth and coefficient of friction. The authors believe that the implementation of the adopted test plan, based on the original research method, should provide an answer to the aforementioned question. The results of previous field (verification) tests are satisfactory and confirm the validity of the adopted research method and the correctness of the constructed measuring system. This is confirmed by coefficient of correlation (between the *CMPTD* coefficient and the μ coefficient), the value of which is $r = 0.87$. Nonetheless, the analysis of the existing test results has not yet provided sufficient arguments to answer the aforementioned question, which requires the implementation of the adopted test plan. In the light of the above, the authors continue verification tests in field conditions on real airfield facilities, aimed at supplementing the existing database, the analysis of which should give an answer to the question and enabled determining the impact of texture on airfield pavement roughness, as well as developing its evaluation criteria.

6. References

1. Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), (1997 as am.).
2. Čelko J., Kovac M., Kotek P.: Analysis of the Pavement Surface Texture by 3D Scanner. Transportation Research Procedia, vol. 14, 2016.
3. Doc. Doc. 9137 ICAO AN/898 Airport Service Manual Part 2 Pavement Surface Conditions, fourth edition, 2002.
4. Doc. 9157 ICAO AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 Runways, third edition, 2006.
5. Huang Y. R., Copenhaver T., Hempel P., Mikhail M.: Development of Texture Measurement System Based on Continuous Profiles from Three-Dimensional Scanning System. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, vol. 2367, iss.1, 2013.
6. Islam S., Hossain M., Miller R.: Evaluation of pavement surface texture at the network level. Nondestructive Testing And Evaluation, vol. 34, iss.1, 2018.
7. Li Q. J., Zhan Y., Yang G., Wang K. C. P.: Pavement skid resistance as a function of pavement surface and aggregate texture properties, International Journal of Pavement Engineering, vol. 19, 2018.
8. Meegoda J., Gao S.: Evaluation of pavement skid resistance using high speed texture measurement, Journal of Traffic and Transportation Engineering, vol. 2, iss. 6, 2015.

9. NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości [Airfield pavements. Friction testing].
10. PN-EN 13036-1:2010 Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych. Metody badań. Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową [Road and airfield surface characteristics. Test methods. Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique].
11. PN-EN ISO 13473-1:2005 Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych. Część 1: Określenie średniego profilu głębokości [Characteristics of pavement structure with the use of surface profiles. Part 1: Determination of the mean depth profile].
12. Wesołowski M., Blacha K.: Evaluation of airfield pavement micro and macrotexture in the light of skid resistance (friction coefficient) measurements. MATEC Web of Conferences, vol. 262, 2019.
13. Annex 14 ICAO to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I - Aerodrome Design and Operations, issue 7, 2016.
14. Annex to the Decision of the Executive Director of EASA no. 2017/012/R of 8 December 2017, introducing the fourth edition CS-ADR-DSN.

SZACOWANIE WPLYWU GŁĘBOKOŚCI TEKSTURY NA SZORSTKOŚĆ NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH Z BETONU CEMENTOWEGO

