

SKID RESISTANCE PROPERTIES OF AIRFIELD PAVEMENTS AS ONE OF THE SAFETY ASSESSMENT PARAMETERS OF AIR OPERATIONS

WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWPÓŚLIZGOWE NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH JEDNYM Z PARAMETRÓW OCENY BEZPIECZEŃSTWA WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH

Mariusz Wesolowski, Piotr Barszcz, Krzysztof Blacha

Air Force Institute of Technology
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

Abstract: The article presents the method for determining the skid resistance properties by estimating quantities characterizing the conditions on the airfield functional elements' pavements. The skid resistance properties characterise the aircraft' tire grip to the airfield functional element's pavements, and this is the ability to produce a friction force between the airfield functional element's pavement and the aircraft's wheels under mutual skid conditions. The adhesion is affected by the pavement type and its condition, as well as the presence of contamination, and atmospheric conditions in the vicinity of the airfield. Throughout the world, measures aimed at development of a model for assessing the conditions of the airfield functional elements' pavements are undertaken. A key element of this process is the personnel identifying specific situations as well as the pilots using the information for safe manoeuvring, especially landing.

Keywords: airfield pavement, friction tester, skid resistance properties

Streszczenie: W artykule przedstawiona została metoda określania właściwości przeciwpoślizgowych poprzez szacowanie wielkości charakteryzujących warunki panujące na nawierzchniach elementów funkcjonalnych lotnisk. Właściwości przeciwpoślizgowe charakteryzują przyczepność opony statku powietrznego do nawierzchni i jest to zdolność do wytwarzania siły tarcia pomiędzy nawierzchnią elementu funkcjonalnego lotniska a kołami statku powietrznego w warunkach wzajemnego poślizgu. Na przyczepność wpływa rodzaj nawierzchni i jej stan, obecność zanieczyszczeń oraz warunki atmosferyczne w rejonie lotniska. Na całym świecie podejmowane są działania, które zmierzają do opracowania modelu oceny warunków panujących na nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk. Kluczowym elementem tego procesu jest personel identyfikujący określone sytuacje oraz piloci wykorzystujący te informacje do bezpiecznego wykonywania manewrów a w szczególności lądowania.

Słowa kluczowe: nawierzchnia lotniskowa, tester tarcia, właściwości przeciwpoślizgowe

SKID RESISTANCE PROPERTIES OF AIRFIELD PAVEMENTS AS ONE OF THE SAFETY ASSESSMENT PARAMETERS OF AIR OPERATIONS

1. Introduction

The skid resistance properties characterise adhesion of an aircraft tyre to the pavement, and this is the ability to produce the friction force between the pavement of the airfield functional element and the aircraft's wheels under conditions of mutual skid. The adhesion is affected by the pavement type and its condition, as well as the presence of contamination, and atmospheric conditions in the vicinity of the airfield. Landing and take-off are the most difficult manoeuvres performed by the pilot controlling the aircraft, and in the case of landing – these are touch down and roll out, but the touch down is a moment of touching the pavement by the aircraft's tyres, and the roll out is deceleration up to the stop or the start of taxiing. The specialists who deal with this problem all over the world strive for the development of a model for assessing the conditions on the airfield functional elements' pavements, including many factors that determine a particular state. A key element of this process is the personnel identifying specific situations as well as the pilots using the information for safe manoeuvring, especially landing. For a long time, attempts have been made to correlate the measurement system's responses with the aircraft's responses obtained under the same conditions. The carried out research allowed to analyse phenomena occurring during deceleration of the aircraft, however, the relationship between the measured friction coefficient and its response was not determined. The assessment of the pavements' skid resistance properties was based on measurement of the friction coefficient, and in many cases, it resulted in a situation that the aircraft crews obtained outdated information, which endangered the safety of air operations, as well as the safety of the crew and passengers. Therefore, a new method for assessing the skid resistance properties [2], which contains ambiguities in terms of defined concepts and the adopted procedure, was offered. Taking this into account, the paper attempted to clarify the terms used in the assessment of conditions on the pavement, and proposed the methodology of their estimation with examples.

2. Analysis of cause and effect relationships of the improper risk estimation of the safe aircraft stop

In order to illustrate the cause and effect relationships of the improper risk estimation of the safe stop of operated aircraft, Ishikawa diagram, which helps to separate the causes from the effects of a given situation and see the complexity of the problem, was used. The analysis is started from the conclusion of the effect occurrence and carried out towards identification of all the possible reasons that caused it.

Among the categories of causes, it is possible to distinguish:

- 5M: Man, Method, Machine, Material, Management,
- 4P: Place, Procedure, People, Policy,
- 4S: Surroundings, Suppliers, Systems, Skills.

Each of these components is broken into individual causes that should be considered individually as problems to be solved. The cause and effect diagram is a graphical analysis of various factors and their interrelationships causing a specific qualitative problem, and an analysis of results caused by the action of these relationships.

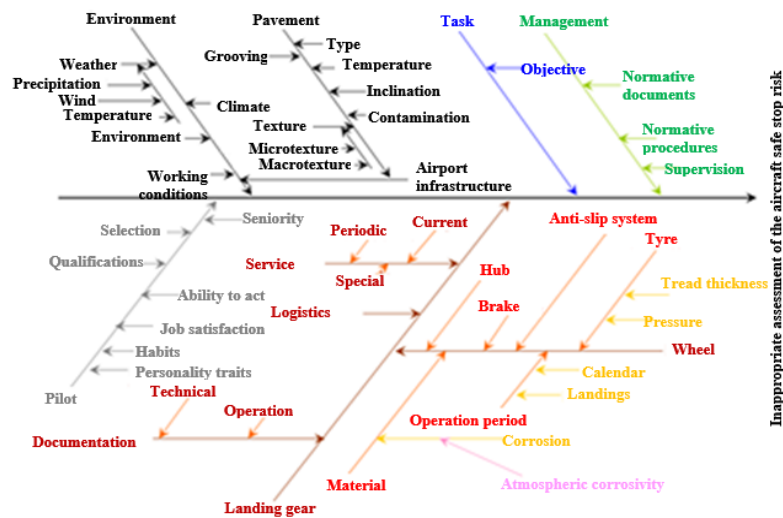


Fig. 1 Ishikawa diagram

In the analysed situation, the main attention was paid to the process of the aircraft stop while landing, and above all, on the impact of phenomena occurring during the operation on its safety risk. As it results from the diagram, the factors that have an impact on the assessment of the aircraft safe stop risk involve a pilot, aircraft's landing gear, including a wheel with a tyre, a wheel hub, a brake and an anti-slip system, as well as weather conditions.

