

WPŁYW STANU RÓWNOŚCI NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH NA BEZPIECZEŃSTWO WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzującą każdą nawierzchnię lotniskową jest jej równość. Stan równości decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni lotniskowej, lecz również wpływa na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię i tym samym na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych.

Ponadto, zmieniający się stan równości w wyniku obciążeń dynamicznych, złych warunków atmosferycznych czy nieodpowiedniej technologii budowy nawierzchni lotniskowych prowadzi do powstania odchyleń od pożądanego stanu w postaci nierówności podłużnych i poprzecznych.

W artykule przedstawiono również: dokumenty normatywne, kryteria i metodyki oceny stanu równości oraz sposób przedstawiania wyników badań. Omówiono także możliwe zagrożenia eksploatacyjne wraz z przedstawianiem przykładowych uszkodzeń zagrażających bezpiecznemu wykonywaniu operacji lotniczych oraz działania realizowane dla poprawy warunków bezpieczeństwa.

WSTĘP

Lotnictwo jest bardzo dynamicznie i pręźnie rozwijającym się środkiem transportu. Zwiększająca się masa startowa statków powietrznych oraz rozwój ich konstrukcji prowadzi do coraz to bardziej rygorystycznej oceny stanu techniczno-eksploatacyjnego, nowobudowanych oraz będących w użytkowaniu nawierzchni lotniskowych. Aby spełnić wymagania stawiane nawierzchniom lotniskowym i utrzymać je w ciągłej sprawności techniczno-eksploatacyjnej, co jest niezwykle istotne w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, wymagane jest prowadzenie ciągłego monitorowania ich stanu technicznego.

Jedną z głównych cech eksploatacyjnych, charakteryzującą każdą nawierzchnię, lotniskową jest jej równość, która w wyniku obciążeń dynamicznych, złych warunków atmosferycznych czy nieodpowiedniej technologii budowy może prowadzić do odchyleń od pożądanego stanu w postaci nierówności podłużnych i poprzecznych. Równość nawierzchni decyduje o komforcie jazdy, o braku występowania zastoisk wody na nawierzchni, która jest bardzo niepożądana, ponieważ jej obecność może przejawiać się w okresie letnim zjawiskiem aquaplaningu (utrata przyczepności opony podczas jazdy po nawierzchni pokrytej wodą, spowodowana tworzeniem się warstwy wody między oponą a jezdnią), zaś w okresie zimowym przy stosowaniu środków odladzających poślizgiem samolotu wskutek utraty przyczepności. Powstałe nierówności nawierzchni wpływają również niekorzystnie na opory toczenia oraz na przyspieszoną degradację nawierzchni, a tym samym na pogorszenie warunków bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji lotniczych. W rezultacie czego, Zarządzający lotniskiem musi podjąć decyzję o przeprowadzeniu remontu nawierzchni poprawiającego jej stan.

1. DOKUMENTY NORMATYWNE

Wymagania stawiane nawierzchniom lotniskowym zarówno na obiektach cywilnych, jak i wojskowych są znacznie wyższe niż kryteria stosowane dla nawierzchni drogowych. W związku z powyższym, niewskazane jest stosowanie wymagań i kryteriów drogowych do oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych.

Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ang. International Civil Aviation Organization, ICAO), która została powołana w 1944 r. na mocy Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym w Chicago, zawiera 19 załączników regulujących bezpieczeństwo ruchu lotniczego i ekonomię transportu lotniczego. W załączniku 14 - Lotniska, Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, zawarte są informacje dotyczące stanu równości nawierzchni najważniejszego elementu funkcjonalnego lotniska, jakim jest droga startowa. Niniejszy załącznik podaje, że górna warstwa nawierzchni lotniskowej, z wyjątkiem grzbietu nawierzchni w przypadku przekroju daszkowego lub w przypadku kanałów ściekowych, powinna być na tyle równa, aby odstęp między dolną krawędzią łąty o długości 3 m, a powierzchnią nawierzchni nie był większy niż 3 mm na całej długości łąty. Ponadto, Załącznik 14 podaje, że odosobnione nierówności 2,5 cm do 3,0 cm, w odległości 45 m są tolerowane. W tablicy 1 przedstawione zostały nierówności nawierzchni, które według ICAO podzielone są na dwie kategorie: maksymalną i czasowo akceptowalną wysokość nierówności nawierzchni względem minimalnej długości nierówności.

Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego w Załączniku 14 nie podaje szczegółowo metodyki przeprowadzenia oceny stanu równości na poszczególnych elementach funkcjonalnych lotniska (EFL), kryteriów oceny stanu równości, ani sposobu przedstawie-

Tab. 1. Nierówność nawierzchni według ICAO

Nierówność nawierzchni	Minimalna- akceptowalna długość nierówności [m]								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Maksymalna wysokość (lub głębokość) nierówności nawierzchni [cm]	3,0	3,5	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	8,0	10,0
Czasowa akceptowalna wysokość (lub głębokość) nierówności nawierzchni [cm]	3,5	5,5	6,5	7,5	8,0	9,0	11,0	13,0	15,0

nia otrzymanych wyników. Wszystkie te informacje są ważne dla Zarządzającego nawierzchniami lotniskowymi. W związku z powyższym, Zakład Lotniskowy Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) korzystając ze swojego doświadczenia zdobytego na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, podczas prowadzenia prac na wojskowych i cywilnych obiektach lotniskowych, opracował dokumenty normatywne w postaci norm obronnych. Zawierają one szczegółowe informacje dotyczące metodyki przeprowadzania pomiarów na poszczególnych EFL, kryteria oceny stanu równości nowobudowanych oraz będących w eksploatacji nawierzchni lotniskowych (wykonanej z betonu asfaltowego lub z betonu cementowego) oraz sposoby przedstawiania otrzymanych wyników. Wszystkie te informacje zawarte są w niżej wymienionych normach obronnych:

- NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badania równości,
- NO-17-A204:2015 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego,
- NO-17-A200:2006 Nawierzchnie lotniskowe z betonu asfaltowego. Wymagania i badania.

Na podstawie wyżej wymienionych dokumentów możliwa jest kompleksowa analiza oraz ocena stanu równości nowobudowanych oraz będących w eksploatacji nawierzchni lotniskowych zarówno na obiektach wojskowych jak i cywilnych.

2. APARATURA POMIAROWA

Pomiar stanu równości nawierzchni lotniskowej według NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe Badanie równości, należy wykonywać przy pomocy planografu o długości 4 m lub 3 m, umożliwiającego rejestrację nierówności. W przypadku, gdy wymiary geometryczne ocenianego EFL uniemożliwiają wykonanie pomiaru przy pomocy planografu, dopuszcza się pomiar z wykorzystaniem łaty o długości 4 m lub 3 m.

2.1. Pomiar przy pomocy łaty

Łata powinna być wykonana z metalu lub drewna. Wskazane jest jednak stosowanie łat z kształtowników wykonanych ze stopów aluminium. Płaszczyzna dolna (pomiarowa) skierowana do nawierzchni powinna być gładka i równa. Długość łaty 3 m powinna być wykonana z tolerancją ± 3 mm, a łaty o długości 4 m z tolerancją ± 4 mm. Łata powinna mieć taką sztywność, aby jej ugięcie w środku, przy podparciu na końcach, nie przekraczało 0,5 mm [1]. Łatę pomiarową o długości 3 m przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Łata pomiarowa o długości 3 m

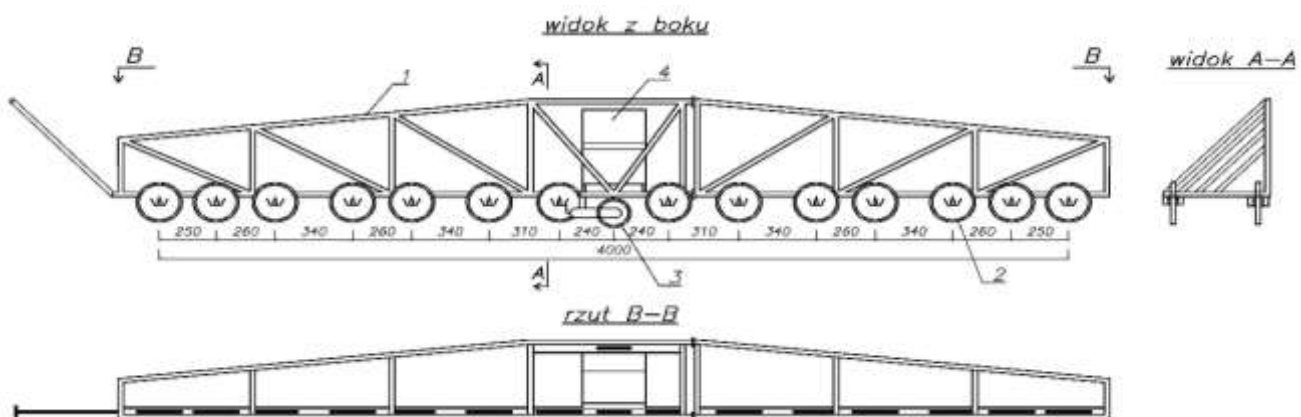
Łata pomiarowa o długości 4 m jest identyczna, jak łata 3 m.

