

Nawierzchnie lotniskowe jako element infrastruktury krytycznej w procesie zarządzania bezpieczeństwem lotnisk

Airfield pavements as an element of critical infrastructure in the airport safety management process



Mariusz Wesołowski

Dr inż.

Zakład Lotniskowy, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Adam Poświata

Dr inż.

Zakład Lotniskowy, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

adam.poswiata@itwl.pl

Streszczenie: Współczesne statki powietrzne poruszające się z dużymi prędkościami i generujące odpowiednio wysokie obciążenia wymagają nawierzchni lotniskowych dobrze zaprojektowanych, prawidłowo wybudowanych i eksploatowanych. Czynniki te mają na celu zapewnić bezpieczeństwo przemieszczających się po nich statków powietrznych. Stan techniczny nawierzchni lotniskowych ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Wymusza to konieczność posiadania aktualnej, pełnej wiedzy o ich stanie technicznym, co będzie pozwalało podejmować odpowiednie decyzje mające na celu zapewnienie ich bezpiecznej eksploatacji. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z oceną stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, w tym: metodyki oceny stopnia degradacji, nośności, równości i szorstkości oraz dokumenty normatywne i wytyczne. Przedstawiono również możliwe zagrożenia eksploatacyjne dla wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne oraz realizowane prace dla poprawy bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: Nawierzchnie lotniskowe; Infrastruktura krytyczna; Bezpieczeństwo; Operacje lotnicze; Statek powietrzny

Abstract: Contemporary planes moving with high velocity and loads require well design, properly building and maintenance airfield pavements. The main objective of this factors is provide safety conditions for moving planes. Technical condition airfield pavements has a direct impact on the safety performance of air operations. This forces the need to have full knowledge of their condition, which will be allowed to take appropriate decisions to ensure their safe operation. In this paper the issues connected with the assessment of airfield pavements health, such as: methodology assessment of the degradation degree, bearing capacity, evenness, roughness and Polish Standards in force and Air Force Institute of Technology developed procedures are presented. Moreover, possible operating danger and realize research work for safety improvement are presented

Keywords: Airfield pavements; Critical infrastructure; Safety; Air operations; Aircraft

Problem bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych w procesie szkolenia lotniczego będzie aktualny tak długo, jak długo istnieć będzie lotnictwo, zarówno cywilne jak i wojskowe. Zapewnienie bezpieczeństwa było, jest i będzie jednym z najważniejszych problemów w funkcjonowaniu oraz rozwoju lotnictwa.

Na bezpieczeństwo realizacji operacji lotniczych wpływają wszystkie elementy biorące udział w tym procesie, które można ująć w trzech grupach, tj.; człowiek (personel pokładowy, personel utrzymujących zdadność statków powietrznych, personel kierujący ruchem lotniczym, personel obsługujący urządzenia lotniskowe), statek powietrzny (samoloty, śmigłowce i inne

obiekty latające) oraz otoczenie (lotniska, w tym nawierzchnie lotniskowe oraz przestrzeń powietrzna).

Priorytetowym zadaniem służby lotniskowej jest zapewnienie bezpiecznej eksploatacji nawierzchni lotniskowych przez statki powietrzne. Nawierzchnia lotniskowa w aspekcie systemu bezpieczeństwa szkolenia lotniczego charakteryzowana jest przez określenie jej stanu technicznego. Zakład Lotniskowy Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) jest od dawna niezwykle ważną komórką wspierającą działalność służb lotniskowych w Siłach Zbrojnych RP oraz w lotnictwie cywilnym. Pracownicy Zakładu Lotniskowego ITWL zajmują się nadzorem i doradztwem technologicz-

nym nad pracami modernizacyjnymi, remontowymi oraz innymi pracami wykonywanymi na obiektach lotniskowych, w tym prowadzeniem konsultacji i przeprowadzaniem ekspertyz. Badania diagnostyczne prowadzone w trakcie procesu eksploatacji nawierzchni lotniskowych pozwalają na określenie ich aktualnego stanu technicznego, a w przypadku nowobudowanych nawierzchni pozwalają na ocenę jakości wykonanej konstrukcji.

