

Drogowe odcinki lotniskowe jako element infrastruktury krytycznej i obronnej państwa

Highway landing strips as an element of critical and defence infrastructure of the country



Mariusz Wesółowski

Dr hab. inż.

Wojskowy Instytut Techniki
Pancernej i Samochodowej

mariusz.wesolowski@witpis.eu
ORCID: 0000-0002-5545-8831



Krzysztof Blacha

Dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych

krzysztof.blacha@itwl.pl
ORCID: 0000-0002-4599-4294



Adam Poświata

Dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych

adam.poswiata@itwl.pl
ORCID: 0000-0002-7861-1616

Streszczenie: Jednym z bardzo istotnych elementów infrastruktury krytycznej i obronnej Polski, obok sieci lotnisk wojskowych i cywilnych, są drogowe odcinki lotniskowe, których funkcja, znaczenie i przydatność nabrały szczególnego wymiaru w aktualnej sytuacji geopolitycznej, w tym przede wszystkim podczas trwającego konfliktu zbrojnego w Ukrainie. Drogowe odcinki lotniskowe (DOL) to specjalnie przygotowane odcinki dróg publicznych przystosowane do wykonywania operacji lotniczych startu i lądowania wojskowych statków powietrznych (WSP) realizujących zadania operacyjne w czasie kryzysu i wojny oraz zadania wynikające z realizacji procesu szkolenia lotniczego. Szczegółowe informacje dotyczące wymagań stawianym DOL przedstawiono w normie obronnej NO-17-A207:2022 Nawierzchnie lotniskowe – Drogowe odcinki lotniskowe – Wymagania i badania [1]. W ww. dokumencie normatywnym określono minimalne wymagania w zakresie wymiarów geometrycznych, obszarów o ograniczonych przeszkodach oraz układów konstrukcyjnych nawierzchni DOL. Przedstawiono wymagania dla podstawowych parametrów eksploatacyjnych nawierzchni na obiektach użytkowanych przez służby drogowe, które należy stosować przede wszystkim: przy projektowaniu i budowie DOL, modernizowaniu i przebudowie istniejących drogowych odcinków lotniskowych, odbiorze wykonanych robót, ocenie technicznej i eksploatacyjnej. Postanowienia normy są właściwe dla oceny stanu technicznego DOL w całym okresie ich technicznej żywotności, a szczególnie w okresie ich użytkowania przez wojskowe statki powietrzne. Stan techniczny i użytkowy nawierzchni DOL 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 wyniki badań parametrów eksploatacyjnych nowowytbudowanych konstrukcji nawierzchni drogowego odcinka lotniskowego Wielbark w ciągu drogi wojewódzkiej nr 604 oraz wymagania obowiązującej normy obronnej NO-17-A207:2022. Omówiono również możliwe zagrożenia eksploatacyjne dla wykonywania operacji lotniczych przez wojskowe statki powietrzne oraz realizowane prace dla poprawy bezpieczeństwa na DOL, wchodzących w skład elementów infrastruktury krytycznej i obronnej państwa.

Słowa kluczowe: Drogowy odcinek lotniskowy, Infrastruktura krytyczna, Obronność, Bezpieczeństwo, Nawierzchnia lotniskowa

Abstract: One of the essential elements of the Polish critical and defence infrastructure, apart from the network of military and civil airports, are highway landing strips, which function, importance and usefulness have taken on a special dimension in the current geopolitical situation, especially during the ongoing armed conflict in Ukraine. Highway Landing Strips (Polish. DOL) are specially prepared sections of public roads adapted to perform air operations of take-off and landing of military aircraft (Polish. WSP) intended for operational tasks during crisis and war, as well as tasks resulting from the implementation of the flight training process. Detailed information on the requirements for DOL is presented in NO-17-A207:2022 Airfield pavements – Airfield road strips – Requirements and tests [1]. The above normative document outlines the minimum requirements for geometric dimensions, runway obstacle free zones and DOL surface construction systems. Requirements for the basic operating parameters of pavements on facilities used by road services have been presented. In addition, these requirements should be primarily used in designing and constructing DOL, modernizing and reconstructing the existing road sections of airfields, accepting the performed works, and technical and operational assessment. The normative provisions are appropriate for assessing the technical condition of DOLs throughout their entire technical lifetime, especially during their use by military aircraft. The technical and operational condition of the DOL surface has a direct impact on the safety of air operations. This enforces the need for up-to-date, full knowledge about their technical condition, which will help make the appropriate decisions to ensure their safe operation. The article presents the results of testing the operational parameters of the newly built structures of the surface of the Highway Landing Strip of Wielbark airport along provincial road No. 604 and the requirements of the applicable defence standard NO-17-A207:2022. The possible operational hazards for performing air operations by military aircraft and the ongoing works aimed at improving the security of the DOL, which are part of the critical and defence infrastructure of the country, are also discussed.

Keywords: Road section of the airport, Critical infrastructure, Defence, Security, Airport pavement

Wstęp

Jednym z elementów infrastruktury krytycznej systemu obronności i bezpieczeństwa państwa są drogowe odcinki lotniskowe. Koncepcja DOL stała się popularna w okresie

powojennym. Pomysł rozwijano równolegle do prac nad samolotami pionowego startu, mogących operować z dowolnego miejsca. Drogowe odcinki lotniskowe stały się popularne w Polsce, Niemczech (zarówno RFN jak i NRD), Szwajcarii, Finlandii,

Szwecji, Korei Północnej, Chinach czy Czechosłowacji. Skandynawia nadal prowadzi ćwiczenia z użyciem odcinków autostrad w charakterze tymczasowych baz lotniczych. Finowie posiadając w swoim arsenale samoloty F/A-18 Hornet, czyli maszyny

projektowane jako samoloty pokładowe wyposażone w hak ogonowy mogą skorzystać z systemu lin hamujących skracającego dobieg, co jest niezwykle przydatne w przypadku operacji na improwizowanych pasach. Ćwiczenia w operowaniu ze swoich autostrad prowadzi też Singapur. Amerykanie, szczególnie w ramach doktryny zimnowojennej szkolili swoich pilotów w RFN, a ćwiczenia na niemieckich autostradach odbywały się regularnie nawet w latach 80-tych ubiegłego wieku. Użycie dróg jako lotnisk jest nadal powszechne w Rosji, Pakistanie, w Republice Chińskiej, a obecnie także i w Ukrainie.

