

przegląd komunikacyjny

12
2018
rocznik LXXIII
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Projektowanie, budowa i utrzymanie lotnisk



2018 rokiem
Ernesta Malinowskiego

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Nieustabilizowane podejścia do lądowania w szkoleniu lotniczym na podstawie systemu monitorowania zdarzeń (FDM4GA). Rola i funkcja naturalnych nawierzchni lotniskowych w systemie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Lotniskowe nawierzchnie na powłokach lodowych jezior. Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia. Ocena równości nawierzchni lotniskowych w aspekcie obowiązujących dokumentów normatywnych. Betonowa płyta prefabrykowana jako technologia odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych. Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych przy użyciu urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem. Standaryzacja i integracja procesu projektowania planów generalnych portów lotniczych. Analiza możliwości zwiększenia bezpieczeństwa w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie nowych technologii. Badanie oddziaływań kontaktowych w obiekcie gruntowo-powłokowym z użyciem tensometrów

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

„Przegląd Komunikacyjny” publikuje artykuły związane z szeroko rozumianym transportem oraz infrastrukturą transportu. Obejmuje to zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne. Akceptowane są także materiały związane z geografią, historią i socjologią transportu.

Artykuły publikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” dzieli się na: „wnoszące wkład naukowy w dziedzinę transportu i infrastruktury transportu” oraz „pozostałe”. Prosimy Autorów o deklarację (w zgłoszeniu), do której grupy zaliczyć ich prace.

Materiały do publikacji: zgłoszenie, artykuł oraz oświadczenie Autora, należy przysyłać w formie elektronicznej na adres redakcji:

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

W zgłoszeniu należy podać: imię i nazwisko autora, adres mailowy oraz adres do tradycyjnej korespondencji, miejsce zatrudnienia, zdjęcie, tytuł artykułu oraz streszczenie (po polsku i po angielsku) i słowa kluczowe (po polsku i po angielsku). Szczegóły przygotowania materiałów oraz wzory załączników dostępne są na stronie:

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

W celu usprawnienia i przyspieszenia procesu publikacji prosimy o zastosowanie się do poniższych wymagań dotyczących nadsyłanego materiału:

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązuje odrębna numeracja ilustracji (bez rozróżniania na rysunki, fotografie itp.) oraz tabel.
2. Całość materiału nie powinna przekraczać 12 stron w formacie Word (zalecane jest 8 stron). Do limitu stron wlicza się ilustracje załączane w odrębnych plikach (przy założeniu że 1 ilustracja = ½ strony).
3. Format tekstu powinien być jak najprostszy (nie stosować zróżnicowanych stylów, wcięć, podwójnych i wielokrotnych spacji itp.). Dopuszczalne jest pogrubienie, podkreślenie i oznaczenie kursywą istotnych części tekstu, a także indeksy górne i dolne. **Nie stosować przypisów.**
4. Nawiązania do pozycji zewnętrznych - cytaty (dotyczy również podpisów ilustracji i tabel) oznacza się numeracją w nawiasach kwadratowych [...]. Numerację należy zestawić na końcu artykułu (jako „Materiały źródłowe”). Zestawienie powinno być ułożone alfabetycznie.
5. Jeżeli Autor wykorzystuje materiały objęte nie swoim prawem autorskim, powinien uzyskać pisemną zgodę właściciela tych praw do publikacji (niezależnie od podania źródła). Kopie takiej zgody należy przesłać Redakcji.

Artykuły wnoszące wkład naukowy podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNiSW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego (z punktacją przyznawaną w toku oceny czasopism naukowych – aktualnie jest to **8 punktów**).

Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki. Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji i ewentualny formularz recenzentki są podane do publicznej wiadomości na stronie internetowej czasopisma lub w każdym numerze czasopisma. Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane; raz w roku (w ostatnim numerze oraz na stronie internetowej) czasopismo podaje do publicznej wiadomości listę recenzentów współpracujących.

Przygotowany materiał powinien obrazować własny wkład badawczy autora. Redakcja wdrożyła procedurę zapobiegania zjawisku Ghostwriting (z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji). Tekst i ilustracje muszą być oryginalne i niepublikowane w innych miejscach (w tym w internecie). Możliwe jest zamieszczanie artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych i podobnych (na prawach rękopisu) z zaznaczeniem tego faktu i po przystosowaniu do wymogów publikacyjnych „Przeglądu Komunikacyjnego”.

Korespondencję inną niż artykuły do recenzji prosimy kierować na adres: **listy@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl**

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp. Szczegóły na: <http://przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/patron.html>
Ceny są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

- ogłaszanie przedmiotowych inicjatyw na łamach pisma,
- zamieszczanie wybranych referatów / wystąpień po dostosowaniu ich do wymogów redakcyjnych,
- publikację informacji końcowych (podsumowania, apele, wnioski),
- kolportaż powyższych informacji do wskazanych adresatów.

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada SITK O. Wrocław.

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

- zamieszczenie logo sponsora w każdym numerze,
- zamieszczenie reklamy sponsora w jednym, kilku lub we wszystkich numerach,
- publikacja jednego lub kilku artykułów sponsorowanych,
- publikacja innych materiałów dotyczących sponsora,
- zniżki przy zamówieniu prenumeraty czasopisma.

Możliwe jest także zamieszczenie materiałów od sponsora na stronie internetowej czasopisma.

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie z Pełnomocnikiem ZO Wrocław SITK.

Prosimy o kontakt z: dr hab. inż. Maciej Kruszyna na adres mailowy: **redakcja@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl**

Cena za świadczenia na rzecz sponsora uzależniana jest od uzgodnionych szczegółów współpracy. Zapłata może być dokonana jednorazowo lub w kilku ratach (na przykład kwartalnych). Część zapłaty może być w formie zamówienia określonej liczby prenumerat czasopisma.





Na okładce: Lotnisko, fot. Piotr Mackiewicz

Szanowni P.T. Czytelnicy

Przekazujemy kolejny numer Przeglądu Komunikacyjnego jest on poświęcony problemom projektowania, budowy i utrzymania, lotnisk. Autorzy w pierwszym artykule omawiają systemy służące do kształcenia pilotów w zakresie podejść do lądowania. W kolejnym artykule Autorzy analizują zagadnienia nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych pod kątem zabezpieczenia wykonywania operacji lotniczych (startów i lądowań). W następnym artykule prezentowany jest problem wykorzystania lodowych powierzchni jezior do wykonywania startów i lądowań samolotów. Prezentowane w pracy rozwiązania były weryfikowane na krajowych akwenach. Kolejny artykuł prezentuje urządzenia do pomiaru właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni lotniskowych w sposób ciągły, podając procedury do stosowania nowych urządzeń. Następny artykuł dotyczy oceny równości nawierzchni lotniskowych. Autorzy we wnioskach wskazują na istotność tego parametru w kontekście komfortu oraz oddziaływań dynamicznych. Dalszy artykuł prezentuje technologię odbudowy nawierzchni betonowych za pomocą prefabrykowanych płyt betonowych. W następnym artykule Autorzy prezentują metodykę oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem co jest istotne w przypadku nierównych nawierzchni. Kolejny artykuł prezentuje procedury projektowania Planu Generalnego Portu Lotniczego w kontekście obowiązujących w kraju uwarunkowań prawnych. Autorka w następnym artykule analizuje bieżący stan bezpieczeństwa lotniczego w Polsce wraz z oceną możliwości jego poprawy przy zastosowaniu koncepcji SHELL. Ostatni artykuł poświęcony jest badaniom obiektów gruntowo-powłokowych. Autorzy analizują rozkłady oddziaływań kontaktowych pomiędzy gruntem i powłoką. W tym celu wykorzystują pomiary odkształceń tensometrycznych.

Prezentowany numer jest ostatnim w bieżącym roku. Korzystając z okazji chciałbym podziękować za współpracę w mijającym roku: Redakcji, Radzie Naukowej i Programowej, Autorom publikacji, Recenzentom. Serdeczne podziękowania składam naszym Drogim Czytelnikom. Korzystając z okazji życzę radosnego przeżycia Świąt Bożego Narodzenia oraz wszelkiej pomyślności w Nowym 2019 roku.

Życzę naszym czytelnikom dobrej lektury.

Redaktor Naczelny:
Prof. Antoni Szydło

W numerze

Nieustabilizowane podejścia do lądowania w szkoleniu lotniczym na podstawie systemu monitorowania zdarzeń (FDM4GA)

Łukasz Puzio, Mateusz Milewski, Robert Sklorz, Arkadiusz Tofil 2

Rola i funkcja naturalnych nawierzchni lotniskowych w systemie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych

Mariusz Wesolowski, Krzysztof Blacha, Paweł Iwanowski, Paweł Pietruszewski 6

Lotniskowe nawierzchnie na powłokach lodowych jezior

Franciszek Kaźmierczyk, Piotr Nita 11

Ocena właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia

Mariusz Wesolowski, Krzysztof Blacha, Agata Kowalewska, Paweł Iwanowski 16

Ocena równości nawierzchni lotniskowych w aspekcie obowiązujących dokumentów normatywnych

Mariusz Wesolowski, Paweł Pietruszewski, Adam Poświata, Danuta Kowalska 24

Betonowa płyta prefabrykowana jako technologia odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych

Mariusz Wesolowski, Bartosz Świerzewski 30

Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych przy użyciu urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem

Andrzej Pożarycki, Tomasz Moralewski, Mariusz Wesolowski 37

Standaryzacja i integracja procesu projektowania planów generalnych portów lotniczych

Michał Kozłowski 42

Analiza możliwości zwiększenia bezpieczeństwa w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie nowych technologii

Marta Galant 49

Badanie oddziaływań kontaktowych w obiekcie gruntowo-powłokowym z użyciem tensometrów

Czesław Machelski, Leszek Korusiewicz 54

Wydawca:

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników
Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej
00-043 Warszawa, ul. Czackiego 3/5
www.sitk-rp.org.pl

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

Krzysztof Gasz, Igor Gisterek, Bartłomiej Krawczyk,
Maciej Kruszyna (Z-ca Redaktora Naczelnego),
Agnieszka Kuniczuk - Trzcinowicz (Redaktor językowy),
Piotr Mackiewicz (Sekretarz), Wojciech Puła (Redaktor
statystyczny), Wiesław Spuziak, Robert Wardęga,
Czesław Wolek

Adres redakcji do korespondencji:

Poczta elektroniczna:
redakcja@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Poczta „tradycyjna”:

Piotr Mackiewicz, Maciej Kruszyna
Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Faks: 71 320 45 39

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa), Bohuslav Novotny (Praga), Andrzej S. Nowak (Lincoln, Nebraska), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Krystyna Wojewódzka-Król (Gdańsk), Elżbieta Załoga (Szczecin), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

Mirosław Antonowicz, Dominik Borowski, Leszek Krawczyk, Marek Krużyński, Leszek W. Mindur, Andrzej Żurkowski

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

Główną wersją czasopisma jest wersja elektroniczna. Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów oraz streszczenia w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016).

Czasopismo jest umieszczone na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (8 pkt. za artykuł recenzowany).

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania zmian w materiałach nie podlegających recenzji.

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych oraz są indeksowane w bazach:
BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>
Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi począwszy od 4/2010.

Numer archiwalne z lat 2004-2009 można zamawiać w Oddziale krakowskim SITK,
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków,
tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

HARDY Design, 52-131 Wrocław, ul. Buforowa 34a
Przemysław Wolczuk, przemo@dodo.pl

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Nieustabilizowane podejścia do lądowania w szkoleniu lotniczym na podstawie systemu monitorowania zdarzeń (FDM4GA)

Unstabilized approach in aviation training on the basis of the flight data monitoring (FDM4GA)



Łukasz Puzio

Mgr inż.

Państwowa Wyższa Szkoła
Zawodowa w Chełmie, Centrum
Lotnicze

lpuzio@pwsz.chelm.pl



Mateusz Milewski

Inż.

Storkjet sp. z o.o.

mateusz.milewski@storkjet.com



Robert Sklorz

Mgr inż.

Wizz Air Hungary Ltd. (member of
Wizz Air Group)

rsklorz@nestmail.pl



Arkadiusz Tofil

Prof. nadzw. dr hab. inż.

Państwowa Wyższa Szkoła
Zawodowa w Chełmie, Centrum
Lotnicze

atofil@pwsz.chelm.pl

Streszczenie: Artykuł podejmuje tematykę opartą na systemach monitorowania lotów (FDM) w aspekcie szkolenia lotniczego. Kluczowym elementem jest wykorzystanie oprogramowania firmy Storkjet oraz danych zapisanych na rejestratorach lotów z Ośrodka Kształcenia Lotniczego (OKL) Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie. Autorzy w ramach artykułu przyjęli model ścieżki podejścia do lądowania uwzględniający przepisy lotnicze, osiągi statków powietrznych oparte na Instrukcjach Użytkownika w Locie (AFM), procedury oparte na Standardowych Procedurach Operacyjnych (SOP) OKL oraz danych nawigacyjnych opartych na zatwierdzonych informacjach nawigacyjnych dla konkretnych lotnisk. Problem nieustabilizowanych podejść do lądowania został przeanalizowany w oparciu o dane z różnych grup lotów (np. loty wg wskazań przyrządów, loty w nocy itp.). Dzięki temu zabiegowi zostały wyłonione grupy lotów, które statystycznie z punktu widzenia systemu zarządzania ryzykiem wnoszą największe ryzyko operacyjne w trakcie realizacji procesu kształcenia lotniczego.

Słowa kluczowe: Nieustabilizowane; Monitorowanie; Zdarzeń

Abstract: The article takes up the issue based on flight monitoring systems (FDM) in the aspect of aviation training. The key element is the use of Storkjet software and data recorded on flight recorders from the Aviation Training Center (OKL) of the State School of Higher Education in Chełm. The authors of the article have adopted a model of an approach path including air regulations, aircraft performance based on Aircraft Flight Manual (AFM), procedures based on OKL's the Standard Operating Procedures (SOPs) and navigation data based on approved navigation information for specific airports. The problem of unstabilized approaches has been analyzed on the basis of data from various flight groups (e.g. instrument flights, night flights, etc.). As a result flight groups were selected, which statistically from the point of view of the risk management system bring the largest operational risk during the aviation education process.

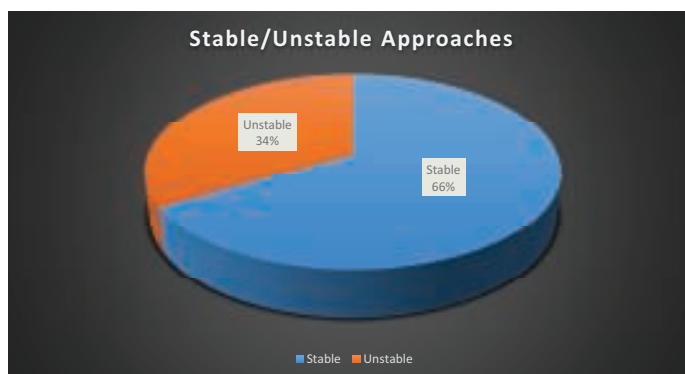
Keywords: Unstabilized; Monitoring; Event

Rozwój lotnictwa komunikacyjnego na całym Świecie wymusił nieustanne dążenie do podnoszenia poziomu bezpieczeństwa w celu podnoszenia atrakcyjności tego rodzaju transportu. Jednym z flagowych systemów podnoszących bezpieczeństwo w lotnictwie jest FDM (Flight Data Monitoring), który wspiera zarządzanie bezpieczeństwem lotniczym dzięki wykazywaniu przekroczeń i trendów na podstawie danych zapisa-

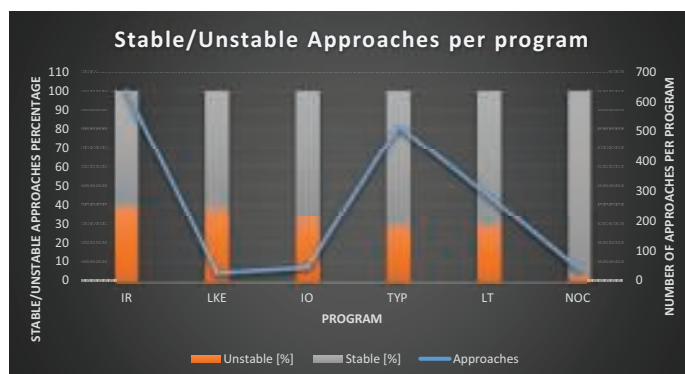
nych przez rejestrator pokładowy. Pozyskanie danych z rejestratorów w postaci cyfrowej daje możliwość zastosowania oprogramowania komputerowego, które w sposób automatyczny monitoruje przekroczenia i zdefiniowane wskaźniki związane z bezpieczeństwem oraz techniką lotniczą. Informacje uzyskane za pomocą FDM pozwalają zwiększyć poziom bezpieczeństwa, wydajność operacyjną oraz poprawić niezawodność

statku powietrznego. Do tej pory liczba statków powietrznych lotnictwa ogólnego wyposażonych w awionikę cyfrową była niewielka, co na przestrzeni ostatnich kilku lat ulega dynamicznej zmianie. Jest to związane ze spadkiem kosztów awioniki cyfrowej, czasami do poziomu poniżej kosztów tradycyjnego oprzyrządowania.

Awionika cyfrowa typowego statku powietrznego wykorzystywanego do szkolenia pilotów jest w stanie



1. Liczba niestabilnych podejść dla bramki 500 ft.



2. Liczba niestabilizowanych podejść do całości podejść

zarejestrować od kilkudziesięciu do kilkuset różnych parametrów lotu z częstotliwością pomiędzy 1, a 4 Hz. Analiza pojedynczego lotu powinna zawierać przekroczenia wynikających z ograniczeń zapisanych w instrukcji użytkownika w locie danego samolotu, instrukcji operacyjnych czy przepisów lotniczych, ale także wskaźniki pozwalające na monitorowanie trendów operacyjnych, czy stanu technicznego podzespołów. Czas wykonania takiej analizy wymaga wielokrotnie więcej czasu niż czas rozpatrywanego lotu. Przeprowadzenie ręcznej analizy kilkuset lotów wiązałoby się z koniecznością znacznej inwestycji w zasoby ludzkie. Wykorzystanie oprogramowania, które automatyzuje proces analizy jest kluczowe.

Europejska Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) rekomenduje podejmowanie działań związanych z monitorowaniem parametrów lotu w lotnictwie ogólnym w dokumentach takich jak:

- „Investigation of the technical

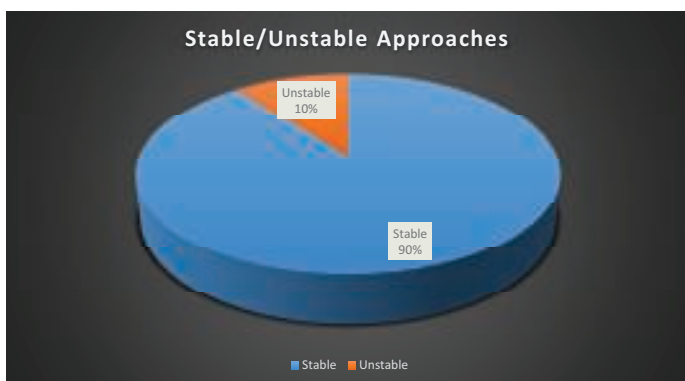
feasibility and safety benefit of a light airplane Flight Data Monitoring (FDM) system”;

- „Safety and research document EAFDM”
- czy w Europejskim Planie Bezpieczeństwa Lotniczego.

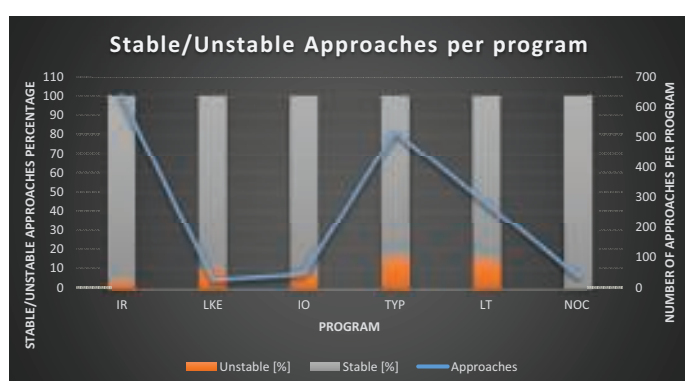
Dokumenty definiują m.in. kluczowe wskaźniki bezpieczeństwa, które mogą być wyznaczone za pomocą zarejestrowanych parametrów i odnoszą się pośrednio lub bezpośrednio do grup zdarzeń o największym ryzyku operacyjnym takich jak CFIT (Controlled Flight Into Terrain – Kontrolowany lot ku ziemi), RE (Runway Excursion – Wypadnięcie z drogi startowej), LOC I (Loss of Control in Flight – Utrata kontroli podczas lotu).

W celu poprawy bezpieczeństwa w lotnictwie ogólnym oraz dostosowania do proponowanych wymogów, Ośrodki Kształcenia Pilotów są zobligowane do wprowadzania zautomatyzowanych systemów monitorowania i analizy parametrów lotu. W ramach współpracy pomiędzy Ośrodkiem Kształcenia Lotniczego w

Chełmie, a firmą Storkjet zastosowano koncepcje kluczowych wskaźników bezpieczeństwa w odniesieniu do problemu naruszenia drogi startowej przy lądowaniu. Wykorzystując dane zebrane z 1550 lotów samolotami typu C-152, C-172, PS28 podczas lotów szkolnych wykonanych w OKL w Chełmie oraz w oparciu o oprogramowanie automatyzujące proces przetwarzania dostarczone przez firmę Storkjet przeprowadzono analizę przekroczeń oraz wskaźników dotyczących niestabilizowanych podejść do lądowania, które są ściśle powiązane z grupą zdarzeń typu RE. Skutkami niestabilizowanego podejścia mogą być między innymi lądowanie poza wyznaczonym obszarem lub zatrzymanie statku powietrznego poza drogą startową. Zdarzenia te zawierają się w Krajowym planie bezpieczeństwa na lata 2017-2020. Nieprawidłowy kontakt z drogą startową jest zaliczany do grupy wypadków lotniczych określanych przez EASA (w EPAS) oraz ICAO (w GASP) jako „Runway Safety”. Nieprawidłowy kontakt



3. Liczba niestabilizowanych podejść do całości podejść po obniżeniu tzw. „bramki wlotowej” do 250 stóp



4. Liczba niestabilizowanych podejść do lądowania do całości podejść po obniżeniu tzw. „bramki wlotowej” do 250 stóp

z DS jest bardzo często prekursorem wypadnięcia z drogi startowej i stanowi najczęściej występujący obszar wypadków w Państwach EASA w kategorii wypadków lotniczych bez ofiar.

Celem działań jest zminimalizowanie liczby zdarzeń z kategorii nieprawidłowego kontaktu z drogą startową, a pośrednio minimalizacja zdarzenia z kategorii wypadnięcia z drogi startowej oraz poprawa poziomu wyszkolenia i świadomości ryzyka w trakcie wykonywania procedur podejścia do lądowania i lądowania.