3. Assessment process of the skid resistance properties of airfield pavements

The assessment process of the skid resistance properties of the airfield functional elements' pavements covers:

- devices used for measuring the friction coefficient,
- pavements,
- pavement condition,
- aircraft's landing gear,
- contamination,
- atmospheric conditions.

*Skid resistance properties of airfield pavements as one of the safety assessment...
Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych jednym z parametrów...*

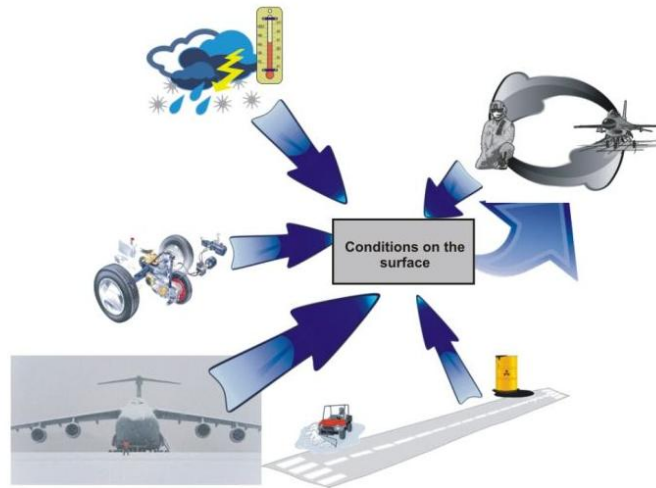


Fig. 2 Characteristics of the skid resistance properties of the airfield functional elements' pavements

For the continuous measurement of the friction coefficient, the Airport Facility [Zakład Lotniskowy] of Air Force Institute of Technology uses T10 trailer friction tester of ASFT Swedish company. This type of tester is equipped with a measuring wheel, which works with a constant longitudinal slip of approx. 13% and has no mechanical connection to the landing gear, but only with a rear axis with the use of a spring. Such a solution guarantees constant vertical stress on the ground with the value of 1400 N, which ensures the repeatability of the measurement results. T520 measuring tyre with pressure of 700 kPa is made of the appropriately selected material, and it has the shape and tread like the tires used in aircraft. The axis design allows to measure the friction coefficient while driving with the use of a linear actuator with the spring and belt pulley connection, which provides the gentle lowering and raising of the measuring wheel.

The friction coefficient's values provided in Tables 2 and 3 were determined on the basis of data related to friction of the pavement covered with compact snow and ice, and they cannot be regarded as absolute for the use in all weather conditions [1]. If the pavement is covered with snow or ice, and the information that braking is "good" was published, pilots should not expect conditions like on the clean and dry pavement (where friction can be greater than the required one). The term "good" constitutes relative assessment, and means that there should not be difficulties in maintaining the direction or braking, especially during landing.

FAA (*Federal Aviation Administration*), as well as ICAO (*International Civil Aviation Organization*) in their provisions, included a collection of the approved devices along with their limit values of friction coefficients determined as: minimum, planned during the use and for new pavements.

The values of the friction coefficients were determined for two measurement speeds, i.e.: 40 mph (approx. 65 km/h) and 60 mph (approx. 95 km/h), which was presented in Fig. 3.

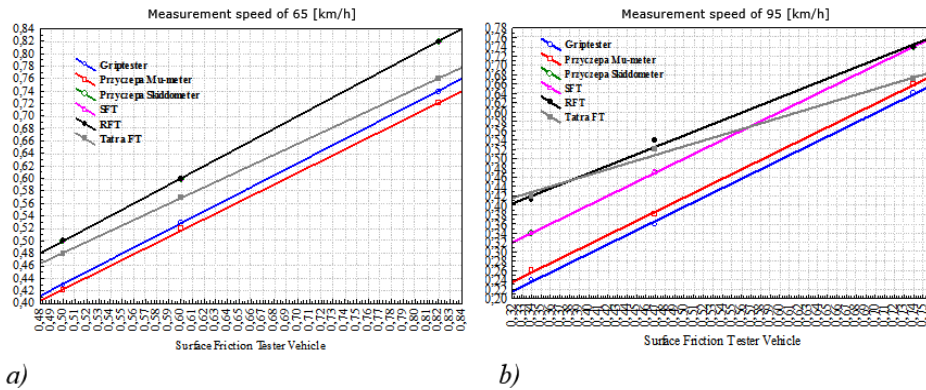


Fig. 3 Friction coefficient's values for different types of devices recommended by ICAO a) measured at the speed of 65 km/h b) measured at the speed of 95 km/h

The airfield pavements operated in the Polish Armed Forces were made of asphalt or cement concrete, and their skid resistance properties are affected by their construction and materials, which they were made of, and the types of maintenance procedures that were used within the framework of their operation.

The airfield functional element's pavement may be clean, dry or wet, or covered by atmospheric precipitation or deposits. The airfield functional element's pavement is dry and clean, if there are no contaminants and visible humidity influences on its entire pavement dedicated for using. Dry or clean pavements provide the friction level with slight differences, they are correlated with each other, and they do not require special criteria on the skid resistance properties. The airfield functional element's pavement is wet, when it is soaked with water, but there are no isolated still water bodies and contaminants on it. The phenomenon of the pavement's surface soaking is related to the drainage of water, which is influenced by: shape, surface inclination, tyre-ground contact (macrotexture), and water penetration into the pavement (microtexture).

If the airfield functional element's pavement intended for the use is in 25% covered with:

- water with the thickness of more than 3 mm, such a pavement is qualified as covered with water,
- snow thicker than 20 mm, such a pavement is qualified as covered with loose snow,
- snow which was compacted to one homogeneous mass, so that the aircraft's wheels move on the pavement's surface without the further snow mass compacting and do not create ruts, such a pavement is qualified as covered with compacted snow,

- snow that contains such a quantity of water that it would be possible to make a well compacted snowball, out of which water cannot be squeezed, such a pavement is qualified as covered with wet snow,
- snow thicker than 3 mm, which is so saturated with water that in case of taking a handful of snow, water comes out of it, and in case of a strong step, it splashes, such a pavement is qualified as covered with melted snow,
- snow thicker than 3 mm, mixed with contaminants, which is so saturated with water that in case of taking a handful of snow, water comes out of it, or in case of a strong step, it splashes, such a pavement is qualified as covered with slush.

The aircraft's landing gear, as a subsystem of the assessment process of the skid resistance properties, consists of struts, shock absorbers, a hub and a tyre, and an anti-slip system.

In the aircraft, the radial tyres, which are characterised by the lower weight with increased durability, are used. By the introduction of tyres with a newer design, it is strived for achieving a compromise between durability and friction. The shape of the tread is selected in order to provide appropriate drainage of water from the area of the tyre-pavement contact.

