

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

TECHNOLOGY OF MAKING AIRFIELD PAVEMENTS IN RELATION TO THE EXISTING REQUIREMENTS IN TERMS OF TEXTURE

Technologia wykonania nawierzchni lotniskowych w odniesieniu do istniejących wymagań w zakresie tekstury

Abstract: *The assessment of the texture of airfield pavements, in addition to assessing their roughness, is a component of the broader concept of anti-skid properties, which significantly affect the safety of air operations. The roughness of the pavement directly affects the adhesion of the aircraft tire to the pavement, and the texture additionally affects the effectiveness of dynamic drainage of water from the pavement. The current standard requirements in terms of roughness and texture of airfield pavements do not distinguish the technology used. In the paper, the authors focused on the analysis of the results in terms of the texture of airfield pavements and presented the resulting conclusions in relation to whether the technology of its implementation has an impact on the texture parameter.*

Keywords: airfield pavement, cement concrete, asphalt concrete, airfield pavement texture, anti-skid properties

Streszczenie: *Tekstura nawierzchni lotniskowych oprócz ich szorstkości jest elementem składowym szerszego pojęcia, jakim są właściwości przeciwpoślizgowe, które w istotny sposób wpływają na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Szorstkość nawierzchni wpływa bezpośrednio na przyczepność opony statku powietrznego do nawierzchni, a tekstura dodatkowo na skuteczność dynamicznego odprowadzania wody z nawierzchni. Aktualne wymagania normowe w zakresie szorstkości oraz tekstury nawierzchni lotniskowych nie rozgraniczają zastosowanej technologii ich wykonania. W pracy autorzy skupili się na analizie wyników w zakresie tekstury nawierzchni lotniskowych oraz przedstawili wynikające z niej wnioski, w odniesieniu do tego, czy technologia jej wykonania ma wpływ na parametr tekstury.*

Słowa kluczowe: nawierzchnia lotniskowa, beton cementowy, beton asfaltowy, tekstura nawierzchni lotniskowych, właściwości przeciwpoślizgowe

1. Introduction

Airfield pavement is a determined and specially prepared surface of airfield functional element (AFE) that serves a certain function in air operations. The safety of aircraft operations on airfield pavements depends mainly on the load bearing capacity of these aircraft and other operational parameters such as evenness and anti-skid properties. When discussing the anti-skid properties of airfield pavements, other aspects apart from the friction coefficient determining its roughness should also be taken into account. Not to mention that a vital element of friction characteristics of the contact area between tyre and surface is a surface texture [4].

Surface roughness directly affects the adhesion of the aircraft tyre to the surface; and texture impacts the effective dynamic water removal from the surface. Drainage characteristics of the movement area, more precisely a quick removal of water from the runway surface is a major safety factor, which is taken into consideration already at the design stage and later during the construction and maintenance of the movement area. Removing water from airfield pavement is a basic requirement and is used to reduce the thickness of the water layer on the surface. The proper drainage is ensured mainly by applying surface with the appropriate longitudinal and transverse inclination (natural water removal). Dynamic water removal is achieved by the pavement texture [19].

The basic type of artificial airfield pavements include rigid (Fig. 1. flexible) made of cement concrete, but asphalt concrete airfield pavements (Fig. 2. susceptible) and complex pavements (classified between flexible and rigid - Fig. 3). [3] are also observed.



Fig. 1. Rigid pavement of cement concrete



Fig. 2. Flexible pavement of asphalt concrete



Fig. 3. Complex pavements

In the case of airfield pavement made of cement concrete, when the texturing assembly finishes its runway paving job, grooving operation is commenced. The most important and final method of paving the top surface layer directly connected with its texture is usually to drag the burlap behind a slip form paver [13].



Fig. 4. Texturing of the surface from cement concrete

The situation looks different in the case of susceptible pavements. Embedding structural layers of the cement concrete airfield pavement should be executed with spreaders. After that, the layer is thickened to the required compaction index using heavy rubber and steel rollers. In this case, texturing of the upper layer of the pavement is not done. Moreover, the texture is achieved by obtaining the required physical and mechanical properties of the mineral-asphalt mixture (including compaction index) and aggregate grading of the overlay layer [12]. Under special conditions, it is allowed to provide the abrasive layer of airfield pavement from cement concrete with the appropriate texture, improving its roughness and facilitating surface water removal. The possible application of grooving requires to take into account (in the project) the greater thickness of the abrasive layer than the one recommended in the standard that does not include such a procedure.



Fig. 5. Paving the mineral-asphalt mixture (paving the asphalt concrete)

2. Texture of airfield pavements - requirements

In practice, it is aimed to ensure good anti-skid properties of airfield pavements, which indicates that they fulfil the required criteria of friction coefficients and texture depth.

New airfield pavements have to meet specific depth requirements. They were included in documents issued by global aviation organizations, such as EASA (European Aviation Safety Authority), ICAO (International Civil Aviation Organization) and FAA (Federal Aviation Administration), which are described in Table 1. The applicable aviation documents set out requirements for new airfield pavements and are focused mainly on the runway surface.

Table 1

Requirements regarding texture depth for new airfield pavements

Document	Texture depth [mm]
Annex 14 to the Convention of the International Civil Aviation, Airports Volume I - Aerodrome Design and Operation (ICAO) [20]	≥ 1.00
Doc. 9157 AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways (ICAO) [7]	
Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014) (EASA) [8]	
Doc. 9137 AN/898 Airport Service Manual Part 2 – Pavement Surface Conditions (ICAO) [6]	< 1.00
Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation (FAA) [1]	≥ 1.14

Furthermore, to evaluate older airfield pavements, ESDU classification (Engineering Sciences Data Unit) can be used. It was devised for the runway based on the texture information illustrated in Table 2 [8]. It is assumed that a texture depth of 0.25 mm should ensure the safety of air operations.

Table 2

Requirements for texture depth for the operated airfield pavements

Runway classification	Texture depth [mm]
A	0.10 – 0.14
B	0.15 – 0.24
C	0.25 – 0.50
D	0.51 – 1.00
E	1.01 – 2.54

Studying texture of airfield pavement is conducted by applying point measurement methods, i.e. a volumetric method (texture depth measurement - MTD) according to PN-EN 13036-1: 2010 *Surface properties of road and airfield pavements. Test Methods. Part 1: Depth measurement of macrotexture with the volumetric [14] or profilometric method*

(measurement of the mean profile depth MPD / d_{MPD}) according to PN-EN ISO 13473-1: 2019 *Characteristics of the pavement texture using surface profiles. Part 1: Determining the average profile depth* [15]. MPD value can be converted into the estimated texture depth ETD . To this end, a conversion equation is used $ETD = 0.2 + 0.8 MPD$.