W Polsce, ostatnie szkolenie lotnicze na drogowym odcinku lotniskowym odbyło się w roku 2003 na drodze wojewódzkiej nr 142 (DW142) łączącej nowy węzeł drogi ekspresowej S3 z dawną "berlinką" w kierunku Chociwła, na tzw. DOL Kliniska. Na rys. 1 przedstawiono przykłady wykonywania operacji lotniczych startu i lądowania WSP na drogowym odcinku lotniskowym.

W terenie naszego kraju występuje 21 drogowych odcinków lotniskowych. W najlepszym stanie technicznym i eksploatacyjnym znajdują się: wspomniany powyżej DOL Kliniska, DOL Jażwiny (zlokalizowany na autostradzie A4 pomiędzy węzłami Tarnów Północ, a Dębica Wschód) oraz DOL Września (usytuowany na autostradzie A2 w okolicy Wrześni k. Poznania). Pozostałe drogowo-odcinki lotniskowe są w różnym stanie,

w większości przypadków nie nadają do użytkowania z uwagi na ich niezadowalający stan techniczny, ale w ostatnim czasie jeden z nich został przebudowany do nowych parametrów technicznych spełniających wymagania normy obronnej [1]. Przedmiotowy drogowy odcinek lotniskowy znajduje się w ciągu drogi wojewódzkiej nr 604 (DW604) na odcinku Robaczewo – Wielbark, tzw. DOL Wielbark. Pas drogowy posiada szerokość 90 m, a w jego skład wchodzi następujące elementy funkcjonalne:

- droga startowa o nawierzchni z betonu cementowego o szerokości 30 m i długości 2440 m,
- 2 boczne pasy bezpieczeństwa o szerokości 30 m po obu stronach drogi startowej i wybiegów,
- 2 wybiegi o nawierzchni z betonu cementowego na przedłużeniu drogi startowej o szerokości 30 m i długości 275 m (jako część czołowych pasów bezpieczeństwa),
- 2 płaszczyzny postoju samolotów o nawierzchni z betonu cementowego i wymiarach 200 m x 45 m, przyległe do końcowych odcinków drogi startowej,
- 2 odcinki przejściowe do przekroju drogowego o nawierzchni z betonu asfaltowego na przedłużeniu wybiegów po 125 m każdy (jako część czołowych pasów bezpieczeństwa).

Wymienione powyżej elementy funkcjonalne DOL Wielbark zostały

poddane szczegółowym badaniom odbiorczym w zakresie spełnienia wymagań eksploatacyjnych dedykowanych WSP.

Wymagania dotyczące wymiarów geometrycznych, obszarów o ograniczonych przeszkodach oraz układów konstrukcyjnych nawierzchni DOL zostały szczegółowo przedstawione w normie obronnej NO-17-A207:2022 [1]. Ponadto, omówiono w niej wymagania dla podstawowych parametrów eksploatacyjnych nawierzchni na obiektach użytkowanych przez służby drogowe.

Postanowienia przedmiotowej normy należy stosować przy projektowaniu i budowie drogowych odcinków lotniskowych, modernizowaniu i przebudowie istniejących DOL, odbiorze wykonanych robót, a także ich ocenie technicznej i eksploatacyjnej w całym okresie cyklu życia. W związku z powyższym, DOL muszą spełniać również wymagania określone w innych normach obronnych, które bezpośrednio dotyczą nawierzchni lotniskowych, tj.:

- NO-17-A204:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu cementowego – Wymagania i metody badań [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-A502:2015 Nawierzchnie



a) Start samolotu Su-22



b) Lądowanie samolotu MiG-29

1. Szkolenie lotnicze wojskowych statków powietrznych na DOL Kliniska

- lotniskowe – Badania równości [5],
- NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Badania szorstkości [6],
- NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Darniowe i gruntowe nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności [7],
- NO-17-A205:2017 Zimowe utrzymanie nawierzchni lotniskowych – Stosowanie środków do odladzania – Wymagania i badania [8].

Na bezpieczeństwo realizacji operacji lotniczych wpływa wiele czynników, które można zgrupować w trzech kategoriach, tj.; człowiek (personel pokładowy, personel utrzymujących zdolność statków powietrznych, personel kierujący ruchem lotniczym, personel obsługujący urządzenia lotniskowe), statek powietrzny (samoloty, śmigłowce i inne obiekty latające) oraz otoczenie (DOL, w tym nawierzchnie lotniskowe oraz przestrzeń powietrzna). Priorytetowym zadaniem służby lotniskowej jest w pierwszej kolejności zapewnienie bezpiecznej eksploatacji nawierzchni lotniskowych przez WSP.

Wymagania dotyczące DOL

DOL to prosty odcinek drogi o określonych parametrach oraz wymiarach poziomych i pionowych części przestrzeni powietrznej, która jest niezbędna do wykonywania operacji lotniczych. Do usytuowania DOL należy wykorzystywać drogi publiczne [9], posiadające wymaganą długość oraz odpowiednią nośność, zarządzane przez służby drogowe. Układ drogowy powinien umożliwiać objazd DOL przez transport samochodowy (w przypadku czasowego wyłączenia DOL dla ruchu kołowego podczas wykonywania operacji lotniczych). W przypadku lokalizacji DOL w terenie zalesionym, w którym występują zwierzęta mogące mieć

wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez WSP poprzez wtargnięcie na drogę startową, DOL należy zabezpieczyć (np. ogrodzeniem zewnętrznym).

DOL powinien składać się z niżej wymienionych elementów funkcjonalnych:

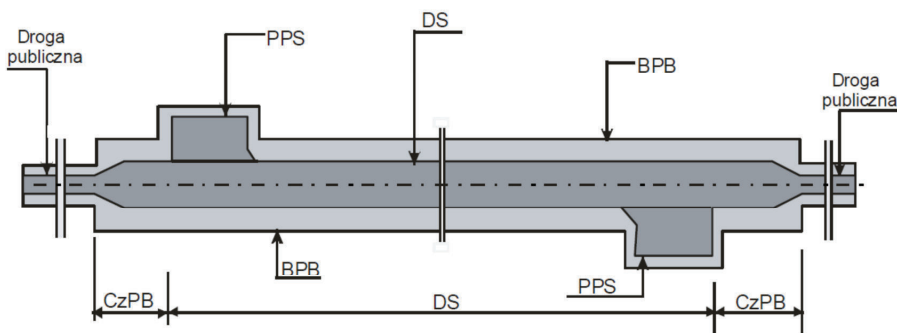
- drogi startowej (DS),
- czołowych pasów bezpieczeństwa (CzPB),
- bocznych pasów bezpieczeństwa (BPB),
- płaszczyzn postoju samolotów (PPS),
- dróg kołowania (DK) – w przypadku takiej potrzeby,
- obszarów o ograniczonych przeszkodach.