The wheel hubs are made of light materials such as aluminium alloys and usually forged aluminium alloys. The tyre protection against the blow-out under high temperatures is often applied by using fuses, which smelt after exceeding the critical temperature, and air from the tyre is deflated.

The elements of disc brakes used in aircraft are made of resistant materials with good thermal conduction. The ability of the braking energy absorption is directly related to the type of material and the discs' weight, and the maximum torque depends on the number and diameter of discs, as well as the pressure applied on them. The system's temperature and speed, at which the braking takes place, also have an impact on the maximum torque.

The anti-slip system is a system used in order to prevent the wheels from locking during braking. It prevents from phenomena occurring after locking the wheels, such as the aircraft pulling to one side, and as a result of which the loss of control over it. When the adhesion between the tyre and the pavement decreases to the level, in which the torque will reach the value below the brake's maximum torque, the anti-slip system, which monitors the wheels' slip indicator, regulates pressure on the piston in order to achieve the greatest braking efficiency. The anti-slip system efficiency is determined on the basis of the relation between the average braking force and the theoretical maximum braking force obtained at the optimum slip ratio.

The airfield pavement contamination is a state resulting from the introduction of solid or liquid substances in such quantities and composition that it could negatively affect the operation safety of aircraft through the deterioration of friction characteristics.

4. Methodology of the assessment of skid resistance properties

The assessment of the pavements' skid resistance properties was based on measurement of the friction coefficient so far, and in many cases, it resulted in a situation that the aircraft crews obtained outdated information, which endangered the safety of performing tasks. Therefore, a new method for assessing the skid resistance properties [2], which contains ambiguities in terms of defined concepts and the adopted procedure, was offered.

The proposed method of operation allows to determine the code of conditions on the airfield functional element's pavement, taking into account the weight of features characterising this phenomenon. The experts involved in the assessment of the skid resistance properties of the airfield functional elements' pavements, assigned the weights to individual features, which were presented in Table 1.

Table 1 Weights of characteristics for the assessment of skid resistance properties

Group	Weight
Friction coefficient	0.39
Pavement state	0.17
Pavement contamination	0.10
Atmospheric precipitation and deposits	0.11
Control over the vehicle	0.08
Pilot's report	0.08
Pilot's class	0.07

Each of the analysed features characterising conditions on the airfield pavement has a different weight, when it comes to the impact on the safety of air operations. The pavement conditions are determined on a scale from 1 to 5, taking into account the measured friction coefficient, pavement condition, contaminants, precipitation, control over the vehicle, and the pilot's report and class.

The weighted index characterising conditions on the pavement is determined on the basis of the following formula:

$$WN_w = w_t \times WN_t + w_{sn} \times WN_{sn} + w_z \times WN_s + w_{oa} \times WN_{oa} + w_{kp} \times WN_{kp} + w_{rp} \times WN_{rp} + w_{kp} \times WN_{kp} \quad (1)$$

where:

- $w_{t;sn;z;oa;kp;rp;kp}$ - weight of the impact of the friction coefficient, pavement condition, contaminants, precipitation, control over the vehicle, and the pilot's report and class on the assessment of conditions on the airfield pavement;
- $WN_{t;sn;z;oa;kp;rp;kp}$ - index characterising conditions on the friction coefficient pavement, pavement condition, contaminants, precipitation, control over the vehicle, and the pilot's report and class.

Table 2 shows the algorithm of conduct while determining the code of conditions on the airfield pavement, where:

- friction coefficient value measured with the use of the airfield friction tester is equal or higher than 0.4,
- pavement is covered with compact snow, and the air temperature fluctuates within the range from -3°C to -13°C,
- there are contaminants in the form of rubber on the pavement,
- currently, there is no precipitation in the area of the airfield,
- braking or control of the direction is at the average/good level,
- the pilot informs in his report that meteorological conditions occurring during the flight are at the average level,
- the pilot, who sends the message, is a master class.

By acting in accordance with the above mentioned algorithm, it was determined that the code of conditions on the pavement achieved the value of 5.

Table 3 shows the algorithm of conduct while determining the code of conditions on the pavement, where:

- friction coefficient value measured with the use of the airfield friction tester is equal or lower than 0.25,
- pavement is covered with compact snow, and the air temperature fluctuates within the range from -3°C to -13°C,
- there are contaminants in the form of rubber on the pavement,
- currently, there is no precipitation in the area of the airfield,
- braking or control of the direction is at the average/good level,
- the pilot informs in his report that meteorological conditions occurring during the flight are at the average level,
- the pilot, who sends the message, is a master class.

By acting in accordance with the above mentioned algorithm, it was determined that the code of conditions on the pavement achieved the value of 3.

Table 2 Algorithm of conduct while determining the code of conditions on the airfield pavement

Code of conditions on the pavement	Friction coefficient	Pavement state	Pavement contamination	Atmospheric precipitation and deposits	Control over the vehicle	Pilot's report	Pilot's class
5	>0.40	Dry Frost Wet (water < 3 mm) Melted snow (< 3 mm) Dry snow (< 3 mm) Wet snow (< 3 mm)	Dust	None Drizzle	Braking or normal control	Good	M
4	0.39=0.36	compacted snow (< -13°C)	Sand Deicing agent	Rain	Braking or control of the direction at the average/good level,	Good/Average	1 (1-5 years)
3	0.35=0.30	Wet Dry snow (> 3 mm) Wet snow (> 3 mm) Compacted snow 13°C	Mud	Snow Snow grains Granular snow Hail Frost Rime	Significantly reduced braking or slightly limited control of the direction	Average	,
2	0.29=0.26	Water (> 3 mm) Melted snow (> 3 mm) Compacted snow (> -3°C)	Rubber	Sleet	Braking or control of the direction from the average to the poor one	Average/Poor	2
1	<0.25	Ice	Oil	Freezing sleet	Braking or significantly reduced control of the direction	Poor	3

Table 3 Algorithm of conduct while determining the code of conditions on the airfield pavement

Code of conditions on the pavement	Friction coefficient	Pavement state	Pavement contamination	Atmospheric precipitation, and deposits	Control over the vehicle	Pilot's report	Pilot's class
5	>0.40	Dry Frost Wet (water < 3 mm) Melted snow (< 3 mm) Dry snow (< 3 mm) Wet snow (< 3 mm)	Dust	None Drizzle	Braking or normal control	Good	M
4	0.39=0.36	compacted snow (< -13°C)	Sand Deicing agent	Rain	Braking or control of the direction at the average/good level,	Good/Average	(1-5 years)
3	0.35=0.30	Wet Dry snow (> 3 mm) Wet snow (> 3 mm) Compacted snow 13°C	Mud	Snow Snow grains Granular snow Hail Frost Rime	Significantly reduced braking or slightly limited control of the direction	Average	,
2	0.29=0.26	Water (> 3 mm) Melted snow (> 3 mm) Compacted snow (> -3°C)	Rubber	Sleet	Braking or control of the direction from the average to the poor one	Average/Poor	2
1	<0.25	Ice	Oil	Freezing sleet	Braking or significantly reduced control of the direction	Poor	3

5. Conclusion

The proper determination of the skid resistance properties of the airfield functional elements' pavements is an important element of the aircraft's deceleration process, because it directly affects the safety of air operations and the safety of the crew and passengers.