1. Wstęp

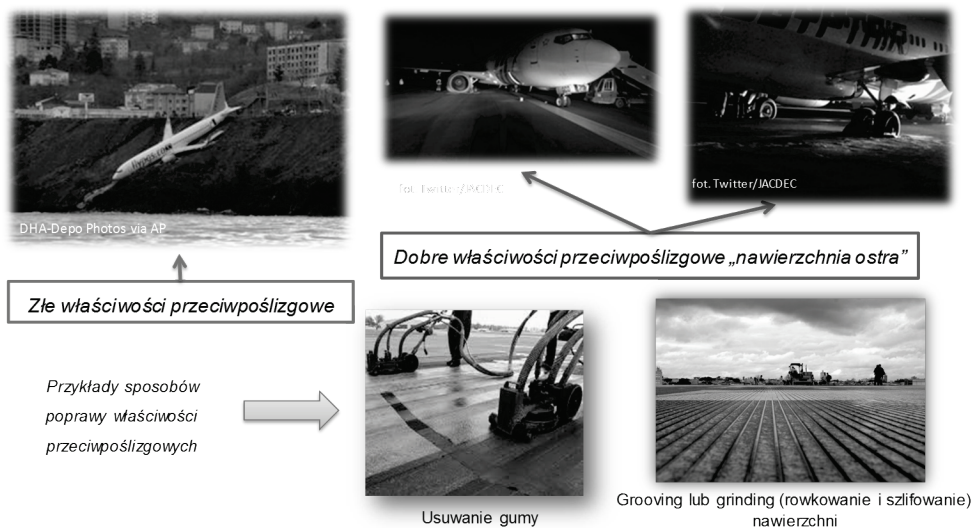
Bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych zależy od kilku elementów biorących udział w tym procesie, można je ująć w trzech grupach, tj.: człowiek, statek powietrzny (SP) oraz otoczenie (w tym **nawierzchnie lotniskowe**).

Nawierzchnie lotniskowe w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych charakteryzowane są przez określenie ich stanu technicznego. Elementem składowym tego procesu jest ocena ich właściwości przeciwpoślizgowych. Określają one przyczepność opony statku powietrznego do nawierzchni, czyli zdolność do wytwarzania siły tarcia pomiędzy nawierzchnią elementu funkcjonalnego lotniska (EFL) a kołami SP w warunkach wzajemnego poślizgu.

Złe właściwości przeciwpoślizgowe bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych i mogą być przyczyną np. wypadnięcia statku powietrznego poza drogę startową (DS). Odnotowywane są zdarzenia lotnicze spowodowane utratą przyczepności opon SP z nawierzchnią. Przykładem może być zdarzenie z Turcji ze stycznia 2018 r., kiedy to Boeing 737-800 wykonując manewr lądowania nie zdołał się zatrzymać na drodze startowej i zsunął się na strome zbocze przy nabrzeżu. Podczas lądowania padał deszcz i nawierzchnia była mokra (rys. 1).

Istnieją oczywiście metody, mające na celu poprawę właściwości przeciwpoślizgowych, takie jak rowkowanie i szlifowanie nawierzchni czy systematyczne zabiegi usuwania gumy, ale niekiedy mogą one doprowadzić do powstania tzw. „nawierzchni ostrej”, co w konsekwencji może skutkować uszkodzeniem opon SP podczas lądowania lub startu, a także wpływać na ich szybsze zużycie (rys. 1). We wrześniu 2018 r. na lotnisku w Belgradzie w Serbii u lądującego Boeinga 737-800 pękły dwie opony (rys. 1). Fragmenty pochodzące z uszkodzonej opony, które stanowiły ciało obce mogły być np. zassane przez silnik lotniczych lub doprowadzić do innych uszkodzeń, a w konsekwencji do zdarzenia

lotniczego, np. jak to miało miejsce we Francji w lipcu 2000 r. z udziałem Concorde'a. Dodatkowo należy zwrócić również uwagę na aspekt ekonomiczny, koszt jednej opony do Boeinga 737 to wydatek kilku tysięcy złotych.



Rys. 1. Właściwości przeciwoślizgowe – bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych

2. Problem eksploatacyjny i badawczy

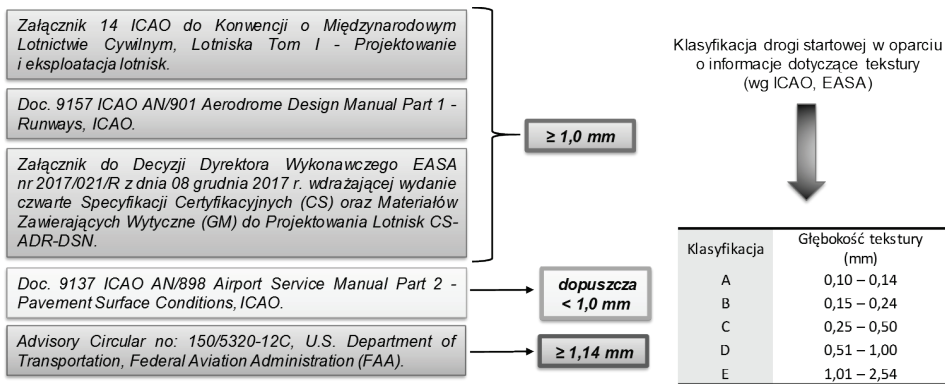
Podstawowym parametrem, mającym decydujące znaczenie przy określaniu stanu technicznego nawierzchni lotniskowej w zakresie właściwości przeciwoślizgowych jest współczynnik tarcia, definiowany jako bezwymiarowy stosunek siły tarcia pomiędzy dwoma ciałami do normalnej siły nacisku tych dwóch ciał. Jest to parametr determinujący prawidłową trajektorię poruszającego się statku powietrznego na polu wlotów lotniska. 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, to znaczy 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.

W praktyce ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych nie ogranicza się tylko do pomiarów współczynnika tarcia określającego stan szorstkości nawierzchni, ale obejmuje również pomiary głębokości tekstury nawierzchni (mikrotekstura i makrotekstura), czyli elementu składowego charakterystyki tarcia powierzchni styku opona/nawierzchnia. Podobnie jak stosowane spadki poprzeczne i podłużne, tekstura ma kluczowe znaczenie w odprowadzaniu wody z nawierzchni, czyli na powstawanie zjawiska akwaplanacji, co z kolei wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo operacji lotniczych.

Ocena szorstkości nawierzchni lotniskowych wykonywana jest w oparciu o przepisy międzynarodowych organizacji lotniczych, takich jak EASA 13, ICAO 2,12 i FAA 1 oraz opracowanej na ich podstawie i na bazie wieloletnich doświadczeń polskiej normy obronnej 9. Przepisy te określają minimalne wartości współczynnika tarcia dla poszczególnych przedziałów wiekowych nawierzchni, tj.: „wartości dla nowych nawierzchni”, „wartości dla nawierzchni będących w eksploatacji, po przekroczeniu których należy podjąć działania naprawcze” oraz „minimalnych wartości granicznych”. Pomiary wykonywane są za pomocą urządzeń do ciągłego pomiaru tarcia, a kryteria oceny szorstkości nawierzchni odnoszą się do dwóch prędkości pomiarowych, tj. 65 km/h lub 95 km/h.

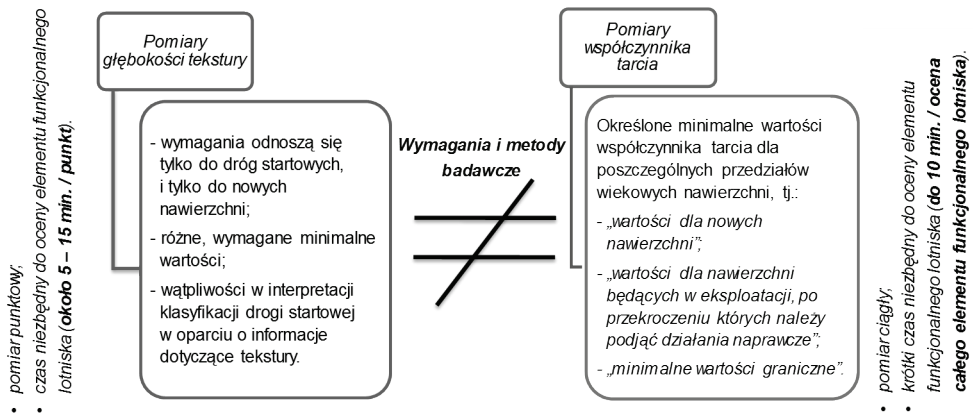
Ocena tekstury nawierzchni lotniskowych wykonywana jest w oparciu o metodę wolumetryczną, inaczej objętościową (pomiar średniej głębokości tekstury MTD) wg PN-EN 13036-1:2010 *Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych. Metody badań. Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową* 10 lub profilometryczną (pomiar średniej głębokości profilu MPD) wg PN-EN ISO 13473-1:2005 *Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych. Część 1: Określenie średniego profilu głębokości* 11.