Rozmieszczenie elementów DOL przedstawiono na rys. 2. Należy podkreślić, że nawierzchnia płaszczyzn postoju samolotów powinna być wykonana z betonu cementowego

spełniającego wymagania [2] oraz spełniać wymagania nośności przyjętej dla drogi startowej.

Wymagania geometryczne

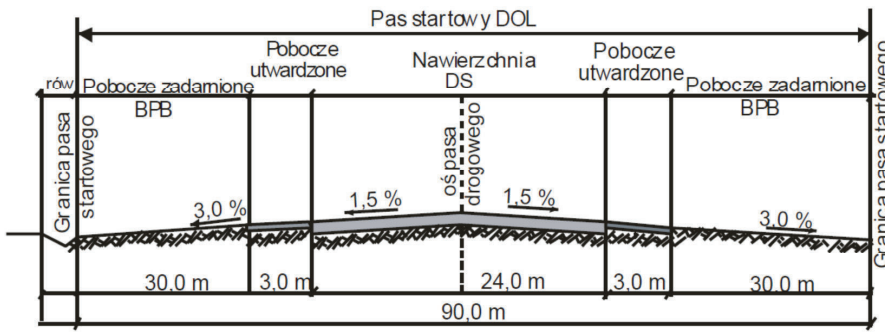
Powierzchnię DOL stanowi prostoliniowy pas drogowy o szerokości 90 m i długości minimum 2990 m, zawarty pomiędzy granicami CzPB. Utrzymanie pasa drogowego według zasad lotniskowych obowiązuje również na odcinkach drogi publicznej poza pasem startowym DOL na odcinku wynoszącym 1000 m, jeśli przebiegają one na powierzchniach podejść powietrznych. Wymagania geometryczne dotyczące wymiarów, spadków oraz łuków pionowych na DS, PPS oraz CzPB i BPB DOL przedstawiono w tablicy 1. Przekrój poprzeczny DOL przedstawiono przykładowo na rys. 3, natomiast na rys. 4 pokazano schemat wybiegu oraz BPB i CzPB.



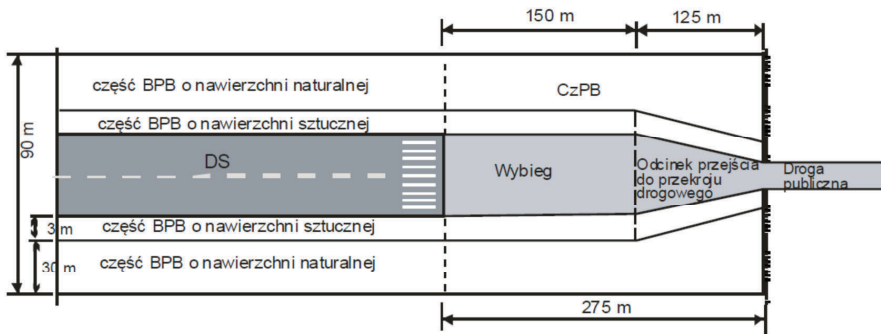
2. Elementy drogowego odcinka lotniskowego [1]

Tab. 1. Wymagania geometryczne dla DOL

Parametr	Wartości
Całkowita długość DOL, w tym:	≥ 2990 m
a) długość DS	≥ 2440 m
b) długość CzPB	≥ 275 m
c) długość wybiegu	150 m
Całkowita szerokość pasa startowego, w tym:	≥ 90 m
a) szerokość DS	≥ 24 m
b) szerokość każdego z BPB, w tym:	≥ 33 m
- część o nawierzchni sztucznej	≥ 3 m
- część o nawierzchni sztucznej	≥ 30 m
Pochylenie podłużne nawierzchni	≤ 1,5 %
Pochylenie poprzeczne DS	≥ 0,5 % i ≤ 1,5 %
Pochylenie poprzeczne BPB i CzPB	≤ 3,0 %
Pionowy promień krzywizny powierzchni DS i BPB w kierunku podłużnym	≥ 8000 m
Długość PPS	≥ 200 m
Szerokość PPS	≥ 45 m
Szerokość DK	≥ 15 m



3. Przekrój poprzeczny pasa startowego DOL [1]



4. Wymiary geometryczne wybiegu oraz BPB i CzPB DOL [1]

Na DOL będzie głównie odbywał się ruch samochodowy, dlatego etap projektowania lub adaptacji tych odcinków powinien uwzględniać rozwiązania i wymagania drogowe (np. wymagania konstrukcyjne). Zasady projektowania i wymagania techniczne dla DOL dotyczą natomiast głównie warstwy jezdnej oraz poboczy i stref bezpieczeństwa. Na całej długości pasa startowego DOL nie mogą się znajdować żadne budowle naziemne i podziemne oraz jakiegokolwiek przeszkody (drzewa, znaki, skarpy, ekrany, itp.) z wyjątkiem istniejących drogowych przepustów odwadniających z wlotami i wylotami usytuowanymi poza pasem drogowym. W przypadku ustawienia elementów stanowiących przeszkody (np. bariery rozdzielające ruch), muszą być one łatwe w demontażu i usuwaniu. W pasie startowym DOL oraz w obszarach o ograniczonych przeszkodach oznakowania pionowe należy ograniczyć do niezbędnego minimum, z możliwością ich szybkiego zdemontowania. Ponadto, w pasie startowym DOL wyklucza się skrzyżowania i połączenia z innymi drogami, dopuszcza się na-

tomiasz zjazdy gruntowe do celów gospodarczych, lecz bez przepustów drogowych.

Przejście z jednego pochylenia podłużnego DS do drugiego należy wykonać płaszczyzną zakrzywioną, której stopień zmiany pochylenia nie powinien przekraczać 0,1 % na 30 m. Płynność łączenia sąsiednich odcinków DS o różnych pochyleniach podłużnych należy zapewnić poprzez zachowanie dopuszczalnych krzywizn powierzchni w płaszczyźnie pionowej. Minimalny promień tej krzywizny powinien wynosić 8000 m. Jeżeli nie można uniknąć zmian pochylenia DS, to zmiany te należy wykonać, zapewniając linię widoczności, tak żeby każdy punkt usytuowany na wysokości 3 m nad DS był widoczny z każdego innego punktu usytuowanego również 3 m nad DS w odległości równej co najmniej połowie długości DS. W celu zapewnienia możliwie jak najszybszego odprowadzenia wody, nawierzchnia DS powinna być dwuspadowa, pochylenie po obu stronach osi powinno być symetryczne. Pochylenie poprzeczne powinno być w przybliżeniu jednakowe na całej długości

DS, gdzie należy zapewnić płynne przejście spadków, ze względu na konieczność zapewnienia dobrego spływu wody.