The increase in the number of air operations forces the carrier to perform works aimed developing the assessment model of the skid resistance properties, taking into account the friction coefficient measured with the use of specialised hardware, such as friction testers.

The conditions on the pavement may change in a short period of time, therefore, while determining the skid resistance properties, it is important to take into account the friction coefficient, pavement conditions, pavement contamination, atmospheric precipitation and deposits, control over the vehicle, and the pilot's report and class. The friction testers used for measuring the friction coefficient of the airfield functional elements' pavements should be included, or the results of their measurements should be correlated with the results of measurements of the measuring devices, which were listed in Annex No. 14 ICAO to the Convention on the international civil aviation.

6. References

- [1] Annex 14 ICAO to the Convention on the international civil aviation. Airports. Volume I Design and operation of airports. Sixth edition, 2013.
- [2] Official Journal of the Civil Aviation Office Wytyczne Nr 2 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 25 stycznia 2016 r. w sprawie metod oceny, pomiaru oraz raportowania stanu nawierzchni drogi startowej [Official Journal of the Civil Aviation Office Guidelines No. 2 of the President of the Civil Aviation Office of 25 January 2016 on the methods of assessment, measurement and reporting the runway surface condition].
- [3] Grigoriu M.: Expert systems for maintenance engineering, Materiały Konferencji Artificial Techniques for Improving Aircraft Maintenance Efficiency, London 1991.
- [4] Jaźwiński J., Borgoń J.: Niezawodność eksploatacyjna i bezpieczeństwo lotów [Operational reliability and safety of flights], Eds. KiŁ Warsaw 1989.
- [5] Lewitowicz J., Borgoń J., Ząbkowicz W.: Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej [Problems of research and aircraft technology operation], Eds. Air Force Institute of Technology, Warsaw 1993.
- [6] Sobol E. - Editor of the volume: Słownik wyrazów obcych [Dictionary of foreign words], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warsaw 1999.

- [7] Wesółowski M., Barszcz P., Blacha K.: Ocena testerów tarcia przeprowadzona na podstawie badań porównawczych współczynnika tarcia nawierzchni wybranych odcinków lotnisk usytuowanych w Powidzu, Poznaniu-Krzesinach i Radomiu [Evaluation of friction testers executed on the basis of comparative tests of the friction coefficient of selected airfield sections' surfaces in Powidz, Poznań Krzesiny i Radom], In: Report No. 30/24/2014, Air Force Institute of Technology, 2014.



Lt. Col. Mariusz Wesółowski, Ph.D. Eng., a graduate of the Military University of Technology and the Warsaw University of Technology. Head of the Airport Department of Air Force Institute of Technology. His specialisation is design, construction, and assessment of the technical condition of the airfield pavement structures.



Piotr Barszcz, Ph.D. Eng., a graduate of the Military University of Technology. An assistant professor in the Airport Department in Air Force Institute of Technology. His specialisation is the issue of corrosion, reliability, safety, and operation of aircraft. He participates in the works aimed at the development and implementation of the system of airfield pavement management.



Capt. Krzysztof Blacha, MSc Eng., a graduate of the Faculty of Military Engineering of the Military Academy of Land Forces and of the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the Military University of Technology. An assistant in the Airport Department in Air Force Institute of Technology. His specialisation is design, construction and assessment of the technical condition of the airfield pavement structures.

WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWPÓŚLIZGOWE NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH JEDNYM Z PARAMETRÓW OCENY BEZPIECZEŃSTWA WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH

1. Wstęp

Właściwości przeciwpoślizgowe charakteryzują przyczepność opony statku powietrznego do nawierzchni i jest to zdolność do wytwarzania siły tarcia pomiędzy nawierzchnią elementu funkcjonalnego lotniska a kołami statku powietrznego w warunkach wzajemnego poślizgu. Na przyczepność wpływa rodzaj nawierzchni i jej stan, obecność zanieczyszczeń oraz warunki atmosferyczne w rejonie lotniska. Lądowanie i start są najtrudniejszymi manewrami wykonywanymi przez pilota sterującego statkiem powietrznym, a w przypadku lądowania jest to przyziemienie i dobieg, przy czym przyziemienie jest to moment dotknięcia nawierzchni przez opony statku powietrznego a dobieg jest to wytracanie prędkości aż do zatrzymania się bądź rozpoczęcia kołowania. Specjaliści zajmujący się tym problemem na całym świecie dążą do opracowania modelu oceny warunków panujących na nawierzchniach elementów funkcjonalnych lotnisk przy uwzględnieniu wielu czynników, które warunkują określony stan. Kluczowym elementem tego procesu jest personel identyfikujący określone sytuacje oraz piloci wykorzystujący te informacje do bezpiecznego wykonywania manewrów a w szczególności lądowania. Od dłuższego czasu podejmowane są próby skorelowania odpowiedzi systemu pomiarowego z odpowiedzią statku powietrznego uzyskanymi w tych samych warunkach. Przeprowadzone badania pozwoliły przeanalizować zjawiska zachodzące podczas wytracania prędkości przez statek powietrzny, jednak nie określono związku pomiędzy zmierzonym współczynnikiem tarcia a jego odpowiedzią. Jak do tej pory ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni opierała się na pomiarze współczynnika tarcia, w wielu przypadkach doprowadzało to do sytuacji, kiedy załogi statków powietrznych otrzymywały nieaktualne informacje, co zagrażało bezpieczeństwu wykonywania operacji lotniczych oraz bezpieczeństwu załogi i pasażerów. Dlatego też zaproponowano nowy sposób oceny właściwości przeciwpoślizgowych [2], który jednak zawiera niejasności w zakresie zdefiniowanych pojęć i przyjętej metody postępowania. Mając to na uwadze w artykule starano się uściślić pojęcia wykorzystywane przy ocenie warunków panujących na nawierzchni oraz zaproponowano metodologię ich szacowania wraz z przykładami.