Unfortunately, the applicable reference documents regarding texture of airfield pavements are believed to raise many doubts. This leads to the question of the required minimum value for new pavements – 1.0 mm or 1.14 mm, and also how to treat a record permitting value below 1.0 mm. It should also be decided whether the paving technology has any impact on texture.

3. Test methodology and results

The answer to the above question was arrived at while performing a broader scope of tests, by which, apart from the existing measurement method regarding texture (profilometric method), an innovative assessment method of anti-skid properties of airfield pavements was applied. What is more, this method enables a dynamic and simultaneous measurement of the friction coefficient and texture depth.

Tests were conducted using a measurement system based on ASFT (Airport Surface Friction Tester) on T-10 trailer, equipped additionally with 2D/3D profile laser scanner with high frequency (taking texture measurement in the wheel track of the friction tester vehicle). Compared to the currently used measurement profilometric method, the suggested measurement method of texture depth enables to take measurement both in the parallel and perpendicular direction to the direction of movement of the friction tester as a part of assessing the anti-skid properties of airfield pavements. This method is not limited by point measurement, i.e. measurement is not only carried out as a function of the length of the measurement section but also as a function of its width (corresponding to the width of contact between the wheel's tyre of the friction tester and the surface). The measuring system for the adopted method of assessing the anti-skid properties includes (Fig.6):

- friction measurement module - friction coefficient measurement;
- texture depth measurement module- measurement of $CMPTD$ (Continuous mean profile depth and texture coefficient).

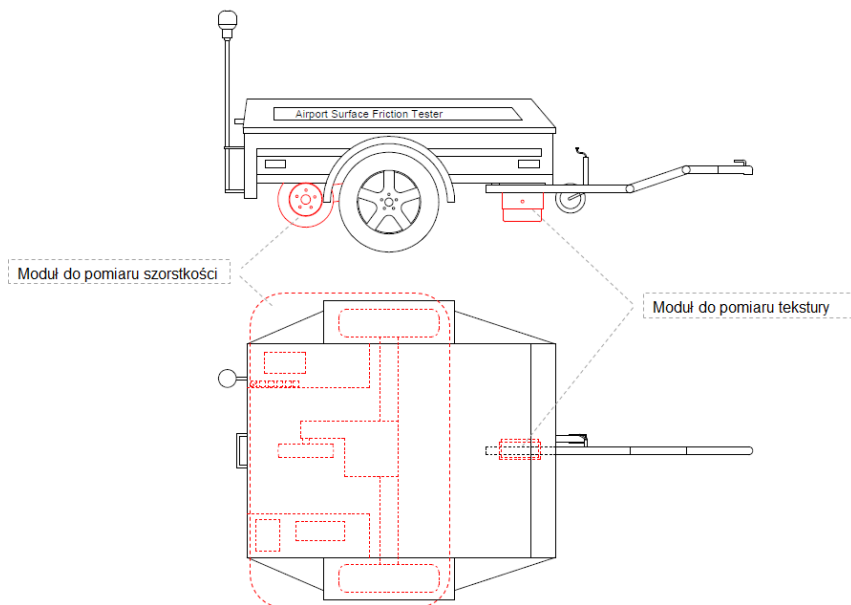


Fig. 6. Diagram of a measuring system for the assessment of the anti-skid properties

The full scope of tests comprised measurement by calculating speeds of 65km/h and 95km/h on cement concrete and asphalt pavements and pavements of all ages (new pavements ‘N’, pavements under operation ‘E’ and pavements planned for maintenance due to minimum, boundary coefficient friction values ‘S’). As a part of the manuscript under consideration, the results obtained during tests performed on new pavements made from cement and asphalt concrete were analyzed by measuring speeds of 65km/h and 95km/h. Pavements for the given age ranges were adopted based on their real operation period (age), for „N” up to 3 years, for „E” from 3 up to 20 years and for „S” above 20 years.

It is apparent from the field tests that for each of the given measuring conditions (e.g. measuring speed 65km/h, asphalt concrete pavement), 6 measuring sections were determined. Each of them was 100m long. The sections for specific measuring conditions were located on one airport functional element (AFL), e.g. taxiway of the selected, tested aircraft. Individual sections were treated as a single sample, but 6 sections for the given measuring conditions: as a population of samples. The measurement of *CMPTD* and μ (developed measuring system) was conducted on a continuous basis across the whole length of the measuring section with the frequency of readout every 0.2 m for *CMPTD* and every 10 m for μ . Due to this, further analysis was made based on 10 m sections for specific measuring sections. Moreover, point profilometric measurements were taken on every measuring section using the ELATextur device (for 20 m, 40 m and 60 m of the measuring section). A diagram of measurements according to the adopted methodology is illustrated in Fig. 7.

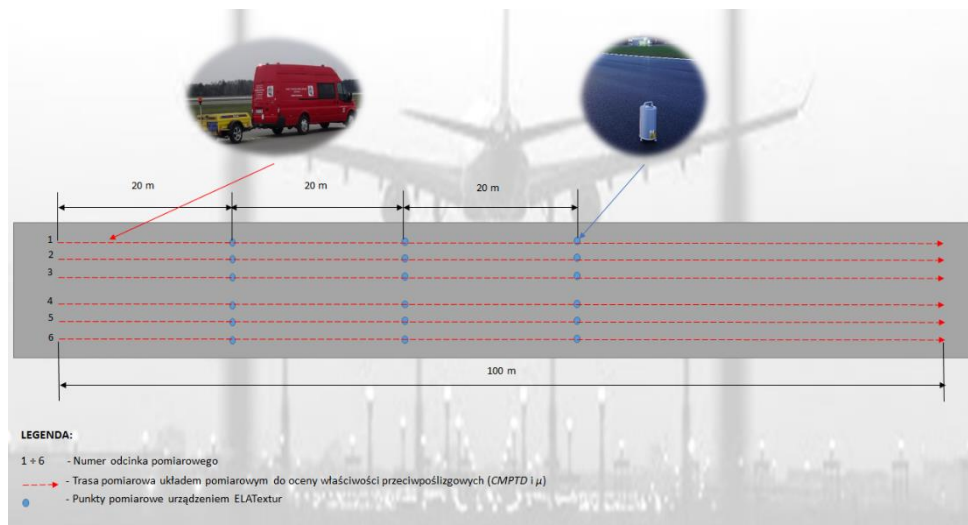


Fig. 7. Field tests measurement diagram

As a result of the field tests, values were measured for coefficients defining the anti-skid properties of airfield pavements. Results from field measurements of *CMPTD*, *MPD* and *ETD* coefficients are shown in Tables 3 - 6.