Nawierzchnia poboczy DS powinna być wysokościowo zrównana z nawierzchnią DS, natomiast pochylenie poprzeczne poboczy nie powinno przekraczać 3,0 %. W przypadku utrudnień w odprowadzeniu wody powierzchniowej z BPB, powierzchnie te mogą być zakończone rowami trójkątnymi o łagodnych skarpach nie mniejszych niż 1:5 i przeciwskarpach 1:2. Rowy nie powinny przekraczać głębokości 1,0 m i nie mogą być usytuowane w obszarze pasa drogowego.

PPS powinny być zlokalizowane w odległości minimum 50 m od zewnętrznych granic DS. Minimalne wymiary PPS to: długość 200 m, a szerokość 45 m (od krawędzi DS).

W przypadku lokalizacji DOL w pasie autostrady, gdzie na PPS będą wykorzystywane miejsca obsługi pasażerów, które są oddzielone od DS np. pasem zieleni, płaszczyzny takie należy połączyć z DS drogami kołowania, zapewniającymi dojazd do nich oraz wykołowanie na DS o minimalnej szerokości 15 m. Szerokość PPS w takim przypadku określa się od krawędzi pasa zieleni. Pochylenie PPS na stanowiskach dla WSP oraz DK powinno zapobiegać gromadzeniu się wody na wymienionych elementach funkcjonalnych DOL. PPS powinna być ułożona poziomo na tyle, na ile pozwalają na to warunki odwodnienia. Pochylenie poprzeczne PPS nie powinno przekraczać 2,5 %. Pobocza PPS powinny mieć szerokość wynoszącą minimum 5 m. Pochylenia podłużne poboczy powinny być zgodne z pochyleniami PPS, maksymalne pochylenia poprzeczne nie powinny przekraczać 3,0 %, a minimalne pochylenia powinny zapewnić odprowadzenie wód opadowych.

DK muszą posiadać sztuczną nawierzchnię spełniającą wymagania

nośności przyjętej dla DS.

Promień łuku DK nie powinien być mniejszy niż: na skrzyżowaniu z DS 30 m, a na skrzyżowaniu z PPS 10 m. Pochylenia podłużne nawierzchni DK nie powinny przekraczać 2,5 %, natomiast pochylenia poprzeczne powinny mieścić się w zakresie od 1,0 % do 2,5 %.

W przypadku, gdy PPS są oddzielone od DS np. pasem zieleni, to od każdej PPS powinny być wybudowane dwie DK – jedna umożliwiająca wkołowanie z DS na PPS, a druga umożliwiająca wkołowanie z PPS na DS.

Wymagania konstrukcyjne

Nawierzchnie DOL mogą stanowić układ konstrukcji nawierzchni podatnych, sztywnych, lub złożonych. Należy podkreślić, że DOL użytkowane są przede wszystkim przez pojazdy samochodowe, a ich eksploatacja przez WSP jest doraźna, dlatego rodzaj i układ konstrukcji muszą spełnić wymagania dla nawierzchni przeznaczonej dla ruchu pojazdów samochodowych. Zasady projektowania i wymagania techniczne dla DOL dotyczą głównie warstwy jezdnej, zatem podstawą do projektowania lub adaptacji dróg dla przewidywanego ruchu, tj. transportu samochodowego oraz operacji lotniczych WSP są wymagania przedstawione w Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, załącznik do zarządzenia nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r. [10] oraz Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, załącznik do zarządzenia nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r. [11].

W przypadku przyjęcia rozwiązań dla układu warstw konstrukcyjnych nawierzchni DOL według wymienionych powyżej katalogów typowych konstrukcji, należy przyjąć układ

konstrukcyjny dla kategorii ruchu przynajmniej KR 4. Dopuszcza się indywidualne projektowanie konstrukcji nawierzchni oraz warstwy ulepszonego podłoża w sytuacjach nietypowych pod warunkiem akceptacji przez zarządcę drogi. Rozwiązania innowacyjne niezawarte w ww. katalogach mogą być dopuszczone do stosowania w praktyce po szczegółowej ocenie technicznej. Materiały użyte do budowy warstwy jezdnej nawierzchni sztywnych lub podatnych DOL muszą spełniać wymagania określone w [2] dla nawierzchni sztywnych lub [3] dla nawierzchni podatnych. Warstwa jezdna, zarówno DS, PPS jak i DK nie powinna mieć uszkodzeń zagrażających bezpieczeństwu wykonywania operacji startów i lądowań WSP.

DOL w przekroju poprzecznym powinien mieć symetryczne pochylenia nawierzchni w stosunku do osi DS, zgodne z wymaganiami przedstawionymi w tabeli 1 i na rys. 3, o szerokości całkowitej minimum 90 m. Szerokość DS o nawierzchni z betonu cementowego lub betonu asfaltowego powinna wynosić nie mniej niż 24 m. Ponadto, pobocza utwardzone przy DS o minimalnej szerokości 3 m powinny posiadać nawierzchnię sztuczną np. z betonu asfaltowego lub cementowego, ułożoną na odpowiedniej podbudowie, umożliwiającą przeniesienie obciążeń pojazdów zabezpieczających bezpieczną eksploatację o każdej porze roku. Poza poboczami utwardzonymi należy przewidzieć BPB, symetrycznie usytuowane wzdłuż DS, przylegające do poboczy utwardzonych o szerokości minimum po 30 m, o nawierzchni naturalnej (zadarnionej nawierzchni gruntowej). Wybiegi oraz odcinki przejścia do przekroju drogowego powinny posiadać konstrukcje spełniające przyjęte wymagania nośności i wymagania eksploatacyjne dla DS.

Sumaryczna grubość warstw kon-

strukcyjnych nawierzchni DOL wraz z podłożem gruntowym powinna zabezpieczyć układ konstrukcyjny przed skutkami przemarzania i spełnić wymagania przedstawione w [2]. Liczba i rodzaj warstw występujących w danej konstrukcji nawierzchni zależy od warunków gruntowo-wodnych, kategorii ruchu, specyficznych warunków klimatycznych oraz od materiałów użytych do warstw nawierzchni.