2.2. Pomiar przy pomocy planografu

Planograf stosowany do pomiaru stanu równości nawierzchni lotniskowej rejestruje wychylenie ruchomego kółka pomiarowego względem trzymetrowej lub czterometrowej bazy, przemieszczającej się po nawierzchni na 14 lub 10 kółkach jezdnych. Konstrukcja planografu powinna zapewnić odpowiednią sztywność, która jest określana poprzez jego ugięcie w części środkowej przy podparciu tylko na skrajnych kółkach. Ugięcie konstrukcji planografu nie powinno być większe niż 0,3 mm. Osie skrajnych kółek w planografie o długości 4 m powinny być umieszczone w odległości $(4\ 000 \pm 70)$ mm, w planografie o długości 3 m – $(3\ 000 \pm 50)$ mm, rozstawy pozostałych kółek powinny mieć tolerancję ± 5 mm. Średnica kółek jezdnych powinna wynosić (200 ± 10) mm, średnica kółka pomiarowego – (159 ± 5) mm [1].

Ogólny schemat planografu o długości 4 m przedstawiono na rysunku 2. Schemat planografu o długości 3 m jest identyczna, jak planografu 4 m.

Planograf stosowany do pomiaru stanu równości nawierzchni lotniskowej, jest zmodernizowanym urządzeniem produkcji polskiej. Przeprowadzona modernizacja, polegała na dodaniu zespołu rejestrującego nierówności nawierzchni, czujnika nierówności, czujnika przyrostu drogi, szeregowego interfejsu i komputera do analizy. W



Objaśnienia:

- rama wózka, 2 – kółko jezdne, 3 – kółko pomiarowe, 4 – stolik pomiarowy (zestaw rejestrujący i przesyłający wyniki do komputera)

Rys. 2. Schemat planografu o długości 4 m [1]

ostatnim czasie, w celu zwiększenia precyzji pomiaru przeprowadzona została kolejna modernizacja polegająca na zmianie kółek jezdnych, dodaniu nowego transformatorowego przetwornika przemieszczeń liniowych serii PSz150 oraz nowego interfejsu i oprogramowania opracowanego w ITWL.



Rys. 2. Planograf P-3Z po modernizacji

Zestaw ten pozwala na pomiar występujących nierówności nawierzchni w funkcji przyrostu długości drogi z dokładnością wynoszącą 0,3 mm i częstotliwością, co 10 cm.

3. KRYTERIA OCENY STANU RÓWNOŚCI NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH

Równość nawierzchni lotniskowej zgodnie z normą NO-17-A502:2015, powinna być wyrażona poprzez stopień wadliwości W . Termin ten rozumiany jest jako procentowy udział liczb odcinków trasy o długości 5 m, gdzie wystąpiło, co najmniej jedno przekroczenie dopuszczalnej wartości pomiędzy teoretyczną linią łączącą, utworzoną przez punkty kontaktu kółek jezdnych planografu, a górną powierzchnią nawierzchni.