W zakresie głębokości tekstury, obowiązujące dokumenty lotnicze [1, 3, 4, 13, 14] określają wymagania praktycznie tylko dla nowych nawierzchni lotniskowych i dotyczą one głównie nawierzchni drogi startowej, co więcej nie są jednoznaczne (rys. 2).



Rys. 2. Ocena tekstury nawierzchni lotniskowych – wymagania

Wydawałoby się, że skoro szorstkość jak i tekstura nawierzchni lotniskowych są cechami sprawdzanymi w tym samym celu, to metody pomiarowe albo chociaż wymagania dla nich będą ze sobą powiązane. W rzeczywistości jednak wygląda to inaczej (rys. 3).

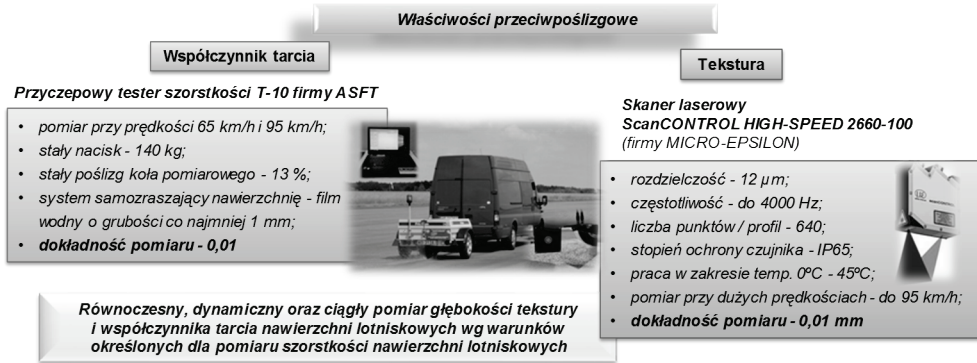


Rys. 3. Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych – istniejące rozwiązania

3. Metoda badawcza

Wobec przedstawionego problemu eksploatacyjnego (badawczego) w zakresie oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych (szorstkość i tekstura), podjęto próbę mającą na celu określenie wpływu tekstury na szorstkość

nawierzchni lotniskowych, a raczej ścisłej zależności pomiędzy tymi dwiema właściwościami. Jako sposób rozwiązania problemu badawczego przyjęto nową metodę oceny właściwości przeciwpoślizgowych za pomocą zaprojektowanego układu pomiarowego, który umożliwia równoczesny, dynamiczny oraz ciągły pomiar głębokości tekstury i współczynnika tarcia, zbudowanego na bazie testera tarcia nawierzchni lotniskowych wyposażonego w skaner laserowy profilu 2D/3D o wysokiej częstotliwości, umożliwiającego pomiar tekstury w śladzie koła pomiarowego testera tarcia (rys. 4). Podobne próby podejmują również inni [2, 5, 6, 7, 8], lecz przyjęte przez nich metody badawcze nie obejmują równoczesnego pomiaru tych dwóch parametrów.



Rys. 4. Sposób rozwiązania problemu badawczego – przyjęta metoda badawcza

Układ pomiarowy obejmuje:

- moduł do oceny szorstkości – pomiar współczynnika tarcia;
- moduł do oceny głębokości tekstury – pomiar nowego współczynnika **CMPTD** (*Countinuous Mean Profil Texture Depth*) określającego ciągłą średnią głębokość profilu i tekstury.

W celu określenia wpływu tekstury na szorstkość nawierzchni lotniskowych (ścisłej zależności pomiędzy tymi dwiema właściwościami) a jednocześnie weryfikacji przyjętego rozwiązania, zaplanowano przeprowadzenie badań w warunkach terenowych na rzeczywistych obiektach lotniskowych. Założono, że plan badań musi obejmować pomiary:

- przy prędkościach 65 km/h i 95 km/h;
- na nawierzchniach wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego;
- na nawierzchniach będących w każdym przedziale wiekowym.