Table 3

Field test results for asphalt concrete (65 km/h)

Measuring speed [km/h]	Pavement technology	Section (sample)	Measurement values [mm]		
			<i>CMPTD</i>	<i>MPD</i>	<i>ETD</i>
65	Asphalt concrete	1	1.05	0.81	0.85
		2	1.13	0.93	0.94
		3	1.03	1.11	1.09
		4	1.21	1.30	1.28
		5	0.95	1.04	1.03
		6	1.11	0.89	0.91
Mean:			1.08	1.01	1.02
Standard deviation <i>s</i> :			0.08	0.16	0.14

Table 4

Field test results for asphalt concrete (95 km/h)

Measuring speed [km/h]	Pavement technology	Section (sample)	Measurement values [mm]		
			<i>CMPTD</i>	<i>MPD</i>	<i>ETD</i>
95	Asphalt concrete	1	0.27	0.72	0.75
		2	0.26	0.66	0.72
		3	0.26	0.77	0.76
		4	0.32	0.76	0.80
		5	0.25	0.73	0.78
		6	0.28	0.62	0.65
Mean:			0.27	0.71	0.74
Standard deviation <i>s</i> :			0.02	0.05	0.05

Table 5

Field test results for cement concrete (65 km/h)

Measuring speed [km/h]	Pavement technology	Section (sample)	Measurement values [mm]		
			<i>CMPTD</i>	<i>MPD</i>	<i>ETD</i>
65	Cement concrete	1	0.27	0.42	0.54
		2	0.26	0.45	0.56
		3	0.28	0.59	0.67
		4	0.28	0.55	0.64
		5	0.29	0.77	0.82
		6	0.28	0.37	0.50
Mean:			0.28	0.53	0.62
Standard deviation <i>s</i> :			0.01	0.13	0.10

Table 6

Field test results for cement concrete (95 km/h)

Measuring speed [km/h]	Pavement technology	Section (sample)	Measurement values [mm]		
			CMPTD	MPD	ETD
95	Cement concrete	1	0.08	0.28	0.43
		2	0.10	0.26	0.41
		3	0.10	0.25	0.40
		4	0.06	0.24	0.39
		5	0.11	0.23	0.39
		6	0.15	0.24	0.39
Mean:			0.10	0.25	0.40
Standard deviation s:			0.03	0.02	0.01

Additionally, the obtained results were presented also in the visual form.

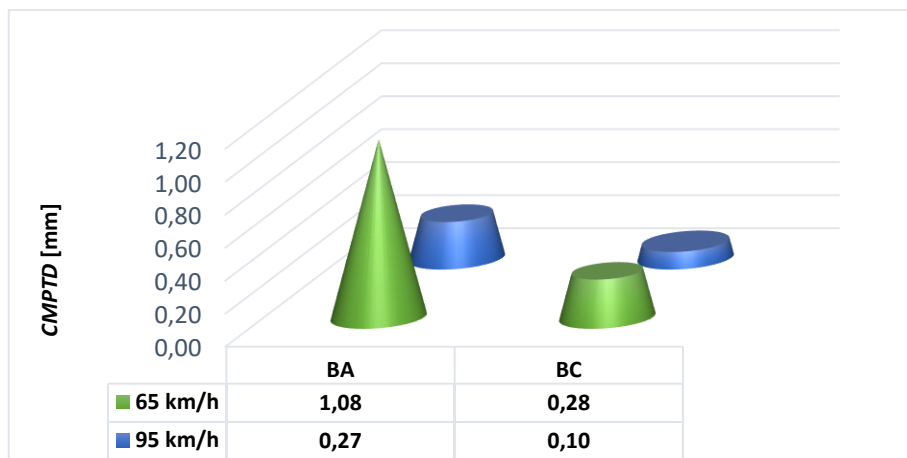


Fig. 8. Visual representation of results – average coefficient values (CMPTD)

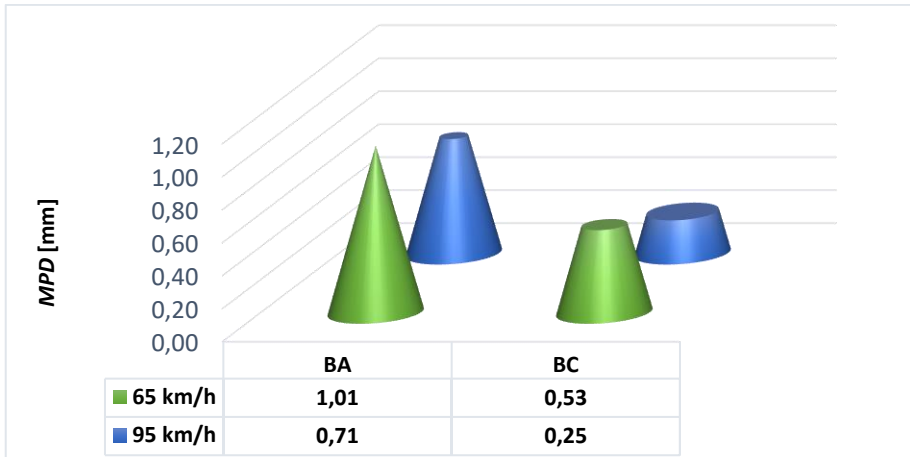


Fig. 9. Visual representation of results – average coefficient values (*MPD*)

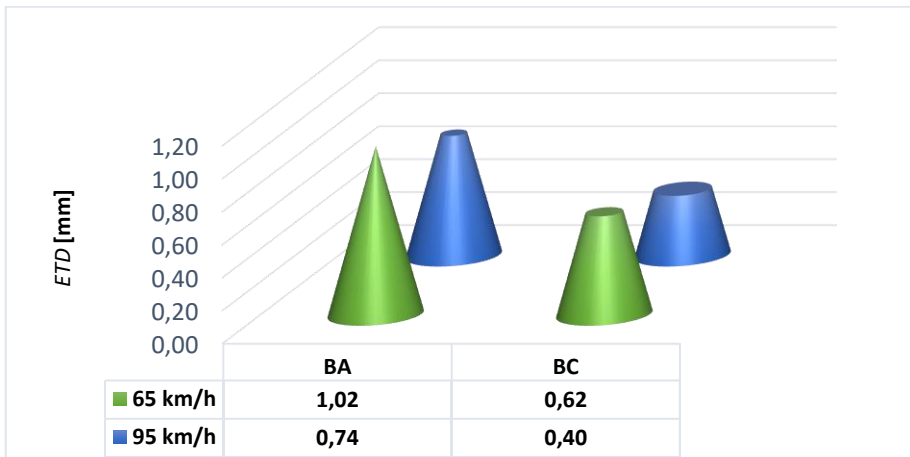


Fig. 10. Visual representation of results – average coefficient values (*ETD*)

The obtained and presented results indicate their dependence on the applied technology of constructing the upper layer of airfield pavement.