Do kategorii nieprawidłowych kontaktów z drogą zalicza się cały szereg operacji lądowania wśród których wyróżniamy:

1. twarde lądowanie
2. lądowanie za punktem przyziemienia
3. lądowanie poza ośią centralną drogi startowej
4. lądowanie nierównolegle ustawionym statkiem powietrznym do osi
5. lądowanie na przednią goleń
6. lądowanie lub start z uderzeniem ogona lub końcówki skrzydła o nawierzchnię drogi startowej za wyjątkiem uderzenia o przeszkodę;

Większość linii lotniczych i organizacji lotniczych określa minimalne akceptowalne kryteria kontynuacji podejścia do lądowania. Różnią się one szczegółami, ale poniższe streszczenie pozwala zrozumieć całą ideę ustabilizowanych podejść.

We wszystkich opracowaniach sugerowano, że "wszystkie loty muszą być ustabilizowane na wysokości 1000 stóp nad poziomem lotniska w IMC (Instrument Meteorological Conditions – Warunki meteorologiczne dla lotów według wskazań przyrządów) i 500 stóp nad poziomem lotniska w VMC (Visual Meteorological

Tab. 1. Przykład ograniczeń wynikające z SOP

Event	Parameter	Unit	FDM caution limit	FDM warning limit	min_sample
High Rate of Descent	Vertical Speed	ft/min	-750	-1000	10
High Roll	Roll	deg	20	30	10
Steep Approach	Gradient	%	-10	-12	10

Conditions – Warunki meteorologiczne dla lotów z widocznością)". Podejście jest ustabilizowane, gdy wszystkie poniższe kryteria są spełnione:

- Samolot znajduje się na właściwej trasie lotu
- Tylko niewielkie zmiany kursu / wysokości są konieczne, aby utrzymać prawidłową ścieżkę lotu
- Prędkość jest nie większa niż VREF + 20kts wskazywanej prędkości i nie mniejsza niż VREF
- Samolot ma poprawną konfigurację do lądowania
- Prędkość zniżania nie jest większa niż 1000 stóp / minutę (jeśli podejście wymaga prędkości opadania większej niż 1000 stóp / minutę, należy przeprowadzić specjalną odprawę)
- Ustawienie mocy jest odpowiednie dla konfiguracji samolotu i nie jest poniżej mocy minimalnej dla podejścia zdefiniowanego w instrukcji użytkownika
- Wszystkie briefingi i listy kontrolne zostały przeprowadzone

Określone rodzaje podejścia są ustabilizowane, jeśli spełniają również następujące warunki:

- podejścia ILS muszą odbywać się w obrębie jednej kropki nachylenia lokalizatora
- podejście kategorii II lub III musi odbywać się w rozszerzonym paśmie lokalizacji
- podczas podejścia z okrążaniem skrzydła powinny być wyrównane do poziomu końcowego, gdy samolot osiąga wysokość 300 stóp nad elewacją lotniska; i wyjątkowe warunki podejścia do lądowania lub nieprawidłowe

warunki wymagające odejścia od powyższych elementów ustabilizowanego podejścia wymagają specjalnej odprawy.

Podejście, które staje się niestabilne poniżej 1000 stóp nad poziomem lotniska w IMC lub 500 stóp nad poziomem lotniska w VMC, wymaga natychmiastowego odejścia zgodnie z procedurami.

Niektórzy operatorzy określają również status statku powietrznego na bramce "powinien" przed bramką "obowiązkową" przewidzianą przez system. Zazwyczaj jest to 500 stóp nad bramką "must", na przykład brama "should" na 1000ft AAL (Above Aerodrome Level – Powyżej wysokości lotniska), a następnie "must" gate na 500ft AAL. Niespełnienie tego pierwszego wymaga, aby działania korygujące były wykonalne i podjęte, podczas gdy niespełnienie tego ostatniego wymaga odejścia na krąg. Kontynuacja niestabilnego podejścia do lądowania może spowodować, że samolot osiągnie próg drogi startowej zbyt wysoko, zbyt szybko, poza linią środkową drogi startowej, nieprawidłowo skonfigurowany lub w inny sposób nieprzygotowany do lądowania. Może to skutkować uszkodzeniem statku powietrznego podczas lądowania lub wypadnięcia z drogi startowej, a w konsekwencji zranieniem lub uszkodzeniem instalacji samolotu lub lotniska.

Odpowiednie procedury oraz szkolenie, pozwalają załozie lotniczej określić, czy podejście jest wystarczająco ustabilizowane, aby umożliwić kontynuowanie lotu w określonych "bramkach". Potwierdzenie ustabilizowania podejścia można uzyskać po-

przez analizę wyników przetwarzania oprogramowania do monitorowania lotów FDM. Analiza statystyczna wyników dla wielu lotów pozwala określić poziom bezpieczeństwa, wskazać oraz powiązać obserwowane trendy ze zmianami operacyjnymi lub proceduralnymi, a także działaniami standardyzacyjnymi.

W oparciu o zebrane dane w OKL w Chełmie oraz po przetworzeniu przez program FDM4GA firmy Storkjet uzyskano zestaw statystyk dotyczących nieustabilizowanych podejść do lądowania. Należy podkreślić, iż wykonana analiza jest pionierska na skalę światową ze względu na charakter operacji – szkolenie lotnicze i dużą liczbę lotów.

Dane uzyskane z lotów zostały pogrupowane według rodzaju przeprowadzonego szkolenia. Podział nastąpił w celu zidentyfikowania jakie rodzaje szkoleń statystycznie mają najwięcej nieustabilizowanych podejść do lądowania. Następnie w celu określenia ograniczeń prawidłowej ścieżki podejścia do lądowania, zaprogramowane zostały w FDM4GA standardy zależne od rodzaju lotu (VMC/IMC). Dodatkowo uwzględnione zostały osiągi statków powietrznych oparte na Instrukcjach Użytkownika w Locie (AFM), dodatkowe procedury oparte na Standardowych Procedurach Operacyjnych (SOP) Ośrodka Szkolenia Lotniczego oraz danych nawigacyjnych opartych na zatwierdzonych informacjach nawigacyjnych dla konkretnych lotnisk.

Rys. 2 przedstawia stosunek stabilnych i niestabilnych podejść do lądowania według wcześniej określonych kryteriów w zależności od rodzaju szkolenia. Dodatkowo zaprezentowano całkowitą liczbę operacji.

W przypadku lotów IR (loty wg wskazań przyrządów), LKE (loty egzaminacyjne Lotniczej Komisji Egza-

minacyjnej), IO (loty na podstawie Instrukcji Operacyjnej Ośrodka), TY-P (loty do przeszkolenia na typ statku powietrznego) i LT (loty treningowe w charakterze dowódcy statku powietrznego) wahają się w przedziale pomiędzy 29%-39%. Z kolei w przypadku lotów NOC (loty z widocznością ziemi w nocy) liczba nieustabilizowanych podejść jest zdecydowanie mniejsza i wynosi 3%. Należy podkreślić, że w lotnictwie komunikacyjnym ilość nieustabilizowanych podejść waha się na poziomie 1%-3%. W naszym przypadku ilość nieustabilizowanych podejść dla wszystkich rodzajów szkoleń do ilości podejść do lądowania wynosi 34%.

Następnie zostały przeanalizowane te same operacje ale po zmianie wysokości gdzie muszą być spełnione kryteria stabilizacji do 250ft powyżej wysokości DS. Sytuacja w tym przypadku znacząco się poprawia i z 34% do 10% nieustabilizowanych podejść.

Obniżenie bramki do 250ft spowodowało zdecydowany spadek nieustabilizowanych podejść z ponad 30% do 10% uśredniając wszystkie rodzaje szkolenia. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż loty IR w tym obszarze mają największy przyrost ustabilizowanych podejść tj. 96% do ilości podejść do lądowania. Jest to wartość najbardziej zbliżona do szkolenia typu NOC, które ma 100% ilości stabilnych podejść. Z perspektywy bezpieczeństwa lotniczego na szczególną uwagę zasługuje grupa lotów o nazwie LT, w której stabilnych podejść jest 85%. Ten rodzaj lotów jest wykonywany samodzielnie przez pilotów z licencją pilota turystycznego (samoloty) PPL(A) oraz niewielkim nalotem, bez nadzoru instruktorskiego na pokładzie statku powietrznego. Charakter tych operacji jest standardowy. W rozpatrywanym przypadku po niestabilnym podejściu powinno

następować odejście na drugi krąg lub zdarzenie powinno być raportowane do odpowiednich komórek zarządzających bezpieczeństwem. W przypadku pozostałych grup lotów należy pamiętać, że są lotami szkolnymi i/lub egzaminacyjnymi, w których mogą wchodzić dodatkowe czynniki pogarszające jakość pilotażu lub stwarzające konieczność lądowania zapobiegawczego. Z punktu widzenia psychologii obciążone są one także dodatkowym stresem oraz niezrędko chęcią wylądowania za wszelką cenę.

Podsumowując, każde ustabilizowane podejście do lądowania powinno kończyć się bezpiecznym lądowaniem w punkcie przyziemienia z odpowiednią prędkością. Z kolei wiele nieustabilizowanych podejść do lądowania i prób późniejszego przyziemienia niesie za sobą ryzyko wypadku lub do niego przesłanki.

Warto zwrócić uwagę, że patrząc na aspekt nieustabilizowanych podejść w małym lotnictwie przez ocenę ryzyka to jest ono znacznie mniejsze niż w przypadku lotnictwa komunikacyjnego. Wynika to z mniejszych prędkości małych samolotów. Nie mniej jednak większość pilotów po zakończeniu szkolenia rozpoczyna pracę na samolotach w lotnictwie komunikacyjnym. Nabycie świadomości ryzyka związanego z nieustabilizowanym podejściem oraz przyswojenie działań, które należy podjąć w takim przypadku już na wczesnym etapie szkolenia lotniczego może zapobiec wypadkom przede wszystkim w lotnictwie komunikacyjnym. Pilot musi mieć świadomość możliwości przejścia na drugi krąg, wykonania kolejnego ustabilizowanego podejścia i w efekcie końcowym bezpiecznego lądowania. ◀

Rola i funkcja naturalnych nawierzchni lotniskowych w systemie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych

The role and function of natural airfield pavements in the system ensuring the safety of air operations



Mariusz Wesołowski

Płk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Krzysztof Blacha

Mjr mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

krzysztof.blacha@itwl.pl



Paweł Iwanowski

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

pawel.iwanowski@itwl.pl



Paweł Pietruszewski

Mjr mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

pawel.pietruszewski@itwl.pl

Streszczenie: Istotnym czynnikiem, który ma wpływ na bezpieczeństwo wykonywanych operacji lotniczych jest odpowiedni stan nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. W artykule zawarto informację na temat roli i funkcji jakie powinny spełniać naturalne nawierzchnie lotniskowe na różnych obiektach przeznaczonych do wykonywania operacji lotniczych, jak i na poszczególnych elementach funkcjonalnych lotniska. Poruszono często spotykany problem niedostatecznej nośności naturalnych nawierzchni, który w bezpośredni sposób wpływa na bezpieczeństwo i efektywność wykonywania operacji lotniczych przez wojskowe i cywilne statki powietrzne. Zaprezentowano podejście autorów do oceny naturalnych nawierzchni lotniskowych wraz z przykładową analizą otrzymanych wyników z badań terenowych oraz sposobem ich prezentacji. Ponadto, przedstawiono przykładowe technologie prowadzenia wzmocnienia w sytuacji nieodpowiedniej nośności naturalnych nawierzchni oraz sezonowe zabiegi agrotechniczne i biologiczne niezbędne do utrzymania odpowiedniego stanu nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, a co za tym idzie utrzymanie ich w ciągłej zdolności eksploatacyjnej.

Słowa kluczowe: *Naturalne nawierzchnie lotniskowe; Nośność nawierzchni; Bezpieczeństwo lotów*

Abstract: An important factor that has an impact on the safety of performed air operations is the appropriate load capacity of natural airfield pavements. The article presents information on the role and functions that natural airport surfaces shall fulfill at various facilities intended to perform air operations, as well as on individual functional elements of the airport. The common problem of inadequate load capacity of natural airfield pavements, that directly affects the safety and efficiency of air operations by military and civil aircraft has been raised. The authors' approach to the assessment of natural airfield pavements with an exemplary analysis of the results obtained from field studies and the way of their display was presented. In addition, exemplary technologies in order to reinforce natural airfield pavements in the situation of inadequate load capacity, as well as seasonal agrotechnical and biological treatments necessary to maintain adequate load-bearing capacity of natural airfield pavements maintaining them in continuous operational capacity were presented.

Keywords: *Natural airfield pavements; Load capacity; Flight safety*

W ostatnim dziesięcioleciu transport lotniczy odnotował kilkukrotny wzrost liczby operacji lotniczych na świecie. Spowodowane to zostało między innymi przez znaczny wzrost tanich przewoźników komercyjnych oraz rozwój nowoczesnych technologii. Jednak dynamiczny i prężny rozwój lotnictwa spowodował także wiele problemów szczególnie związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Jednym

z najbardziej niebezpiecznych zdarzeń podczas wykonywania operacji lotniczych jest manewr przerwanego startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualne wykołowanie z drogi startowej oraz awaryjne opuszczenie utwardzonego pasa startowego i zjechanie na pobocze drogi startowej. Wiele wypadków związanych z w/w sytuacjami zostało zarejestrowanych w międzynarodowej bazie katastrof lotniczych, czasami z katastrofalnymi

skutkami [7]. Przykład może stanowić zdarzenie z 17 lipca 2007, kiedy Airbus A320-233 zjechał z końca pasa startowego na Congonhas Airport (Brazylia) i uderzył w stację benzynową oraz w budynek. W wyniku katastrofy 187 osób, w tym załoga, straciło życie. Inny przypadek zarejestrowano 22 maja 2010, kiedy Boeing 737-800 rozbił się podczas próby lądowania w ciężkich warunkach atmosferycznych. Samolot nie zatrzymał się na drodze startowej,



1. Prezentacja skutków niedostatecznej nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej [8]



2. Rozmieszczenie naturalnych nawierzchni lotniskowych na przykładowym obiekcie lotniskowym



3. Lotniska aeroklubowe, prywatne i sportowe na przykładzie obiektu Białystok-Krywlany

zsunął się w dolinę i stanął w płomieniach. Wówczas zginęło 158 osób. Przykład skutków niedostatecznej nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej przedstawiono na rysunku 1.

Lokalizacja

Naturalne nawierzchnie lotniskowe są elementami funkcjonalnymi lotniska (EFL) utworzonymi przez odpowiednio przygotowane podłoże grunto-we, umożliwiające bezpieczny ruch statku powietrznego bez uszkodzenia jego konstrukcji. Obecnie, naturalne nawierzchnie lotniskowe dzielimy na gruntowe i darniowe. Nawierzchnie gruntowe wykonane są z odpowiednio przygotowanego i zagęszczonego gruntu (bez warstwy darniowej - trawiastej). Natomiast nawierzchnie darniowe są nawierzchniami gruntowymi, pokrytymi warstwą odpowiednio dobranej roślinności trawiastej. Na lotniskach, które posiadają nawierzchnię sztuczną do wykonywania operacji lotniczych, nawierzchnie naturalne występują na roboczym pasie startowym (RPS) oraz na bocznych pasach bezpieczeństwa (BPB) i czołowych pasach bezpieczeństwa (CzPB). Przykładowy schemat rozmieszczenia poszczególnych elementów funkcjonalnych lotniska z naturalną nawierzchnią lotniskową podlegającą ocenie przedstawiono na rysunku 2.

Na obiektach użytku aeroklubowego, prywatnego czy sportowego, roz-

mieszczenie poszczególnych EFL jest nieco inne. Nierzadko ilość elementów ograniczona jest jedynie do drogi startowej. Statki powietrzne poruszają się w polu manewrowym po przewidywanych drogach kołowania, niewytoczonych w terenie. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy układ lotniska aeroklubowego Białystok-Krywlany z opisem EFL. Zaznaczono drogi kołowania niewidniejące w zbiorze informacji lotniczych (Aeronautical Information Publication - AIP), a po których poruszają się statki powietrzne.

Rola i funkcje

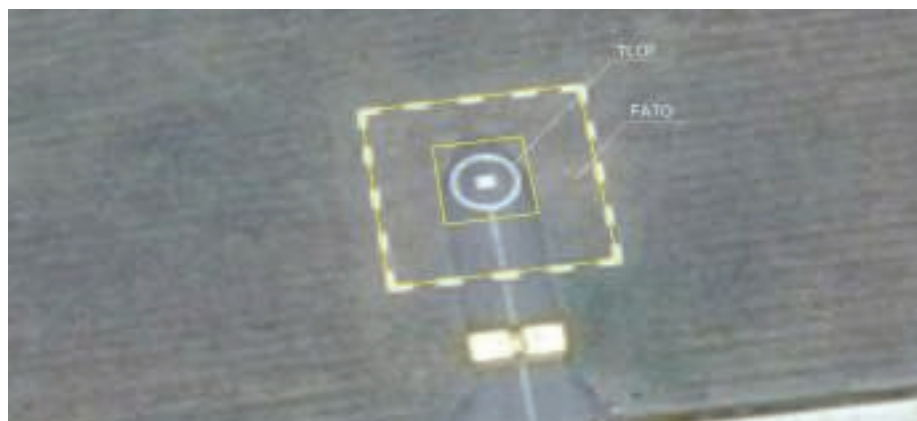
Wypadki i incydenty lotnicze spowodowane awaryjną sytuacją opuszczenia drogi startowej powiązane są z nieodpowiednią nośnością naturalnych nawierzchni lotniskowych, znajdujących się w obrębie drogi startowej. W zależności od rodzaju lotniska i funkcji jakie ono pełni, naturalne nawierzchnie lotniskowe mają spełniać określone zadania podczas wykonywania operacji lotniczych. W chwili obecnej naturalne nawierzchnie lotniskowe występują na elementach funkcjonalnych lotniska takich, jak:

- Boczne pasy bezpieczeństwa (BPB) - rozciągają się wzdłuż całej drogi startowej i roboczego pasa startowego. Mają one za zadanie zabezpieczyć statek powietrzny przed możliwymi uszkodzeniami, w sytuacji awaryjnego zjechania

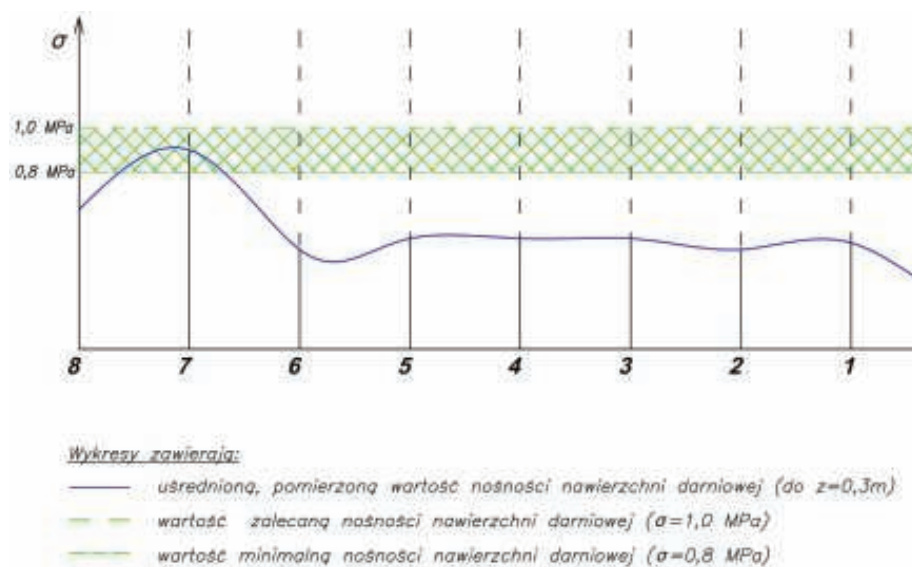
z drogi startowej. Nośność nawierzchni naturalnych musi być na tyle wysoka, aby ewentualny zjazd nie spowodował uszkodzenia statku powietrznego, infrastruktury podziemnej lotniska. Ponadto, jej stan powinien umożliwiać

- szybkie przywrócenie zdolności operacyjnej lotniska poprzez sprawne usunięcie statku powietrznego z naturalnej nawierzchni lotniskowej przez służby lotniska.
- Czołowe pasy bezpieczeństwa (CzPB, RESA - runway end safety area) - znajdują się za progami drogi startowej (z obu jej stron), mają za zadanie zabezpieczyć statek powietrzny w taki sposób, aby manewr przerwano startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualnego wykołowania z drogi startowej, mógł zostać przeprowadzony bez uszkodzenia statku powietrznego.
- Nieutwardzone drogi startowe na mniejszych lotniskach lub roboczy pas startowy (EFL na lotniskach wojskowych) - są częścią pasa startowego przeznaczoną do rozbiegu i oderwania statku powietrznego przy starcie oraz do przyziemienia i dobiegu przy lądowaniu.

Jednak niezależnie od elementu funkcjonalnego lotniska (EFL), wszystkie naturalne nawierzchnie lotniskowe łączy jeden najważniejszy cel, tj. zmi-



4. Lądowiska dla śmigłowców



5. Profil wytrzymałości warstwy darniowej (badanie sondą SD)

nimalizowanie negatywnych oddziaływań podczas wykorzystywania danego EFL przez statek powietrzny. Naturalne nawierzchnie lotniskowe, z wyjątkiem małych lotnisk posiadających nieutwardzoną drogę startową do wykonywania operacji lotniczych, nie są elementami funkcjonalnymi lotniska, które są bez przerwy eksploatowane przez statki powietrzne, ale właściwe ich utrzymanie jest bardzo ważnym aspektem zdolności operacyjnej lotniska.

Wymagania i wyniki badań

Nawierzchnie lotniskowe co pewien czas podlegają kompleksowej ocenie nośności, której zakres przedstawiono w tabeli 1. Ocenia się nośność na wszystkich EFL z naturalną nawierzchnią lotniskową, tj. RPS, CzPB i BPB. Ponadto, wykonuje się okresowe badania kontrolne obejmujące badanie

wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m poniżej poziomu terenu oraz badanie nośności nawierzchni naturalnej do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu. Badania okresowe należy wykonać z częstotliwością co 3 lata.

Dodatkowo na wojskowych obiektach lotniskowych i lądowiskach należy przeprowadzić kontrolne badania nośności każdorazowo przed rozpoczęciem szkolenia lotniczego. Takim badaniom podlegają jedynie EFL objęte planem szkolenia lotniczego, a same pomiary wykonuje się podczas wstępnego przygotowania do lotów

przed rozpoczęciem wykonywania operacji lotniczych.