DOL o konstrukcji sztywnej powinien posiadać warstwę jezdnią wykonaną z betonu cementowego, która w zależności od kategorii ruchu może być ułożona jako niedyblowana, dyblowana i kotwiona lub zbrojona, zgodnie z wymaganiami podanymi w [2]. Grubość warstwy jezdnej w postaci płyty swobodnej, która nie współpracuje z płytami sąsiednimi i nie jest zbrojona lub pozbawiona innych elementów wzmacniających, nie powinna być mniejsza niż 0,22 m. W uzasadnionych przypadkach, dla zapewnienia współpracy płyt, zaleca się ich łączenie np. na pióro i wpust lub z wykorzystaniem dybli i kotew. W przypadku przewidywanego zastosowania połączeń płyt za pomocą dybli, minimalna grubość warstwy jezdnej powinna wynosić 0,26 m. Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni (warstwa podbudowy pomocniczej oraz warstwa mrozochronna) stanowią fundament dla warstwy górnej konstrukcji nawierzchni. Warstwy te dobierane są w zależności od grupy nośności podłoża gruntowego i od wymaganej nośności dolnych warstw konstrukcji nawierzchni. Właściwe wypełnianie funkcji przez warstwę ulepszonego podłoża oraz przez dolne warstwy konstrukcji nawierzchni zależy od prawidłowego zaprojektowania i wykonania robót ziemnych oraz związanych z nimi elementów odwodnienia wgłębnego i powierzchniowego.

Natomiast w przypadku DOL o konstrukcji podatnej, rodzaj i układ

warstw uzależniony jest od kategorii ruchu występującego i prognozowanego w miejscu jego usytuowania. Rodzaj konstrukcji przyjmuje się na podstawie założeń podanych w [3] i [10] lub na podstawie innych rozwiązań uzgodnionych pomiędzy zainteresowanymi stronami. Podczas projektowania konstrukcji DOL należy uwzględniać miejscowe warunki eksploatacyjno-ruchowe. Do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej należy stosować materiały spełniające wymagania [3]. Minimalna grubość warstwy ścieralnej powinna wynosić 50 mm.

Wymagania w zakresie nośności

Konstrukcja nawierzchni DOL powinna zapewnić bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych WSP zarówno lotnictwa taktycznego, jak i transportowego. Dla DOL przyjęto obliczeniowy statek powietrzny, dla którego wymagany jest wskaźnik nośności nawierzchni (sztucznych) – PCN ≥ 35 . Przyjęty wskaźnik nośności dotyczy DS, PPS, DK oraz wybiegów i odcinków przejściowych do przekroju drogowego. Nośność konstrukcji nawierzchni DOL

w postaci liczby klasyfikacyjnej nawierzchni PCN (ang. Pavement Classification Number) należy określić metodą ACN-PCN (ang. Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number), zgodnie z [4], Załącznikiem 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym [12] oraz Aerodrome Design Manual Part 3, Pavements [13]. Kontrolne badania nośności nawierzchni DOL należy przeprowadzać okresowo z częstotliwością od 3 do 5 lat. Pomiary ugięć sprężystych należy wykonywać w okresie wiosennym i/lub w okresie jesiennym zgodnie z wymaganiami określonymi w [4].

nawierzchnie naturalne (darniowe i gruntowe) BPB i CzPB eksploatowane w obszarze DOL także należy poddawać kompleksowej ocenie

nośności, zgodnie z [7]. Kontrolne badania nośności nawierzchni naturalnych należy wykonać po wybudowaniu DOL oraz przeprowadzać na użytkowanych i/lub będących przedmiotem wymiany darniowych i gruntowych nawierzchniach DOL okresowo, z częstotliwością od 3 do 5 lat. Badania powinny obejmować:

- badanie wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m poniżej poziomu terenu,
- badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu.

Badania terenowe nośności naturalnych nawierzchni DOL należy wykonać zgodnie z metodyką przedstawioną w [7] do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu, dla trzech wydzielonych warstw przedstawionych na rys. 5, na którym 1 – warstwa pierwsza do głębokości 0,15 m, 2 – warstwa druga od głębokości 0,15 m do głębokości 0,50 m, 3 – warstwa trzecia od głębokości 0,50 m do głębokości 0,85 m.

Pomiary terenowe należy wykonywać w okresie wiosennym, tj. w najbardziej niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych [14]. Dopuszcza się wykonywanie pomiarów terenowych w okresie jesiennym. Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wyraża się wskaźnikiem CBR (ang. California Bearing Ratio), który

oblicza się zgodnie ze wzorem:

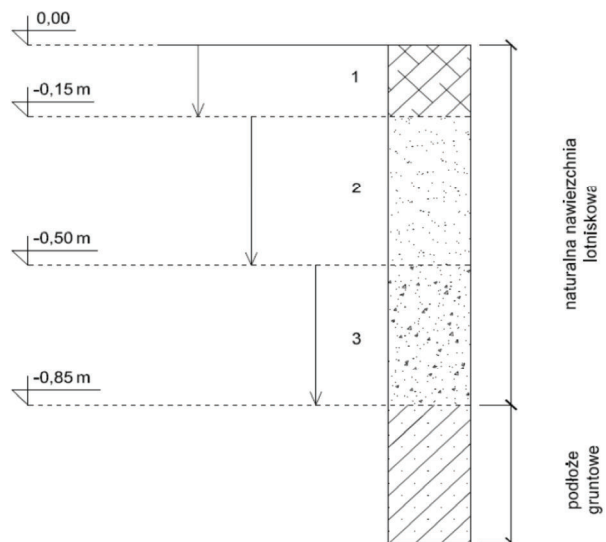
$$CBR = 292 / DCP^{1,12} \quad (1)$$

gdzie: CBR – kalifornijski wskaźnik nośności [%], DCP – zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie [mm].