4. Summary

The topic addressed by the authors is important for safety of aircraft operations. It aims to ensure good anti-skid properties of airfield pavements, which the given (required) values should define; in this case, it is friction coefficient and texture depth.

The obtained results indicate that by estimating the texture of airfield pavements, it is necessary to distinguish whether the estimation refers to cement concrete or asphalt concrete pavement.

By the same token, they indicate that it is unlikely to achieve the average texture depth MTD (\approx ETD) amounting currently up to 1.00 mm required for new airfield pavements.

The confirmation of this is coefficients of pavement's texture, which were obtained both in the case of using a point measurement method (*MPD* and *ETD*), and the suggested new measurement method. (*CMPTD*). They are respectively higher for asphalt concrete pavement and respectively lower for cement concrete pavements. Therefore, the authors believe that the introduction of separate requirements in this scope in reference to the airfield pavement technology should be considered.

The authors plan further works on the texture of airfield pavements. The effects of conducted tests and analyses in this field will provide a supplement to the existing manuscript [18] [16] [2] [17] [22] and will be an incentive for a more intense discussion with other authors working in this area, whose results were presented in the following articles [5] [9] [10] [21] [11].

5. References

1. Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation (FAA).
2. Blacha K., Wesołowski M.: Skid Resistance Properties of Airfield Pavements in the Light of Applicable Normative Rules. Journal of Konbin, Vol. 49, Iss. 1, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0013.
3. Blacha K., Wesołowski M.: Analiza stanu nośności układu sztywnego konstrukcji nawierzchni lotniskowej według założeń metody ACN-PCN. Technika Transportu Szynowego (12), Radom 2015.
4. Blacha K.: Badanie i ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa lotów. PhD Thesis, Warszawa 2022.
5. Čelko J., Kovac M., Kotek P. Analysis of the Pavement Surface Texture by 3D Scanner, Transportation Research Procedia 14.2994-3003, 2016.
6. Doc. 9137 AN/898 Airport Service Manual Part 2 – Pavement Surface Conditions (ICAO).
7. Doc. 9157 AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways (ICAO).
8. Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014) (EASA).
9. Huang Y., Copenhaver T., Hempel P., Mikhail M.: Development of Texture Measurement System Based on Continuous Pro-files from Three-Dimensional Scanning System, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2367 (2), 2013.
10. Islam S., Hossain M., Miller R.: Evaluation of pavement surface texture at the network level, Nondestructive Testing And Evaluation, tom 34, nr 1, pp. 1-12, 2018.

11. Meegoda J., Gao S.: Evaluation of pavement skid resistance using high speed texture measurement, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2015.
12. NO-17-A200: 2017. Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego – Wymagania i badania.
13. NO-17-A204: 2015. Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu cementowego – Wymagania i metody badań.
14. PN-EN 13036-1: 2010 Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych – Metody badań – Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową.
15. PN-EN ISO 13473-1: 2019 Charakterystyka tekstury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych – Część 1: Określanie średniego profilu głębokości.
16. Wesołowski M., Blacha K.: Estimating the Impact of Texture Depth on the Roughness of Cement Concrete Airfield Pavements. *Journal of Konbin*, Vol. 49, Iss. 2, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0039.
17. Wesołowski M., Blacha K.: Evaluation of airfield pavement micro and macrotexture in the light of skid resistance (friction coefficient) measurements, w *MATEC Web of Conferences* 262:05017, 2019.
18. Wesołowski M., Blacha K., Iwanowski P.: Impact of Airfield Pavement's Operability on Its Anti-skid Properties, w *Research Methods and Solutions to Current Transport Problems*, 2020.
19. Wesołowski M., Blacha K., Włodarski P.: Tekstura nawierzchni lotniskowych w aspekcie skuteczności ich odwadniania. *Przegląd Komunikacyjny* (9-10-11), Warszawa 2021.
20. Załącznik 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, *Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk (ICAO)*.
21. Zhan Q. J. Li, Y., Yang G., Wang K.: Pavement skid resistance as a function of pavement surface and aggregate texture properties, *International Journal of Pavement Engineering*, 2018.
22. Zieja M., Wesołowski M., Blacha K., Iwanowski P.: Analysis of the Anti-Skid Properties of New Airfield Pavements in Aspect of Applicable Requirements. *Coatings (Road Surface Performance: Skid Resistance, Noise, and Rolling Resistance)*, 2021, 11 (7).

TECHNOLOGIA WYKONANIA NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH W ODNIESIENIU DO ISTNIEJĄCYCH WYMAGAŃ W ZAKRESIE TEKSTURY

1. Wprowadzenie

Nawierzchnia lotniskowa to wyznaczona i odpowiednio przygotowana powierzchnia elementu funkcjonalnego lotniska (EFL) spełniającego określoną funkcję w realizacji operacji lotniczych. Bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne na nawierzchniach lotniskowych zależy przede wszystkim od stanu nośności ich konstrukcji, ale także od innych parametrów eksploatacyjnych, takich jak równość oraz właściwości przeciwpoślizgowe. Mówiąc o właściwościach przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowej nie ograniczamy się wyłącznie do współczynnika tarcia określającego stan jej szorstkości. Należy zwrócić uwagę, iż ważnym elementem składowym charakterystyki tarcia powierzchni styku opona/nawierzchnia jest tekstura nawierzchni [4].

Szorstkość nawierzchni wpływa bezpośrednio na przyczepność opony statku powietrznego do nawierzchni, a tekstura dodatkowo na skuteczność dynamicznego odprowadzania wody z nawierzchni. Charakterystyka odwodnienia pola ruchu naziemnego lotnisk, a dokładnie szybkie odprowadzenie wody z nawierzchni stanowi główny czynnik bezpieczeństwa uwzględniany już na etapie projektowania i później podczas budowy oraz utrzymania pola ruchu naziemnego. Odprowadzanie wody z nawierzchni stanowi wymóg podstawowy i służy zmniejszeniu grubości warstwy wody na powierzchni. Właściwe odwodnienie jest zapewniane przede wszystkim poprzez powierzchnie o odpowiednim nachyleniu, zarówno podłużnym, jak i poprzecznym (naturalne odprowadzanie wody). Natomiast dynamiczne odwodnienie uzyskiwane jest poprzez teksturę nawierzchni [19].