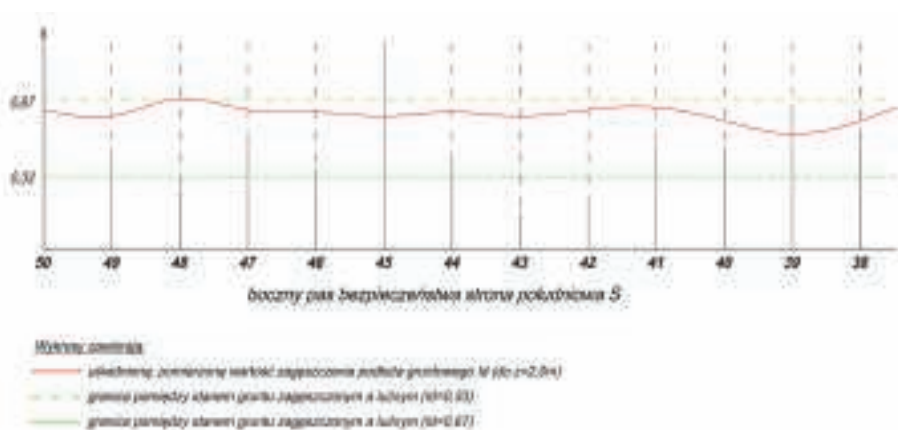
Przy kompleksowej ocenie naturalnych nawierzchni lotniskowych należy uwzględnić następujące etapy:

- badanie wytrzymałości warstwy darniowej do głębokości 0,3 m poniżej poziomu terenu,
- badanie nośności warstwy nawierzchni naturalnej do głębokości 0,15 m poniżej poziomu terenu,
- badanie nośności warstwy nawierzchni naturalnej od głębokości 0,15 m do głębokości 0,50 m poniżej poziomu terenu,
- badanie nośności warstwy nawierzchni naturalnej od głębokości 0,50 m do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu,
- sprawdzanie stanu podłoża gruntowego do głębokości 2,0 m poniżej poziomu terenu,
- określanie kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla badanego EFL.

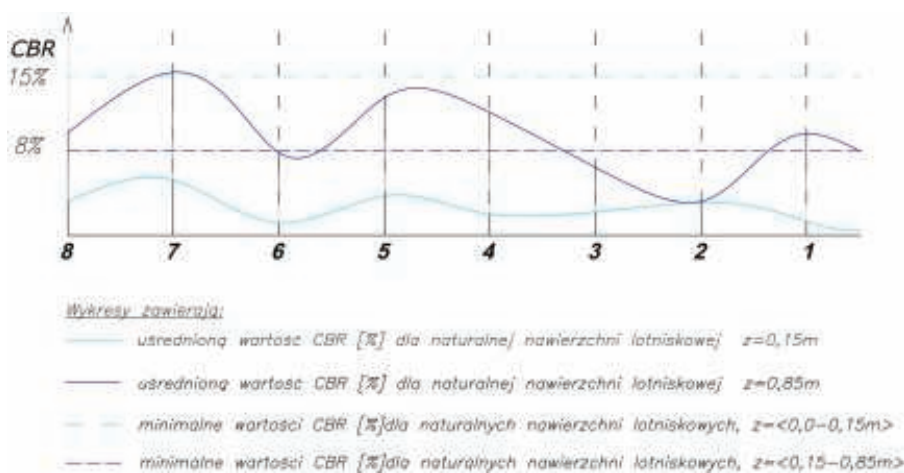
Minimalizowanie negatywnych skutków awaryjnego opuszczenia utwardzonych nawierzchni lotniskowych przez statek powietrzny to podstawowe zadanie naturalnych nawierzchni lotniskowych. Bezpieczeństwo lotów musi być zapewnione w każdych warunkach i o każdej porze, w szczególności w niekorzystnych warunkach, w których prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji awaryjnej jest największe. Z tego względu pomiary terenowe należy wykonać w najmniej korzystnych warunkach gruntowo-wodnych. W Polsce okres ten przypada na czas wiosny i jesieni, kiedy występują roztopy lub długookresowe opady deszczu. Zgodnie z normą obronną NO-17-A503:2017 [6], badania polowe

Tab. 1. Przykładowe zestawienie wyników

Zakres badania	Rodzaj badania	Parametr	Wynik	Wymaganie	Ocena
warstwa powierzchniowa	sonda darniowa	wytrzymałość gruntu σ [MPa]	0,5	0,8 - 1,0 MPa	negatywna
	sonda SDS	CBR [%]	1,7	≥ 15	negatywna
Warstwa pośrednia	sonda SDS	CBR [%]	7,6	≥ 8	negatywna
podłoże gruntowe	DPL	ID[-]	0,60	≥ 64	negatywna
ocena kompleksowa					negatywna



6. Profil stanu zagęszczenia podłoża gruntowego (badanie sondą DPL)



7. Profil nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej (badanie sondą SDS)

należy wykonywać na wszystkich ocenianych EFL posiadających naturalną nawierzchnię lotniskową. Lokalizacja poszczególnych punktów pomiarowych na naturalnych nawierzchniach lotniskowych uzależniona jest od EFL, na którym prowadzone są pomiary. Jednak niezależnie od miejsca wykonywania badań wszystkie pomiary muszą być prowadzone z zachowaniem bezpiecznych odległości od infrastruktury podziemnej oraz między poszczególnymi rodzajami badań na danej lokalizacji. W przypadku, gdy główna (zasadnicza) droga startowa (DS) posiada naturalną nawierzchnię lotniskową, pomiary na niej należy wykonywać jak na RPS.

Kompleksowa ocena naturalnych nawierzchni lotniskowych obejmuje, poza badaniami terenowymi, także prace kameralne. Mając pomierzone parametry geotechniczne gruntu oraz informacje o podłożu przeprowadza się analizę geotechniczną, w wyniku

której uzyskuje się wartości wyprowadzone stanowiące podstawę do odpowiedniej oceny i klasyfikacji nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej. W tabeli 1 przedstawiono przykładowy efekt analizy geotechnicznej w postaci oceny poszczególnych warstw podłoża gruntowego. Przedstawiono wyniki badań oraz odpowiadające im wymagania.

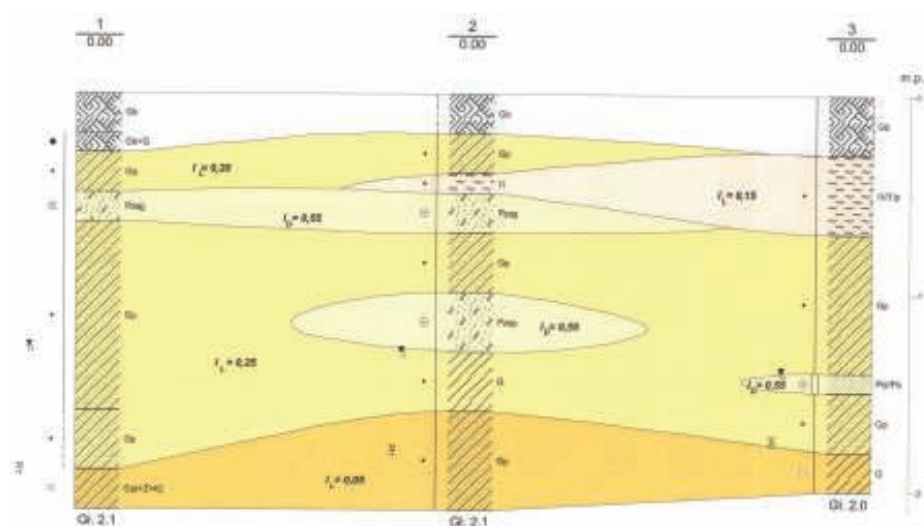
Uzyskane dla każdego punktu badawczego wyniki przedstawia się graficznie na profilach obrazujących aktualny na dzień badania stan naturalnej nawierzchni lotniskowej. Na tych samych profilach zamieszcza się poziom minimalnych wymagań normowych, zapewniający bezpieczną eksploatację EFL przez statki powietrzne. Na rysunkach 5-8 zaprezentowano przykładowe profile wytrzymałości gruntu wyznaczone sondami typu SD, SDS oraz DPL.

Dzięki graficznemu zestawieniu wykonanych wartości z badań po-

lowych, w prosty sposób możliwe jest wyznaczenie obszarów, które spełniają wymagania normowe, a na których należy przeprowadzić zabiegi wzmacniające. Na rysunku 9 przedstawiono naturalną nawierzchnię lotniskową zapewniającą bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych.

Metody wzmacniania

W przypadku nie spełnienia wymagań zawartych w normie NO-17-A503:2017 *Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe*. Badania nośności należy wykonać następujące zabiegi agrotechniczne i biologiczne w postaci następujących corocznych czynności: systematyczne koszenia naturalnych nawierzchni lotniskowych; dwukrotne wałowania nawierzchni – w okresie wiosennym oraz jesiennym. Wiosenne wałowanie może być przeprowadzone dopiero po umiarkowanym przeschnięciu gleby. Bez względu nie można wałować gleb mokrych, gdyż wyciska się z nich powietrze i następuje pogorszenie stosunków wodno-powietrznych. Wtedy wałowanie może przyczynić się do zabagnienia, a w konsekwencji do przerośnięcia nawierzchni darniowej sitami, skrzypami i turzycami; uzupełnianie obszarów o zmniejszonym zadarnieniu mieszanką niskich traw przeznaczonych na darniowe nawierzchnie lotniskowe. Zaleca się wykonanie tego zabiegu w okresie wczesnowiosennym (do 15 maja) i późnoletnim (do 15 sierpnia), z uwagi na dostatek wilgoci (w okresie późnoletnim wynika to z napływu chłodniejszego i wilgotniejszego powietrza, a także występowania rosy); wyrównanie powstałych kolein, kretowisk oraz nierówności nawierzchni; nawożenie darni poprzez dostarczenie roślinom składników pokarmowych w odpowiednich ilościach, terminach i we właściwej formie nawozu, po wcześniejszym wykonaniu analizy zasobności gleby w przyswajalne składniki; wykonywanie oprysków chemicznych ograniczających rozwój niepożąda-



8. Przekrój geotechniczny

Właściwe zaprojektowanie i utrzymanie naturalnych nawierzchni lotniskowych ma istotny wpływ na efektywność i bezpieczeństwo operacji lotniczych. Istotną rolę odgrywają okresowe badania nośności tychże nawierzchni, jednak prowadzenie badań terenowych uzależnione jest do intensywności operacji lotniczych, przez co jest to utrudnione oraz czasochłonne. Autorzy zwracają uwagę na potrzebę opracowania metody optymalizującej czas badań i zwiększającą dokładność oceny nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. ◀



9. Naturalna nawierzchnia lotniskowa zapewniająca bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych

nych roślin, tj. chwastów oraz roślin szerokolistnych, a także obecności owadów, które mogą powodować zwiększoną obecność różnych gatunków ptaków na darniowych nawierzchniach lotniskowych.

Po wykonaniu w/w zabiegów agrotechnicznych i biologicznych zalecane jest przeprowadzenie ponownych badań polowych, sprawdzających stan nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych na przedmiotowych EFL. W przypadku nie uzyskania wymaganych parametrów nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych wskazane jest przeprowadzenie wzmocnienia naturalnych nawierzchni lotniskowych w zależności od panujących warunków gruntowo-wodnych np. zastosowanie geosyntetyków, geokrat, czy wzmocnienie przez wyminę i zagęszczenie podłoża.

Podsumowanie

Naturalne nawierzchnie lotniskowe wbrew pozorom odgrywają bardzo ważną rolę podczas wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Przedstawione w publikacji zagadnienia wykazały, że wymagania w stosunku do naturalnych nawierzchni lotniskowych są i muszą być wysokie, ponieważ chodzi tu o bezpieczeństwo statków powietrznych, a przede wszystkim o życie ludzkie.

Z doświadczenia autorów zdobytego na przestrzeni ostatnich lat podczas prowadzenia prac mających na celu określenie nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych wynika, że znaczna część EFL o nawierzchni naturalnej na polskich obiektach lotniskowych jest zaniedbana, albo nieodpowiednio utrzymywana, przez co nie spełnia stawianych im wymagań.

Materiały źródłowe

- [1] Commission Regulation (EU) No 139/2014 of 12 February 2014, laying down requirements and administrative procedures related to aerodromes pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council
- [2] Annex to ED Decision 2017/021/R (CS-ADR-DSN Issue 4)
- [3] Wytyczne Lotniskowe, Ocena techniczna lotniskowych nawierzchni darniowych na podłożu piaszczystym i piaszczysto-gliniastym.
- [4] ASTM D6951 / D6951M – 09 Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications
- [5] Department of Army Waterways Equipment Station, GL-92-3, Ta7 W 34, maj 1992
- [6] NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności.
- [7] Baza danych PlaneCrashInfo.com, 2012
- [8] http://www.latajznami.pl/aktualnosci,6367,lotnisko_katowice_wznowilo_normalna_prace_samolot_nie_blokuje_pasa.html, 11 września 2018 r.

Lotniskowe nawierzchnie na powłokach lodowych jezior

Airfield pavements on the lake ice sheets

Franciszek Kaźmierczyk

Dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych



Piotr Nita

Prof. dr hab. inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

piotr.nita@itwl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia teoretyczne związane z możliwością wykorzystania lodowych powierzchni jezior do ewentualnego wykonywania na nich operacji lotniczych. Rozważania teoretyczne były weryfikowane w badaniach „in situ” na krajowych akwenach w rejonie warmińsko-mazurskim. Prezentowany kompleks zagadnień i przedstawione wnioski z opracowania dają możliwość wykorzystania tych obszarów do wykonywania operacji lotniczych w sytuacjach losowych.

Słowa kluczowe: Powłoka lodowa jezior; Operacja lotnicza; Równanie Hertza

Abstract: The article presents theoretical notions concerning possibility of using the lake ice sheets for performing potential flight operations. Theoretical discourse was verified „in situ” on national reservoirs in the warmińsko-mazurski region. Presented complex of issues and final conclusions allow applying aforementioned areas for flight operations in event of force majeure.

Keywords: Lake ice sheet; Flight operation; Hertz equation

Położenie geograficzne Polski podlegające wpływowi klimatu kontynentalnego i atlantyckiego jest bardzo zróżnicowane, jednak to położenie nie wyklucza ograniczonego w czasie i przestrzeni, wykorzystania powłok lodowych tworzących się na jeziorach, jako powierzchni do prowadzenia operacji lotniczych. Lądowiska na powłokach lodowych mogą być wykorzystywane przez lotnictwo państwowe podczas spełniania swojej misji lub w czasie klęsk żywiołowych i innych zdarzeń, w uzasadnionych sytuacjach. Operacje lotnicze wykonywane na powłokach lodowych możliwe są do realizacji jednak przez stosunkowo lekkie samoloty o raczej tradycyjnych rodzajach napędu. Samoloty cięższe wymagają grubszych powłok o bardziej stabilnych warunkach klimatycznych. Wahania temperatur wywołują nierównomierność procesu tworzenia się powłok lodowych głównie na jeziorach.

Początek powstawania powłoki

lodowej na jeziorach naszego kraju, można zaobserwować już w trzeciej dekadzie listopada i trwa do pierwszej dekady kwietnia. Średni czas trwania pokrywy lodowej w naszych warunkach może wynosić około 90 dni. Grubość pokrywy lodowej wynosi średnio od 30 do 40 cm, a maksymalne zaobserwowane grubości wynoszą od 60 do 80 cm. Początek powstania powłoki lodowej i czasu jej zalegania zależy od warunków lokalnych a ponadto od: głębokości zbiornika, powierzchni akwenu, wysokości brzegów i ich zalesienia itp. Powstanie powłoki lodowej na akwenach jezior związana jest ściśle z cyrkulacją termiczną wód. Zaletą tych powłok jest to, że są one równe i nie wymagają dużych nakładów prac przygotowawczych.

Budowa i struktura pokrywy lodowej

Powłoka lodowa krystalizuje w układzie heksagonalnym. Optycznie krysz-

tałki lodu są jednoosiowe, przy czym oś optyczna jest identyczna z osią symetrii. Lód na jeziorach składa się z pojedynczych, nieregularnych pryzmatów skierowanych pionowo do powierzchni lustra wody. Utworzone słupki składają się z cienkich płytek, z których każda jest kryształem. Powłoka lodowa nie powstaje jednocześnie na całej powierzchni zbiornika wodnego, lecz rozpoczyna się w strefach gdzie uformowały się trwałe załączki krystaliczne, które zrastając się tworzą cienką pokrywę lodową z tendencją do dalszego jej pogrubiania. Ciężar właściwy lodu wynosi 920 kg/m^3 , ciężar objętościowy lodu (wolnego od porów) wynosi 917 kg/m^3 . Gęstość lodu utworzonego w warunkach naturalnych wynosi od $910,8 \text{ kg/m}^3$ do $911,5 \text{ kg/m}^3$. Do celów praktycznych przewodnictwo cieplne przyjmuje się równe 1,5 do 3,0 kcal/h. Sprężystość lodu jest nieznaczna i według [1] nie przekracza 0,08 MPa. Współczynnik sprężystości lodu jest

zależny od: struktury powłoki lodowej, stopnia zanieczyszczenia wody, temperatury powietrza i sposobu obciążenia. Zakres wartości tego współczynnika przyjmuje się (od 9000 do 115000 kG/m²) tj. 0,088 do 1,128 MPa. Uważa się, że w przypadku powłoki lodowej poprawniej jest przyjmować zamiast współczynnika sprężystości lodu moduł całkowitego odkształcenia tj. odkształceń sprężystego i plastycznego. Cechy wytrzymałościowe lodu zdeteminowane są: jego strukturą, gęstością i stopniem ewentualnego zasolenia wód akwenu i czasem trwania stabilnej temperatury. Zmiany temperatury mogą spowodować nawet dwukrotną zmianę jego wytrzymałości.

Obciążenie dopuszczalne i wymagana grubość powłoki lodowej

Można przyjąć założenie, że powłoka lodowa stanowi konstrukcję, która pod wpływem obciążenia zewnętrznego zachowuje się jak płyta sprężysta spoczywająca na podłożu sprężystym. Teorię nośności płyt lodowych zastosował po raz pierwszy H. Hertz [3], rozwiązania jej stosuje się do chwili obecnej. Doświadczenia innych badaczy [2,5,7] wykazało, że ugięcia powłoki lodowej w początkowym okresie wzrastają proporcjonalnie do wielkości obciążenia zgodnie z prawami teorii sprężystości. Jednak powstanie rysy w powłoce lodowej, zmienia te prawa i płyta lodowa pracuje już jako płyta sprężysto- plastyczna. Pierwsze pęknięcie płyty lodowej nie oznacza przekroczenia stanu krytycznego powłoki. Stan krytyczny występuje w chwili, w której powstaje wiele rys w powłoce po ich zaistnieniu następuje zniszczenie powłoki. Praktyczne pomiary [4] wykazały, że pierwsze promieniowe pęknięcia w powłoce lodowej powstają po jej obciążeniu stanowiącym 2/3 obciążenia niszczącego. Równanie różniczkowe przedstawione przez Hertza [3] dotyczące ugięcia nieskończonej wielkiej płyty sprężystej, którą utożsamiać można z pływającą po-

włoką lodową, stanowi w dalszym ciągu podstawę teoretyczną do rozwiązań płyt sprężystych na sprężystym podłożu. Równanie różniczkowe dla płyty lodowej o ciężarze właściwym γ_p , grubości h , pływającej w wodzie o ciężarze właściwym γ_s poddanej działaniu obciążenia skupionego, można przedstawić w postaci:

$$\Delta^2(\Delta^2 w) = \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{d}{rdr} \right) \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{dw}{rdr} \right) = \frac{p(x,t)}{D} \quad (1)$$

gdzie: r – promień ugięcia płyty od środka działania obciążenia, w – ugięcie płyty lodowej, $p(x,t)$ – obciążenie płyty lodowej, γ_s – ciężar właściwy wody, h – grubość płyty lodowej, μ – współczynnik Poissona, D – sztywność płyty zgodnie ze wzorem (2).

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2)$$

Istota rozwiązania polega na tym, że pływająca płyta lodowa obciążona siłą P , wywiera nacisk na wodę o wielkości $p = \gamma_p \cdot h$ o ciężarze właściwym γ_s większym od ciężaru właściwego płyty γ_p wówczas reakcja wody na płytę jest następująca $p = \gamma_s \cdot w$. W środkowym punkcie obciążenia największe dodatnie promieniowe i obwodowe momenty zginające można zapisać w postaci zależności:

$$\sigma_r = \sigma_t = 1,1(1+\mu) \left(\log \frac{l}{a} + 0,26 \right) \frac{P}{h^2} \quad (3)$$

gdzie: l – promień względnej sztywności płyty zgodnie ze wzorem (4), k – współczynnik reakcji podłoża, w przypadku pokrywy lodowej – ciśnienie wody na jednostkę powierzchni, na jednostkę ugięcia, P – wielkość przyłożonego obciążenia, a – promień powierzchni stykowej obciążenia.

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}} \quad (4)$$

Największy ujemny promieniowy moment zginający występuje w odległości $r = 1,9 l$ licząc od środka działania obciążenia i w przybliżeniu wynosi $M_r = 0,02 P$ na jednostkę długości.

Wzrost obciążenia zewnętrznego powoduje, że naprężenia zginające w płycie osiągają wartości bliskie wartościom wytrzymałości lodu na zginanie. Dalsze zwiększenie obciążenia powoduje to, że wzrasta długość i liczba promieniowych pęknięć w dolnej strefie płyty, na górnej powierzchni tworzy się obwodowe pęknięcie wywołane rozciąganiem. W tym stanie, zostaje osiągnięta granica wytrzymałości płyty lodowej. Moment zginający przypadający na jednostkę długości wynosi:

$$M = \frac{R_z}{6} h^2 \quad (5)$$

Teoretyczne obciążenie niszczące w przedziale praktycznego promienia rozkładu „ a ” można wyznaczyć z zależności:

$$P_0 = 3,3 \pi \left(1 - \frac{3a}{2l} \right) M_0$$

$$\text{dla } 0,05 < \frac{a}{l} < 1 \quad (6)$$

gdzie: M_0 – wartość granicznego momentu zginającego przypadającego na jednostkę długości.

Analiza różnych przypadków obciążenia powłoki lodowej i ich weryfikacja praktyczna przeprowadzona przez [7] wykazała, że dla przypadku gdy promień rozkładu obciążenia „ a ” jest większy od grubości pokrywy lodowej, wówczas jej obciążenie dopuszczalne można określić z zależności:

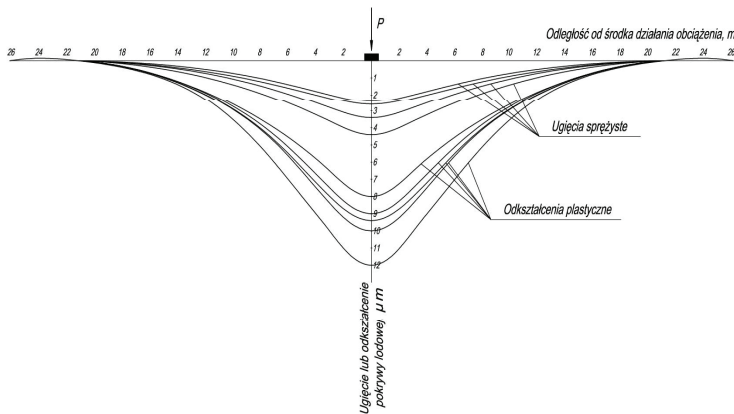
$$P_0 = R_z \cdot h^2 \quad (7)$$

Inną postać ugięcia powłoki lodowej proponuje [10] i uważa, że ugięcie tej powłoki można zobrazować w postaci krzywej logarytmicznej i wyrazić w postaci równania:

$$w = w_0 \cdot e^{-kx} \quad (8)$$

gdzie: w – ugięcie powłoki pod obciążeniem, k – współczynnik ugięcia przyjmowany najczęściej jako równy 0,1 na jednostkę długości.