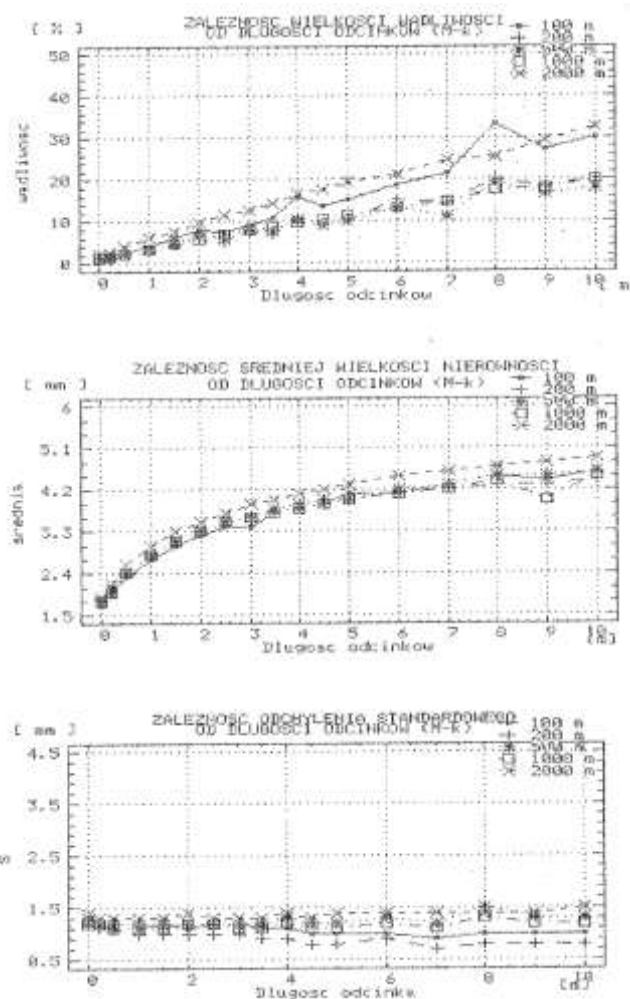
Przyjęta do analizy długość odcinków 5 m oraz opracowane kryteria nie są przypadkowe. W [2] autor określił wpływ długości trasy pomiarowej i zmienności długości modułu na oceniane parametry takie, jak: średnia wielkość nierówności, odchylenie standardowe czy wadliwość. Do określenia ich wpływu przeprowadzona została analiza, w której przyjęto trasy pomiarowe o długości:

- 100 m,
- 200 m,
- 500 m,
- 1000 m,
- 2000 m,

oraz długości modułów :

- 0,1 m,
- 0,2 m,
- 0,5 m,
- 1,0 m,
- do 10,0 m z krokiem zwiększającym co 1,0 m.

Wynik przykładowej analiz przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Zależności długości trasy pomiarowej i modułu [2]

Na podstawie przeprowadzonych analiz przyjęto podział trasy pomiarowej na odcinki o module 5m. Przyjęta długość 5m odpowiada długości płyty nawierzchniowej najczęściej stosowanej na lotniskach. W związku z tym, do oceny brany jest zbiór określonej liczby odczytów, co czyni sam pomiar i późniejszą analizę bardziej dokładną.

Badany EFL dzielony jest na obszary badawcze o długości 100 m (1 hektometr). W wyniku tego podziału uzyskuje się obszary nawierzchni, którym można przyporządkować pewną ocenę. Obiekt pod względem równości ocenia się analizując średnią wartość wadliwości W , którą wyznacza się z zależności:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

gdzie:

$l < n$ – liczba badanych obszarów,

w – wadliwość dla i -tego obszaru lub strefy [%],

F_i – powierzchnia lub strefa i -tego obszaru badawczego [m].

Ocenę stanu równości nawierzchni lotniskowej według kryterium wadliwości określa się stosując pięciostopniową skalę przedstawioną w tablicy 2.

Tab. 2. Kryteria oceny stanu równości nawierzchni lotniskowych

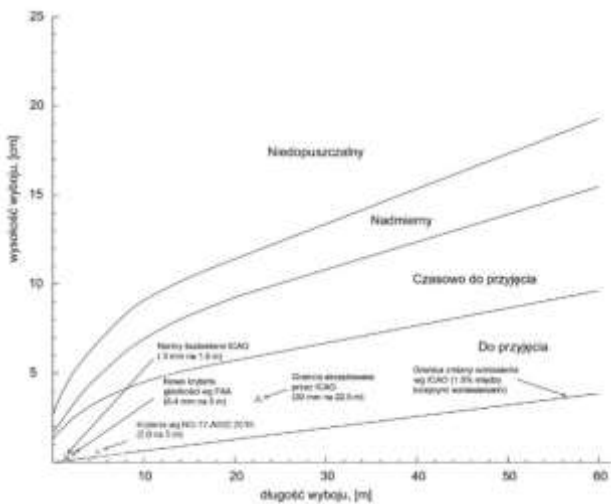
Stan równości według oceny wadliwości	Długość planografu	
	4 m	3 m
Bardzo dobry	$W \leq 5\%$	
Dobry	$5\% < W \leq 10\%$	
Dostateczny	$10\% < W \leq 20\%$	
Niezadowolający	$20\% < W \leq 50\%$	
Niedostateczny	$W > 50\%$	

Wynik badania uznaje się za pozytywny, jeżeli liczba odcinków 5 m trasy pomiarowej przekraczająca dopuszczalne nierówności jest mniejsza niż 20% dla nawierzchni nowobudowanych lub po remoncie oraz mniejsza od 50% dla nawierzchni eksploatowanych.