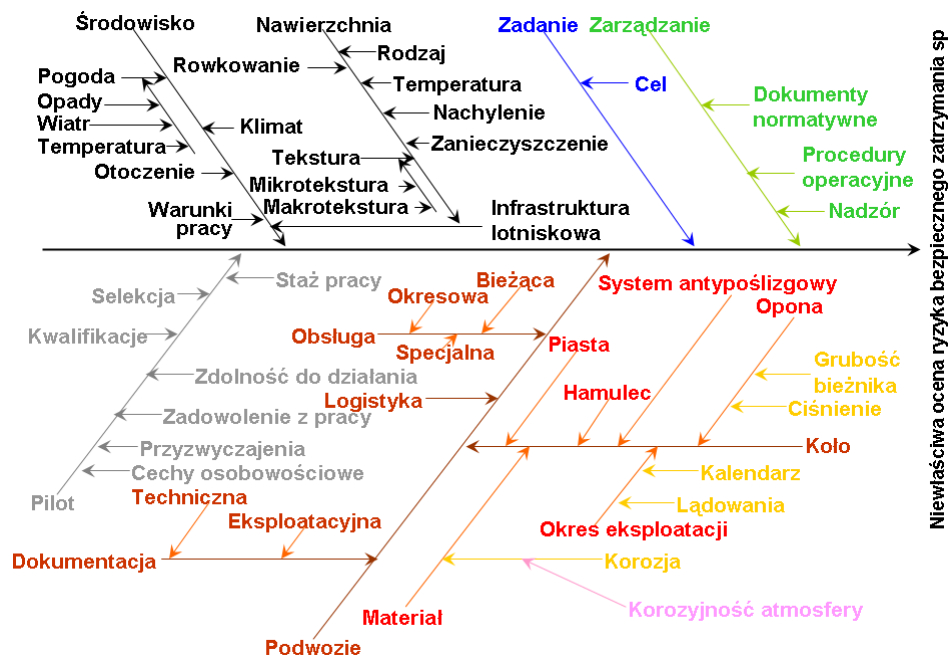
2. Analiza związków przyczynowo-skutkowych nieprawidłowego oszacowania ryzyka bezpiecznego zatrzymania statku powietrznego

W celu zilustrowania związków przyczynowo-skutkowych niewłaściwego oszacowania ryzyka bezpiecznego zatrzymywania eksploatowanych statków powietrznych wykorzystano diagram Ishikawy, który pomaga oddzielić przyczyny od skutków danej sytuacji i dostrzec złożoność problemu. Analiza rozpoczyna się od stwierdzenia wystąpienia skutku i prowadzona w kierunku identyfikacji wszystkich możliwych przyczyn, które go spowodowały.

Wśród kategorii przyczyn można wymienić:

- 5M: Man (człowiek), Method (metoda), Machine (maszyna), Material (materiał), Management (zarządzanie),
- 4P: Place (miejsce), Procedure (zasady), People (pracownicy), Policy (polityka/zasady),
- 4S: Surroundings (otoczenie), Suppliers (dostawcy), Systems (system), Skills (umiejętności).

Każda z tych składowych jest rozbijana na poszczególne przyczyny, które powinny być rozpatrywane indywidualnie jako problemy do rozwiązania. Diagram przyczynowo-skutkowy jest graficzną analizą wpływu różnych czynników oraz ich wzajemnych powiązań wywołujących określony problem jakościowy oraz analizą rezultatów spowodowanych działaniem tych powiązań.



Rys. 1 Diagram Ishikawy

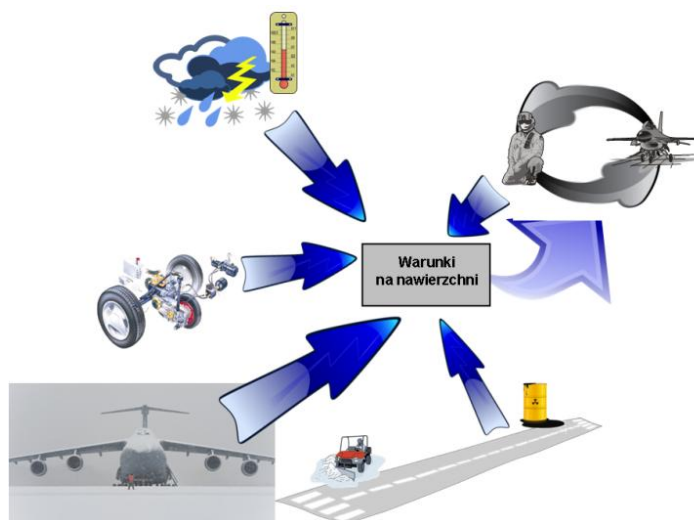
*Skid resistance properties of airfield pavements as one of the safety assessment...
Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych jednym z parametrów...*

W analizowanej sytuacji główną uwagę zwrócono na proces zatrzymania statku powietrznego przy lądowaniu a przede wszystkim na wpływ zjawisk zachodzących podczas eksploatacji na jego ryzyko bezpieczeństwa. Jak wynika z diagramu czynnikami, które wpływają na ocenę ryzyka bezpiecznego zatrzymania statku powietrznego jest pilot, podwozie statku powietrznego a w tym koło wraz z oponą, piastą, hamulcem i systemem antypoślizgowym a także warunki atmosferyczne.

3. Proces oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni lotniskowych

Proces oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk obejmuje swoim zakresem:

- urządzenia służące do pomiaru współczynnika tarcia,
- nawierzchnie,
- stan nawierzchni,
- podwozie statku powietrznego,
- zanieczyszczenia,
- warunki atmosferyczne.