Porównując objętość wypartej wody do wielkości obciążenia oraz uwzględniając zależność (8), autor



1. Wykres największych ugięć sprężystych i odkształceń plastycznych powłoki lodowej

proponuje rozłożenie obciążenia na powierzchni prostokątnej i wyprowadza zależność:

$$P = P_0 \left(1 + \frac{kS}{2\pi} + \frac{k^2 F}{2\pi} \right) \quad (9)$$

gdzie: S i F – oznaczają odpowiednio obwód i powierzchnię, na której rozłożono obciążenie, P_0 – obciążenie, którego wielkość wywołuje wyparcie wody o określonej objętości, Θ – temperatura lodu. Po wprowadzeniu poprawki ze względu na temperaturę i dokonaniu odpowiednich podstawień, uzyskano wzór na obciążenie dopuszczalne powłoki lodowej:

$$P_{dop} = 10 h^2 (1 + \Theta) (1 + 0,2S + 0,002F) \quad (10)$$

Klasyczne rozwiązanie Hertza i przedstawione wyżej propozycje autorów [1, 7, 9] nie wyczerpują wszystkich możliwych do wystąpienia zagadnień związanych z określeniem wytrzymałości powłok lodowych. Ugięcia lodowej powłoki przedstawiono na rys. 1 i 2. W celu określenia zależności pomiędzy wytrzymałością lodu na zginanie i temperaturą powietrza wykonano badania, które przeprowadzono na wyciętych z powłoki lodowej belkach.

Przykładowe wyniki w odniesieniu do stanu powłoki lodowej przedstawiono w tablicy 1, zaś w graficznej postaci na rys. 3.

Ocena sprężystych własności powłoki lodowej

Równanie ugięcia powłoki lodowej od obciążenia skupionego wg. Hertza

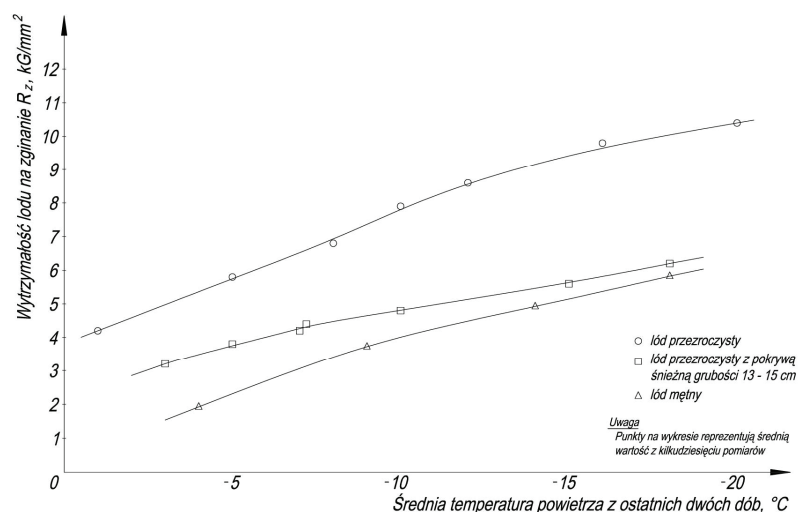
można zapisać w postaci:

$$w(x) = \frac{\theta}{4l^2} \cdot Z_3(x) \quad (11)$$

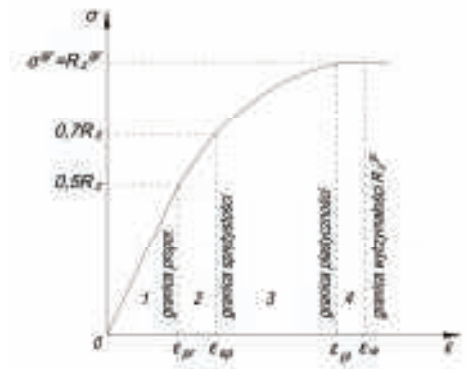
gdzie: $w(x)$ – ugięcie powłoki lodowej w odległości x od miejsca przyłożenia obciążenia, Q – obciążenie powłoki lodowej, l – promień względnej sztywności powłoki lodowej, Z_3 – funkcja

Tab. 1. Wybrane wyniki badań wytrzymałości lodu w zależności od temperatury otoczenia i stanu powłoki lodowej

Rodzaj lodu	Grubość powłoki lodowej h w [cm]	Średnia temperatura powietrza z okresu trzech ostatnich dni przed badaniem w [°C]	Liczba badań	Wytrzymałość średnia na zginanie próbek powłoki lodowej w [MPa] w [N/m²]
Lód przezroczysty	28,0-30,0	-1	20	4,14 (405909)
	28,0-30,0	-5	20	5,73 (561921)
	28,0-30,0	-8	16	6,84 (670775)
	28,0-30,0	-10	16	7,92 (776687)
	30,0-32,0	-12	48	8,61 (844352)
	30,0-32,0	-16	20	9,89 (969878)
	30,0-32,0	-20	16	10,39 (1018911)
Lód przezroczysty z zalegającą na nim powłoką śnieżną grubości 13,0-15,0 cm	13,0-16,0	-3	21	3,11 (304987)
	13,0-16,0	-5	212	3,88 (380498)
	13,0-16,0	-7	21	4,15 (406976)
	20,0-25,0	-10	20	4,86 (476603)
	20,0-25,0	-15	20	5,62 (551134)
	20,0-25,0	-18	5	6,15 (603109)
	20,0-25,0	-18	5	6,15 (603109)
Lód mętny	28,0-32,0	-4	10	1,98 (194172)
	28,0-32,0	-9	10	3,78 (370691)
	28,0-32,0	-14	10	4,98 (488371)
	28,0-32,0	-18	10	5,82 (570747)
	28,0-32,0	-18	10	5,82 (570747)



3. Wykres zależności pomiędzy wytrzymałością lodu na zginanie i temperaturą powietrza



2. Obszary zmian strukturalnych w powłoce lodowej

zmiennej rzeczywistej, określona z zależności (16).

Największe ugięcie płyty pod obciążeniem występuje w punkcie $x=0$ i $Z_3 = 0,5$, można je określić z zależności (12):

$$w(x) = \frac{\theta}{8l^2} \quad (12)$$

Tab. 2. Wartości współczynników C w zależności od a

Promień rozkładu obciążenia „ a ” w [m]	Współczynnik $= a/l$	C_1	C_2	C_3	C_4
0,125	0,024	-0,9997	0,0007	0,0004	0,0000
1,0	0,019	-0,9862	0,0399	0,0279	0,0001
1,10	0,200	-0,9845	0,0445	0,0314	0,0001
1,50	0,260	-0,9701	0,0741	0,0615	0,0007
2,08	0,390	-0,9438	0,1195	0,1191	0,0024
5,00	0,940	-0,7190	0,3375	0,7057	0,0797
10,00	1,900	-0,25 49	0,4467	2,6444	1,2651

Tab. 3. Ugięcia powłoki lodowej dla różnych powierzchni rozkładu obciążenia

Odległości „ r ” od środka działania obciążenia w [m]	Rzędne ugięć powłoki lodowej w [m] dla różnych wielkości promienia rozkładu obciążenia „ a ”					
	0,125	1,0	1,5	2,08	5,0	10,0
0	0,0045	0,0043	0,0042	0,0041	0,0036	0,0024
0,125	0,0045	-	-	-	-	-
1,0	0,0044	0,0042	0,0041	0,0041	0,0036	0,0024
1,5	0,0043	0,0041	0,0041	0,0039	0,0035	0,0024
2,0	0,0041	0,0039	0,0039	0,0038	0,0034	0,0023
4,0	0,0031	0,0031	0,0033	0,0032	0,0030	0,0022

Badania Autora [4] wykonane na rzeczywistych powłokach lodowych podczas próbnych obciążeń wykazały, że: ugięcie jej wynosi 0,004 cm na każde 1000 kg generowanego obciążenia, promień względnej sztywności powłoki lodowej wynosi wówczas 5,27 m. Przyjmując współczynnik Poissona $\mu = 0,33$, i dokonaniu przekształceń wzoru (4) oraz przyjęciu $l = 5,27$ można określić współczynnik sprężystości lodu, którego średnią wartość wyznaczono na $E = 32600 \text{ kg/cm}^2$ (0,32MPa) i wynik ten jest porównywalny z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy [6, 8]. Analizując ugięcie powłoki lodowej pod obciążeniem równomiernie rozłożonym na jej powierzchni należy mieć na uwadze to, że tak jak w przypadku płyt spoczywających na innych ośnawach zależność będzie od ciężaru samolotu i geometrycznego układu kół w goleni głównej. Można założyć, że obciążenie jest rozłożone równomiernie na powierzchni kołowej o małym promieniu $r = a$ (w porównaniu z nieskończenie wielką płytą lodową). Wyróżniamy wówczas dwa obszary oddziaływania obciążenia: wewnętrzny gdy $r \leq a$ i zewnętrzny gdy $r \geq a$. warunki brzegowe dla obu tych obszarów będą różne. Na okręgu o promieniu $r = a$, spełniają się warunki przejściowe, które wyrażają równość

ugięć i ich pochodnych do 3-go stopnia włącznie. Mając powyższe na uwadze ustalono równania równowagi dla ugięcia „ w ” odpowiadającego tym wyróżnionym obszarom:

- dla obszaru wewnętrznego:

$$w_w(x) = q [1 + C_1 \cdot Z_1(x) + C_2 \cdot Z_2(x)]$$

– dla obszaru zewnętrznego:

$$w_z(x) = q [C_3 Z_3(x) + C_4(x)] \quad (13)$$

gdzie: $C_1 - C_4$ stałe całkowania wyrażane przez $a = a/l$

$$\begin{aligned} C_1 &= - \frac{K_1(\alpha)Z_3^{\wedge}(\alpha) + K_2Z_4^{\wedge}(\alpha)}{K_1^2(\alpha) + K_2^2(\alpha)}; \\ C_2 &= - \frac{K_2(\alpha)Z_3^{\wedge}(\alpha) - K_1(\alpha)Z_4^{\wedge}(\alpha)}{K_1^2(\alpha) + K_2^2(\alpha)} \\ C_3 &= \frac{-K_1(\alpha)Z_1^{\wedge}(\alpha) - K_2(\alpha)Z_2^{\wedge}(\alpha)}{K_1^2(\alpha) + K_2^2(\alpha)}; \\ C_4 &= \frac{-K_2(\alpha)Z_1^{\wedge}(\alpha) + K_1(\alpha)Z_2^{\wedge}(\alpha)}{K_1^2(\alpha) + K_2^2(\alpha)} \end{aligned} \quad (14)$$

przy czym:

$$\begin{aligned} K_1(\alpha) &= [Z_1(\alpha) \cdot Z_3^{\wedge}(\alpha) - Z_1^{\wedge}(\alpha) \cdot Z_3(\alpha)] \\ &- [Z_2(\alpha) \cdot Z_4^{\wedge}(\alpha) - Z_2^{\wedge}(\alpha) \cdot Z_4(\alpha)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2(\alpha) &= [Z_1(\alpha) \cdot Z_4^{\wedge}(\alpha) - Z_1^{\wedge}(\alpha) \cdot Z_4(\alpha)] \\ &+ [Z_2(\alpha) \cdot Z_3^{\wedge}(\alpha) - Z_2^{\wedge}(\alpha) \cdot Z_3(\alpha)] \end{aligned}$$

Obciążenie powłoki lodowej równomiernie rozłożone o promieniu a wyrazić można zależnościami $q = Q/\pi a^2$ lub $q = Q/\pi a^2 l^2$, Z_1, Z_2 – funkcje zmiennych rzeczywistych, związane z funkcjami cylindrycznymi Bessela pierwszego rodzaju J_0 przedstawiać można je w postaci szeregów:

$$\begin{aligned} Z_1(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} (-1)^r \left[\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{2r}}{2r!} \right]^2 \\ Z_2(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} (-1)^{r+1} \left[\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{2r+1}}{2(r+1)!} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

Funkcje $Z_3(x)$ i $Z_4(x)$ można wyrazić pośrednio wykorzystując funkcje: $Z_1(x)$ i $Z_2(x)$ przyjmują one postać:

$$\begin{aligned} Z_3(x) &= \frac{Z_1(x)}{2} - \frac{2}{\pi} \{R_1(x) + \lg \frac{\gamma^x}{2} Z_2(x)\} \\ Z_4(x) &= \frac{Z_2(x)}{2} - \frac{2}{\pi} \{R_2(x) + \lg \frac{\gamma^x}{2} Z_1(x)\} \end{aligned} \quad (16)$$

Zmiana promienia rozkładu obciążenia „ a ” powoduje zmianę wartości współczynników $C_1 - C_4$ w funkcji $a = a/l$. Obliczone wartości uwzględniają różne układy kół w goleni głównej samolotu. Przykładowo wybrane wartości współczynników $C_1 - C_4$ przedstawiono w tabelcy 2.

Wykorzystując wartości wybranych współczynników z tabelcy 2 obliczono ugięcia powłoki lodowej dla różnych powierzchni rozkładu obciążenia, których wybrane wyniki przedstawiono w tabelcy 3.

Obliczenie sił w przypadku środkowego ugięcia.

Rozpatrując przypadek symetrycznego obciążenia, w powłoce lodowej występują następujące rodzaje oddziaływań: momenty zginające M_r i M_t oraz siła ścinająca T_r , która działa w paśmie o szerokości l . Wyrażenia na te oddziaływania są następujące

$$\begin{aligned} M_r &= -I^4 \left[\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\mu}{r} \frac{dw}{dr} \right] \\ M_t &= -I^4 \left[\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \mu \frac{d^2 w}{dr^2} \right] \\ T_r &= I^4 \left[\frac{d^3 w}{dr^3} + \frac{1}{r} \frac{d^2 w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \frac{dw}{dr} \right] \end{aligned} \quad (17)$$

gdzie: / – zgodnie ze wzorem (4).

Należy mieć na uwadze to, że przy dużym r , tzn. w znacznej odległości od miejsca przyłożenia obciążenia, wyrażenia te są identyczne jak wyrażenia dla sił występujących w belkach prostych. Zastępując w równaniach (13) wyrażenia „ w ” i pochodne przez funkcje „ Z ” otrzymujemy (18).

Linie ugięć powłoki lodowej przy różnych promieniach powierzchni rozkładu obciążenia przedstawiono na rys. 1.

Wprowadzając do równań (16) wyznaczone współczynniki $C_1 - C_4$ oraz mając na uwadze warunki rozkładu obciążenia, można sformułować równania momentów i siły ścinającej dla tych przypadków:

- dla obszaru wewnętrznego gdy ($x \leq a$) (19.)
- dla obszaru zewnętrznego gdy ($x \geq a$) (20).

Przy założeniu, że $x = a$ oraz $r = a$, otrzymujemy:

$$\begin{aligned} M_r(x) &= -q I^2 \left\{ C_1 [Z_2(x) - (1-\mu) \frac{Z_1^{\wedge}(x)}{x}] - C_2 [Z_1(x) + (1-\mu) \frac{Z_2^{\wedge}(x)}{x}] + \right. \\ &\quad \left. + C_3 [Z_4(x) - (1-\mu) \frac{Z_3^{\wedge}(x)}{x}] - C_4 [Z_3(x) + (1-\mu) \frac{Z_4^{\wedge}(x)}{x}] \right\} \\ M_t(x) &= q I^2 \mu \left\{ C_1 [Z_2(x) + (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_1^{\wedge}(x)}{x}] - C_2 [Z_1(x) - (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_2^{\wedge}(x)}{x}] + \right. \\ &\quad \left. + C_3 [Z_4(x) + (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_3^{\wedge}(x)}{x}] + C_4 [Z_3(x) - (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_4^{\wedge}(x)}{x}] \right\} \\ T_r(x) &= q I \{ C_1 Z_2^{\wedge}(x) - C_2 Z_1^{\wedge}(x) + C_3 Z_4^{\wedge}(x) - C_4 Z_3^{\wedge}(x) \} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} M_r^w(x,a) &= Q I^2 / \pi a^2 \{ C_1(\alpha) [Z_2(x) - (1-\mu) \frac{Z_1^{\wedge}(x)}{x}] - C_2(\alpha) [Z_1(x) + (1-\mu) \frac{Z_2^{\wedge}(x)}{x}] \} \\ M_t^w(x,a) &= Q I^2 \mu / \pi a^2 \{ C_1(\alpha) [Z_2(x) + (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_1^{\wedge}(x)}{x}] - C_2(\alpha) [Z_1(x) - (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_2^{\wedge}(x)}{x}] \} \\ T_r^w(x,a) &= Q I^2 / \pi a^2 \{ C_1(\alpha) Z_2^{\wedge}(x) - C_2(\alpha) Z_1^{\wedge}(x) \} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} M_r^z(x,a) &= Q I^2 / \pi a^2 \{ C_3(\alpha) [Z_4(x) - (1-\mu) \frac{Z_3^{\wedge}(x)}{x}] - C_4(\alpha) [Z_3(x) + (1-\mu) \frac{Z_4^{\wedge}(x)}{x}] \} \\ M_t^z(x,a) &= Q I^2 \mu / \pi a^2 \{ C_3(\alpha) [Z_4(x) + (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_3^{\wedge}(x)}{x}] - C_4(\alpha) [Z_3(x) - (\frac{1}{\mu} - 1) \frac{Z_4^{\wedge}(x)}{x}] \} \\ T_r^z(x,a) &= Q I^2 / \pi a^2 [C_2(\alpha) Z_4^{\wedge}(x) - C_4(\alpha) Z_3^{\wedge}(x)] \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} M_r^w(a,a) &= M_r^z(a,a), \quad M_r^w(a,a) = \\ &= M_t^z(a,a), \quad T_r^w(a,a) = T_r^z(a,a) \end{aligned} \quad (21)$$

Zwiększenie nośności powłoki lodowej

Jeżeli nośność powłoki lodowej nie jest dostateczna istnieje możliwość podwyższenia tej nośności, dokonając tego można poprzez: zwiększenie grubości powłoki lodowej, zbrojenie lodu. Wybór sposobu zależy od warunków miejscowych w tym między innymi: temperatury powietrza, grubości istniejącej powłoki lodowej i innych. Najprostszy sposób tego zabiegu to: oczyszczenie górnej powierzchni powłoki lodowej (śniegu z jej powierzchni), co przyspiesza naturalny proces zamarzania i narastania grubości lodu od dołu. Ten sposób wymaga jednak dłuższej ilości czasu. W krótszym czasie efekt wzmocnienia uzyskać można polewając istniejącą powłokę lodową warstwami wody o grubości od 5,0 do 10,0 cm, jednak temperatura otoczenia nie może być niższa niż 8°C, a wytrzymałość tej warstwy niższa o około 30% od wytrzymałości naturalnego przeźroczystego lodu.

Wnioski

Przeprowadzone badania w warunkach „in situ” na krajowych akwenach pozwalają na stwierdzenie, że istnieje możliwość wykorzystania powstałych na tych akwenach powłok lodowych w określonych warunkach ujemnych temperatur oraz samolotów o napędzie tłokowym. Daje to szansę na zwiększanie możliwości operacyjnych lotnictwa Sił Zbrojnych w warunkach ekstremalnego zagrożenia. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Dejrugin K.K., Karelin D.B. Ledowzje nabludienij na moriach. Leningrad, 1954.
- [2] Gorecki Ł.J., Borodacz A.J. Projektowanie i stroitelstwo wiertolotnych stancji. Jzd.Liter. po stroitelstwu. Moskwa, 1964.
- [3] Hertz H. Uber das Gleich gewicht, schwimmender elastischer Platten, Wied. Ann. Phys-Chemie, 1884.
- [4] Kaźmierczyk F. Ustalenie możliwości i warunków wykorzystania krajowych pokryw lodowych na jeziorach do startów, lądowań i postoju samolotów” Praca doktorska Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1975.
- [5] Korunow M.M. Rasczet ledjanych perepraw. Goslestiechizdat, 1940.
- [6] Ławrow W.W. Deformacja i procznost lda. Leningrad, 1969.
- [7] Meyerhof G.G. Bearing Capacity of Floating Ice Sheets. J. of the Eng. Mech. Div. Proceedings of A.M. Soc. of Civ.Eng. 1960.
- [8] Pinegin W.P. Ob. izmienenijach modulja uprugosti i koeficjenta Poissona u riecznowo lda pri zżatije. Nauka i Technika, nr.3-4, 1927.
- [9] Westergard H.M. „Stresses in Concrete Runways of Airports” Proceedings 19 th Doc.1939.
- [10] Zubow N.N. Ldy Arktyki. Izdanieje Gławsowmoruti, 1945.

Ocena właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia

Evaluation of airfield pavement's anti-skid properties with the use of devices for friction continuous measurement



Mariusz Wesołowski

Płk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Krzysztof Blacha

Mjr mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

krzysztof.blacha@itwl.pl



Agata Kowalewska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

aqata.kowalewska@itwl.pl



Paweł Iwanowski

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

pawel.iwanowski@itwl.pl

Streszczenie: Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni lotniskowych są jednym z kluczowych czynników mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu lotniczego w naziemnym polu manewrowym. Właściwości te ocenia się pośrednio poprzez analizę makro- i mikrotekstury nawierzchni lub bezpośrednio na podstawie pomiaru współczynnika tarcia. Współczynnik tarcia stanowi stosunek siły nacisku koła na nawierzchnię, do siły tarcia powstałej na powierzchni ich styku. Na chwilę obecną istnieje wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia (z ang. Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME), które, co do podstawowej zasady działania, nie różnią się znacząco między sobą. Urządzenia typu CFME mierzą siły nacisku wywierane przez koło pomiarowe na nawierzchnię i siły tarcia na styku koła nawierzchnia. Stosunek tych dwóch wartości stanowi współczynnik tarcia. Poza podobieństwami, urządzenia posiadają także istotne dla uzyskiwanych wartości różnice. Należy tu wspomnieć o różnicach w typie i rozmiarze zastosowanej opony pomiarowej, wartości poślizgu koła względem nawierzchni czy ciśnieniu w oponie. Wyniki uzyskane z pomiarów różnymi urządzeniami mogą różnić się między sobą nawet o kilkadziesiąt procent przez co nie należy porównywać ich ze sobą, jak również odnosić do tych samych wymagań. Jednocześnie każde z urządzeń pozwala na określenie warunków przeciwoślizgowych nawierzchni względem wymagań ustanowionych dla danego typu urządzenia, co pozwala sklasyfikować nawierzchnię pod tym kątem. Biorąc pod uwagę klasyfikację możliwe jest porównanie wyników otrzymanych z różnych urządzeń pomiarowych. Artykuł prezentuje przegląd aparatury stosowanej do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia na nawierzchniach lotniskowych, przytaczając jednocześnie te stosowane na polskich drogach. Autorzy zwracają uwagę na wymagania stawiane nawierzchniom pod względem szorstkości z uwzględnieniem typu zastosowanego urządzenia. Ponadto, zaprezentowano procedurę postępowania w trakcie testów z urządzeniami, dla których dotychczas nie opracowano wymagań, a istnieje potrzeba wprowadzenia ich na rynek.