Zgodnie z normą NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe Badanie równości, dopuszczalne nierówności dla nawierzchni nowobudowanych oraz maksymalne wartości nierówności dla nawierzchni eksploatowanych przedstawiono w tabelicy 3.

Tab. 3. Maksymalne i dopuszczalne nierówności nawierzchni lotniskowych

Rodzaj urządzenia	Maksymalne nierówności	Dopuszczalne nierówności
	[mm]	[mm]
Planograf lub lata 4 m	12	5
Planograf lub lata 3 m	9	3



Rys. 4. Porównanie kryteriów nierówności

Na rysunku 4 w sposób graficzny zostały przedstawione kryteria oceny stanu nierówności według ICAO, Federal Aviation Administration (FAA) i NO-17-A502:2015.



Rys. 5. Próg na połączeniu płyt betonowych

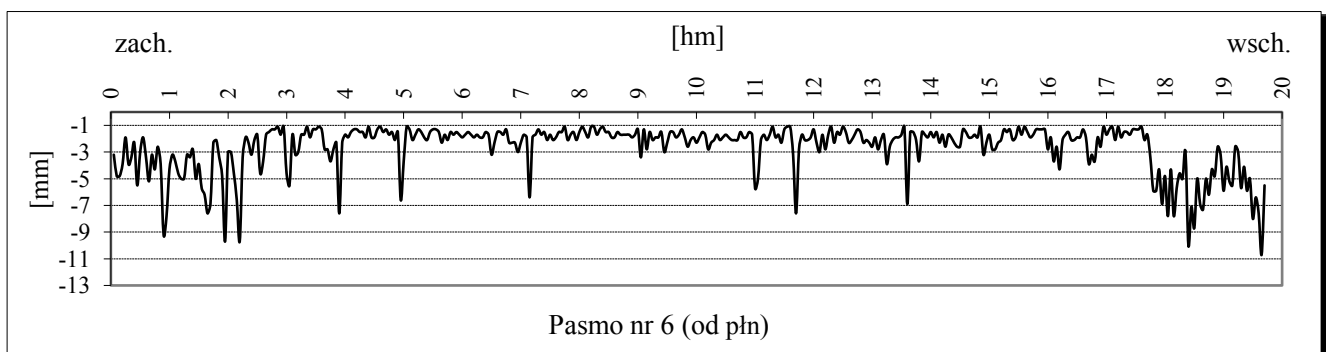


Rys. 6. Pęcherz na betonie asfaltowym



Rys. 7. Zastoisko wodne na nawierzchni betonowej

Bardzo ważnym i istotnym zadaniem na obiektach nowobudowanych oraz remontowanych EFL, przed oddaniem ich do eksploatacji jest określenie stanu początkowego (wyjściowego) równości nawierzchni. Pomiar stanu równości umożliwia śledzenie zachodzących zmian podczas eksploatacji nawierzchni, a ich systematyczne wykonywanie umożliwi Zarządzającemu lotniskiem prognozowanie



Rys. 8. Profil nierówności podłużnych

tempa zachodzących zmian, wyznaczanie obszarów niejednorodnych oraz planowanie środków na przyszłe prace remontowe pozwalające utrzymać nawierzchnie lotniskowe w ciągłej eksploatacji.

Jednak nie na wszystkich obiektach lotniskowych prowadzona jest systematyczna kontrola stanu równości nawierzchni. Przyczynia się to do powstania większych uszkodzeń, o których Zarządzający lotniskiem nie zawsze zdaje sobie sprawę, co w rezultacie prowadzi do poniesienia większych kosztów prac remontowych. Na rysunkach 5-7 przedstawiono przykładowe uszkodzenia występujące na nawierzchniach lotniskowych.

Przetawione uszkodzenia nie zwiększają jedynie kosztów remontu nawierzchni, ale przede wszystkim wpływają znacząco na pogorszenie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych.

4. PRZEDSTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Zgodnie z normą obroną NO-17-A502:2015 sposób przedstawiania wyników stanu równości nawierzchni uzależniony jest od okresu eksploatacji nawierzchni oraz ocenianego EFL. Każdy z EFL pełni inną funkcję podczas wykonywania operacji lotniczych, w związku z czym, prowadzenie oceny stanu równości oraz zakres badań uzależniony jest od tego czy pomiary wykonywane są na drogach startowych, drogach kołowania czy płytach postojowych. Pomiary na wymienionych EFL wykonuje się w kierunku podłużnym i poprzecznym (pomiary poprzeczne na drogach kołowania o szerokości do 25 m nie są wymagane chyba, że stwierdza się występowanie zastoisk wody). Ocenę stanu równości wykonuje się dla każdego pasma w kierunku podłużnym i poprzecznym. Do oceny stanu równości dróg startowych przyjmuje się długości 100 m, dla których oblicza się wadliwość W. Otrzymane wartości wadliwości w kierunku podłużnym i poprzecznym nanosi się na ściśle określone obszary badawcze, które oznacza się kolorami przyjętymi dla poszczególnych stanów równości zgodnie z tabelicą 2, otrzymując w ten sposób Metrykę oceny stanu równości. Obszary badawcze stanowią wydzieloną powierzchnię nawierzchni drogi startowej o długości 100 m (1 hektometr) i szerokości najczęściej 5 m (szerokość pasma lub płyty). Drogi kołowania i płyty postojowe ocenia się oddzielnie w kierunku podłużnym, zaś w kierunku poprzecznym przedstawia się ocenę zbiorczą.

Końcowa ocena obiektu oprócz średniej wielkości wadliwości, zawiera uśrednione nierówności, odchylenie standardowe, procentowy udział poszczególnych przekroczeń, oraz profile nierówności w funkcji przyrostu drogi.

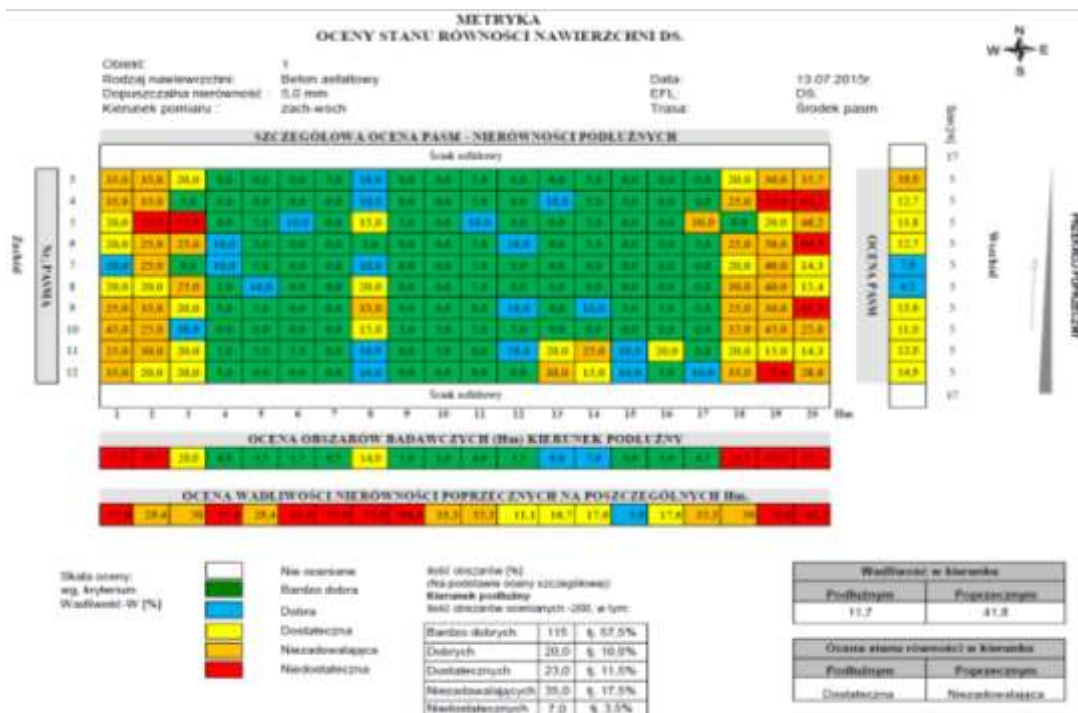
Przykładowy analiza wyników badań wraz ze sposobem ich przedstawiania został przedstawiony na rysunkach 8 i 9 oraz w tabelicy 4.