Wiedza dotycząca problematyki lotniskowej, poparta ponad 60-letnim doświadczeniem zdobywanym przy realizacji zadań inwestycyjnych i remontowych na wojskowych i cywilnych obiektach lotniskowych, przyczyniły się do opracowania przez ITWL

wielu dokumentów normatywnych oraz wytycznych, które były i są do dzisiaj powszechnie stosowane przez przedstawicieli zarówno wojskowej, jak i cywilnej służby lotniskowej, tj.:

- NO-17-A204:2015 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego [1],
- NO-17-A200:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego – Wymagania i badania [2],
- NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności [3],
- NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badania szorstkości [4],
- NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badania równości [5],
- NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Darniowe i gruntowe nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności [6].

Ocena stanu technicznego nawierzchni lotniskowych

Aktualnie użytkowane statki powietrzne wymagają nawierzchni lotniskowych dobrze zaprojektowanych, prawidłowo wybudowanych i eksploatowanych. Podstawowym rodzajem nawierzchni lotniskowych są nawierzchnie z betonu cementowego, które obecnie i w dalszej perspektywie czasowej będą podlegać dalszym modyfikacjom i zabiegom utrzymaniom. Należy jednak zaznaczyć, że coraz częściej w procesie szkolenia lotniczego wykorzystywane są także naturalne nawierzchnie lotniskowe.

Od gotowej nawierzchni lotniskowej wymaga się dobrej przyczepności kół statku powietrznego do nawierzchni, zdolności do powierzchniowego odprowadzania wody, wysokiej odporności mrozowej oraz odporności na działanie środków odladzających stosowanych do zimowego utrzymania, a także wysokiej wytrzymałości na ściskanie i zginanie. Ponadto, nowa jak

i będąca już w eksploatacji nawierzchnia lotniskowa powinna spełniać określone wymagania w zakresie nośności, równości, szorstkości oraz trwałości, w szczególności dla jej warstwy przypowierzchniowej.

Monitorowanie stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jest niezwykle istotne w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, czyli także prowadzenia szkolenia lotniczego. W celu oceny stanu technicznego sztucznych nawierzchni lotniskowych, nowo budowanych jak i będących już w eksploatacji, należy prowadzić badania diagnostyczne mające na celu określenie takich parametrów jak:

- degradacja nawierzchni (stan powierzchniowy na podstawie inwentaryzacji),
- nośność,
- równość,
- szorstkość,
- wytrzymałość na odrywanie (trwałość warstwy przypowierzchniowej).

Dane wejściowe



Parametr	Skala	Jednostka
Złożoność p/As	Ap	mm
Złożoność g/pełoc	Pg	mm
Płaskość nawierzchni	Pw	mm
Płaskość nawierzchni	Pw	mm
Grubość i granularność	CP	mm
Grubość, w tym granularność i nawierzchni	SN	mm
Ubytek głębokości	Ug	mm
Płaskość szorstkości	PS	mm
Płaskość szorstkości	PS	mm
Masa w szorstkości	M	mm
Pręgi	Pr	mm
Obciążenie po odwarstwie	OP	mm
Wyrwana płyt	Wp	mm

Analiza procesu

$$D_{BC} = \frac{D_{Ap} + D_{Bg} + D_{Pw} + D_{Pw} + D_{Op} + D_{Pw} + D_{Ug} + D_{Ps} + D_{Pw} + D_M + D_{Pr} + D_{Pr} + D_{Wp}}{13}$$

Dane wyjściowe



1. Proces oceny degradacji nawierzchni lotniskowych [10]



2. Pomiar ugięć sprężystych nawierzchni lotniskowej



3. Widok darniowej nawierzchni lotniskowej w procesie szkolenia lotniczego

Natomiast w przypadku naturalnych nawierzchni lotniskowych, parametrem określającym jej stan techniczny jest nośność.

Degradacja nawierzchni lotniskowych

Ze względu na procesy destrukcyjne zachodzące w betonie cementowym oraz betonie asfaltowym i pojawiające się w związku z tym uszkodzenia, istotne jest wykonywanie okresowych przeglądów stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, tzw. inwentaryzacji uszkodzeń. Wszelkiego rodzaju uszkodzenia stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa poruszających się statków powietrznych. Poniżej, na ilustracji 1 przedstawiono składowe procesy oceny degradacji nawierzchni lotniskowych.

Inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni lotniskowych wykonuje się bezpośrednio na obiekcie, uaktualniając i rejestrując stan uszkodzeń dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska (EFL) i poszczególnych płyt. Zazwyczaj stosuje się metodę wizualną. Inwentaryzację wykonuje się na znormalizowanych podkładach, w systemie „płytowym”, tzn. inwentaryzuje się każdą płytę na lotnisku (zazwyczaj o wymiarach 5 x 5 m). Położenie każdej płyty oznacza się za pomocą liczb, które przyjmuje się zgodnie z naniesionymi na poszczególnych arkuszach składowych oznaczeniami cyfrowymi. Inwentaryzuje się zarówno istniejące uszkodzenia, jak i uszkodzenia naprawione. Taka „podwójna” inwentaryzacja pozwala bowiem nie tylko na określenie wielkości uszkodzeń na lotnisku, ale także umożliwia wyznaczenie ogólnego wskaźnika degradacji obiektu.

Nośność

Ocenę nośności nawierzchni lotniskowych wykonuje się zgodnie z wymaganiami normy NO-17-A500:2016 [3], Załącznika 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym [7] oraz Aerodrome Design Manual Part 3, Pavements [8].

Ocenę nośności nawierzchni lotniskowych wykonuje się metodą ACN-PCN (*Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number*), opisaną w Aneksie 14 Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Przedmiotowa metoda wyraża związek między oddziaływaniem samolotu na nawierzchnię i reakcją nawierzchni na generowane obciążenia. W metodzie tej uwzględnia się: rodzaj nawierzchni lotniskowej, kategorię podłoża, maksymalne ciśnienie w oponach statku powietrznego i sposób określenia jej nośności.

Do badania nośności nawierzchni lotniskowych stosuje się ciężki ugięciomierz udarowy typu HWD (*Heavy Weight Deflectometer*). W ramach badań wykonuje się pomiary ugięć sprężystych nawierzchni, na podstawie których wyznacza się wartość wskaźnika nośności PCN (np. PCN 48/R/B/X/T) i/lub dopuszczalną liczbę operacji lotniczych dla przyjętego typu samolotu obliczeniowego. W celu przeprowadzenia pełnej analizy nośności ocenianej nawierzchni lotniskowej wykonuje się identyfikację jej konstrukcji poprzez pobranie próbek w postaci odwiertów rdzeniowych, które następnie poddawane są badaniom wytrzymałościowym w warunkach laboratoryjnych. Przebieg wykonywania pomiarów ugięć sprężystych

nawierzchni lotniskowej przedstawia ilustracja 2.

Jak wspomniano, wyniki uzyskane podczas badania nośności metodą ACN-PCN można przedstawić w postaci wskaźnika nośności PCN i/lub wyznaczonej dopuszczalnej, całkowitej liczby operacji lotniczych, które wyznacza się dla określonej liczby powtórzeń N . Liczba dopuszczalnych powtórzeń obliczana jest w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego ocenianej konstrukcji nawierzchni lotniskowej. Dla nawierzchni sztywnych, wykonanych z betonu cementowego, stosuje się następującą formułę wynikającą z kryterium dopuszczalnych naprężeń [11]:

$$N = \left[\frac{R_{zg}}{\sigma} \times \left(\frac{E}{30000} \right)^{1.3} \right]^{(-1/-0.233)} \times 10^4 \quad (1)$$

gdzie:

R_{zg} – wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu [MPa],
 σ – naprężenia rozciągające przy zginaniu wyznaczone w dolnej części płyty betonowej [MPa],
 E – moduł sprężystości betonu [MPa].

Natomiast dla nawierzchni podatnych, wykonanych w technologii betonu asfaltowego, należy stosować poniżej podany wzór wynikający z kryterium dopuszczalnych odkształceń [11]:

$$N = \left[\frac{R_{zg}}{\sigma} \times \left(\frac{E}{160} \right)^{1.23} \right]^{(1/0.173)} \times 10^4 \quad (2)$$

gdzie:

R_{zg} – wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu podłoża [MPa],
 σ – naprężenia rozciągające przy zginaniu wyznaczone dla podłoża [MPa],
 E – moduł sztywności podłoża [MPa].