Słowa kluczowe: Właściwości przeciwoślizgowe; Współczynnik tarcia; CFME

Abstract: Airfield pavement's anti-skid properties is one of the key factors that affects safety of air traffic on manoeuvring area. The friction coefficient constitutes the ratio of the wheel downforce and the friction on the contact surface. At the moment there are many devices for continuous measurement of the skid resistance (Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME) that, in principal do not diverge much from each other. Type CFME devices measure the wheel's downforce on the pavement and the friction on the tyre-pavement contact surface. The ratio between these two values represents a friction coefficient. In spite of similarities, devices have crucial differences that impacts on the friction coefficient. The most noteworthy are variations in the type and size of the used measuring tyre, tyre-pavement skid resistance or tyre pressure. Results obtained from the various devices may diverge by several dozen percentage, therefore they may not be compared with each other or referred to the same requirements. At the same time, each device allows to determine the pavement's anti-skid conditions in terms of the requirements specified for a given type of device, thereby enabling pavement classification in this respect. The classification allows for comparing the results obtained from various measuring devices. This paper presents an overview of equipment to measure the friction coefficient on airfield pavements, thus citing devices used on Polish roads. Authors draw attention to the requirements for pavements in terms of their roughness considering the device type. Moreover, the procedure for testing devices that have not been specified so far, with respect to launching new devices was presented.

Keywords: Anti-skid properties; Friction coefficient; CFME

W dzisiejszych czasach ogromny nacisk kładzie się na bezpieczeństwo. Jest to podyktowane głównie wysokimi kosztami społecznymi jakie niosą ze sobą zaistniałe zdarzenia. W przypadku transportu jednym z czynników mających istotny wpływ na bezpieczeństwo są właściwości prze-

ciwoślizgowe nawierzchni. Wszelkiego rodzaju systemy bezpieczeństwa, poczynając od ABS, przez wszelkiego rodzaju kontrole trakcji, aż po zaawansowane systemy przeciwoślizgowe, mają sens tylko wtedy, gdy zapewni się odpowiedni kontakt opony z nawierzchnią. Od strony pojazdu zna-

czący wpływ ma dobór odpowiedniej opony, czy konfiguracji zawieszenia. Ze strony nawierzchni będzie to uzyskanie jak najlepszych parametrów przeciwoślizgowych poprzez zapewnienie właściwego współczynnika tarcia mierzonego normowymi metodami. Na całym świecie istnieje

Tab. 1. Wymagania wg NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe – Badanie szorstkości [2]

Urządzenie pomiarowe	Opona testowa		Prędkość pomiarowa	Grubość filmu wodnego	Współczynnik tarcia		
	Typ	Ciśnienie kPa			Wartości projektowe dla nowych nawierzchni	Wartości do planowania działań naprawczych	Wartości minimalne (graniczne)
Przyczepa Surface Friction Tester (ASFT)	B	700	65	1,0	0,70	0,50	0,40
	B	700	95	1,0	0,60	0,40	0,32
Przyczepa Mu-meter	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Przyczepa Skiddometer	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Przyczepa RUNAR	B	210	65	1,0	0,69	0,52	0,45
	B	210	95	1,0	0,63	0,42	0,32
Pojazd Airport Surface Friction Tester (ASFT)	B	700	65	1,0	0,70	0,50	0,40
	B	700	95	1,0	0,60	0,40	0,32
Pojazd Surface Friction Tester	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Pojazd Runway Friction Tester	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Pojazd TATRA Friction Tester	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42

wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia (z ang. Continuous Friction-Measuring Equipment - CFME). Do pomiarów współczynnika tarcia na polskich lotniskach dopuszczono kilka z nich, natomiast na drogach zaledwie dwa. Od ponad 20 lat na sieci dróg krajowych w celu oceny właściwości przeciwpoślizgowych sto-

suje się zestaw pomiarowy SRT-3. Od kilku lat dopuszczone w kampaniach pomiarowych jest także urządzenie TWO. Obydwa urządzenia mają swoich zwolenników i przeciwników, natomiast nie są znane procedury, które umożliwiłyby dopuszczenie kolejnych urządzeń do pomiarów współczynnika tarcia na drogach krajowych. Na

chwilę obecną nie jest znana również instytucja, która certyfikowałaby tego typu urządzenia.

Międzynarodowy dokument Doc. 9137 AN/898 *Airport Services Manual - Part 2 - Pavement Surface Conditions* [1], wydany przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (z ang. International Civil Aviation Organization - ICAO) dopuszcza stosowanie nowych urządzeń pomiarowych podając kryteria oraz sposób postępowania w procesie certyfikacji urządzenia. Artykuł ma na celu przybliżenie środowisku drogowemu sposobu postępowania z nowymi urządzeniami CFME w procesie certyfikacji.

Przegląd urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia

Na całym świecie istnieje wiele urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia typu CFME. Część z nich używana jest w Polsce. Pomimo, że każde z urządzeń mierzy ten sam parametr, to ich konfiguracja ma wpływ na uzyskany wynik. W niniejszym rozdziale zaprezentowano typowe urządzenia wykorzystywane do pomiaru współczynnika tarcia na obiektach



1. Przyczepa ASFT T-10 będąca na wyposażeniu Zakładu Lotniskowego Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL), na drugim planie pojazd ASFT



2. Pomiar współczynnika tarcia na nawierzchni płyty postoju samolotów przy użyciu urządzenia T2Go będącego na wyposażeniu Zakładu Lotniskowego ITWL



3. Griptester MK2 (po lewej) [12], Skiddometer BV11 (po prawej) [13]

lotniskowych oraz drogach na terenie Polski. [10]

Urządzenia lotniskowe

Polska norma obronna NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badanie szorstkości [2] zawiera wykaz urządzeń typu CFME jakie dopuszcza się do stosowania na polskich obiektach wojskowych. W powyższej normie określone są wymagania jakie powinno spełniać urządzenie oraz jest wskazanie na możliwość stosowania urządzeń wymienionych w AC 150/5320-12C FAA [3], Doc. 9137 ICAO [1] oraz w Załączniku 14 ICAO [4]. Z przytoczonego zapisu wynika, że także nowe urządzenia mogą zostać zastosowane, o ile spełnią określone wymagania. Tabela 1 zawiera wykaz

urządzeń wymienionych przez normę [2] wraz z warunkami pomiaru oraz wymaganiami stawianymi nawierzchniom lotniskowym.

Na Polskich obiektach lotniskowych najpopularniejszymi urządzeniami do pomiaru współczynnika tarcia są urządzenia ASFT (z ang. Airport Surface Friction Tester) zamontowane na pojeździe lub na przyczepie ASFT T-10 ciągniętej za pojazdem (rysunek 1). Obydwa urządzenia umożliwiają ciągły, liniowy pomiar współczynnika tarcia pomiędzy nawierzchnią lotniskową, a wzorcowym kołem samolotu z prędkością 65 lub 95 km/h. Wyposażone są w zbiornik na wodę oraz mechanizm zwilżający nawierzchnię do osiągnięcia wymaganego w normach filmu wodnego o grubości nie mniejszej niż 1 mm.

Mniejsze elementy funkcjonalne lotniska, których geometria uniemożliwia pomiar przy prędkości 65 lub 95 km/h, można badać używając urządzenia BVS-1 lub ręcznego przenośnego testera szorstkości T2Go (rysunek 2). W obecnej chwili znaczenie aparatury badawczej BVS-1 zmalało na korzyść T2Go. T2Go umożliwia ciągły pomiar współczynnika tarcia przy niskich prędkościach, a odpowiednia korelacja między wynikami uzyskanymi przy użyciu przyczepy ASFT T-10 pozwala na odniesienie się do wymagań zawartych w podanych wcześniej dokumentach.

Punktowy pomiar współczynnika tarcia jest możliwy przy użyciu wahała angielskiego. Wynik daje pewien obraz, jaki poziom współczynnika tarcia charakteryzuje badaną nawierzchnię



4. Zestaw pomiarowy SRT-3 [14]



5. Zestaw pomiarowy TWO [15]

nię. Natomiast odnosi się on do konkretnego punktu, w przeciwieństwie do wcześniej przedstawionych urządzeń umożliwiających pomiar ciągły. Obecnie wahadło jest stosowane głównie w ramach badań laboratoryjnych. W terenie stanowi jedynie dodatkowe porównanie do wyników uzyskanych innymi metodami. Kryteria dla wskaźnika SRT otrzymanego z badania wahadłem angielskim znane są tylko dla nawierzchni drogowych. Rzadziej, ale także obecne na naszych lotniskach są urządzenia typu Griptester MK2 firmy Findlay Irvine (rysunek 3 po lewej) oraz Skiddometer BV11 firmy Moventor (rysunek 3 po prawej). Obydwa urządzenia działają na podobnej zasadzie co ASFT T-10 umożliwiając ciągły pomiar współczynnika tarcia, przy czym Griptester MK2 charakteryzuje się niewielką wagą oraz rozmiarami. Każde ze wspomnianych urządzeń jest ciągnięte w trakcie pomiaru przez pojazd kołowy oraz wymaga ciągłego podawania wody ze zbiornika znajdującego się na pojeździe.

Griptester MK2 wykorzystuje do pomiaru współczynnika tarcia gładką oponę o średnicy 10 cali, zgodną ze specyfikacją ASTM 1844. Koła jezdne urządzenia również mają rozmiar 10 cali, lecz są bieżnikowane. Ciśnienie panujące w oponie pomiarowej w trakcie badania to 140 kPa.

Do badania współczynnika tarcia przy użyciu urządzenia Skiddometer BV11 można użyć dwóch rodzajów opon. Pierwszy rodzaj opony to niskociśnieniowa opona ASTM, a druga to gładko bieżnikowana opona wysokociśnieniowa T520. Obie zgodne z rekomendacją FAA i ICAO. Ciśnienie robo-

cze w oponie pomiarowej to 210 kPa, a poślizg koła względem kół jezdnych wynosi 17%.

Urządzenia drogowe

W środowisku drogowym również występuje wiele urządzeń stosowanych w celu oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni. Umożliwiają one pomiar współczynnika tarcia z prędkościami od 30 do 120 km/h. W zależności od sposobu pomiaru można wyróżnić następujące grupy urządzeń:

- „side force” - koło pomiarowe obrócone jest względem kierunku ruchu urządzenia o kąt $7,5^{\circ}$ - 20° , mierzone są siły tarcia boczne. W tej grupie znajdują się m.in. SCRiM, SKM, Mu-Meter, Stradograf;
- „fixed slip” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia przy ustalonym poślizgu. Do tej grupy zalicza się m.in. DWW Trailer, Skidometer BV-8, Griptester, TWO;
- „variable slip” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia o zmiennym poślizgu. Przedstawicielem tej grupy jest ViaFriction;
- „locked wheel” - koło pomiarowe ustawione jest zgodnie z kierunkiem ruchu urządzenia, mierzone są siły tarcia przy całkowitej blokadzie koła (100% poślizgu). Do tych urządzeń zalicza się m.in. Adhera, Stuttgarter, Reibugsmesser, Pavement Friction Tester, SRT-3.

Urządzenia SRT-3 oraz TWO zostały dopuszczone do stosowania na polskich drogach krajowych zgodnie z Zarządzeniem Nr 34 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 kwietnia 2015 roku [5]. Urządzenie SRT-3 (rysunek 4) zostało zbudowane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, natomiast TWO (rysunek 5) jest konstrukcją zagraniczną.

Zestaw pomiarowy SRT-3, zaliczany do grupy „locked wheel”, umożliwia pomiar współczynnika tarcia przy pełnej blokadzie koła pomiarowego. Współczynnik tarcia może zostać określony dwoma metodami, tj. albo przez pomiar momentu hamującego powstałego na kole pomiarowym, albo bezpośrednio przez pomiar siły tarcia na styku opona-nawierzchnia drogowa. Dzięki omawianemu urządzeniu możliwy jest również pomiar maksymalnej wartości współczynnika tarcia przy zadanej prędkości pomiarowej oraz pomiar oporów toczenia. Badanie można wykonywać zarówno na prostych odcinkach dróg jak i na łukach.

Zestaw TWO, zaliczany do grupy „fixed slip”, służy do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia zarówno na drogach jak i na obiektach lotniskowych. Urządzenie pomiarowe zamocowane jest bezpośrednio na samochodzie. Wyposażone jest w dwa koła połączone ze sobą łańcuchem w taki sposób, aby poruszały się względem siebie z poślizgiem o wartości 17,8%. Jedno koło stanowi punkt odniesienia, drugie jest kołem pomiarowym. Pomiar może zostać wykonany zarówno na mokrej, jak i suchej nawierzchni z prędkością od 2 do 100 km/h. Ilość

podawanej wody jest regulowana i umożliwia stworzenie filmu wodnego o grubości od 0,1 do 1 mm. Do pomiaru może zostać użyta zarówno opona gładka jak i bieżnikowana.

Postępowanie z nowymi urządzeniami CFME

Międzynarodowy dokument Doc. 9137 AN/898 ICAO [1] podaje kryteria dla nowych urządzeń pomiarowych typu CFME, natomiast załącznik nr 3 [6] do tego dokumentu zawiera procedury testowania tychże urządzeń. Tym samym dopuszcza się możliwość wprowadzenia do stosowania innych urządzeń, niż obecnie wyszczególnione w dokumentach normatywnych pod warunkiem spełnienia konkretnych wymagań.

Wymagania dla nowych urządzeń według Doc. 9137 AN/898

W 1974 roku przedstawiono podstawowe kryteria techniczne oraz operacyjne dla urządzeń CFME (zaprojektowane przez ICAO) i zarekomendowano do pomiarów współczynnika tarcia drogi startowej. W 1991 roku wymagania znowelizowano i zamieszczono w Podręczniku Służb Lotniskowych Doc. 9137 AN/898 ICAO [1]. Kryteria mają na celu standaryzację parametrów projektowych dla nowych urządzeń do pomiaru tarcia. Mają także na celu zapewnienie elastyczności i umożliwienie dodawania przyszłych urządzeń nie wykluczając postępu technicznego w tej dziedzinie. Podstawowe wymagania dla nowych urządzeń CFME wskazane w dokumencie to:

- tryb pomiaru, który powinien umożliwić pomiar ciągły w ruchu wzdłuż badanego elementu;
- możliwość kalibracji urządzenia w celu kontroli nad poprawnością wyników. Nawet niewielkie odchyłki w trakcie kalibracji mogą mieć istotny wpływ na wynik badania;
- tryb hamowania koła pomiarowego - koło pomiarowe powinno znajdować się w stałym poślizgu

względem nawierzchni (w zakresie od 10% do 20%), natomiast w urządzeniach symulujących działanie siły bocznej zadany kąt powinien mieścić się w granicach od 5° do 10°. Obecnie najpopularniejszą konfiguracją stosowaną na polskich lotniskach jest poślizg koła na poziomie 15% bez zadanej siły bocznej;

- ograniczenie nadmiernych wibracji - urządzenie powinno być zaprojektowane w taki sposób, aby zminimalizować, bądź wręcz wyeliminować wibracje masy amortyzowanej i nieamortyzowanej w pełnym zakresie prędkości pomiarowych, w szczególności w odniesieniu do koła pomiarowego. Wibracje mają wpływ na jakość odczytów z aparatury pomiarowej, jak również na kontrolę siły docisku koła do nawierzchni;
- stabilność urządzenia w trakcie jazdy, włączając możliwość szybkiego opuszczenia drogi startowej. Urządzenie nie może powodować zagrożenia dla ruchu lotniczego w naziemnym polu manewrowym, na żądanie kontrolera ruchu musi być zdolne jak najszybciej przemieścić się w strefę bezpieczną;
- rejestrowany współczynnik tarcia powinien zawierać się w przedziale od 0 do 1.0;
- urządzenie powinno zapewnić ciągły zapis wykresu wartości współczynnika tarcia dla drogi startowej oraz umożliwić osobie obsługującej wprowadzenie jakichkolwiek obserwacji, jak również daty i czasu zapisu. Ciągły zapis jest pewnym uproszczeniem, gdyż urządzenia typu CFME zapisują wyniki w konkretnych interwałach; dystans jaki pokonuje urządzenie jest na tyle mały względem długości odcinka pomiarowego, że można to uznać za pomiar ciągły
- urządzenie powinno być zdolne do powtarzania średnich wyników pomiarów współczynnika tarcia w granicach $\pm 0,03 \mu$, przy poziomie ufności 95,5% (lub dwa odchylenia standardowe);

- wartość współczynnika tarcia powinna stanowić stosunek podłużnej siły tarcia do pionowego obciążenia koła pomiarowego, w przypadku pomiaru symulującego siłę boczną współczynnik tarcia powinien odpowiadać stosunkowi siły bocznej do obciążenia koła pomiarowego. Wymaganie to wynika z definicji współczynnika tarcia;
- zakres możliwych prędkości pomiarowych urządzenia powinien sięgać od 40 do 130 km/h. Pomimo, że zakres pomiarowy jest szeroki, to standardowymi prędkościami przy jakich wykonuje się pomiar współczynnika tarcia są 65 i 95 km/h, pozostałe prędkości pomiarowe służą jak najlepszemu określeniu korelacji między urządzeniami;
- urządzenie powinno podawać średnią wartość współczynnika tarcia co najmniej dla: pierwszych 100 m drogi startowej, każdego 150 m odcinka pomiarowego oraz dla każdej jednej trzeciej długości drogi startowej. Podział długości drogi startowej na trzy części ma szczególne znaczenie dla pilota. Pilot podchodząc do lądowania dostaje informację o współczynniku tarcia na poszczególnych fragmentach drogi startowej. Dzięki temu wie jakich warunków może się spodziewać po przyziemieniu i w jaki sposób manewrować statkiem powietrznym w kolejnych tercjach drogi startowej;
- opona pomiarowa powinna odpowiadać typom wymienionym w dokumencie; opona może zostać wymieniona na inną pod warunkiem upewnienia się, że uzyska się rzetelne i pewne wyniki. Standaryzacja opon pomiarowych ma na celu eliminację wpływu rodzaju użytej opony na warunki pomiaru;
- urządzenie musi być zdolne wykonywać pomiary niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Pomiary współczynnika tarcia na lotniskach odbywają się najczęściej w chwili, gdy istnieje podejrzenie, że właściwości prze-

ciwpoślizgowe nawierzchni mogły ulec pogorszeniu. Zazwyczaj taka sytuacja następuje w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków atmosferycznych. Z tego powodu urządzenie musi być gotowe do pracy w każdych warunkach atmosferycznych;

- urządzenie musi być na tyle łatwe w utrzymaniu, aby zapewnić bezpieczeństwo w trakcie pomiarów oraz transportu;
- urządzenie musi być wyposażone w system samorozciągający nawierzchnię, w celu zapewnienia filmu wodnego o grubości co najmniej 1 mm.

Procedura testowania nowego urządzenia

Załącznik 3 [6] wskazuje cztery podstawowe założenia, jakie powinny zostać spełnione w trakcie prowadzenia testów nowego urządzenia CFME:

- należy ustalić, czy procedury kalibracji przyrządów stosowane przez producenta do pomiaru tarcia i systemów dystrybucji wody dla urządzenia są zadowalające. Dokument nie określa tu konkretnych wymagań, dlatego niezwykle ważna jest stosowna ocena przez ekspertów biorących udział w badaniach;
- pomiary należy prowadzić na co najmniej czterech różnych rodzajach nawierzchni zapewniających szeroki zakres wyników współczynnika tarcia. Dokument nie określa tu konkretnych parametrów jakie ma spełnić nawierzchnia jak na przykład jej mikro- i makrotekstura, aczkolwiek warto zadbać, aby wybrać co najmniej cztery rodzaje nawierzchni różniących się między sobą uzyskiwanymi wartościami współczynnika tarcia
- pomiary wykonywać przy co najmniej dwóch prędkościach pomiarowych, tj. 65 i 95 km/h. Są to standardowe prędkości pomiaru współczynnika tarcia powielane w wielu dokumentach, natomiast w celu powiększenia zbioru wy-

ników można wykonać pomiary także przy innych prędkościach. Zwiększy to ilość danych i poszerzy zakres wyników;

- dla każdej kombinacji warunków pomiaru przeprowadzić pomiary w warunkach powtarzalności i jeśli to możliwe wykonać w tych samych warunkach pomiar innym, certyfikowanym urządzeniem CFME w celu sprawdzenia zgodności wyników.

Spełnienie powyższych warunków w znaczącym stopniu zapewni powtarzalność wyników oraz umożliwi kontrolę uzyskiwanych wyników.

Pomimo, że w dokumencie nie ma takiego zapisu, to warto zapewnić czystość nawierzchni, na której przeprowadzany jest pomiar. Z doświadczeń autorów wynika, że rozrzut wyników uzyskiwanych na zanieczyszczonej nawierzchni jest duży. Nawet certyfikowane urządzenia mogą nie być w stanie zapewnić powtarzalności na poziomie $\pm 0,03 \mu$, przy poziomie ufności 95,5%. W celu utrzymania odpowiedniej czystości nawierzchni w trakcie pomiarów korzystne jest oczyszczenie nawierzchni przed każdym przejazdem urządzenia pomiarowego. Na lotniskach najszybszym rozwiązaniem okazuje się użycie oczyszczarki lotniskowej.

Kolejne kroki procedury testowania nowych urządzeń CFME według Załącznika 3 [6] są następujące:

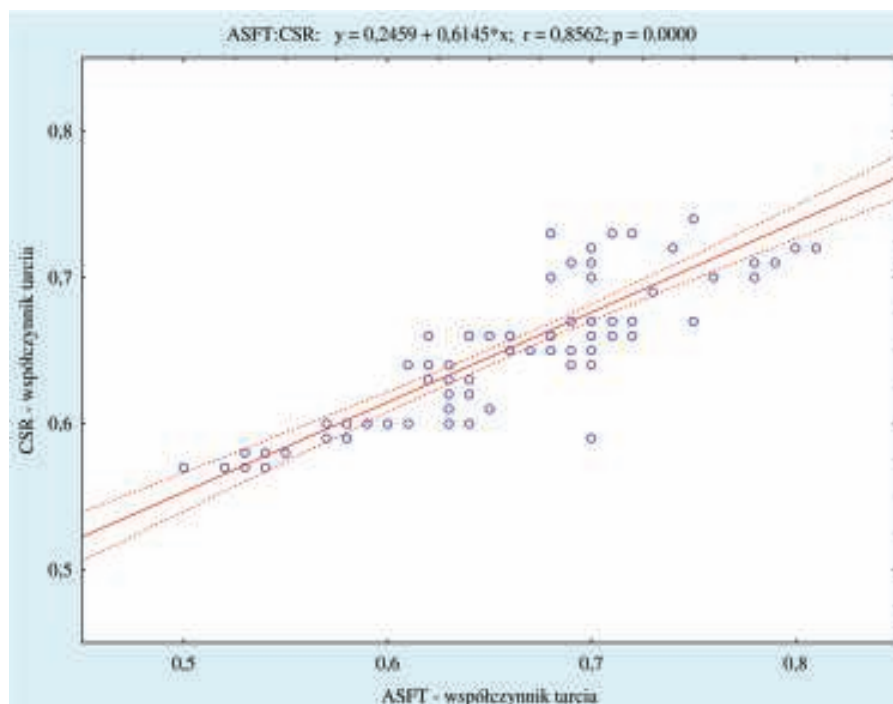
- sprawdzenie podzespołów urządzenia, opony oraz systemu zapisu danych pod kątem prawidłowej konfiguracji i warunków działania.
- przeprowadzenie kalibracji urządzenia według instrukcji producenta i zapisanie wyników.
- wykonanie sprawdzenia systemu rozprowadzającego wodę pod względem zgodności ilości rozprowadzonej wody z założeniami oraz czy woda podawana jest prawidłowo pod koło pomiarowe przy różnych prędkościach. Dokument nie definiuje w jaki sposób takie sprawdzenie przeprowadzić. W praktyce mierzy się długość i szerokość powstałego w trakcie pomiaru śladu wodnego i na pod-

stawie ubytku wody w urządzeniu określa się grubość filmu wodnego utworzonego przed kołem.