Tab. 4. Średnie wartości nierówności podłużnych, odchylenia standardowe, wadliwość i ilości nierówności w poszczególnych zakresach nierówności i na poszczególnych pasmach

Nr pasma	Uśrednione nierówności X [mm]	Odchylenie standardowe S [mm]	Wadliwość W [%]	Ilość płyt z nierównościami max. [mm]			
				do 5.0 [%]	od 5.1 do 9.0 [%]	od 9.1 do 12.0 [%]	pow. 12.0 [%]
Nierówności podłużne							
3	-2.5	1.0	10.0	90.0	9.8	0.2	0.0
4	-2.8	1.2	12.7	87.2	12.0	0.8	0.0
5	-2.7	1.2	13.8	86.1	12.6	1.3	0.0
6	-2.7	1.2	12.7	87.2	11.4	1.4	0.0
7	-2.2	1.1	7.0	93.0	7.0	0.0	0.0
8	-2.7	1.2	9.5	90.5	8.5	0.5	0.5
9	-2.7	1.1	13.6	86.4	13.3	0.3	0.0
10	-2.6	1.0	11.0	89.0	10.5	0.5	0.0
11	-2.7	1.4	12.0	88.0	11.0	1.0	0.0
12	-2.6	1.3	14.9	85.0	13.8	0.9	0.3
Średnia	-2.6	1.2	11.7	88.3	11.0	0.7	0.1

PODSUMOWANIE

Równość obok nośności i szorstkości jest najważniejszym parametrem charakteryzującym każdą nawierzchnię lotniskową. Stan równości decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni lotniskowej, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię. Uzyskanie wymaganej równości to także warunek skutecznego i szybkiego odprowadzenia wód opadowych z nawierzchni lotniskowych. Nawet na niewielkich nierównościach nawierzchni mogą się tworzyć zastoiska wody, które pogarszają warunki bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji lotniczych.



Rys. 8. Metryka oceny stanu równości

Systematyczne monitorowanie stanu równości nawierzchni lotniskowych umożliwia wydzielenie stref (obszarów), w których występuje szybsza degradacja. Zarządzający nawierzchnią lotniskową, znając lokalizacje występujących stref o zwiększonej degradacji może podjąć działania umożliwiające określenie przyczyn ich powstawania poprzez dokładną diagnostykę, oraz w celu przedłużenia jej żywotności, przez dobranie odpowiednie technologii napraw.

BIBLIOGRAFIA

1. NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe Badanie równości.
2. Poświata A., Analiza nierówności w ocenie eksploatacyjnej betonowych nawierzchni lotniskowych, Rozprawa doktorska, WAT Warszawa 1997.
3. Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Teoria, Wymiarowanie, Realizacja. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004.
4. Niża P., Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych. WKŁ, Warszawa 2008.
5. Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 6, lipiec 2013.
6. NO-17-A204:2015 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego.
7. NO-17-A200:2006 Nawierzchnie lotniskowe z betonu asfaltowego. Wymagania i badania.
8. Szpinek S. Badania równości nawierzchni lotniskowych, Drogownictwo 6/2014.
9. FAA Advisory Circular, AC 150/5370-13, Off-peak Construction of Airport Pavements Using Hot-Mix Asphalt, August 27, 1990.

The impact of airfield pavement evenness in the safety of the aircraft operations

One of the basic parameters characterizing each airfield pavement is the evenness. This parameter is decisive for the comfort of moving around the pavement, and in the same time affects the dynamic effects upon the pavement thereby influence the safety of performing aircraft operations.

As the surface deteriorates, a result of the dynamic load, severe atmospheric (climatic) conditions or improper construction technology, the quality of the evenness value deviates from the desired state, in the form of longitudinal and transverse irregularities.

This paper presents normative documents (standards), criteria and methodology for the evaluation of the pavement's evenness also contains a presentation of the tests results. Also discussed are the dangers of not maintaining the pavement along with a sample of the types of surface damage threatening the security and performance of the airport operations along with the actions and activities carried out to improve safety conditions.

Autorzy

dr inż. Adam Poświata – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Lotniskowy.

adam.poswiata@itwl.pl

mgr inż. Paweł Pietruszewski – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Lotniskowy.

pawel.pietruszewski@itwl.pl