Podstawowym rodzajem sztucznych nawierzchni lotniskowych są nawierzchnie sztywne (sprężyste, rys. 1) wykonane z betonu cementowego, ale spotkać można także nawierzchnie wykonane w technologii betonu asfaltowego (podatne, rys. 2) oraz nawierzchnie złożone (sprężysto-podatne, rys. 3) [3].



Rys. 1. Nawierzchnia sztywna z betonu cementowego



Rys. 2. Nawierzchnia podatna z betonu asfaltowego



Rys. 3. Nawierzchnia o konstrukcji mieszanej

W przypadku nawierzchni lotniskowej wykonanej w technologii betonu cementowego, po przejściu zespołu układającego wykonuje się zabieg fakturowania

nawierzchni. Zasadniczym i ostatecznym sposobem kształtowania górnej powierzchni związanej bezpośrednio z jej teksturą zazwyczaj jest zatarcie listwą wyrównawczą zespołu układającego [13].



Rys. 4. Nadawanie faktury na nawierzchni z betonu cementowego

Inaczej wygląda sytuacja w przypadku nawierzchni podatnych. Wbudowywanie warstw konstrukcyjnych lotniskowej nawierzchni z betonu asfaltowego powinno odbywać się z wykorzystaniem specjalistycznych układarek. Następnie ułożona warstwa jest zagęszczana do wymaganego wskaźnika zagęszczenia, z wykorzystaniem ciężkich walców ogumionych i stalowych. W tym przypadku nie wykonuje się zabiegu fakturowania górnej powierzchni nawierzchni, a teksturę uzyskuje się przede wszystkim poprzez uzyskanie wymaganych cech fizycznych i mechanicznych mieszanki mineralno-asfaltowej (między innymi wskaźnik zagęszczenia) oraz uziarnienia kruszywa układanej warstwy [12]. W warunkach szczególnych dopuszcza się nadanie warstwie ścieralnej lotniskowej nawierzchni z betonu asfaltowego odpowiedniej faktury, która poprawia szorstkość oraz ułatwia odprowadzenie wód powierzchniowych. Ewentualne zastosowanie rowkowania wymaga jednak uwzględnienia (już w projekcie) większej grubości przede wszystkim warstwy ścieralnej nawierzchni niż zalecana normowo [12], nieuwzględniająca takiego zabiegu.



Rys. 5. Układanie mieszanki mineralno-asfaltowej (nawierzchnia z betonu asfaltowego)

2. Tekstura nawierzchni lotniskowych – wymagania

W praktyce dąży się do tego, aby nawierzchnie lotniskowe charakteryzowały się dobrymi właściwościami przeciwpoślizgowymi, czyli aby spełniały wymagane wartości (kryteria) określone nie tylko dla współczynnika tarcia, ale także dla głębokości tekstury.

Wymagania dotyczące głębokości tekstury, jakie muszą spełniać nowe nawierzchnie lotniskowe zostały zawarte w dokumentach wydanych przez światowe organizacje lotnicze, takie jak: EASA (European Aviation Safety Authority), ICAO (International Civil Aviation Organization) i FAA (Federal Aviation Administration), które przedstawiono w tabeli 1. Obowiązujące dokumenty lotnicze określają wymagania praktycznie tylko dla nowych nawierzchni lotniskowych i dotyczą one przede wszystkim nawierzchni drogi startowej.

Tabela 1

Wymagania w zakresie głębokości tekstury dla nowych nawierzchni lotniskowych

Dokument	Głębokość tekstury [mm]
Załącznik 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk (ICAO) [20]	≥ 1.00
Doc. 9157 AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways (ICAO) [7]	
Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014) (EASA) [8]	
Doc. 9137 AN/898 Airport Service Manual Part 2 – Pavement Surface Conditions (ICAO) [6]	< 1.00
Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation (FAA) [1]	≥ 1.14

Natomiast do oceny starszych nawierzchni lotniskowych, w chwili obecnej można zastosować jedynie klasyfikację ESDU (Engineering Sciences Data Unit) opracowaną dla drogi startowej w oparciu o informacje dotyczące tekstury, którą przedstawiono w tabeli 2 [8]. Przyjmuje się, że wartość głębokości tekstury równa 0,25 mm powinna zapewnić bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych.

Badanie tekstury nawierzchni lotniskowych obecnie przeprowadzane jest z wykorzystaniem punktowych metod pomiarowych, tj. metodą 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* [14] lub profilometryczną (pomiar średniej

głębokości profilu MPD / d_{MPD}) wg PN-EN ISO 13473-1: 2019 *Charakterystyka tekstury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych. Część 1: Określanie średniego profilu głębokości* [15]. Wartość MPD może być przekształcona w szacowaną głębokość tekstury ETD , do tego celu służy równanie transformacji $ETD = 0.2 + 0.8 MPD$.

Tabela 2

Wymagania w zakresie głębokości tekstury dla eksploatowanych nawierzchni lotniskowych [8]

Klasyfikacja drogi startowej	Głębokość tekstury [mm]
A	0.10 – 0.14
B	0.15 – 0.24
C	0.25 – 0.50
D	0.51 – 1.00
E	1.01 – 2.54

Niestety obowiązujące dokumenty odniesienia dotyczące tematyki tekstury nawierzchni lotniskowych w praktyce budzą wiele wątpliwości. Nasuwa się pytanie, jaką przyjąć wymaganą wartość minimalną dla nowych nawierzchni – 1,0 mm czy 1,14 mm, ale też jak traktować zapis dopuszczający wartość poniżej 1,0 mm? Czy technologia wykonania nawierzchni ma wpływ na teksturę?