- powtórzenie pierwszych trzech kroków dla drugiego, certyfikowanego urządzenia CFME użytego w celu określenia korelacji wyników, jeśli takowe będzie wykorzystane.
- w przypadku, gdy do testów używa się więcej niż jednego urządzenia, należy określić kolejność tych urządzeń w trakcie przejazdów i zachowywać tę kolejność przez cały czas trwania testów. Jest to istotne, gdyż w celu określenia korelacji porównuje się wyniki z poszczególnych przejazdów urządzeń pomiarowych. Pomimo, że nie jest to wskazane w dokumencie to należy zadbać, aby czas między przejazdami porównywanych urządzeń był możliwie krótki.
- wykonanie dwóch lub trzech przejazdów testowych każdym z urządzeń CFME na założonej nawierzchni, w celu ustabilizowania współczynnika tarcia dla mokrej nawierzchni oraz osiągnięcia akceptowalnej powtarzalności na poziomie $\pm 0,03$. Jeśli akceptowalny poziom powtarzalności przy dwóch przejazdach z podobną prędkością nie zostanie osiągnięty, należy sprawdzić system pomiarowy oraz zapisu danych, w celu znalezienia nieprawidłowości. Jeśli to konieczne, należy poprawić wszelkie nieprawidłowości i przeprowadzić ponownie kalibrację urządzenia przed kontynuacją testów.
- przy każdej analizowanej prędkości należy przeprowadzić co najmniej 6 przejazdów pomiarowych dla każdego urządzenia, dla każdej z co najmniej 4 rodzajów nawierzchni. Naturalnie wraz ze wzrostem liczby pomiarów rośnie prawdopodobieństwo poprawnej oceny urządzenia.
- na każdej z wybranych nawierzchni należy wykonać pomiary przy minimum dwóch prędkościach pomiarowych - 65 i 96 km/h. Inne prędkości pomiarowe pozwolą na dokładniejsze określenie zależno-

ści współczynnika tarcia od prędkości.

- przeanalizowanie zapisanych danych w celu określenia dokładności, powtarzalności oraz zgodności wyników dla każdej z nawierzchni oraz prędkości pomiarowych.
- dla porównania z uzyskiwanymi współczynnikami tarcia na mokrej nawierzchni, należy przeprowadzić dwa testy na sucho dla każdej z nawierzchni oraz przy podobnych prędkościach pomiaru, jakie wykorzystano przy pomiarach na nawierzchni mokrej.
- przeprowadzenie ponownej kalibracji urządzeń zgodnie z wytycznymi producenta na zakończenie testów i zapisanie wyników. Uzyskane wartości w trakcie kalibracji powinny być zbliżone do tych z przed testów. Jeśli nie są, należy ustalić przyczynę i w razie konieczności powtórzyć testy.
- wykonanie wykresów zależności wartości współczynnika tarcia od prędkości dla każdej z nawierzchni. W przypadku wykorzystania więcej niż jednego urządzenia należy nanieść wykresy dla każdego z urządzeń na tym samym wykresie.
- wyznaczenie liniowej zależności oraz współczynnika korelacji dla każdego przypadku. Wartości powinny zostać pokazane na każdym z wykresów.
- przygotowanie zestawienia głównych parametrów przeprowadzonych testów w tym: data badania, ilość przejazdów testowych, godziny pomiarów, rodzaj nawierzchni, prędkość pomiaru, kierunek pomiarów, głębokość filmu wodnego, średnie wartości współczynnika tarcia,
- utworzenie kopii danych historycznych testów, ogólnych notatek, warunków pogodowych oraz innych obserwacji, w celu przedłożenia właściwej instytucji certyfikującej. Na ogół dokumenty przekazywane są do ICAO, która to sprawdza poprawność przeprowadzonej procedury i zatwierdza urządzenie. W Polsce jednostką,



6. Wykres korelacji wyników współczynnika tarcia uzyskanych urządzeniami CSR i ASFT T-10

która może dopuścić urządzenie do stosowania na krajowych lotniskach jest Urząd Lotnictwa Cywilnego.

Dokument rekomenduje wykonanie zdjęć lub filmów w trakcie prowadzenia testów, aczkolwiek nie jest to obligatoryjne. Z doświadczeń wynika, że jest to istotny zabieg ułatwiający odtworzenie procesu testowania urządzenia.

Praktyczne zastosowanie Procedury

Zaprezentowana procedura testowania nowych urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia nie jest dokumentem martwym. Wiele urządzeń zostało certyfikowanych zgodnie z jej założeniami. Niektóre z nich, jak choćby ViaFriction, są stosowane również na drogach.

Na naszym rodzimym rynku również testowane są urządzenia według przedstawionej procedury. Bardzo dobry przykład stanowi tu nowe urządzenie do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia o nazwie CSR (ang. Continuous Skid Resistance). Autorzy wykonali badania wspomnianego urządzenia zgodnie z procedurą zawartą w Załączniku nr 3 [7]. Założenia do badań były następujące;

- dwie prędkości pomiarowe - 65 i

95 km/h,

- wartość poślizgu koła pomiarowego - 15%,
- sześć różnych rodzajów nawierzchni,
- cztery pory roku (różne warunki atmosferyczne),
- pomiar na mokro i na sucho,
- po 10 przejazdów w każdej serii pomiarowej,
- serie pomiarowe wykonywane w warunkach powtarzalności.

W sumie uzyskano blisko 1000 wyników pomiaru w różnych warunkach pomiarowych. Pozwoliło to na rzetelne oszacowanie powtarzalności pomiaru testowanym urządzeniem. Uzyskano powtarzalność na satysfakcjonującym poziomie nie przekraczającym założeń Procedury.

Równocześnie wykonywano pomiary urządzeniem referencyjnym w tych samych warunkach pomiarowych. Jako urządzenie referencyjne wykorzystano certyfikowaną przyczepę ASFT T-10. Pozwoliło to na określenie korelacji między obydwojema urządzeniami.

Na rysunku 6 przedstawiono wykres korelacji będący fragmentem obszerniejszej analizy. Wykres dotyczy porównania wyników współczynnika tarcia uzyskanych z wykorzystaniem ASFT T-10 z wynikami współczynnika

tarcia uzyskanymi w trakcie pomiaru urządzeniem CSR. Pomiary wykonano w lecie przy prędkości 65 km/h na mokro (tj. z zapewnieniem filmu wodnego o grubości ok. 1 mm). Uzyskano współczynnik r-Pearsona na zadowalającym poziomie 0,86. Pas regresji wyznaczony przy poziomie ufności 0,95 jest stosunkowo wąski, a rozrzut wyników wokół linii regresji jest zadowalający.

W części tytułowej wykresu zamieszczono równanie regresji, na podstawie którego można w przystępny sposób odnieść wyniki uzyskane urządzeniem CSR do wyników uzyskanych urządzeniem ASFT T-10. W konsekwencji takiej transformacji możemy odnieść się do wymagań normowych stawianych badanym nawierzchniom pod względem ich właściwości przeciwpoślizgowych.

Podsumowanie

Spektrum dostępnego na świecie sprzętu do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia jest bardzo szerokie. Istnieje wiele tego typu urządzeń i co pewien czas powstają nowe. Jednym z czynników, które temu sprzyjają jest zapewnienie odpowiednich warunków przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych i lotniskowych poprzez ich kontrolę i szybkie reagowanie w razie zaobserwowanych nieprawidłowości. Ma to na celu zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom dróg i lotnisk.

Polska norma obronna [2], bazując na dokumentach międzynarodowych, podaje wykaz urządzeń możliwych do wyznaczenia współczynnika tarcia na elementach funkcjonalnych lotnisk. Wykaz zawiera osiem najpopularniejszych urządzeń, z czego kilka używanych jest przez służby operacyjne polskich obiektów lotniskowych. Norma dopuszcza również zastosowanie dwóch alternatywnych urządzeń (BVS-1 oraz ASFT T2Go), gdy wymiary geometryczne elementu nie pozwalają na użycie standardowej aparatury badawczej.

Na drogach krajowych standardem jest urządzenie SRT-3 produkcji IBDiM,

które na co dzień użytkuje Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Poza tym w kampaniach pomiarowych można stosować urządzenie TWO wg zarządzenia [5].

Środowisko lotnicze nie zamyka się na urządzenia obecnie wskazane w dokumentach normatywnych i pozostawia możliwość wprowadzenia do badań nowych urządzeń CFME. Dokument Doc. 9137 AN/898 [1] dosyć szczegółowo podaje, jak postępować w takim przypadku. Zawiera wymagania dla nowych urządzeń oraz procedurę ich testowania przytoczoną w niniejszym artykule. Załącznik 3 [6] do powyższego dokumentu określa kolejne kroki postępowania, wraz z podaniem warunków testów, podstawowych założeń, wymagań w stosunku do interpretacji wyników oraz poprawnej dokumentacji testów.

Artykuł ma na celu przedstawienie środowisku drogowemu procedurę testowania nowego urządzenia CFME w procesie jego certyfikacji na obiektach lotniskowych oraz możliwości wprowadzania nowej aparatury pomiarowej do wykazu urządzeń dopuszczonych przez lotnicze instytucje państwowe i międzynarodowe.

Przedstawiony w artykule przykład testowania nowego urządzenia do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia pokazuje, że Procedura zaprezentowana w artykule nie jest dokumentem martwym i jest wykorzystywana nie tylko na Świecie, ale również w Polsce.

Autorzy poddają pod rozważenie możliwości adaptacji zaprezentowanej metody do stosowania przez środowisko drogowe, w celu dopuszczenia alternatywnych urządzeń do badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] J.W. Hall, K.L. Smith, L. Titus-Glover, J.C. Wambold, T.J. Yager, Z. Rado, Guide for pavement friction, Contractor's final report for NCHRP Project, 2009
- [2] Doc. 9137 AN/898 Airport Services Manual - Part 2 - Pavement Surface Conditions,
- [3] NO-17-A501:2015 Airport pavements - Friction testing,
- [4] AC 150/5320-12C FAA Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces
- [5] Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Airfields - Volume I - Engineering and operation of airfields
- [6] Ordinance no. 34 of the General Director of National Roads and Motorways of 30 April 2015
- [7] Appendix 3 NASA Certification Test Procedure for New Continuous Friction-Measuring Equipment Used at Airport Facilities
- [8] W. Gardziejczyk, M. Wasilewska, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz, Przegląd urządzeń do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych [Overview of devices intended for assessing the anti-slip properties of road pavements], VIII Techniczne dni drogowe, Białystok 2015
- [9] W. Gardziejczyk, M. Wasilewska, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz, Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych przy wykorzystaniu urządzeń two, ctm i dft, journal of civil engineering, environment and architecture, 2016
- [10] Iwanowski P., Blacha K., Wesołowski M., Review of modern methods for continuous friction measurement on airfield pavements, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, tom 356
- [11] <http://www.asft.se>, wrzesień 2018
- [12] <http://www.griptester.us>, wrzesień 2018
- [13] <http://www.moventor.com>, wrzesień 2018
- [14] <http://www.docplayer.pl>, wrzesień 2018
- [15] <http://www.two-friction.com>, wrzesień 2018

Ocena równości nawierzchni lotniskowych w aspekcie obowiązujących dokumentów normatywnych

Evaluation of airfield pavement evenness in the aspect of binding normative documents



Mariusz Wesołowski

Pplk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Paweł Pietruszewski

Mjr mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

pawel.pietruszewski@itwl.pl



Adam Poświata

Dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

adam.poswiata@itwl.pl



Danuta Kowalska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

danuta.kowalska@itwl.pl

Streszczenie: Równość nawierzchni lotniskowych według obowiązujących dokumentów normatywnych jest jednym z podstawowych parametrów eksploatacyjnych charakteryzujący każdy element funkcjonalny lotniska. Równość, a w zasadzie jej brak, decyduje nie tylko o komforcie ruchu statku powietrznego po nawierzchni lotniskowej, lecz również wpływa na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię, a tym samym na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. W dodatku, zmieniający się stan równości w wyniku procesu eksploatacji przez statki powietrzne, złych warunków atmosferycznych czy nieodpowiedniej technologii budowy nawierzchni, prowadzi do powstania odchyłań od pożądanego stanu w postaci nierówności podłużnych i poprzecznych. Zgodnie z obowiązującymi wymaganiami normatywnymi na obiektach lotniskowych pomiary mogą być wykonywane przy pomocy planografu bądź łaty i klina. Stosowane urządzenia pomiarowe różnią się między sobą wymiarami oraz dopuszczalnymi pojedynczymi nierównościami. Systematyczne i poprawne wykonywanie badań jest bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na poprawę bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, ale również umożliwiającym wydzielenie stref (obszarów), w których następuje szybsza degradacja nawierzchni. Jeżeli uzyskiwane wyniki pomiarów nie będą wystarczająco wiarygodne, to w konsekwencji mogą być podejmowane błędne decyzje, co w efekcie końcowym może wpłynąć na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych

Słowa kluczowe: Nawierzchnie lotniskowe; Równość nawierzchni lotniskowych; Ocena stanu równości nawierzchni lotniskowych

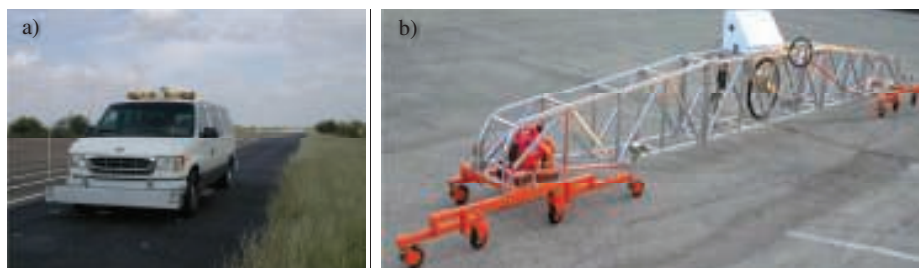
Abstract: According to the binding normative documents, the evenness of airfield pavements is one of the basic operating parameters characterizing each of the airfield functional elements. Pavement evenness, or rather lack of, determines the aircraft's driving comfort on the airfield pavement but also influences the pavement magnitude of the dynamic load, as well as the safety of air operations. Additionally, the evenness condition changing as a result of aircraft exploitation, adverse weather conditions or inappropriate airfield pavement construction technology, lead to deviations from the desired condition in the form of longitudinal and transverse unevenness. In compliance with the binding normative requirements, the measurements may be performed using profilometer or leveling rod and a wedge. These devices differ in their dimensions and acceptable single unevenness on the airfield pavement. Systematic and correct performance of tests is a very significant factor impacting the improvement of air operations' safety, also enabling the segregation of zones (areas) with the fastest pavement degradation. If the data obtained through the measurements are not sufficiently reliable, they may consequently lead to making incorrect decisions, which can ultimately impact the safety of air operations.

Keywords: Airfield pavement; Airfield pavement evenness; Evaluation of airfield pavement evenness

W ostatnich latach transport lotniczy odnotował znaczący wzrost liczby operacji lotniczych zarówno w kraju jak i na świecie. Spowodowane to zostało między innymi przez znaczny wzrost tanich przewoźników komercyjnych rozwój nowoczesnych technologii oraz przewóz ładunków i materiałów. Jednak dynamiczny i prężny rozwój lotnictwa spowodował także wiele problemów szczególnie związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa wyko-

nywania operacji lotniczych poprzez pogarszające się cechy eksploatacyjne nawierzchni. Jedną z głównych cech eksploatacyjnych, charakteryzującą każdą nawierzchnię lotniskową bądź drogową obok nośności i szorstkości jest jej równość. Równość nawierzchni w wyniku obciążeń dynamicznych, złych warunków atmosferycznych, czy nieodpowiedniej technologii budowy prowadzi do odchyłań od pożądanego stanu w postaci nierówności

podłużnych i poprzecznych. Równość nawierzchni, a w zasadzie jej brak, jest jednym parametrem eksploatacyjnym, który bezpośrednio mogą odczuć i zauważyć użytkownicy nawierzchni poprzez nieodpowiedni komfort jazdy, złe odprowadzenie wód opadowych, tworzenie się zastoisk wodnych czy zwiększone oddziaływania dynamiczne. Powstałe nierówności nawierzchni wpływają również niekorzystnie na opory toczenia kół



1. Urządzenia do pomiaru nierówności nawierzchni a) RSP-3, b) California Profilograph

pojazdów oraz na przyspieszoną degradację nawierzchni, a tym samym na pogorszenie warunków bezpieczeństwa.

Dokumenty normatywne

Ocena stanu równości nawierzchni w drogownictwie i lotnictwie pomimo tych samych typów konstrukcji różni się między sobą sposobem prowadzenia pomiarów, stosowanymi urządzeniami oraz kryteriami oceny. W branży drogowej, pomiary stanu równości prowadzone są najczęściej przy użyciu wieloczułkowych profilografów laserowych (rys 1). Otrzymane wyniki z pomiarów przeliczane są na tzw. Międzynarodowy wskaźnik równości IRI wyrażony w mm/m lub m/km [1]. Przy ocenie równości podłużnej nawierzchni drogowych stosuje się metody profilometryczne umożliwiające obliczanie wskaźnika równości IRI. Sprzęt pomiarowy powinien rejestrować nierówności z dokładnością co najmniej 1,0 mm, nierówności o charakterystycznych długościach miesz-

czących się w przedziale od 0,5 do 50 m. Wartości IRI oblicza się nie rzadziej niż co 50 m, a długość ocenianego odcinka nie powinna być większa niż 1000 m. Do oceny równości podłużnej nawierzchni autostrady zgodnie z [2] stosuje się miarodajną wartość wskaźnika równości IRI, który przyjmuje się jako sumę wartości średniej i odchylenia standardowego $\langle IRI \rangle + S$. Pomiar na autostradach wykonuje się w śladzie prawego koła na każdym z pasów ruchu, z wyłączeniem pasów awaryjnych i jezdni MOP. W tabeli 1 przedstawiono kryteria klasyfikacji równości podłużnej [mm/m] dotyczące autostrad.

Natomiast zgodnie z [3], równość podłużna jest określona przez dopuszczalną wartość średnią wyników pomiaru IRI_{sr} oraz dopuszczalną wartość maksymalną pojedynczego pomiaru IRI_{max} których nie można przekroczyć na długości ocenianego odcinka nawierzchni. W tabeli 2 przedstawiono dopuszczalne wartości przy odbiorach warstwy ścieralnej metodą profilometryczną.

Tab. 2. Dopuszczalne wartości wskaźnika IRI [2]

Klasa drogi	Element nawierzchni	Dopuszczalne odbiorcze wartości wskaźników dla zadanego zakresu długości odcinka drogi [mm/m]	
		IRI_{sr}	IRI_{max}
1	2	3	4
A,S,GP	Pasy ruchu zasadnicze, awaryjne dodatkowe, włączenia i wyłączenia jezdnie łącznic	1,3	2,4
	Jezdnie MOP, utwardzone pobocze	1,5	2,7
G	Pasy ruchu zasadnicze, awaryjne dodatkowe, włączenia i wyłączenia jezdnie łącznic	1,7	3,4
	Utwardzone pobocze	2,0	3,8

Tab. 3. Akceptowalne, dopuszczalne i nadmierne granice nierówności powierzchni [4,5]

Nierówność powierzchni	Długość nierówności (m)								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Akceptowalna wysokość nierówności powierzchni (cm)	2,9	3,8	4,5	5,0	5,4	5,9	6,5	8,5	10,0
Dopuszczalna wysokość nierówności powierzchni (cm)	3,9	5,5	6,8	7,8	8,6	9,6	11,0	13,6	16,0
Nadmierna wysokość nierówności powierzchni (cm)	5,8	7,6	9,1	10,0	10,8	11,9	13,9	17,0	20,0

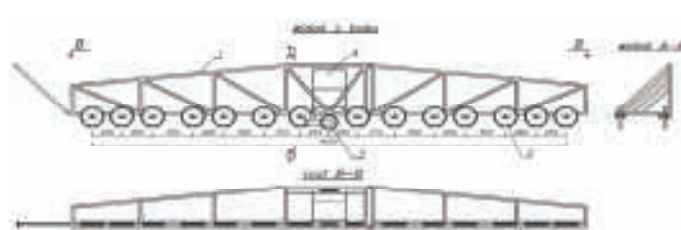
Tab. 1. Kryteria klasyfikacji równości podłużnej na autostradach [2]

Element nawierzchni	Klasa		
	A	B	C
Pasy ruchu zasadnicze i dodatkowe	<2	2-3,5	>3,5
Jezdnie PPO	<3	3-4,5	>4,5

Na obiektach lotniskowych pomiary mogą być wykonywane przy pomocy planografu bądź łaty i klina. 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 w załączniku 14 - Lotniska, Tom I - Projektowanie i eksploatacja lotnisk, zawiera 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 łaty o długości 3 m, a powierzchnią nawierzchni nie był większy niż 3 mm na całej długości łaty [4]. Ponadto, Załącznik 14 podaje, że odosobnione nierówności 2,5 cm do 3,0 cm, w odległości 45 m są tolerowane. W tabeli 3 przedstawiono nierówności nawierzchni, które według ICAO podzielone są na trzy kategorie: akceptowalna, dopuszczalna i nadmierna wysokość nierówności. Natomiast zgodnie z wymaganiami Federalnej Administracji Lotnictwa (ang. Federal Aviation Administration, FAA), która została powołana do życia na mocy Federalnej Ustawy o Lotnictwie z 1958 roku jako Federal Aviation Agency (obecną nazwę przybrała w 1966 roku, kiedy stała się częścią amerykańskiego Ministerstwa Transportu), dopuszczalne pojedyncze nierówności nawierzchni lotniskowej mogą wynosić 6,4 mm na odcinku 5 m [6,7]. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe urządzenie do pomiaru nierówności na nawierzchniach drogowych stosowane w kraju oraz urządzenie do



2. Łata pomiarowa o długości 3 m



3. Schemat planografu o długości 4 m [8] Objaśnienia: 1 – rama wózka, 2 – kółko jezdne, 3 – kółko pomiarowe, 4 – stolik pomiarowy (zestaw rejestrujący i przesyłający wyniki do komputera)

pomiaru nierówności nawierzchni lotniskowej stosowane w USA zgodnie z wymaganiami FAA.

W sytuacji powstania odchyień od pożądanego stanu równości na obiektach drogowych istnieje możliwość (instalacji) ustawienia znaków ostrzegających o powstałych nierównościach jezdni oraz ograniczenia prędkości na danym odcinku drogi. Ponadto, usunięcie powstałych uszkodzeń i przywrócenie odpowiedniego stanu równości nawierzchni, możliwe jest bez całkowitego wyłączenia danego odcinka drogi z użytkowania, a jedynie jego ograniczenie przez zmianę organizacji ruchu i zastosowanie np. ruchu wahadłowego. Jednak takie zabiegi są niemożliwe w ruchu lotniczym, w związku z czym wymagania stawiane nawierzchniom lotniskowym muszą być 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.