4. Widok pomiarów współczynnika tarcia na betonowej nawierzchni lotniskowej



5. Widok pomiarów równości na betonowej nawierzchni lotniskowej

W związku z powyższym, należy stwierdzić, że istnieje ścisła zależność wskaźnika nośności PCN od liczby dopuszczalnych operacji lotniczych przy określaniu nośności konstrukcji nawierzchni lotniskowych metodą ACN-PCN.

W związku z tym, iż w ostatnim czasie zintensyfikowano szkolenie lotnicze z wykorzystaniem naturalnych nawierzchni lotniskowych, ITWL opracował normę obronną NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Darniowe i gruntowe nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności [6]. Operacje lotnicze z wykorzystaniem tego typu nawierzchni są już wykonywane między innymi na lotnisku wojskowym Powidz, co przedstawia ilustracja 3.

Badania nośności darniowych i gruntowych nawierzchni lotniskowych należy wykonywać dla: Roboczego Pasa Startowego lub Awaryjnej Drogi Startowej, Bocznych Pasów Bezpieczeństwa i Czołowych Pasów Bezpieczeństwa.

Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wyraża się kalifornijskim

wskaźnikiem nośności CBR, który oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}} \quad (3)$$

gdzie:

CBR – kalifornijski wskaźnik nośności, w procentach,

DCP – zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie, w milimetrach.

Szorstkość

Stan szorstkości nawierzchni lotniskowych ma niezwykle istotne znaczenie dla bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Badania szorstkości nawierzchni lotniskowych wykonuje się zgodnie z wymaganiami normy obronnej NO-17-A501:2015 [4] oraz wymaganiami Załącznika 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym [7] i *Advisory Circular No: 150/5320-12C* [9]. Widok wykonywanych pomiarów współczynnika tarcia na betonowej nawierzchni lotniskowej przedstawiono na ilustracji 4.

W normie [4] omówiono metody-

kę badania szorstkości nawierzchni lotniskowych, określono wymagania dotyczące aparatury stosowanej do pomiarów w warunkach terenowych oraz przedstawiono kryteria oceny stanu szorstkości nawierzchni lotniskowych (wartości średnie wymaganych współczynników tarcia) w zależności od zastosowanego typu urządzenia pomiarowego i warunków pomiaru (prędkość pomiaru, typ opony pomiarowej, pomiar z wodą lub bez wody). Wymagane, średnie wartości współczynników tarcia określono dla trzech przedziałów, tj.: dla projektowanych, nowych nawierzchni lotniskowych, dla użytkowanych i/lub będących przedmiotem planowania prac remontowych oraz minimalne (graniczne). Przykładowo, wymagane wartości współczynnika tarcia dla nawierzchni lotniskowych poddanych ocenie przy wykorzystaniu urządzenia pomiarowego w postaci testera tarcia ASFT na przyczepie T-10 przy prędkości pomiaru 65 km/h przedstawiają się następująco [4]:

- dla projektowanych, nowych nawierzchni lotniskowych – 0,70,
- dla użytkowanych i/lub będących przedmiotem planowania prac remontowych – 0,50,
- minimalna (graniczna) – 0,40.

Równość

Badania równości nawierzchni lotniskowych wykonuje się zgodnie z wymaganiami normy obronnej NO-17-A502:2015 [5], z wykorzystaniem zmodernizowanego planografu P-3z, którego widok przedstawiono na ilustracji 5. Stan równości decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni lotniskowej, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziały-



6. Widok wiru przed wlotowego zasysającego z nawierzchni lotniskowej

wań 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 w okresie zimowym pogarszają warunki bezpieczeństwa ruchu.

Równość nawierzchni lotniskowych powinna spełniać kryteria określone poziomem wadliwości. Wadliwość rozumiana jest jako procentowa miara ilości przekroczeń nierówności przyjętych w normie jako dopuszczalne. Zgodnie z wyżej wymienioną normą, na podstawie kryterium wadliwości $W(\%)$ – przyjmuje się następujące oceny [5]:

- bardzo dobry - $W \leq 5 \%$,
- dobry - $5 \% < W \leq 10 \%$,
- dostateczny - $10 \% < W \leq 20 \%$,
- niezadowalający - $20 \% < W \leq 50 \%$,
- niedostateczny - $W > 50\%$.