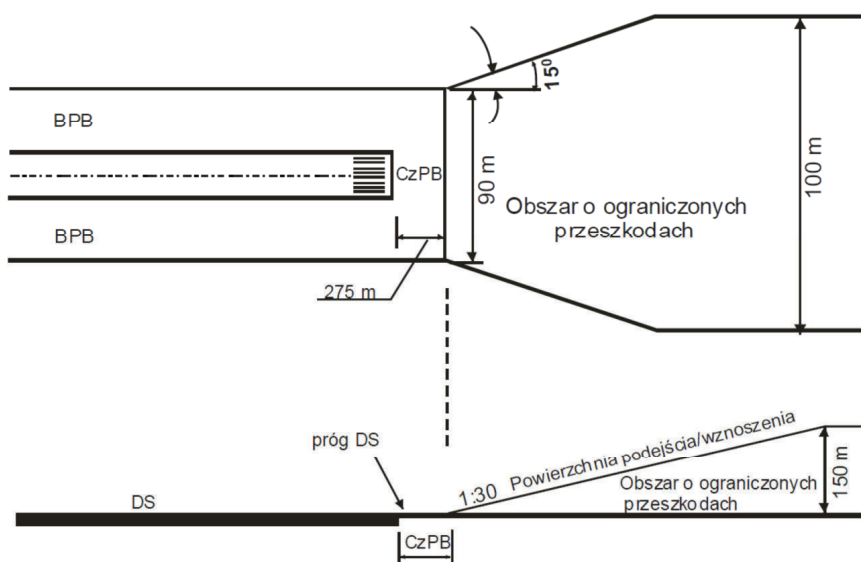
Minimalna wartość CBR powinna wynosić 15 % dla pierwszej warstwy (do głębokości 0,15 m) oraz 8 % dla warstwy powstałej z połączenia warstwy drugiej i trzeciej (od głębokości 0,15 m do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu). Nawierzchnie naturalne, które nie spełniają wymagań w zakresie nośności, należy poddać działaniom naprawczym, np. doziarnieniu, zagęszczeniu, zabiegom agrotechnicznym lub zabiegom wzmacniającym, np. z zastosowaniem geosyntetyków [15].

Wymagania w zakresie strefy podejść powietrznych

Powierzchnie podejścia/wznoszenia zaczynają się od końców CzPB (275 m za progiem DS), pochylone są w stosunku 1:30 do poziomu DS i wznoszą się na wysokość 150 m. Powierzchnie takie mają szerokość początkową równą szerokości roboczego pasa startowego (90 m), następnie rozszerzają się na zewnątrz pod kątem 15° do szerokości wyno-



5. Układ wydzielonych warstw nawierzchni naturalnej w badaniach nośności [7]



6. Powierzchnia podejścia/wznoszenia dla DOL [1]

szącej 100 m. Powierzchnie podejścia/wznoszenia znajdują się na obu końcach CzPB drogowego odcinka lotniskowego. W strefach takich nie mogą się znajdować żadne przeszkody przekraczające wysokość powierzchni podejścia/wznoszenia. Schemat przedmiotowych powierzchni przedstawiono na rys. 6. Obiekty wznoszone poza powierzchniami podejścia/wznoszenia muszą zostać uzgodnione z właściwym organem wojskowym, w celu potwierdzenia braku negatywnego wpływu takiego obiektu na operacje lotnicze.

Parametry eksploatacyjne DOL

DOL powinien zapewnić bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych przez WSP. W związku z tym, eksploatowana nawierzchnia DOL powinna spełniać określone wymagania w zakresie nośności, równości i szorstkości. Ponadto, w przypadku eksploatacji nawierzchni sztucznych DOL przez WSP w okresie jesienno-zimowym, należy stosować środki odladzające zgodnie z wymaganiami określonymi w [8].

Nośność

Nośność konstrukcji nawierzchni DOL powinna spełniać wymagania określone w projekcie technicznym.

Wymagany wskaźnik nośności nawierzchni drogowego odcinka lotniskowego to $PCN \geq 35$. Przyjęty wskaźnik dotyczy DS, PPS, wybiegów, odcinków przejścia do przekroju drogowego oraz DK. Ocenę nośności nawierzchni DOL należy prowadzić metodą nieniszczących obciążeń dynamicznych. Ocenę nośności należy przeprowadzić według zasad metody ACN-PCN wymaganą przez ICAO, zgodnie z [4].

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 (ang. Heavy Weight Deflectometer). W ramach badań wykonuje się pomiary ugięć sprężystych nawierzchni, na podstawie których wyznacza się wartość wskaźnika nośności PCN i/lub dopuszczalną liczbę operacji lotniczych dla przyjętego typu samolotu obliczeniowego.

W celu przeprowadzenia pełnej analizy nośności ocenianej nawierzchni DOL wykonuje się identyfikację jej konstrukcji poprzez pobranie próbek w postaci odwiertów rdzeniowych, które następnie poddawane są badaniom wytrzymałościowym w warunkach laboratoryj-

nych [16]. 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:

$$N = \left[\frac{R_{zg}}{\sigma} \times \left(\frac{E}{30000} \right)^{1.3} \right]^{(-1/-0.233)} \times 10 \quad (2)$$

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].

Weryfikacja, czy WSP może bezpiecznie wykonywać operacje na danym DOL, sprowadza się do porównania liczby PCN nawierzchni z liczbą ACN samolotu i sprawdzenie warunku $ACN \leq PCN$.

Równość

Równość nawierzchni DOL powinna spełniać kryteria podane w [5]. Pomiar równości należy wykonywać zgodnie z metodyką podaną w [5], z wykorzystaniem zmodernizowanego planografu P-3z. Stan równości decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni DOL, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię [17]. Uzyskanie wymaganej równości to także warunek skutecznego i szybkiego odprowadzenia wód opadowych z nawierzchni DOL. Nawet na niewielkich nierównościach nawierzchni mogą się tworzyć zasto-

iska wody, które w okresie zimowym pogarszają warunki bezpieczeństwa ruchu.

Równość nawierzchni lotniskowych powinna spełniać kryteria określone poziomem wadliwości [18]. 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:

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

Wynik pomiaru stanu równości nawierzchni DOL 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 będących w eksploatacji. Zgodnie z wymaganiami zawartymi w [5] dopuszczalne nierówności dla nowobudowanych nawierzchni DOL oraz maksymalne wartości nierówności dla nawierzchni eksploatowanych powinny spełniać kryteria przedstawione w tabeli 2.

Szorstkość

Szorstkość nawierzchni DOL powinna spełniać kryteria dla nawierzchni

Tab. 2. Maksymalne i dopuszczalne nierówności dla nawierzchni DOL

Rodzaj urządzenia	Maksymalne nierówności	Dopuszczalne nierówności
Planograf lub łata 4 m	12 mm	5 mm
Planograf lub łata 3 m	9 mm	3 mm

ni lotniskowych podane w [6]. Stan szorstkości nawierzchni ma niezwykle istotne znaczenie dla bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Badania szorstkości na-

wierzchni DOL wykonuje się zgodnie z wymaganiami: normy obronnej [6], Załącznika 14 ICAO do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym [12] oraz Advisory Circular No: 150/5320-12C Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces Document Information, FAA, 1997 [19]. W normie [6] omówiono metodykę 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).