4. Wyniki badań

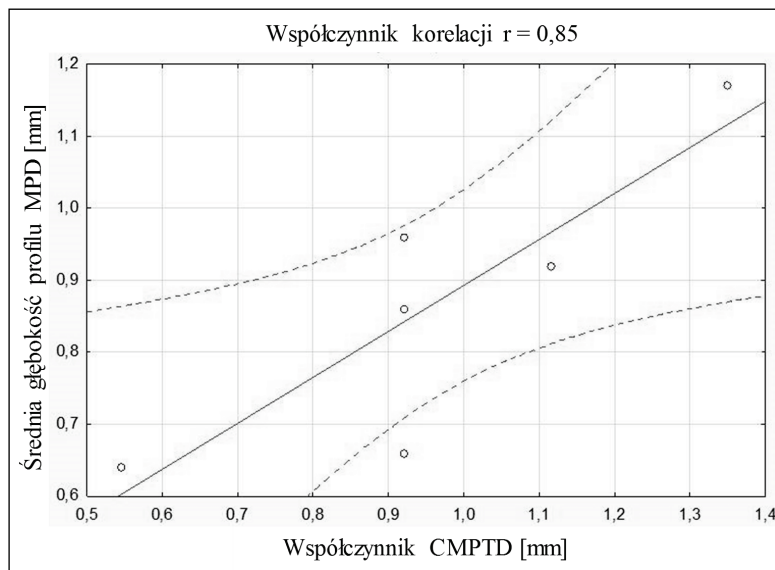
W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki badań terenowych, które przeprowadzono na nawierzchniach lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego.

Badania terenowe zostały oczywiście poprzedzone badaniami laboratoryjnymi, które miały na celu weryfikację układu pomiarowego (kalibrację modułu do oceny głębokości tekstury). Obejmowały one określenie korelacji pomiędzy nową metodą pomiarową a metodami istniejącymi (metoda objętościowa i profilometryczna). Uzyskane wyniki potwierdzają słuszność przyjętej metodyki badawczej i poprawność zaprojektowanego modułu układu pomiarowego, co przedstawiono poniżej w tabeli 1 i na rys. 5 – 6 (przedział ufności 0,95).