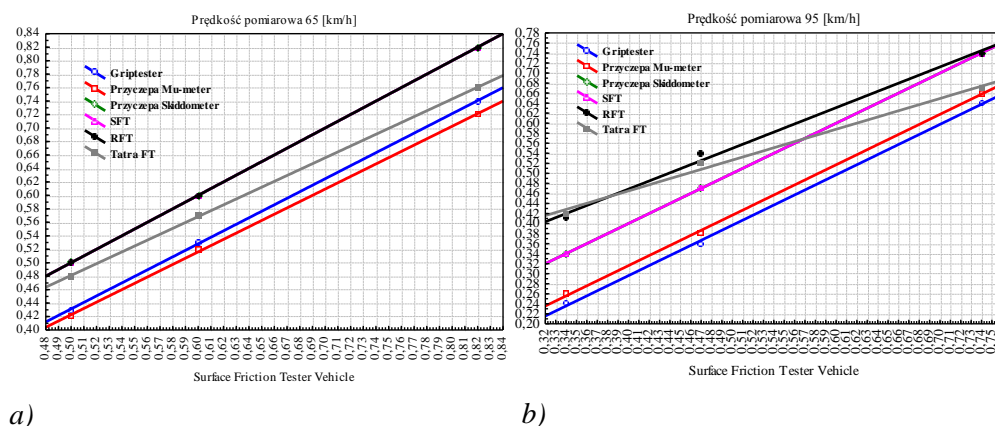
Rys. 2 Cechy charakteryzujące właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk

Do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia Zakład Lotniskowy ITWL wykorzystuje przyczepowy tester tarcia T10 szwedzkiej firmy ASFT. Tego rodzaju tester wyposażony jest w koło pomiarowe, które pracuje ze stałym podłużnym poślizgiem wynoszącym około 13% i nie ma połączenia mechanicznego z podwoziem a tylko z tylną osią za pomocą sprężyny. Takie rozwiązanie gwarantuje stały, pionowy nacisk na podłoże o wartości 1400 N, co zapewnia powtarzalność wyników pomiarów.

Opona pomiarowa typu T520 o ciśnieniu 700 kPa wykonana jest z odpowiednio dobranego materiału, posiada kształt i bieżnik podobnie, jak opony stosowane na statkach powietrznych. Konstrukcja osi pozwala na wykonywanie pomiarów współczynnika tarcia podczas jazdy przy wykorzystaniu siłownika liniowego wraz ze sprężyną i połączeniem pasowym, co zapewnia łagodne opuszczanie i podnoszenie koła pomiarowego.

Wartości współczynnika tarcia zamieszczone w tabelach 2 i 3 zostały określone na podstawie danych dotyczących tarcia nawierzchni pokrytej ubitym śniegiem lub lodem, nie można uważać tych wartości jako bezwzględne do stosowania we wszystkich warunkach pogodowych [1]. Jeżeli nawierzchnia pokryta jest śniegiem lub lodem oraz opublikowano informację, że hamowanie jest „dobre”, piloci nie powinni spodziewać się warunków takich jak na czystej i suchej nawierzchni (gdzie tarcie może być dużo większe niż wymagane). Określenie „dobre” jest oceną względną i oznacza, że nie powinny wystąpić trudności w utrzymaniu kierunku lub hamowaniu, zwłaszcza podczas lądowania.

FAA (*Federal Aviation Administration*), jak i ICAO (*International Civil Aviation Organization*) w swoich przepisach zawarły zbiór aprobowanych przez siebie urządzeń wraz z uzyskanymi przez nie granicznymi wartościami współczynników tarcia określanymi jako: minimalne, planowane podczas użytkowania oraz dla nowych nawierzchni. Wartości współczynników tarcia zostały określone dla dwóch prędkości pomiaru, tj.: 40 mph (ok. 65 km/h) oraz 60 mph (ok. 95 km/h), co przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Wartości współczynnika tarcia dla różnego rodzaju urządzeń rekomendowanych przez ICAO a) mierzone przy prędkości 65 km/h b) mierzone przy prędkości 95 km/h

Nawierzchnie lotniskowe eksploatowane w Siłach Zbrojnych RP zostały wykonane z betonu asfaltowego lub cementowego, a na ich właściwości przeciwpoślizgowe ma wpływ ich konstrukcja i materiały, z jakich zostały one wykonane a także, jakie zabiegi utrzymaniowe były stosowane w ramach ich eksploatacji.

Nawierzchnia elementu funkcjonalnego lotniska może być w stanie suchym, czystym, mokrym lub może być pokryta opadami czy osadami atmosferycznymi. Nawierzchnia elementu funkcjonalnego lotniska (EFL) jest sucha i czysta, jeżeli na całej jej powierzchni przeznaczonej do użytkowania nie znajdują się zanieczyszczenia i widoczne ślady wilgoci. Nawierzchnie suche lub czyste zapewniają poziom tarcia o nieznacznych różnicach, są ze sobą skorelowane i nie są dla nich wymagane szczególne kryteria dotyczące właściwości przeciwpoślizgowych. Powierzchnia nawierzchni EFL jest mokra, kiedy jest nasiąknięta wodą, ale nie znajdują się na niej zastoiska wody i zanieczyszczenia. Zjawisko nasiąkania powierzchni nawierzchni związane jest z odprowadzaniem wody, na który ma wpływ: kształt, nachylenie powierzchni, styk opona-ziemia (makrotekstura), wnikanie wody w nawierzchnię (mikrotekstura).

Jeżeli powierzchnia nawierzchni EFL przeznaczonej do użytkowania jest w 25% pokryta:

- wodą o grubości ponad 3 mm, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta wodą,
- śniegiem o grubości większej niż 20 mm, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta luźnym śniegiem,
- śniegiem, który został zagęszczony do jednolitej masy tak, że koła statku powietrznego poruszają się na powierzchni nawierzchni bez dalszego zagęszczania masy śniegu oraz nie tworzą kolein, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta ubitym śniegiem,
- śniegiem, który zawiera taką ilość wody, aby można było z niego zrobić dobrze zagęszczoną kulę śnieżną, z której nie można wycisnąć wodę, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta mokrym śniegiem,
- śniegiem o grubości ponad 3 mm, który jest tak nasycony wodą, że w przypadku wzięcia garstki śniegu wypływa z niego woda lub przy silnym nadepnięciu stopą chlapie, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta roztałym śniegiem,
- śniegiem o grubości ponad 3 mm wymieszanym z zanieczyszczeniami, które są tak nasycony wodą, że w przypadku wzięcia garstki śniegu wymieszanego z zanieczyszczeniami wypływa z niego woda lub przy silnym nadepnięciu stopą chlapie, taką nawierzchnię kwalifikuje się jako pokryta błotem pośniegowym.

Podwozie statku powietrznego jako podsystem procesu oceny właściwości przeciwpoślizgowych składa się z goleni, amortyzatora, piasty i opony oraz z systemu antypoślizgowego.

Na statkach powietrznych stosuje się opony radialne, które charakteryzują się mniejszym ciężarem przy zwiększonej trwałości. Wprowadzając opony o nowszej konstrukcji dąży się do osiągnięcia kompromisu pomiędzy trwałością a tarciem. Kształt bieżnika dobiera się w taki sposób, aby było zapewnione właściwe odprowadzenie wody z obszaru styku opona - nawierzchnia.

Piasty kół wykonywane są z materiałów lekkich takich jak stopy aluminium i zazwyczaj z kutych stopów aluminium.