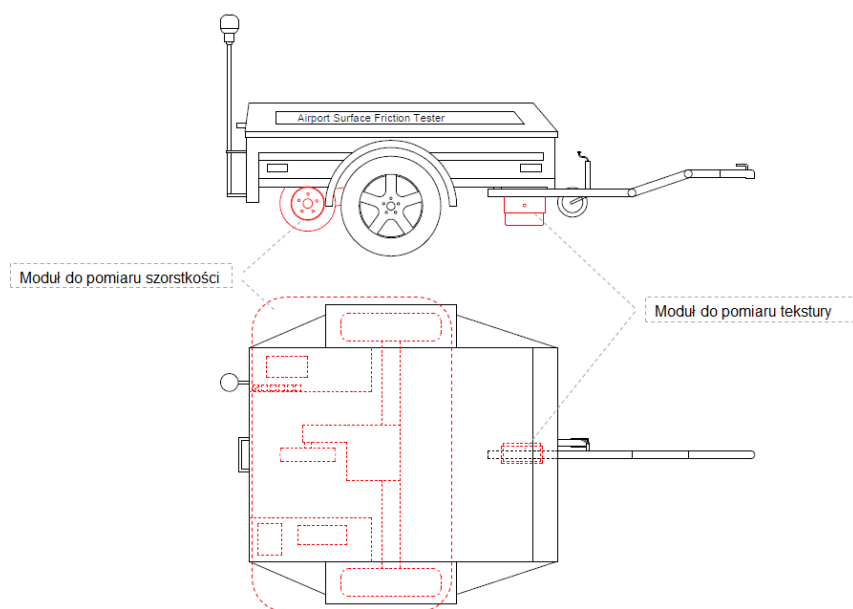
3. Metodyka badań i wyniki

Odpowiedzi na przedstawione pytania uzyskano podczas realizacji szerszego zakresu badań, przy których poza istniejącą metodą pomiarową w zakresie tekstury (profilometryczną) wykorzystano nowatorską metodę do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych, która umożliwia ciągły, dynamiczny i równoczesny pomiar współczynnika tarcia oraz głębokości tekstury.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem układu pomiarowego zbudowanego na bazie testera tarcia nawierzchni lotniskowych ASFT (Airport Surface Friction Tester) na przyczepie T-10, wyposażonego dodatkowo w skaner laserowy profilu 2D/3D o wysokiej częstotliwości (dokonujący pomiaru tekstury w śladzie koła pomiarowego testera tarcia). W odróżnieniu od obecnie stosowanej metody pomiarowej (profilometrycznej), proponowana metoda pomiaru głębokości tekstury w ramach oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych umożliwia dokonanie

pomiaru zarówno w kierunku równoległym, jak i prostopadłym do kierunku poruszania się testera tarcia. Metoda ta nie jest ograniczana pomiarem punktowym, tzn. pomiar nie odbywa się tylko w funkcji długości odcinka pomiarowego, ale także w funkcji jego szerokości (odpowiadającej szerokości styku opony koła pomiarowego testera tarcia z nawierzchnią). Układ pomiarowy do przyjętej metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych obejmuje (rys. 6):

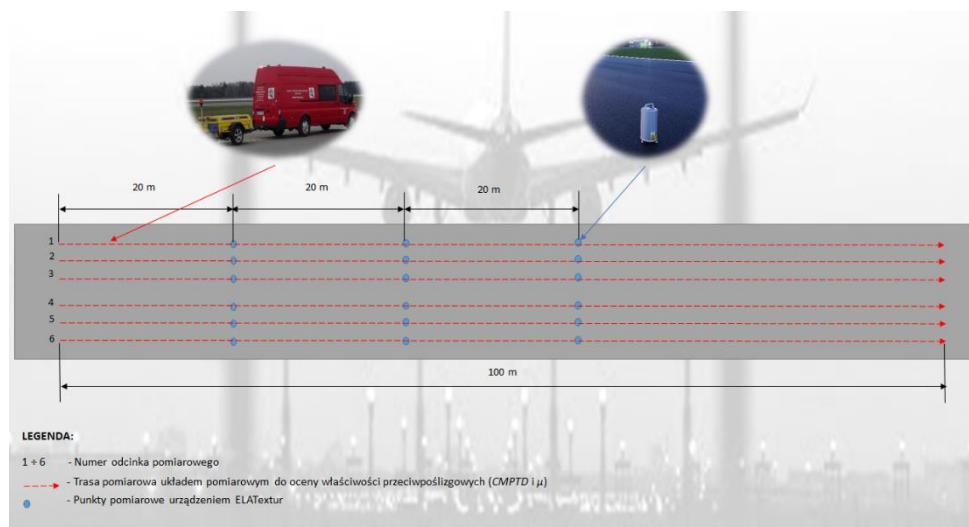
- moduł do oceny szorstkości – pomiar współczynnika tarcia;
- moduł do oceny głębokości tekstury – pomiar nowego współczynnika *CMPTD* (Continuous mean profile depth and texture coefficient / współczynnik ciągłej średniej głębokości profilu i tekstury).



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego do oceny właściwości przeciwpoślizgowych

Pełny zakres badań obejmował pomiary przy prędkościach pomiarowych 65 km/h i 95 km/h na nawierzchniach wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego oraz będących w każdym przedziale wiekowym (nawierzchnie nowe „N”, nawierzchnie będące w eksploatacji „E” i nawierzchnie planowane do remontu z powodu minimalnych, granicznych wartości współczynnika tarcia „S”). Natomiast w ramach przedmiotowego opracowania analizowano wyniki uzyskane podczas badań przeprowadzonych na nawierzchniach nowych wykonanych w technologii betonu cementowego i betonu asfaltowego, przy prędkościach pomiarowych 65 km/h i 95 km/h. Nawierzchnie do poszczególnych przedziałów wiekowych zaklasyfikowano na podstawie ich faktycznego okresu eksploatacji (wieku), tj.: dla „N” do 3 lat, dla „E” od 3 lat do 20 lat i dla „S” powyżej 20 lat.

Zgodnie z przyjętym planem badań terenowych, dla wszystkich określonych warunków pomiarowych (np. prędkość pomiarowa 65 km/h, nawierzchnia wykonana w technologii betonu asfaltowego) wyznaczono sześć odcinków pomiarowych, każdy o długości 100 m. Odcinki dla konkretnych warunków pomiarowych zlokalizowane były na jednym elemencie funkcjonalnym lotniska, np. droga kołowania wytypowanego obiektu testowego. Poszczególne odcinki traktowane były jako pojedyncza próbka, natomiast sześć odcinków dla danych warunków pomiarowych jako populacja próbek. Pomiar współczynników $CMPTD$ i μ (zbudowany układ pomiarowy) odbywał się w sposób ciągły na całej długości odcinka pomiarowego, z częstotliwością odczytu co 0,2 m dla $CMPTD$ oraz 10 m dla μ . W związku z tym, do dalszych analiz przyjęto wyniki z odcinków 10 m dla poszczególnych odcinków pomiarowych. Ponadto, na każdym odcinku wykonano także pomiary punktowe metodą profilometryczną, urządzeniem ELATextur (na 20 m, 40 m i 60 m odcinka pomiarowego). Schemat pomiarów wg przyjętej metodyki zaprezentowano na rys. 7.