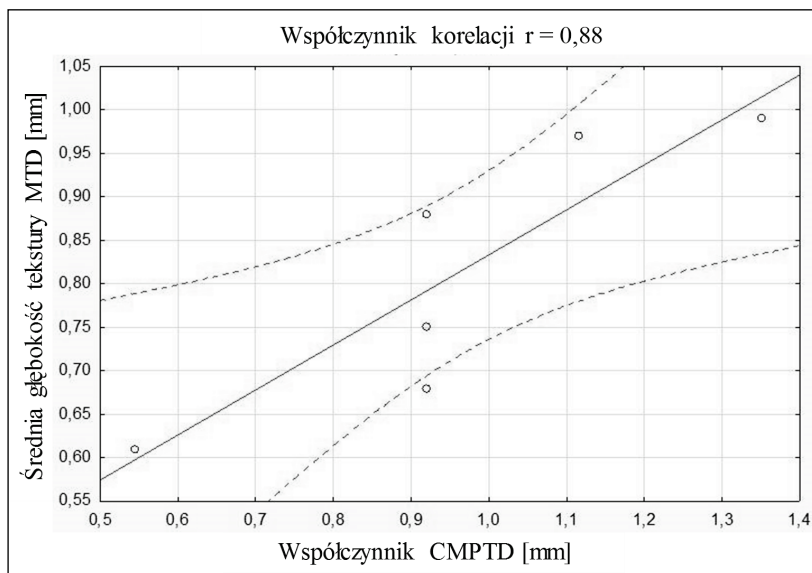
Tabela 1

Wyniki badań laboratoryjnych

Nr próbki	Pomiar			
	CMPTD [mm]	MPD [mm]	ETD [mm]	MTD [mm]
1	1,12	0,92	0,94	0,97
2	1,35	1,17	1,13	0,99
3	0,55	0,64	0,72	0,61
4	0,92	0,66	0,73	0,68
5	0,92	0,86	0,89	0,75
6	0,92	0,96	0,96	0,88
Średnia [mm]	0,96	0,87	0,90	0,81
S [mm]	0,266	0,199	0,154	0,157
V [%]	27,635	22,899	17,262	19,310



Rys. 5. Korelacja pomiędzy nową metodą pomiarową a metodą profilometryczną (biorąc pod uwagę średnią głębokość profilu MPD)



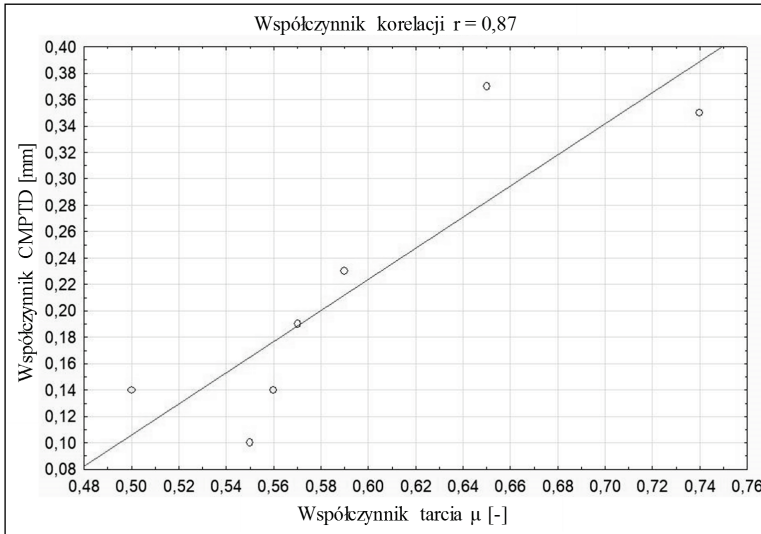
Rys. 6. Korelacja pomiędzy nową metodą pomiarową a metodą objętościową (pomiar średniej głębokości tekstury MTD)

Na podstawie wstępnych badań weryfikacyjnych zaprojektowanego układu pomiarowego, przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych uzyskano bardzo zbliżoną wartość współczynnika korelacji (jak w badaniach laboratoryjnych) pomiędzy nowym współczynnikiem *CMPTD* oraz współczynnikiem tarcia μ , co potwierdza słuszność proponowanej metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych z wykorzystaniem przedmiotowego układu pomiarowego. Uzyskane wyniki podczas badań terenowych przeprowadzonych na nawierzchniach lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego przedstawiono poniżej w tabeli 2 oraz na rys. 7.

Tabela 2

Wyniki badań terenowych

Nr obszaru badawczego	Pomiar	
	CMPTD [mm]	μ [-]
1	0,35	0,74
2	0,37	0,65
3	0,23	0,59
4	0,19	0,57
5	0,10	0,55
6	0,14	0,56
7	0,14	0,50
Średnia [mm, -]	0,22	0,59
S [mm, -]	0,106	0,078
V [%]	48,862	13,209



Rys. 7. Korelacja pomiędzy współczynnikiem **CMPTD** a współczynnikiem μ (nowy układ pomiarowy)