Często stosuje się zabezpieczenie opony przed rozsadzeniem pod wpływem wysokich temperatur poprzez stosowanie bezpieczników, które przy przekroczeniu temperatury krytycznej wytapiają się i zostaje wypuszczone powietrze z opony.

Elementy hamulców tarczowych stosowanych na statkach powietrznych wykonuje się z materiałów wytrzymałych i dobrze przewodzących ciepło. Zdolność pochłaniania energii hamowania jest bezpośrednio związana z rodzajem materiału i masą tarcz, maksymalny moment obrotowy zależy od liczby i średnicy tarcz, jak również od nacisku wywieranego na nie. Temperatura układu oraz prędkość, przy której następuje hamowanie mają również wpływ na maksymalny moment obrotowy.

System antypoślizgowy jest układem stosowanym w celu przeciwdziałania blokowaniu kół podczas hamowania. Zapobiega on zjawiskom występującym po zablokowaniu kół, takim jak ściąganie samolotu w bok a w efekcie utrata kontroli nad nim. Gdy zmniejsza się przyczepność pomiędzy oponą a nawierzchnią do poziomu, w którym moment obrotowy osiągnie wartość poniżej maksymalnego momentu obrotowego hamulca, to system antypoślizgowy monitorujący wskaźnik poślizgu kół reguluje ciśnienie na tłoku w celu osiągnięcia najlepszej skuteczności hamowania. Skuteczność systemu antypoślizgowego określa się w oparciu o stosunek pomiędzy średnią siłą hamowania a teoretyczną maksymalną siłą hamowania uzyskaną przy optymalnym współczynniku poślizgu.

Zanieczyszczenie nawierzchni lotniskowej jest to stan wynikający z wprowadzenia substancji stałych lub ciekłych w takich ilościach i takim składzie, że może to ujemnie wpływać na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych poprzez pogorszenie charakterystyk tarcia.

4. Metodologia oceny właściwości przeciwpoślizgowych

Jak do tej pory ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni opierała się o pomiar współczynnika tarcia, w wielu przypadkach doprowadzało to do sytuacji, w której załogi statków powietrznych otrzymywały nieaktualne informacje,

co zagrażało bezpieczeństwu wykonywania zadania. Dlatego też zaproponowano nowy sposób oceny właściwości przeciwpoślizgowych [2], który zawiera niejasności w zakresie zdefiniowanych pojęć i przyjętej metody postępowania. Zaproponowany sposób działania pozwala na określenie kodu warunków panujących na nawierzchni elementu funkcjonalnego lotniska uwzględniając wagi cech charakteryzujących to zjawisko. Eksperti zajmujący się oceną właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk nadali wagi poszczególnym cechom, które to przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wagi cech do oceny kodu właściwości przeciwpoślizgowych

Grupa	Waga
Współczynnik tarcia	0,39
Stan nawierzchni	0,17
Zanieczyszczenie nawierzchni	0,10
Opady, osady atmosferyczne	0,11
Kontrola nad pojazdem	0,08
Raport pilota	0,08
Klasa pilota	0,07

Każda z analizowanych cech charakteryzujących warunki panujące na nawierzchni lotniska ma inną wagę, jeżeli chodzi o wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Warunki na nawierzchni określa się w skali od 1 do 5, biorąc pod uwagę zmierzony współczynnik tarcia, stan nawierzchni, zanieczyszczenia, opady atmosferyczne, kontrolę nad pojazdem, raport i klasę pilota. Wskaźnik ważony charakteryzujący warunki panujące na nawierzchni określa się w oparciu o wzór:

$$WN_w = w_t \times WN_t + w_{sn} \times WN_{sn} + w_z \times WN_s + w_{oa} \times WN_{oa} + w_{kp} \times WN_{kp} + w_{rp} \times WN_{rp} + w_{kp} \times WN_{kp} \quad (1)$$

gdzie:

- $w_{t;sn;z;oa;kp;rp;kp}$ - waga wpływu współczynnika tarcia, stanu nawierzchni, zanieczyszczeń, opadów atmosferycznych, kontroli nad pojazdem, raportu i klasy pilota na ocenę warunków panujących na nawierzchni lotniska;
- $WN_{t;sn;z;oa;kp;rp;kp}$ - wskaźnik charakteryzujący warunki panujące na nawierzchni dla współczynnika tarcia, stanu nawierzchni, zanieczyszczeń, opadów atmosferycznych, kontroli nad pojazdem, raportu i klasy pilota.

W tabeli 2 przedstawiono algorytm postępowania przy określaniu kodu warunków panujących na nawierzchni lotniskowej, gdzie:

- wartość współczynnika tarcia zmierzona z wykorzystaniem lotniskowego testera tarcia jest równa lub większa niż 0,4,

- nawierzchnia pokryta jest ubitym śniegiem, a temperatura powietrza waha się w przedziale -3°C do -13°C ,
- na nawierzchni znajdują się zanieczyszczenia w postaci gumy,
- aktualnie w rejonie lotniska nie występują opady atmosferyczne,
- hamowanie lub kontrola kierunku na poziomie średnia/dobra,
- pilot komunikuje w swoim raporcie, że warunki metrologiczne występujące podczas lotu są na poziomie średnim,
- pilot, który przesyła komunikat jest klasy mistrzowskiej.

Postępując zgodnie z przedstawionym powyżej algorytmem określono, że kod warunków na nawierzchni osiągnął wartość 5.

W tabeli 3 przedstawiono algorytm postępowania przy określaniu kodu warunków panujących na nawierzchni, gdzie:

- wartość współczynnika tarcia zmierzona z wykorzystaniem lotniskowego testera tarcia jest równa lub mniejsza niż 0,25,
- nawierzchnia pokryta jest ubitym śniegiem, a temperatura powietrza waha się w przedziale -3°C do -13°C ,
- na nawierzchni znajdują się zanieczyszczenia w postaci gumy,
- aktualnie w rejonie lotniska nie występują opady atmosferyczne,
- hamowanie lub kontrola kierunku na poziomie średnia/dobra,
- pilot komunikuje w swoim raporcie, że warunki metrologiczne występujące podczas lotu są na poziomie średnim,
- pilot, który przesyła komunikat jest klasy mistrzowskiej.

Postępując zgodnie z przedstawionym powyżej algorytmem określono, że kod warunków na nawierzchni osiągnął wartość 3.