Wytrzymałość na odrywanie

Opracowana przez ITWL norma obronna NO-17-A204:2015 [1] przewiduje również sprawdzenie wytrzymałości na odrywanie dla warstwy przypowierzchniowej nawierzchni lotniskowej. Trwałość warstwy przypowierzchniowej jest istotna z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych w aspekcie zasysania ciał obcych przez statki powietrzne - FOD (*Foreign Object Damage*) [12]. Związane z tym zagadnieniem bezpośrednio zagrożenie dla bezpieczeństwa statków powietrznych, ich załogi oraz pasażerów, przedstawia ilustracja 6.

Kryteria oceny wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej lotniskowej nawierzchni betonowej są następujące [1]:

- średnia wytrzymałość powinna wynosić nie mniej niż 2,0 MPa, przy czym wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,6 MPa (wiek nawierzchni do 10 lat),
- średnia wytrzymałość powinna wynosić nie mniej niż 1,8 MPa,

przy czym wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,6 MPa (wiek nawierzchni powyżej 10 lat).

Podsumowanie i wnioski

Nawierzchnie lotniskowe stanowią szczególnie istotny element infrastruktury krytycznej wchodzącej w skład naziemnej części pola manewrowego, przeznaczonego do ruchu, postoju i obsługi statków powietrznych. Ich głównym i zarazem najważniejszym zadaniem jest bezpieczne przeniesienie obciążeń użytkowych od poruszających się lub stojących na nich statków powietrznych oraz neutralizowanie termicznych obciążeń naturalnych i wymuszonych oraz przekazywanie tych sumarycznych obciążeń na podłoże gruntowe. Złożony proces oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnię wymaga dostosowania jej do ww. skomplikowanych zadań.

Osiągnięcie wysokiego poziomu technicznego dla konstrukcji nawierzchni lotniskowych jest koniecznością i musi to być proces ciągły, wykorzystujący współczesne osiągnięcia projektowe i technologiczne. Doskonalenie tego procesu jest zadaniem służb lotniskowych. W proces ten wpisują się zagadnienia trwałości nawierzchni lotniskowych i w związku z tym, prowadzone są prace, których wynikiem są nowe propozycje materiałowe i diagnostyczne metody oceny stanu technicznego. Istotną sprawą dla prawidłowej procedury utrzymania nawierzchni lotniskowych na wysokim i bezpiecznym poziomie technicznym są metody diagnostyki technicznej oraz rozwinięte metody informatycznej bazy danych o nawierzchniach i infrastrukturze lotniskowej. Procesy utrzymania lotnisk wiążą się z odpowiednio wysokimi nakładami na ten cel środków. Ponieważ nawierzchnie lotniskowe i złożone systemy technicznej infrastruktury lotnisk są zasadniczym ogniwem transportu powietrznego, ponoszone koszty są wartością trudno porówny-

walną z bezpieczeństwem tego rodzaju komunikacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] NO-17-A204:2015 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego.
- [2] NO-17-A200:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego – Wymagania i badania.
- [3] NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności.
- [4] NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badania szorstkości.
- [5] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badania równości.
- [6] NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Darniowe i gruntowe nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności.
- [7] Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 6, lipiec 2013.
- [8] Aerodrome Design Manual Part 3, Pavements, ICAO, Doc-9157-AN/901.
- [9] Advisory Circular 150/5320-12c, FAA.
- [10] Barszcz P., Wesołowski M.: System oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jako element procesu zarządzania jakością w lotnictwie wojskowym, Logistyka 6/2014.
- [11] Blacha K., Wesołowski M.: Zależność wskaźnika nośności PCN od liczby operacji lotniczych przy określaniu nośności konstrukcji nawierzchni lotniskowych metodą ACN-PCN. Logistyka nr 6/2014.
- [12] Wesołowski M., Poświata A.: Bezpieczeństwo i niezawodność wykonywania operacji lotniczych na obiektach lotniskowych Sił Zbrojnych RP, Konferencja Naukowa „Współczesne problemy logistyki lotnictwa. Teoria i praktyka”, Dęblin 2015.