5. Podsumowanie

Poruszony przez autorów problem jest niezwykle istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. W praktyce dąży się do tego aby nawierzchnie lotniskowe charakteryzowały się dobrymi właściwościami przeciwpoślizgowymi, które powinny być zdefiniowane poprzez określone (wymagane) wartości, w tym przypadku współczynnika tarcia oraz głębokości tekstury/profilu. Badanie szorstkości nawierzchni nie budzi wątpliwości, zarówno w zakresie metod pomiarowych jak i oceny uzyskanych wyników. Natomiast badanie głębokości tekstury/profilu nawierzchni, w odniesieniu do oceny uzyskanych wyników nie jest już takie jednoznaczne, tzn. nie da się zdecydowanie odpowiedzieć na pytanie – *jaka wartość głębokości tekstury/profilu odpowiada dobrym właściwościom przeciwpoślizgowym, a jaka złym?* Należy mieć również na uwadze fakt, iż „zbyt dobre” właściwości przeciwpoślizgowe mogą doprowadzić do powstania tzw. „nawierzchni ostrej”, co również należy wziąć pod uwagę w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Stąd też podjęta tematyka dotycząca zastosowania rozwiązania umożliwiającego równoczesny, dynamiczny i ciągły pomiar głębokości tekstury oraz współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowych. Zdaniem autorów, realizacja przyjętego planu badań

opartego na autorskiej metodzie badawczej powinna dać odpowiedź na ww. pytanie. Wyniki dotychczasowych badań terenowych (weryfikacyjnych) są satysfakcjonujące i potwierdzają słuszność przyjętej metodyki badawczej oraz poprawność zbudowanego układu pomiarowego. Potwierdza to uzyskany współczynnik korelacji (pomiędzy współczynnikiem *CMPTD* a współczynnikiem μ), którego wartość wynosi $r = 0,87$. Nie mniej jednak, analiza dotychczasowych wyników badań nie daje jeszcze wystarczających argumentów, aby udzielić odpowiedzi na postawione pytanie, do tego niezbędne jest wykonanie pełnego planu badań. Wobec powyższego autorzy kontynuują badania weryfikacyjne w warunkach terenowych na rzeczywistych obiektach lotniskowych, mające na celu uzupełnienie istniejącej bazy danych, której analiza powinna dać odpowiedź na postawione pytanie oraz umożliwić określenie wpływu tekstury na szorstkość nawierzchni lotniskowych, a także wypracowanie kryteriów jej oceny.

6. Literatura

1. Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), 1997 z późn. zm.
2. Čelko J., Kovac M., Kotek P.: Analysis of the Pavement Surface Texture by 3D Scanner. *Transportation Research Procedia*, vol. 14, 2016.
3. Doc. 9137 ICAO AN/898 Airport Service Manual Part 2 - Pavement Surface Conditions, ICAO, edycja czwarta, 2002.
4. Doc. 9157 ICAO AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 - Runways, ICAO, edycja trzecia, 2006.
5. Huang Y. R., Copenhaver T., Hempel P., Mikhail M.: Development of Texture Measurement System Based on Continuous Profiles from Three-Dimensional Scanning System. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2367, iss.1, 2013.
6. Islam S., Hossain M., Miller R.: Evaluation of pavement surface texture at the network level. *Nondestructive Testing And Evaluation*, vol. 34, iss.1, 2018.
7. Li Q. J., Zhan Y., Yang G., Wang K. C. P.: Pavement skid resistance as a function of pavement surface and aggregate texture properties. *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 19, 2018.
8. Meegoda J., Gao S.: Evaluation of pavement skid resistance using high speed texture measurement. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 2, iss. 6, 2015.
9. NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.
10. PN-EN 13036-1:2010 Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych. Metody badań. Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową.

11. PN-EN ISO 13473-1:2005 Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych. Część 1: Określenie średniego profilu głębokości.
12. Wesółowski M., Blacha K.: Evaluation of airfield pavement micro and macrotecture in the light of skid resistance (friction coefficient) measurements. MATEC Web of Conferences, vol. 262, 2019.
13. Załącznik 14 ICAO do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, Lotniska Tom I - Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 7, 2016.
14. Załącznik do Decyzji Dyrektora Wykonawczego EASA nr 2017/021/R z dnia 8 grudnia 2017 r. wdrażającej wydanie czwarte CS-ADR-DSN.