Wychodząc naprzeciw przedstawionemu problemowi, autorzy wraz z szerszym zespołem badawczym, korzystając z ponad 60-letniego doświadczenia zdobytego podczas realizacji zadań inwestycyjnych i remontowych na obiektach lotniskowych, opracowali Normę Obronną NO-17-A502:20175 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości, którą stosują wojskowe, jak i cywilne służby lotniskowe. Przedmiotowa norma określa sposób prowadzenia oceny stanu równości nawierzchni lotniskowych na poszczególnych elementach funkcjonalnych lotniska (EFL), kryteria oceny oraz sposób przedstawiania

otrzymanych wyników z badań terenowych. Ponadto, w w/w normie zwrócono uwagę na konieczność określania stanu równości nawierzchni nowobudowanych i remontowanych przed oddaniem ich do eksploatacji oraz na systematyczne poddawanie ich kontrolnym badaniom okresowym podczas dalszego procesu użytkowania. Umożliwi to śledzenie zachodzących zmian podczas eksploatacji, wyznaczenie obszarów w których degradacja postępuje szybciej, ale również pozwoli prognozować tempo ich postępowania.

Ocena równości według NO-17-A502:2015

Pomiar stanu równości nawierzchni lotniskowych 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 łąty o długości 4 m lub 3 m [6].

Planograf stosowany do pomiaru nierówności nawierzchni lotniskowych jest zmodernizowanym urządzeniem produkcji polskiej. Przeprowadzona modernizacja, polegała na dodaniu: zespołu rejestrującego nierówności nawierzchni, czujnika nie-

równości, transformatorowego przetwornika przemieszczeń liniowych, czujnika przyrostu drogi, szeregowego interfejsu, komputera do analizy i oprogramowania opracowanego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL). Na rysunku 4 przedstawiono planograf po modernizacji.

Pomiar przy pomocy łąty

Łata powinna być wykonana z metalu lub drewna. Wskazane jest jednak stosowanie łąt z kształtowników wykonanych ze stopów aluminium. Płaszczyzna dolna (pomiarowa) skierowana do nawierzchni powinna być gładka i równa. Długość łąty 3 m powinna być wykonana z tolerancją ± 3 mm, a łąty 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 [8,9]. Łatę pomiarową o długości 3 m przedstawiono na rysunku 2. Łata pomiarowa o długości 4 m jest identyczna, jak łąta 3 m.

Pomiar przy pomocy planografu

Planograf stosowany do pomiaru stanu równości nawierzchni lotniskowych rejestruje wychylenie ruchomego kółka pomiarowego względem czterometrowej lub trzymetrowej bazy, przemieszczającej się po nawierzchni na 14 lub 10 kółkach jezdnych. Konstrukcja planografu powinna zapew-



4. Planograf P-3Z po modernizacji

Tab. 4. Kryteria oceny stanu równości nawierzchni lotniskowych

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

Tab. 5. 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

nić 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 wynosi (159 ± 5) mm [8]. Ogólny schemat planografu o długości 4 m przedstawiono na rysunku 3. Schemat planografu o długości 3 m jest identyczny, jak planografu 4 m z uwagami jak opisano wyżej. Zestaw ten pozwala na pomiar występujących nierówności nawierzchni w funkcji przyrostu długości drogi z dokładnością wynoszącą 0,3 mm i częstotliwością, co 10 cm.

Metodyka i ocena badań

Równość nawierzchni lotniskowych zgodnie z normą NO-17-A502:2015, wyrażona jest 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. Na podstawie przeprowadzonych analiz przyjęto podział trasy pomiarowej na odcinki o module 5 m. Przyjęta długość 5 m 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:

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

gdzie:

W – wadliwość ocenianego obszaru lub strefy [%], w_i – wadliwość „ i -tego” ocenianego obszaru badawczego [%], F_i – długość ocenianego odcinka trasy (obszaru badawczego) przyjętego do oceny [m].

Ocenę stanu równości nawierzchni lotniskowej według kryterium wadliwości określa się stosując pięciostopniową skalę przedstawioną w tabeli 4.

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

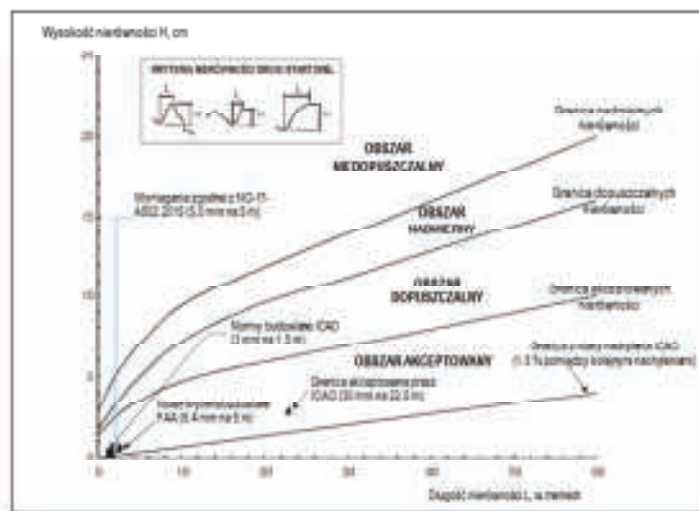
od 50% dla nawierzchni będących w eksploatacji.

Zgodnie z [8,9,10] dopuszczalne nierówności dla nawierzchni nowobudowanych oraz maksymalne wartości nierówności dla nawierzchni eksploatowanych przedstawiono w tabeli 5. Na rys 5 zestawiono kryteria oceny nawierzchni według ICAO, FAA oraz NO-17-A502:2015.

Przedstawienie wyników badań

Zgodnie z normą obroną NO-17-A502:2015 ocenę stanu równości nawierzchni lotniskowych wykonuje na wszystkich eksploatowanych EFL, lecz zakres i sposób przedstawienia wyników uzależniony jest od funkcji jaką pełnią 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. Jednak niezależnie od EFL na którym są prowadzone pomiary, wynikiem badania stanu równości nawierzchni lotniskowych jest średnia wartość obliczonej wadliwości oraz średnie wartości nierówności, odchylenia standardowe i liczbowe wartości nierówności dla przyjętych przedziałów.

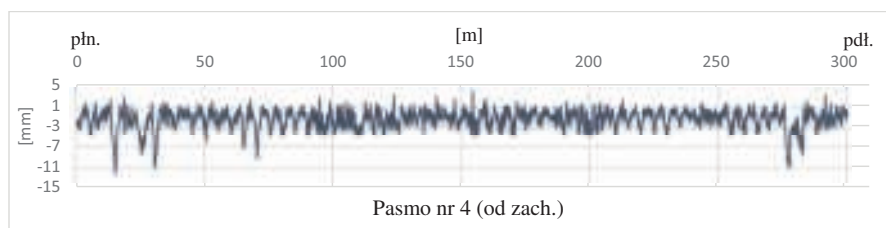
Pomiary na drodze startowej wykonuje się na wszystkich pasmach w kierunku podłużnym i co 50 m w kierunku poprzecznym. Do oceny stanu równości dróg startowych przyjmuje



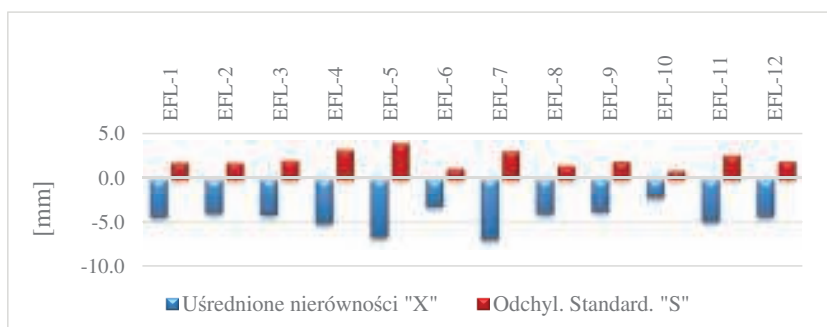
5. Porównanie kryteriów nierówności

się moduł o 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 tabelą 1, 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).

Pomiary na drogach kołowania i płytach postojowych wykonuje się na wszystkich pasmach w kierunku podłużnym i co 50 m w kierunku poprzecznym (pomiar poprzeczny na drogach kołowania o szerokości do 25 m nie są wymagane chyba, że stwierdza się występowanie zastoisk wody lub wymaga tego Zamawiający). 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



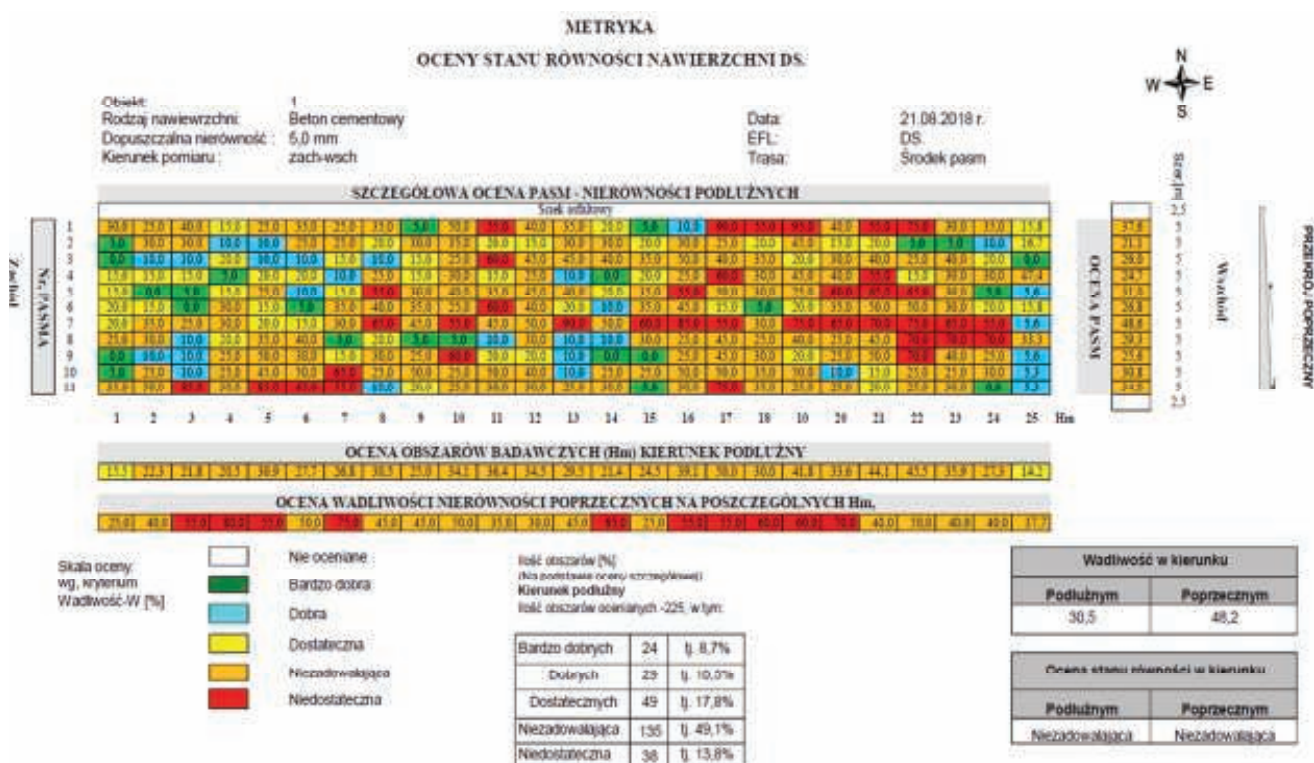
6. Profil nierówności podłużnych na przykładowym paśmie



7. Uśrednione wielkości nierówności podłużnych i odchylen standardowych na poszczególnych EFL



8. Procentowa ilość płyt przekraczające wymagania normowe (wadliwość) na poszczególnych EFL



9. Ocena stanu równości nawierzchni lotniskowej na DS

Tab. 6. Średnie wartości nierówności podłużnych, odchył standardowych, wadliwości oraz ilości nierówności w poszczególnych zakresach nierówności i na poszczególnych pasmach

Nr PASMA	Uśrednione nierówności "X"	Odchyl. Standard. "S"	Wadliwość "W"	Ilość płyt z nierównościami max.			
				do -5,0 mm	od -5,1 do -9,0 mm	od -9,1 do -12,0 mm	pow. -12,0 mm
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Nierówności podłużne							
1	-4,8	2,0	37,7	62,3	34,1	2,8	0,8
2	-4,0	1,6	21,1	78,9	20,1	0,6	0,4
3	-4,3	1,9	26,6	73,4	24,5	1,2	0,8
4	-4,2	1,9	24,6	75,4	22,6	1,2	0,8
5	-4,6	2,1	31,1	68,9	26,1	4,2	0,8
6	-4,1	1,7	26,9	73,1	25,5	1,4	0,0
7	-5,2	2,1	48,8	51,2	43,6	4,8	0,4
8	-4,4	1,7	29,3	70,7	28,1	1,0	0,2
9	-4,2	1,6	25,7	74,3	24,7	1,0	0,0
10	-4,3	1,7	30,9	69,1	28,9	2,0	0,0
Średnia	-4,4	1,8	30,5	69,4	28,2	2,0	0,4
Nierówności poprzeczne							
Średnia	-5,3	2,2	48,2	51,8	41,8	5,2	1,3

w funkcji przyrostu drogi [9,10].

Przykładowa analiza wyników badań wraz ze sposobem ich prezentowania została przedstawiona na rysunkach 6 - 9 oraz w tabeli 6.

Wnioski końcowe

Głównymi cechami eksploatacyjnymi charakteryzującymi każdą nawierzchnie drogową jak i lotniskową jest jej równość, nośność oraz szorstkość. Oceniany parametr równości nawierzchni decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię. Uzyskanie wymaganego poziomu równości to także warunek skutecznego i szybkiego odprowadzenia wód opadowych oraz środków odladzających z nawierzchni. Nawet na niewielkich nierównościach nawierzchni mogą się tworzyć zastoiska, które pogarszają warunki bezpieczeństwa poprzez możliwość wystąpienia zjawiska *aquaplaningu*, czyli utraty przyczepności koła z nawierzchnią.

Jednak pomimo tylu wspólnych cech, łączących nawierzchnie drogowe i lotniskowe, biorąc pod uwagę między innymi wymiary geometryczne EFL oraz na podstawie wieloletnich doświadczeń, ocena stanu równo-

ści nawierzchni prowadzona jest na podstawie opracowanych niezależnych wymagań i kryteriów, co zostało przedstawione w NO-17-A502:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości*.

Współczesny, niezwykle dynamiczny rozwój lotnictwa oraz ciągle zwiększająca się intensywność operacji lotniczych, która na przestrzeni ostatnich 12 lat zwiększyła się kilkukrotnie wymusza, żeby prowadzone badania były wykonywane z jak największą dokładnością, a otrzymane wyniki były wiarygodne i jak najbardziej odzwierciedlały istniejący stan nawierzchni. Stosowane urządzenia pomiarowe muszą gwarantować poprawność uzyskanych wyników, gdyż od nich zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. W związku z powyższym, istnieje ciągła potrzeba monitorowania stanu równości nawierzchni lotniskowych, która umożliwi wydzielenie stref (obszarów), w których występuje szybsza degradacja oraz pozwoli prognozować jak ona będzie postępować w czasie.

Ponadto, informacje o stanie nawierzchni lotniskowej uzyskane z pomiarów przeprowadzonych zgodnie z normą obronną NO-17-A502:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości* są bardzo istotne dla Zarządzającego

obiektom, który dzięki nim może podjąć działania umożliwiające określenie przyczyn ich powstawania poprzez dokładną diagnostykę, a tym samym zredukować tempo degradacji przez dobranie odpowiedniej technologii naprawy. ◀

Materiały źródłowe

- [1] System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”, Wytyczne stosowania, GDDP BSSD, Warszawa, luty 2002.
- [2] ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17.02.2015 r. (Dz. U. 2015 r. poz. 329).
- [4] Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 6, lipiec 2013.
- [5] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 139/2014 z dnia 12 lutego 2014 r. ustanawiające wymagania oraz procedury administracyjne dotyczące lotnisk zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008.
- [6] FAA AC 150/5300-13A - Airport Design.
- [7] Annex to ED Decision 2017/021/R (CS-ADR-DSN Issue 4).
- [8] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe - Badanie równości.
- [9] Poświata A. Pietruszewski P. Wpływ stanu równości nawierzchni lotniskowych na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Autobusy, nr 12, 2016.
- [10] Pietruszewski P. Poświata A. We- sołowski M. Evaluation of airfield pavement evenness. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018

Betonowa płyta prefabrykowana jako technologia odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych

A concrete prefabricated slab as a technology for reconstructing damaged, local airfield pavements



Mariusz Wesołowski

Pplk dr inż.

*Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy*

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Bartosz Świerzewski

Mgr inż.

*Urząd Lotnictwa Cywilnego,
Departament Lotnisk*

Streszczenie: Wiek obecnie eksploatowanych lotniskowych nawierzchni betonowych w Polsce niejednokrotnie przekracza 30 lat. Tak długi okres użytkowania nawierzchni zobligował do poszukiwania skutecznych i szybkich technologii ich odbudowy. W artykule szczegółowo przedstawiono technologię szybkiej odbudowy lotniskowych płyt betonowych z zastosowaniem płyt prefabrykowanych. Omówiona technologia gwarantuje odtworzenie, a nawet poprawę stanu nośności wymienianych płyt lotniskowych, co zostało potwierdzone podczas badań laboratoryjnych, polowych oraz zweryfikowano praktycznie w procesie rzeczywistej eksploatacji w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice.

Słowa kluczowe: Nawierzchnie lotniskowe; Beton cementowy; Degradacja nawierzchni betonowych; Nośność nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego; Płyta prefabrykowana

Abstract: The age of currently operated concrete airfield pavements in Poland exceeds 30 years operation period many times. Such a long working life of airfield pavements forced to search for the efficient and fast technologies of their reconstruction. The article described in detail the technologies of fast reconstruction of airfield concrete slabs using prefabricated slabs. The addressed technology guarantees the reconstruction and even the improvement of the condition of load-bearing capacity of mentioned airfield slabs which was confirmed during laboratory tests, field tests and practically verified in the real operation in the International Airport Kraków-Balice.

Keywords: Airfield pavements; Cement concrete; Deterioration of concrete pavements; Load-Bearing capacity of airfield pavements made of cement concrete; Prefabricated slab

W większości krajowych portów lotniczych nawierzchnie lotniskowe wykonane są w technologii betonu cementowego. Ich podstawowym zadaniem jest bezpieczne przeniesienie obciążeń użytkowych od statków powietrznych oraz obciążeń termicznych (naturalnych i wymuszonych) na podłoże gruntowe. Betonowe nawierzchnie lotniskowe eksploatowane w naszym kraju obejmują nawierzchnie nowo budowane i nawierzchnie będące w niedługim czasie przedmiotem remontu. Nawierzchnie eksploatowane oraz te, które przekraczają projektowany wiek użytkowania, wymagają szczególnej uwagi, gdyż można na nich zidentyfikować podstawowe uszkodzenia charakterystyczne dla betonowych nawierzchni lotniskowych.

Zdefiniowano 13 rodzajów uszkodzeń, w tym: uszkodzenia powierzchniowe (np. złuszczenia, pęknięcia włosowate), uszkodzenia punktowe (np. odpryski, odłamania naroży), uszkodzenia liniowe (np. pęknięcia szczelinowe, ubytki masy zalewowej w szczelinach dylatacyjnych). Omówiona w artykule technologia odtworzenia stanu technicznego pojedynczych, lokalnych, zdegradowanych płyt betonowych nawierzchni lotniskowych wykorzystuje płytowe elementy prefabrykowane. Opracowane rozwiązanie zapewnia odbudowę układu konstrukcyjnego o przyjętych własnościach fizycznych i mechanicznych, co potwierdziły uzyskane wyniki badań laboratoryjnych oraz poligonowych. Olbrzymią zaletą prezentowanej tech-

nologii jest bardzo krótki czas wykonania. Skuteczność rozwiązania została potwierdzona w warunkach nocnych podczas przerw operacyjnych w ruchu lotniczym.

Ocena stopnia zdegradowania nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego

Stan techniczny nawierzchni lotniskowych jest poddawany okresowym przeglądom, tzw. inwentaryzacji uszkodzeń, które obejmują każdy element funkcjonalny lotniska (EFL). Inwentaryzacji podlegają zarówno istniejące uszkodzenia, jak i te, które zostały poddane naprawie, gdyż wpływają one na poziom zdegradowania

nawierzchni EFL. Tak opracowany system inwentaryzacji uszkodzeń pozwala na określenie ich wielkości oraz umożliwia wyznaczenie ogólnego wskaźnika degradacji obiektu. Stopień zdegradowania nawierzchni, określony wskaźnikiem D, szacowany jest na podstawie wyników badań uzyskanych podczas wykonywania metodą wizualną przeglądów powierzchni nawierzchni obiektów lotniskowych. Wskaźnik oceny stopnia zdegradowania nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk oblicza się zgodnie z poniższym wzorem [1]:

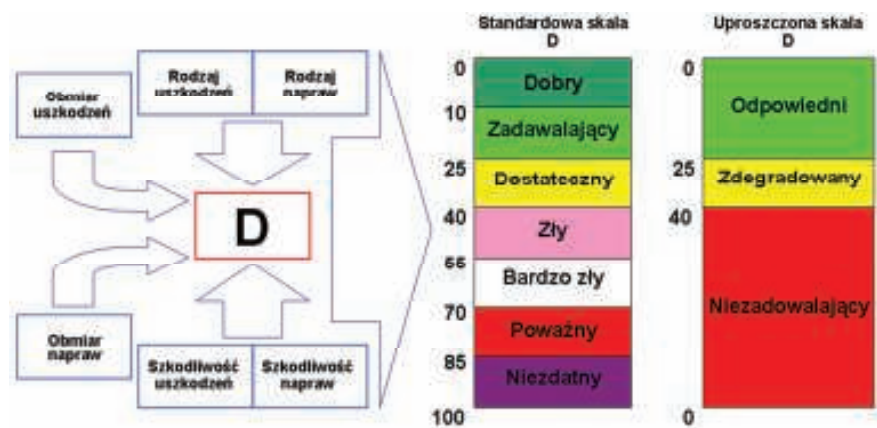
$$D = w_{BC}^U \times W_{BC}^U + w_{BC}^N \times W_{BC}^N \quad (1)$$

gdzie: w_{BC}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w ocenie degradacji nawierzchni EFL; W_{BC}^U – wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia EFL wykonanych z betonu cementowego; w_{BC}^N – waga statystyczna ważności napraw w ocenie degradacji nawierzchni EFL; W_{BC}^N – wskaźnik charakteryzujący naprawy EFL wykonanych z betonu cementowego.

Ocenę stanu płyt wykonanych z betonu cementowego, stanowiących podstawowe elementy nawierzchni lotniskowych wykonuje się w oparciu o wskaźniki charakteryzujące ich uszkodzenia. Wartość średnią arytmetyczną wskaźnika uszkodzeń płyty w_{BC}^U stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego oblicza się w oparciu o wzór (2) (zamieszczony poniżej) [1]. Średni wskaźnik uszkodzeń płyty jest średnią sumy wskaźników charakteryzujących wszystkie 13 uszkodzeń na płycie wykonanej z betonu cementowego.