Tabela 2. Algorytm postępowania przy określaniu kodu warunków panujących na nawierzchni lotniskowej

Kod warunków na nawierzchni	Współczynnik tarcia	Stan nawierzchni	Zanieczyszczenia nawierzchni	Opady, osady atmosferyczne	Kontrola nad pojazdem	Raport pilota	Klasa pilota
5	> 0,40	Sucha Mról Mokra (woda < 3 mm) Roztąjały śnieg (< 3 mm) Suchy śnieg (< 3 mm) Mokry śnieg (< 3 mm)	Kurz	Brak Mżawka	Hamowanie lub normalna kontrola kierunku	Dobre	M
4	0,39÷0,36	Ubity śnieg (< -13°C)	Piasek Środek odładzający	Deszcz	Hamowanie lub kontrola kierunku na poziomie średnia/dobra	Dobre/Średnie	1 (+5 lat)
3	0,35÷0,30	Mokra Suchy śnieg (> 3 mm) Mokry śnieg (> 3 mm) Ubity śnieg (-3°C ÷ -13°C)	Biłoto	Śnieg Śnieg ziarnisty Krupy Grad Szron Szadź	Hamowanie znacznie zmniejszone lub kontrola kierunku nieznacznie ograniczona	Średnie	1
2	0,29÷0,26	Woda (> 3 mm) Roztąjały śnieg (> 3 mm) Ubity śnieg (> -3°C)	Guma	Deszcz ze śniegiem	Hamowanie lub kontrola kierunku od średniej do złej	Średnie/Złe	2
1	< 0,25	Lód	Olej	Marznący deszcz ze śniegiem	Hamowanie lub kontrola kierunku znacznie ograniczona	Złe	3

*Skid resistance properties of airfield pavements as one of the safety assessment...
Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych jednym z parametrów...*

Tabela 3. Algorytm postępowania przy określaniu kodu warunków panujących na nawierzchni lotniskowej

Kod warunków na nawierzchni	Współczynnik tarcia	Stan nawierzchni	Zanieczyszczenia nawierzchni	Opady, osady atmosferyczne	Kontrola nad pojazdem	Raport pilota	Klasa pilota
5	> 0,40	Sucha Mróz Mokra (woda < 3 mm) Roztająły śnieg (< 3 mm) Suchy śnieg (< 3 mm) Mokry śnieg (< 3 mm)	Kurz	Brak Mżawka	Hamowanie lub normalna kontrola kierunku	Dobre	M
4	0,39÷0,36	Ubity śnieg (< -13°C)	Pasek Środek odladzający	Deszcz	Hamowanie lub kontrola kierunku na poziomie średnia/dobra	Dobre/Średnie	1 (1÷5 lat)
3	0,35÷0,30	Mokra Suchy śnieg (> 3 mm) Mokry śnieg (> 3 mm) Ubity śnieg (-8°C - 13°C)	Błoto	Śnieg Śnieg ziarnisty Krupy Grad Szron Szadź	Hamowanie znacznie zmniejszone lub kontrola kierunku nieznacznie ograniczona	Średnie	1
2	0,29÷0,26	Woda (> 3 mm) Roztająły śnieg (> 3 mm) Ubity śnieg (> -3°C)	Guma	Deszcz ze śniegiem	Hamowanie lub kontrola kierunku od średniej do złej	Średnie/Złe	2
1	< 0,25	Lód	Olej	Marzący deszcz ze śniegiem	Hamowanie lub kontrola kierunku znacznie ograniczona	Złe	3

5. Podsumowanie

Prawidłowe określanie właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk jest ważnym elementem procesu wytracania prędkości przez statek powietrzny, gdyż od tego bezpośrednio zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych oraz bezpieczeństwo załogi i pasażerów

Zwiększanie liczby operacji lotniczych wymusza na przewoźniku prowadzenie prac mających na celu opracowanie modelu oceny właściwości przeciwoślizgowych przy uwzględnieniu współczynnika tarcia mierzonego z wykorzystaniem wyspecjalizowanego sprzętu jakim są testery tarcia.

Warunki panujące na nawierzchni mogą ulec zmianie w krótkim czasie, dlatego też przy określaniu właściwości przeciwoślizgowych powinno się uwzględniać współczynnik tarcia, stan nawierzchni, zanieczyszczenie nawierzchni, opady i osady atmosferyczne, kontrolę nad pojazdem, raport i klasę pilota.

Testery tarcia stosowane do pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk powinny być zamieszczone, lub wyniki ich pomiarów powinny być skorelowane z wynikami pomiarów urządzeń pomiarowych, które zostały wyszczególnione w załączniku Nr 14 ICAO do konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym.

6. Literatura

- [1] Załącznik 14 ICAO do konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym. Lotniska. Tom I Projektowanie i eksploatacja lotnisk. Wydanie szóste, 2013.
- [2] Dziennik Urzędowy Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Wytyczne Nr 2 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 25 stycznia 2016 r. w sprawie metod oceny, pomiaru oraz raportowania stanu nawierzchni drogi startowej.
- [3] Grigoriu M.: Expert systems for maintenance engineering, Materiały Konferencji Artificial Techniques for Improving Aircraft Maintenance Efficiency, London 1991.
- [4] Jaźwiński J., Borgoń J.: Niezawodność eksploatacyjna i bezpieczeństwo lotów, Wyd. KiŁ Warszawa 1989.
- [5] Lewitowicz J., Borgoń J., Ząbkowicz W.: Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej, Wyd. ITWL, Warszawa 1993.
- [6] Sobol E. - Redaktor tomu: Słownik wyrazów obcych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [7] Wesółowski M., Barszcz P., Blacha K.: Ocena testerów tarcia przeprowadzona na podstawie badań porównawczych współczynnika tarcia nawierzchni wybranych odcinków lotnisk usytuowanych w Powidzu, Poznaniu-Krzesinach i Radomiu, W: Sprawozdanie Nr 30/24/2014, ITWL, 2014 r.



Pptk dr inż. Mariusz Wesółowski, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej i Politechniki Warszawskiej. Kierownik Zakładu Lotniskowego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w projektowaniu, budowie i ocenie stanu technicznego konstrukcji nawierzchni lotniskowych (Udział 35%).



Dr inż. Piotr Barszcz, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej. Adiunkt w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w tematyce korozji, niezawodności, bezpieczeństwa i eksploatacji statków powietrznych. Uczestniczy w pracach mających na celu opracowanie i wdrożenie do eksploatacji systemu zarządzania nawierzchniami lotniskowymi (Udział 35%).



Kpt. mgr inż. Krzysztof Blacha, absolwent Wydziału Inżynierii Wojskowej Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych i Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej. Asystent w Zakładzie Lotniskowym w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w projektowaniu, budowie i ocenie stanu technicznego konstrukcji nawierzchni lotniskowych (Udział 30%).

Skid resistance properties of airfield pavements as one of the safety assessment...
Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych jednym z parametrów...