Współczynnik tarcia jest podstawowym parametrem charakteryzującym nawierzchnię lotniskową pod względem szorstkości [20]. Tarcie jest zjawiskiem występującym na styku powierzchni ciał materialnych. Siła tarcia zależy od dwóch parametrów, tj.: wartości siły nacisku jednego ciała na drugie oraz współczynnika tarcia. W przypadku tarcia statycznego, kiedy obiekty pozostają nieruchome względem siebie, współczynnik tarcia jest stały. Ogólny wzór na maksymalną siłę tarcia ma postać:

$$T = \mu N \quad (3)$$

gdzie: T – wartość siły tarcia [N], μ – wartość współczynnika tarcia [-], N – wartość siły nacisku jednego obiektu na drugi [N].

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). Badania szorstkości na-

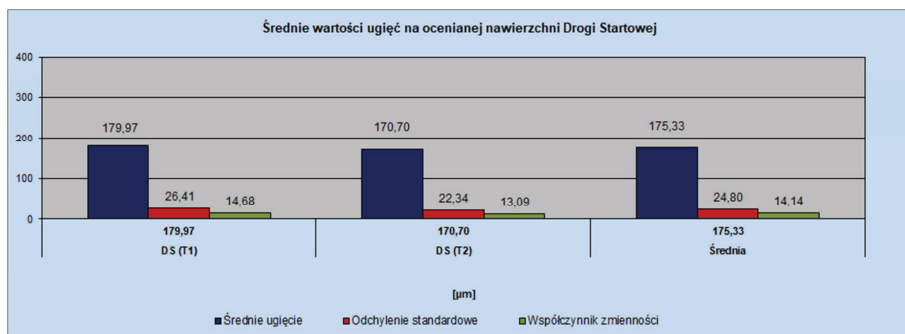
wierzchni DOL należy wykonywać urządzeniami umożliwiającymi ciągły pomiar współczynnika tarcia między kołem poruszającego się statku powietrznego a nawierzchnią lotniskową. Należy stosować urządzenia z oponą gładko bieżnikowaną, wyposażone w układ samozrządzający, umożliwiający pomiar współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowej pokrytej warstwą wody o grubości nie mniejszej niż 1 mm przy dwóch prędkościach pomiarowych, tj. 65 km/h lub 95 km/h. Przykładowo, wymagane wartości współczynnika tarcia dla nawierzchni lotniskowych poddanych ocenie przy wykorzystaniu urządzenia pomiarowego w postaci testera tarcia ASFT (ang. Airport Surface Friction Tester) na przyczepie T-10 przy prędkości pomiaru 65 km/h przedstawiają się następująco:

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

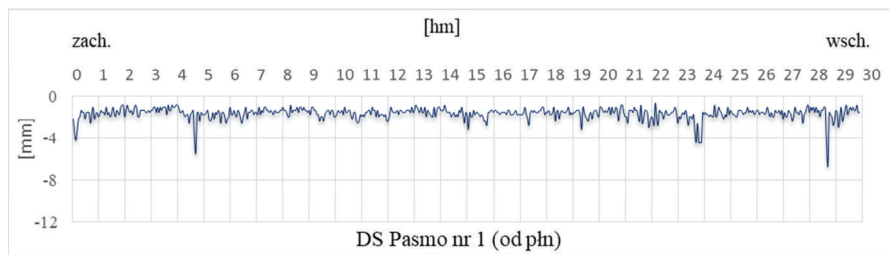
Wyniki badań dla DOL Wielbark

W ramach realizowanej inwestycji pn. Rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 604 na odcinku Robaczewo – Wielbark przeprowadzono badania odbiorcze, które obejmowały określenie parametrów eksploatacyjnych nawierzchni DOL w zakresie nośności, równości oraz szorstkości. Elementami funkcjonalnymi ocenianego DOL Wielbark były: droga startowa z betonu cementowego o szerokości 30 m i długości 2440 m (sumaryczna długość wraz z wybiegami 2990 m) oraz dwie płaszczyzny postoju samolotów (PPS EAST i PPS WEST) także o nawierzchni z betonu cementowego i wymiarach 200 m x 45 m. W artykule przedstawiono wyniki z przeprowadzonych badań, ale tylko w odniesieniu do DS.

Badanie nośności zostało przeprowadzone z wykorzystaniem ugię-



7. Zestawienie wartości ugięć sprężystych dla konstrukcji nawierzchni DS [21]



8. Profil nierówności podłużnych na trasie pomiarowej nr 1 – pasmo nr 1 (DS) [21]

ciomierza lotniskowego typu HWD zgodnie z wymaganiami normy obronnej [4]. W wyniku wykonanej analizy nośności określono całkowite, dopuszczalne liczby operacji lotniczych dla ocenianych elementów funkcjonalnych DOL, uwzględniając przyjęty w dokumentacji projektowej wskaźnik nośności PCN 35. Uzyskane wyniki podczas pomiarów terenowych, w postaci wykresu średnich wartości ugięć sprężystych dla badanej konstrukcji nawierzchni DS, przedstawiono na rys. 7 [21]. Natomiast wyznaczona, całkowita, dopuszczalna liczba operacji lotniczych N wyniosła 125 000 dla wskaźnika PCN 35/R/B/W/T.

Badanie równości ocenianych nawierzchni DOL Wielbark przeprowadzono z wykorzystaniem zmodernizowanego planografu typu P-3z, zgodnie z normą obronną [5]. Ocenę stanu równości nawierzchni przeprowadzono na podstawie kryterium wadliwości W. Uzyskane wyniki podczas pomiarów terenowych (dla DS), w postaci profilu nierówności podłużnych dla jednej z tras przedstawiono na rys. 8. Natomiast wyznaczone wartości wadliwości W wyniosły odpowiednio: 0,9 % w kierunku podłużnym (stan bardzo dobry) oraz 16,4 % w kierunku poprzecznym

(stan dostateczny) [21].

Pomiary w zakresie szorstkości realizowane były zgodnie z metodyką określoną w normie obronnej [6]. W wyniku przeprowadzonych pomiarów, określono aktualne (na dzień przeprowadzenia badań) wartości współczynnika tarcia dla ocenianych nawierzchni DOL Wielbark. Uzyskane wyniki podczas pomiarów terenowych (dla DS), w postaci średnich wartości współczynnika tarcia μ przedstawiono w tabeli 3 [21].