Rys. 7. Schemat pomiarów podczas badań terenowych

W wyniku przeprowadzonych pomiarów terenowych zmierzono wartości dla współczynników określających właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych. Wyniki pomiarów terenowych współczynników $CMPTD$ oraz MPD i ETD przedstawiono w tab. 3–6.

Tabela 3

Wyniki pomiarów terenowych dla betonu asfaltowego (65 km/h)

Prędkość pomiarowa [km/h]	Technologia wykonania nawierzchni	Odcinek (próbka)	Współczynnik		
			CMPTD [mm]	MPD [mm]	ETD [mm]
65	Beton asfaltowy	1	1.05	0.81	0.85
		2	1.13	0.93	0.94
		3	1.03	1.11	1.09
		4	1.21	1.30	1.28
		5	0.95	1.04	1.03
		6	1.11	0.89	0.91
Średnia:			1.08	1.01	1.02
Odchylenie standardowe s:			0.08	0.16	0.14

Tabela 4

Wyniki pomiarów terenowych dla betonu asfaltowego (95 km/h)

Prędkość pomiarowa [km/h]	Technologia wykonania nawierzchni	Odcinek (próbka)	Współczynnik		
			CMPTD [mm]	CMPTD [mm]	CMPTD [mm]
95	Beton asfaltowy	1	0.27	0.72	0.75
		2	0.26	0.66	0.72
		3	0.26	0.77	0.76
		4	0.32	0.76	0.80
		5	0.25	0.73	0.78
		6	0.28	0.62	0.65
Średnia:			0.27	0.71	0.74
Odchylenie standardowe s:			0.02	0.05	0.05

Tabela 5

Wyniki pomiarów terenowych dla betonu cementowego (65 km/h)

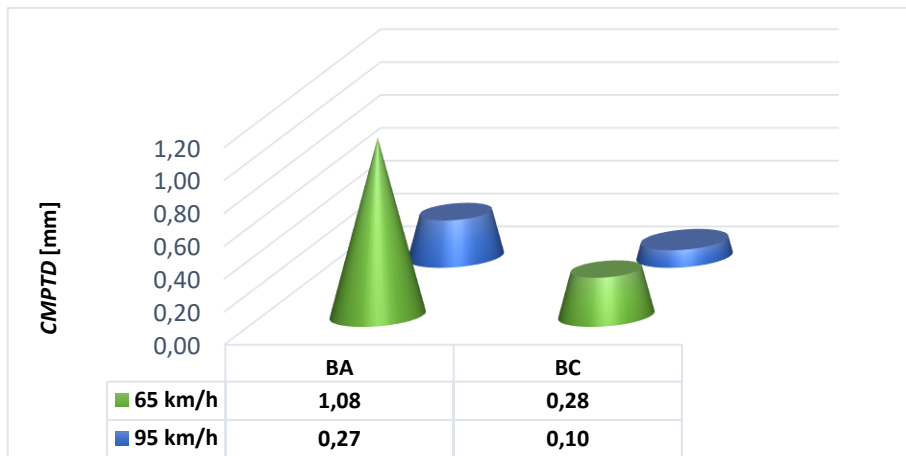
Prędkość pomiarowa [km/h]	Technologia wykonania nawierzchni	Odcinek (próbka)	Współczynnik		
			CMPTD [mm]	CMPTD [mm]	CMPTD [mm]
65	Beton cementowy	1	0.27	0.42	0.54
		2	0.26	0.45	0.56
		3	0.28	0.59	0.67
		4	0.28	0.55	0.64
		5	0.29	0.77	0.82
		6	0.28	0.37	0.50
Średnia:			0.28	0.53	0.62
Odchylenie standardowe s:			0.01	0.13	0.10

Tabela 6

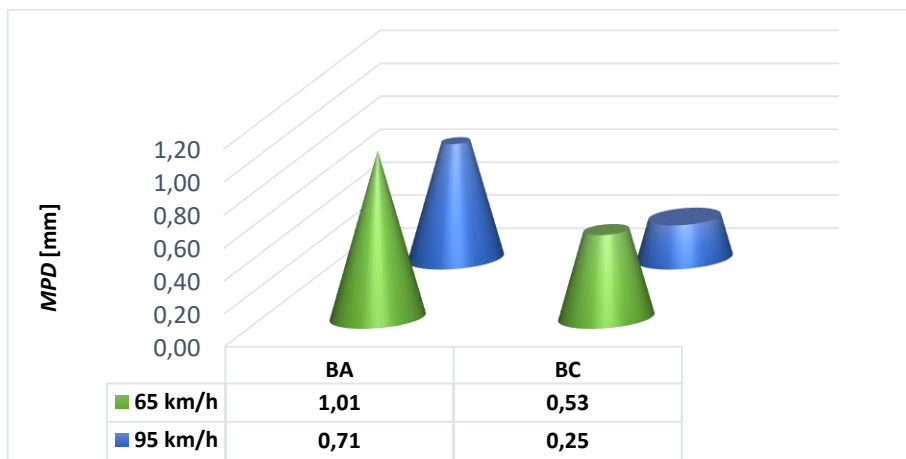
Wyniki pomiarów terenowych dla betonu cementowego (95 km/h)

Prędkość pomiarowa [km/h]	Technologia wykonania nawierzchni	Odcinek (próbka)	Współczynnik		
			CMPTD [mm]	CMPTD [mm]	CMPTD [mm]
95	Beton cementowy	1	0.08	0.28	0.43
		2	0.10	0.26	0.41
		3	0.10	0.25	0.40
		4	0.06	0.24	0.39
		5	0.11	0.23	0.39
		6	0.15	0.24	0.39
Średnia:			0.10	0.25	0.40
Odchylenie standardowe s:			0.03	0.02	0.01