Na podstawie wykonanych badań odbiorczych nawierzchni DS na DOL Wielbark w zakresie nośności, równości i szorstkości, można sformułować następujące wnioski:

1. Przeprowadzone badania polowe z wykorzystaniem ugięciomierza udarowego typu HWD wykazały, że podłoże gruntowe występujące pod badaną konstrukcją nawierzchni DS, w momencie jego badania, można ocenić jako grunty o średniej kategorii nośności.

2. Konstrukcja ocenianej nawierzchni DS spełniła wymagania w zakresie nośności dla przyjętego wskaźnika PCN 35.
3. Oceniana nawierzchnia DS spełniła wymagania w zakresie równości, określone dla nowych nawierzchni lotniskowych w normie obronnej [5].
4. Podlegająca ocenie nawierzchnia DS spełniła także wymagania w zakresie szorstkości, określone w [6] dla nowych nawierzchni lotniskowych.

Podsumowanie

Drogowe odcinki lotniskowe obok sieci lotnisk cywilnych, wojskowych i aeroklubowych, to aktualnie jeden z bardzo ważnych elementów infrastruktury krytycznej i obronnej naszego państwa. Ich rola, zadania, znaczenie i przydatność nabrały szczególnego wymiaru w aktualnej sytuacji geopolitycznej, tj. podczas trwającego konfliktu zbrojnego w Ukrainie.

DOL to specjalnie przygotowane odcinki dróg publicznych przystosowane do wykonywania operacji lotniczych startu i lądowania wojskowych statków powietrznych realizujących zadania operacyjne w czasie kryzysu i wojny jak również zadania wynikające z realizacji procesu szkolenia lotniczego. DOL to proste odcinki dróg o określonych parametrach oraz wymiarach poziomych i pionowych części przestrzeni powietrznej, które obejmują: drogę startową, płaszczyzny postoju samolotów, drogi kołowania (jeśli są one konieczne), boczne pasy bezpieczeństwa, czołowe pasy bezpieczeństwa oraz obszary o ograniczonych przeszkodach. Do właściwego

Tab. 3. Wyniki pomiarów współczynnika tarcia dla nawierzchni DS na DOL Wielbark

EFL	Trasa pomiarowa	Wartość minimalna współczynnika tarcia	Wartość maksymalna współczynnika tarcia	Wartość średnia współczynnika tarcia
DS	1	0,54	0,84	0,71
	2	0,53	0,88	0,72
Średnia:				0,72

usytuowania DOL należy wykorzystywać drogi publiczne zarządzane przez służby drogowe, posiadające wymaganą długość oraz odpowiednią nośność.

W artykule przedstawiono wymagania geometryczne, konstrukcyjne, w zakresie nośności i stref podejść powietrznych stawiane DOL, które szczegółowo określa obowiązująca norma obronna NO-17-A207:2022. Omówiono także wymagania dla podstawowych parametrów eksploatacyjnych nawierzchni na obiektach użytkowanych przez służby drogowe, które należy stosować przede wszystkim: przy projektowaniu i budowie DOL, modernizowaniu i przebudowie istniejących drogowych odcinków lotniskowych, odbiorze wykonanych robót, ocenie technicznej i eksploatacyjnej. Należy podkreślić, że postanowienia ww. normy są właściwe dla oceny stanu technicznego DOL w całym okresie ich technicznej żywotności, a szczególnie w okresie ich użytkowania przez wojskowe statki powietrzne.

Ponadto, w artykule zaprezentowano uzyskane wyniki badań parametrów eksploatacyjnych nowowbudowanej konstrukcji nawierzchni drogi startowej DOL Wielbark w ciągu drogi wojewódzkiej nr 604. Na podstawie uzyskanych wyników badań w zakresie nośności, równości i szorstkości stwierdzono, że oceniana konstrukcja nawierzchni DS spełniała wszystkie wymagania normowe oraz założenia projektowe i może zostać dopuszczona do eksploatacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] NO-17-A207:2022 Nawierzchnie lotniskowe – Drogowe odcinki lotniskowe – Wymagania i badania.
- [2] NO-17-A204:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu cementowego – Wymagania i metody badań.
- [3] NO-17-A200:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego – Wymagania i badania.
- [4] NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe – Badania nośności.
- [5] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Badania równości.
- [6] NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Badania szorstkości.
- [7] NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe – Darniowe i gruntowe nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności.
- [8] NO-17-A205:2017 Zimowe utrzymanie nawierzchni lotniskowych – Stosowanie środków do odładzania – Wymagania i badania.
- [9] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz.U. z 2020 r. poz. 470, z późn. zm.).
- [10] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, załącznik do zarządzenia nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r.
- [11] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, załącznik do zarządzenia nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r.
- [12] Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 11, styczeń 2019.
- [13] Aerodrome Design Manual Part 3, Pavements, ICAO, Doc-9157-AN/901.
- [14] Wesołowski M., Pietruszewski P., Iwanowski P. Analysis of natural airfield pavement load-bearing capacity in the aspect of air operation safety. „Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference”, Beer, M., Zio, E. Ed., Research Publishing, Singapore, 2019.
- [15] Wesołowski M., Kowalewska A. The impact of a geogrid system on load-bearing capacity of natural airfield pavements. Archives of Civil Engineering, 2020, Vol. LXVI, 52, nr DOI: 10.24425/ace.2020.131795
- [16] Wesołowski M., Blacha K. The Impact of Load Bearing Capacity of Airfield Pavement Structures on the Air Traffic Safety. „Environmental Engineering”, 10th International Conference, Litwa, 27-28 Kwietnia 2017.
- [17] Poświata A., Pietruszewski P., Włodarski P. Wpływ nierówności nawierzchni lotniskowych na stan techniczny i bezpieczeństwo operacji lotniczych. Przegląd Komunikacyjny 2022, nr 10, 11-17.
- [18] Pietruszewski P., Poświata A., Wesołowski M. Evaluation of airfield pavement evenness. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018.
- [19] Advisory Circular No: 150/5320-12C Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces Document Information, FAA, 1997.
- [20] Wesołowski M., Blacha K. Evaluation of airfield pavement micro and macrottexture in the light of skid resistance (friction coefficient) measurements. MAT-TEC Web of Conferences, Volume 262, (05017), 2019.
- [21] Wesołowski M., Blacha K., Pietruszewski P., Kowalewska A. Wykonanie badania nośności, szorstkości i równości nawierzchni z betonu cementowego wykonanej jako Drogowy Odcinek Lotniskowy, Sprawozdanie nr 24/24/21, ITWL, Warszawa 2021.