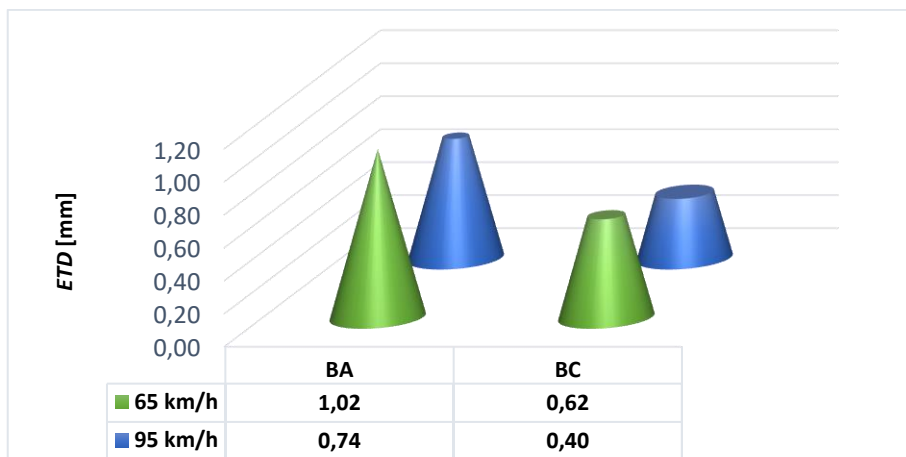
Dodatkowo, dla lepszego zobrazowania uzyskane wyniki przedstawiono także w postaci graficznej.



Rys. 8. Graficzna prezentacja wyników - wartości średnie współczynnika *CMPD*



Rys. 9. Graficzna prezentacja wyników - wartości średnie współczynnika *MPD*



Rys. 10. Graficzna prezentacja wyników - wartości średnie współczynnika *ETD*

Uzyskane i przedstawione wyniki jednoznacznie wskazują na ich zależność od zastosowanej technologii wykonania górnej warstwy nawierzchni lotniskowej.

4. Podsumowanie

Poruszony przez autorów temat jest niezwykle istotny z praktycznego punktu widzenia, przede wszystkim w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Cały czas 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.

Wyniki uzyskane podczas realizacji badań jednoznacznie wskazują, iż przy ocenie nawierzchni lotniskowych w zakresie jej tekstury należy rozgraniczyć to, czy ocena dotyczy nawierzchni wykonanej w technologii betonu cementowego, czy też betonu asfaltowego. Jednocześnie wskazują, iż osiągnięcie wymaganej dla nowych nawierzchni lotniskowych wartości średniej głębokości tekstury *MTD* (\approx *ETD*) wynoszącej aktualnie 1,00 mm w praktyce jest mało prawdopodobne.

Potwierdzeniem tego są wartości współczynników charakteryzujących teksturę nawierzchni, jakie otrzymano zarówno w przypadku oceny nawierzchni punktową metodą pomiarową (*MPD* i *ETD*), jak również zaproponowaną nową metodą pomiarową (*CMPTD*). Są one odpowiednio wyższe dla nawierzchni wykonanej w technologii betonu asfaltowego, a dla nawierzchni wykonanej w technologii betonu cementowego odpowiednio niższe. Dlatego też, zdaniem autorów, należałoby wziąć pod rozwagę wprowadzenie oddzielnych wymagań w tym zakresie w odniesieniu do technologii wykonania nawierzchni lotniskowej.

Autorzy planują dalsze prace związane z teksturą nawierzchni lotniskowych. Efekty prowadzonych badań i analiz w tym zakresie uzupełnią dotychczasowy zbiór prac [2, 16, 17, 18, 22] oraz będą stanowić podstawę do szerszej dyskusji z innymi autorami zajmującymi się tą tematyką, których wyniki badań przedstawiają prace [5, 9, 10, 11, 21].

5. Literatura

1. Advisory Circular no: 150/5320-12C, U.S. Department of Transportation (FAA).
2. Blacha K., Wesołowski M.: Skid Resistance Properties of Airfield Pavements in the Light of Applicable Normative Rules, *Journal of Konbin*, Vol. 49, Iss. 1, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0013.
3. Blacha K., Wesołowski M.: Analiza stanu nośności układu sztywnego konstrukcji nawierzchni lotniskowej według założeń metody ACN-PCN. *Technika Transportu Szybowego* (12), Radom 2015.
4. Blacha K.: Badanie i ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa lotów. *Rozprawa doktorska*, Warszawa 2022.
5. Čelko J., Kovac M., Kotek P.: Analysis of the Pavement Surface Texture by 3D Scanner, *Transportation Research Procedia* 14.2994-3003, 2016.
6. Doc. 9137 AN/898 Airport Service Manual Part 2 – Pavement Surface Conditions (ICAO).
7. Doc. 9157 AN/901 Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways (ICAO).
8. Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014) (EASA).
9. Huang Y., 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*. 2367 (2), 2013.
10. Islam S., Hossain M., Miller R.: Evaluation of pavement surface texture at the network level, *Nondestructive Testing And Evaluation*, tom 34, nr 1, pp. 1-12, 2018.
11. Meegoda J., Gao S. Evaluation of pavement skid resistance using high speed texture measurement, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2015.
12. NO-17-A200: 2017. Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego – Wymagania i badania.
13. NO-17-A204: 2015. Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu cementowego – Wymagania i metody badań.
14. PN-EN 13036-1: 2010 Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych – Metody badań – Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową.
15. PN-EN ISO 13473-1: 2019 Charakterystyka tekstury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych – Część 1: Określanie średniego profilu głębokości.

16. Wesołowski M., Blacha K.: Estimating the Impact of Texture Depth on the Roughness of Cement Concrete Airfield Pavements, *Journal of Konbin*, Vol. 49, Iss. 2, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0039.
17. Wesołowski M., Blacha K.: Evaluation of airfield pavement micro and macrotexture in the light of skid resistance (friction coefficient) measurements, w *MATEC Web of Conferences* 262:05017, 2019.
18. Wesołowski M., Blacha K., Iwanowski P.: Impact of Airfield Pavement's Operability on Its Anti-skid Properties, w *Research Methods and Solutions to Current Transport Problems*, 2020.
19. Wesołowski M., Blacha K., Włodarski P.: Tekstura nawierzchni lotniskowych w aspekcie skuteczności ich odwadniania. *Przegląd Komunikacyjny* (9-10-11), Warszawa 2021.
20. Załącznik 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, *Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk (ICAO)*.
21. Zhan Q. J. Li, Y., Yang G., Wang K.: Pavement skid resistance as a function of pavement surface and aggregate texture properties, *International Journal of Pavement Engineering*, 2018.
22. Zieja M., Wesołowski M., Blacha K., Iwanowski P.: Analysis of the Anti-Skid Properties of New Airfield Pavements in Aspect of Applicable Requirements. *Coatings (Road Surface Performance: Skid Resistance, Noise, and Rolling Resistance)*, 2021, 11 (7).