Wskaźniki charakteryzujące poszczególne uszkodzenia oblicza się według indywidualnych wzorów. Dla przykładu przedstawiono dwa wzory, które dotyczą złuszczeń płytkich oraz

$$\overline{W_{BC}^U} = \frac{W_{Ap}^U + W_{Bg}^U + W_{Pm}^U + W_{Pw}^U + W_{Op}^U + W_{Now}^U + W_{Ug}^U + W_{Ps}^U + W_{Psszer}^U + W_M^U + W_{Pr}^U + W_O^U + W_{Wp}^U}{13} \quad (2)$$



1. Kryteria oceny stopnia zdegradowania nawierzchni EFL [1]

pęknięć szczelinowych.

Wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia spowodowane złuszczeniami płytkami:

$$W_{Ap}^U = w_{Ap}^U p_{Ap}^U \frac{Ap^U}{F} 100 = w_{Ap}^U \frac{Ap^U \times 1}{F} 100 \quad (3)$$

gdzie: A_p^U – uszkodzenia w postaci złuszczeń płytek dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych [m^2]; w_{Ap}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w postaci złuszczeń płytek w ocenie degradacji nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk; p_{Ap}^U – przeciętny wskaźnik uszkodzeń w postaci złuszczeń płytek dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych na powierzchnię.

Wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia spowodowane pęknięciami szczelinowymi:

$$W_{Ps}^U = w_{Ps}^U p_{Ps}^U \frac{Ps^U}{F} 100 = w_{Ps}^U \frac{Ps^U \times 0,02}{F} 100 \quad (4)$$

gdzie: P_s^U – uszkodzenia w postaci pęknięć szczelinowych dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych [m]; w_{Ps}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w postaci pęknięć szczelinowych w ocenie degradacji nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk; p_{Ps}^U – przeciętny wskaźnik uszkodzeń w postaci pęknięć

szczelinowych dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych na powierzchnię.

Proces degradacji jest powolny i rozłożony w czasie, polega głównie na obniżeniu właściwości konstrukcji poprzez oddziaływanie czynników zewnętrznych, co powoduje zmiany zachodzące w jej strukturze.

Wpływ rodzajów uszkodzeń i napraw na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych uwzględnia się w obliczeniach poprzez przyjęcie wag szacowanych w oparciu o metodę ekspertów.

Standardowa skala oceny stopnia zdegradowania nawierzchni obejmuje siedem poziomów. Można także stosować skalę uproszczoną, trzypoziomową, w której dla każdego poziomu przypisano klasy determinujące stan nawierzchni. Poziom pierwszy – pożądany, obejmuje nawierzchnie nowe, odnowione i eksploatowane, przy założeniu, że w ciągu kolejnych pięciu lat nawierzchnie te nie będą wymagały planowanych prac remontowych. Poziom drugi – ostrzegawczy, identyfikuje stan nawierzchni jako taki, w którym uzasadnione jest wykonanie badań szczegółowych w kierunku przeprowadzenia zabiegów poprawiających stan nawierzchni. Ostatni poziom – krytyczny, determinuje natychmiastowe wykonanie badań techniczno-eksploatacyjnych w celu ustalenia czynności mających za zadanie wprowadzenie zabiegów poprawiających stan nawierzchni lub

wylączenie obiektu z eksploatacji. Na rys. 1 przedstawiono kryteria oceny stopnia zdegradowania nawierzchni EFL.

Wymagania eksploatacyjne dla technologii wymiany lotniskowych płyt prefabrykowanych

Materiały stosowane do napraw betonowych nawierzchni lotniskowych po-winny charakteryzować się właściwościami fizyko-chemicznymi zbliżonymi do ułożonego betonu i zapewnić odtworzenie parametrów eksploatacyjnych. Przede wszystkim powinny gwarantować bezpieczeństwo statkom powietrznym przy wykonywaniu operacji lotniczych [9]. Technologie wymiany całych, zdegradowanych płyt betonowych muszą gwarantować odtworzenie wymaganego stanu nośności, równości i szorstkości.

Wytrzymałość na odrywanie

Wytrzymałość na odrywanie jest jednym z podstawowych kryteriów odbiorczych dla betonowych nawierzchni lotniskowych, zgodnie z normą NO-17-A204:2015 „Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań” [2]. Ocenę wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej lotniskowej nawierzchni betonowej należy wykonywać na podstawie badań poligonowych. Badania te wykonuje się również w warunkach laboratoryjnych i wówczas ich wyniki mogą być podstawą do oceny wstępnej. Pomiar należy przeprowadzić zgodnie z normą PN EN 1542:2000 „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie” [3]. Sprawdzanie wytrzymałości na odrywanie należy wykonywać dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska, zgodnie z metodyką podaną w [2].

Szorstkość

Szorstkość to bardzo ważny parametr eksploatacyjny określający liczbową wartość współczynnika tarcia koła statku powietrznego po nawierzchni lotniskowej, który ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Wymagania dotyczące szorstkości nawierzchni lotniskowych wraz z charakterystyką metod pomiaru zostały opisane w normie NO-17-A501:2015 „Nawierzchnie lotnisko-we. Badanie szorstkości” [4]. W warunkach krajowych badanie szorstkości najczęściej wykonywane jest za pomocą testera szorstkości nawierzchni lotniskowych ASFT (Airport Surface Friction Tester). Jest to urządzenie do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia, rekomendowane przez ICAO (International Civil Aviation Organization). Pomiary realizowane są na mokrej nawierzchni lotniskowej. Wynikiem badania szorstkości nawierzchni lotniskowych jest średnia wartość zmierzonego współczynnika tarcia.

Równość

Równość nawierzchni decyduje nie tylko o komforcie ruchu, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię. Uzywanie 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. Ocenę równości nawierzchni lotniskowych przeprowadza się zgodnie z normą NO-17-A502:2015 „Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości” [5]. Pomiary wykonuje się za pomocą zmodernizowanego planografu P-3z w kierunku podłużnym i poprzecznym, z częstotliwością co 10 cm. Ocena stanu równości jest przeprowadzana zgodnie z kryterium wadliwości, opisanym w [5].

Nośność

Ocenę nośności nawierzchni lotniskowych wykonuje się metodą ACN-PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number), zgodnie z normą NO-17-A500:2016 „Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności” [6]. Metoda ta służy do wyrażenia związku między oddziaływaniem samolotu na nawierzchnię i reakcją nawierzchni na generowane obciążenia. 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 i/ lub dopuszczalną liczbę operacji lotniczych dla przyjętego typu samolotu obliczeniowego.

Odtworzenie stanu technicznego uszkodzonej, betonowej nawierzchni lotniskowej z wykorzystaniem płyty prefabrykowanej

Technologia remontu (naprawy, wymiany) zniszczonych, lokalnych płyt lotniskowych z wykorzystaniem lotniskowych płyt prefabrykowanych zakłada odbudowę bardzo zdegradowanych płyt betonowych i doprowadzenie ich do takiego stanu technicznego, który nie będzie zagrażał bezpieczeństwu statków powietrznych podczas wykonywania operacji lotniczych.

Opis technologii

Technologia wymiany uszkodzonych płyt lotniskowych z wykorzystaniem płyt prefabrykowanych obejmuje posadowienie płyty na odpowiednio przygotowanej podbudowie nawierzchni lotniskowej. Płytę prefabrykowaną należy ułożyć na odpowiednio przygotowanym podlewie z zaprawy bezskurczowej [9]. Warstwa

Tab. 1. Wyniki badania nasiąkliwości betonu

Numer próbki	Masa próbki [g]		Nasiąkliwość [%]
	nasyconej	suchej	
1	7828	7536	3,9
2	7983	7693	3,8
3	7831	7531	4,0
4	7834	7540	3,9
5	7824	7539	3,8
6	7920	7615	4,0
Wartość średnia	7870	7576	3,9

zaprawy musi mieć taką grubość, aby rzędne wysokościowe położonej płyty były zgodne z rzędnymi płyt sąsiadujących. Gdy powierzchnia płyty będzie wystawać ponad istniejącą nawierzchnię, wówczas należy sfrezować jej górną powierzchnię na max. grubość równą 20 mm. Następnie sfrezowaną powierzchnię płyty należy pokryć środkami zabezpieczającymi, które będą chronić naruszoną strukturę płyty w warstwie przypowierzchniowej. Sfrezowana i zabezpieczona powierzchniuowo płyta prefabrykowana musi spełniać wymagania szorstkości dla nawierzchni lotniskowych.

Wymiary prefabrykowanej płyty żelbetowej to: 2,50×5,00 m i grubość 0,21 m. Jest ona wykonana z betonu klasy C35/45 i w swoim przekroju poprzecznym posiada następujące zbrojenie główne ze stali klasy A-III:

- zbrojenie górne w postaci prętów żebrowanych o $\varnothing$ 14 mm w rozstawie 30×30 cm,

Tab. 2. Wyniki badań mrozoodporności betonu

Numer próbki	Masa próbki [g]		Ubytek masy ΔG [%]	Wytrzymałość R_t [MPa]	Spadek wytrzymałości ΔR_t [%]
	przed badaniem	po badaniu			
1	7940	7925	0,22	51,9	15,3
2	7815	7795		46,4	
3	7860	7840		49,2	
4	7800	7775		45,8	
5	7930	7915		52,1	
6	7925	7915		52,0	
7	próbki-świadki			55,7	
8				60,1	
9				56,2	
10				61,4	
11				58,1	
12				59,7	

- zbrojenie dolne w postaci prętów żebrowanych o $\varnothing$ 14 lub 16 mm w rozstawie 15×15 cm.

Lotniskowa płyta prefabrykowana została poddana sprawdzającym badaniom materiałowym, które przeprowadzono w laboratorium Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej oraz badaniom poligonowym, które wykonał Zakład Lotniskowy ITWL w miejscu jej wbudowania, czyli na nawierzchni płyty postojowej samolotów w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice.

Badania laboratoryjne

Zakres badań laboratoryjnych obejmował badania wytrzymałości betonu

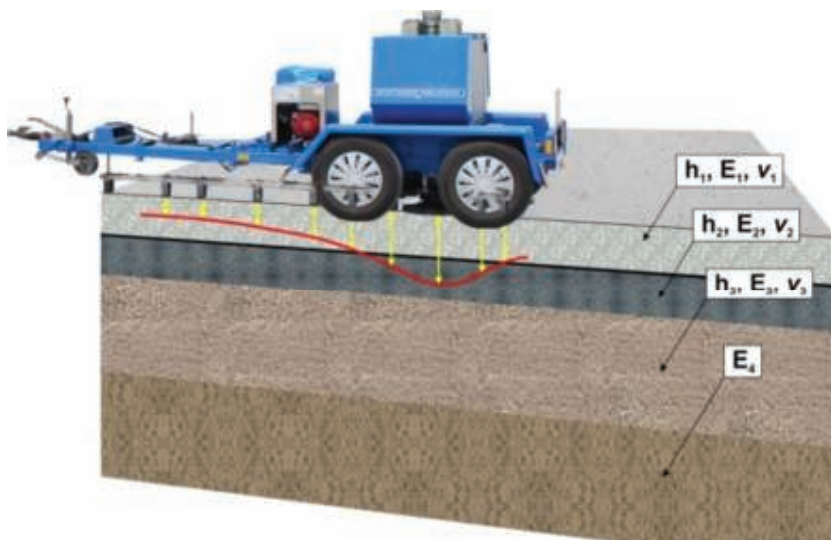
na ściskanie, wykonane zgodnie z normą PN-EN 12390-3 Badania betonu – Część 3: „Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania” [7] oraz badania nasiąkliwości wagowej betonu i badania odporności betonu na działanie mrozu, wykonane zgodnie z normą PN-88/B-06250 „Beton zwykły” [8], pkt 6.4 i 6.5. Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych przedstawiono w kolejnych punktach.

Wytrzymałość na ściskanie

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie (badanie niszczące) przeprowadzono na 12 próbkach (kostkach) sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm i uzyskano średnią wartość wytrzymałości na ściskanie równą 50,2 MPa. Otrzymane wyniki potwierdziły, że beton cementowy, z którego wykonano płytę prefabrykowaną spełnił wymagania dla betonu klasy C35/45.

Nasiąkliwość

Badania nasiąkliwości wagowej betonu wykonano na sześciu próbkach sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że badany beton cementowy spełnił wymagania ww. normy, gdyż jego nasiąkliwość nie przekroczyła dopuszczalnej wartości 5%.



2. Schemat pomiaru ugięć sprężystych przy pomocy urządzenia HWD

Mrozoodporność betonu

Badania odporności betonu na działanie mrozu wykonano na 12 próbkach sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm. Liczba cykli zamrażania-odmrażania wynosiła 150. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że badany beton cementowy spełnił wymagania dla stopnia mrozoodporności F150, gdyż ubytek masy próbek po badaniu jest mniejszy niż 5%, a średni spadek wytrzymałości na ściskanie nie przekroczył 20%.

Ocena nośności nawierzchni lotniskowej PPS

Zakres badań poligonowych obejmował ocenę nośności płyty prefabrykowanej wbudowanej w nawierzchnię lotniskową płaszczyzny postoju samolotów na lotnisku Kraków-Balice, którą przeprowadzono na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni pod obciążeniem udarowym [6]. Badania nawierzchni wykonano ugięciomierzem lotniskowym typu HWD zgodnie z wymaganiami normy obronnej NO-17-A500:2016 [6].

W czasie badań dokonywano zrzutów z siłą około 200 kN (symulacja nacisku koła samolotu typu ciężkiego) na płytę naciskową o średnicy 450 mm spoczywającą na nawierzchni lotniskowej. W czasie pomiarów terenowych ugięcia sprężyste zostały zmierzone w siedmiu punktach pomiarowych na przedmiotowej płycie prefabrykowanej (środek płyty, naroża i krawędzie płyty) oraz na środku płyt betonowych przylegających do badanej płyty prefabrykowanej. Schemat pomiaru ugięć sprężystych przy pomocy urządzenia HWD przedstawiono na rys. 2.

Oceniana nawierzchnia lotniskowa posiadała następujący układ konstrukcyjny:

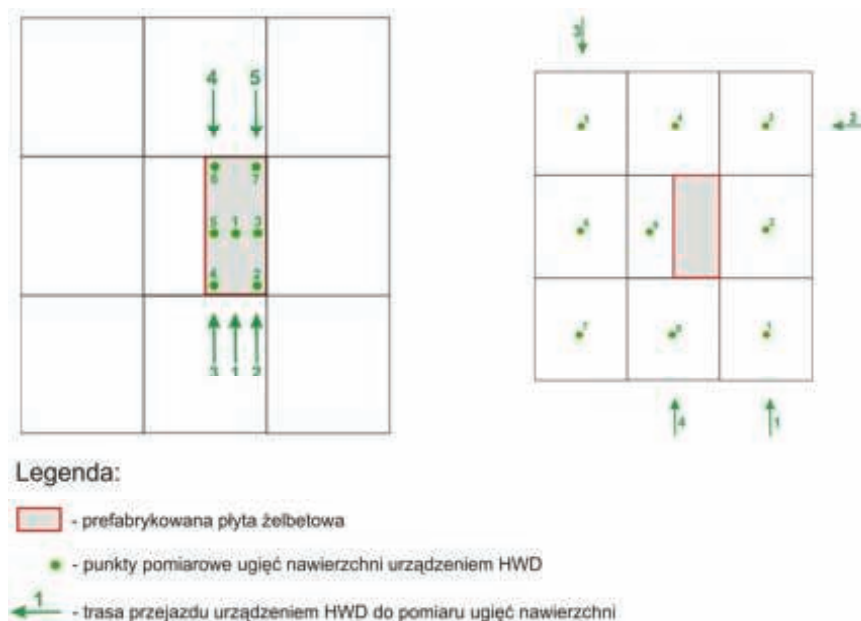
- warstwa jezdna – beton cemento-

Tab. 3. Wyniki badań prefabrykowanej płyty żelbetowej

Punkt pomiarowy	Napężenie pod płytą [kPa]	Siła zrzutu [kN]	Ugięcie [μm]	Moduł zastępczy [MPa]
1	1254,00	199,41	346,20	1630,0
2	1302,00	207,04	334,20	1753,1
3	1241,00	197,42	394,90	1414,2
4	1436,00	228,31	338,40	1909,6
5	1238,00	196,90	377,80	1474,6
6	1245,00	197,93	326,30	1717,0
7	1285,00	204,37	322,10	1795,2
Wartość średnia			348,60	1670,5

Tab. 4. Wyniki badań przyległych płyt betonowych z całego obszaru badań

Punkt pomiarowy	Napężenie pod płytą [kPa]	Siła zrzutu [kN]	Ugięcie [μm]	Moduł zastępczy [MPa]
1	1252,00	199,17	439,10	1283,1
2	1228,00	195,27	471,00	1173,2
3	1244,00	197,85	442,20	1265,9
4	1275,00	202,70	358,60	1600,0
5	1278,00	203,23	335,70	1713,1
6	1251,00	198,93	340,80	1651,8
7	1255,00	199,57	382,20	1477,6
8	1234,00	196,26	463,20	1198,8
9	1247,00	198,37	440,30	1274,5
Wartość średnia			408,10	1404,2



3. Plan pomiarów ugięć na ocenianej płycie żelbetowej oraz płytach sąsiadujących

- wy klasy B-35 o gr. 21 cm,
- warstwa poślizgowa – asfalt piaskowy o gr. 2 cm,
- górna warstwa podbudowy – beton cementowy klasy B-15 o gr. 20 cm,
- dolna warstwa podbudowy – chudy beton klasy B-7,5 o gr. 15 cm,
- warstwa odsączająca – podsypka

- piaskowa o gr. 15 cm,
 - podłoże rodzime.
- Szczegółowe plany obszaru badań z rozstawem punktów pomiarowych, zamieszczono na rys. 3.

Uzyskane wyniki pomiarów ugięć sprężystych płyt betonowych w wyznaczonym obszarze badań przedstawiono w tabelach 3 i 4. Moduły

zastępcze obliczono wg wzoru:

$$E_z = \frac{2qr}{d} \quad (5)$$

gdzie: E_z – moduł zastępczy konstrukcji [MPa], q – napężenie pod płytą dociskową [kPa], r – promień płyty dociskowej, d – ugięcie w osi płyty.

Przedstawione powyżej wyniki potwierdzają, że badana płyta prefabrykowana posiada wyższą nośność w porównaniu do sąsiadujących płyt lotniskowych. Średnia wartość ugięć

zmierzonych na analizowanej płycie prefabrykowanej (348,6 μm) jest o 15% niższa od średniej wartości ugięć pomierzonych na płytach sąsiadujących. Natomiast wartość obliczonego modułu zastępczego konstrukcji nawierzchni z płytą prefabrykowaną (1670,5 MPa) jest o 19% większa od modułu zastępczego dla płyt sąsiadujących. Można zatem stwierdzić, że zastosowana technologia remontu z wykorzystaniem prefabrykowanej płyty żelbetowej przyczyniła się

do poprawy nośności badanych płyt lotniskowych. Widok płyty prefabrykowanej wbudowanej w nawierzchnię lotniskową płaszczyzny postoju samolotów na lotnisku Kraków-Balice przedstawia fotografia (rys. 4).

Ocena nośności nawierzchni lotniskowej drogi startowej

Badania poligonowe obejmujące ocenę i analizę stanu nośności lotniskowych płyt prefabrykowanych wbudowanych w nawierzchnię lotniskową drogi startowej na lotnisku Kraków-Balice wykonano zgodnie z metodyką opisaną powyżej. Badania wykonano w ciągu trzech ostatnich lat na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni pod obciążeniem udarowym.

Oceniana konstrukcja nawierzchni lotniskowej wykonanej z płyt prefabrykowanych posiada następujący układ konstrukcyjny:

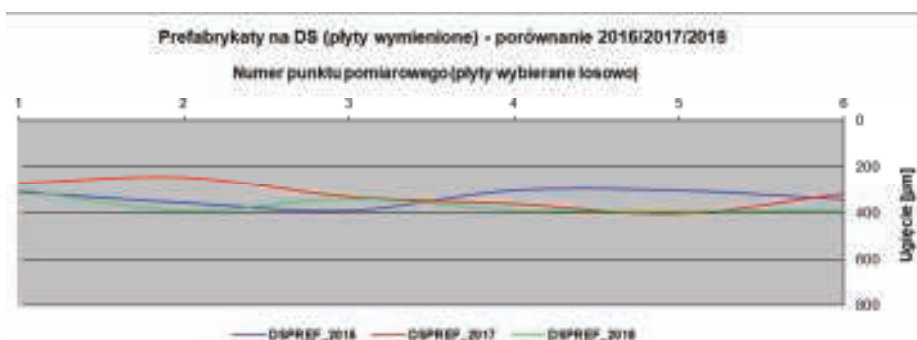
- warstwa jezdna – płyta prefabrykowana z betonu klasy C35/45 o gr. 21 cm,
- warstwa wyrównawcza – beton asfaltowy o gr. 10 cm,
- warstwa podbudowy – beton cementowy klasy B-15 o gr. 21 cm,
- warstwa stabilizacji gruntu cementem o gr. 15 cm,
- podłoże gruntowe.

Uzyskane wyniki w trakcie przeprowadzonych pomiarów ugięć dla wybranych losowo płyt prefabrykowanych przedstawiono w tabeli 5 oraz na rys. 5. Na rys. 6 przedstawiono w postaci graficznej porównanie średnich wartości ugięć sprężystych określonych w latach 2016, 2017, 2018 dla prefabrykatów.

Na podstawie zmierzonych wartości ugięć sprężystych, dla badanych lotniskowych płyt prefabrykowanych wyznaczono czasę ugięć, a następnie napężenia w nawierzchni lotniskowej. Wyznaczony aktualny wskaźnik nośności PCN na tej podstawie oraz dopuszczalną, całkowitą liczbę operacji lotniczych dla przyjętego samolotu



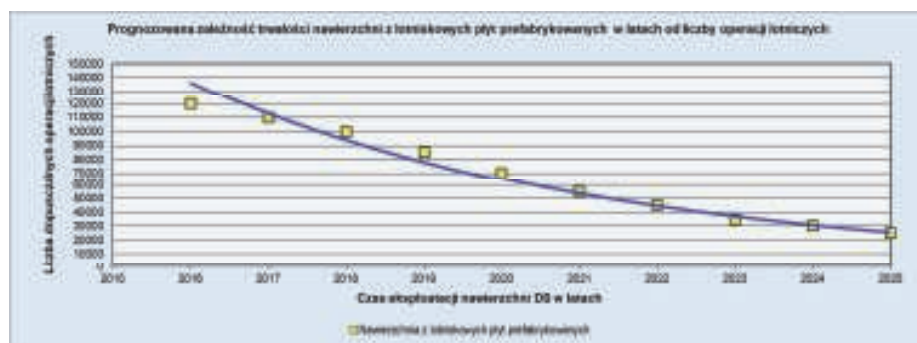
4. Płyta prefabrykowana na nawierzchni lotniskowej PPS na lotnisku Kraków-Balice



5. Przebieg ugięć sprężystych dla prefabrykatów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018



6. Średnie wartości ugięć sprężystych dla prefabrykatów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018



7. Prognozowana zależność trwałości nawierzchni z lotniskowych płyt prefabrykowanych w latach od liczby operacji lotniczych

obliczeniowego typu Boeing 737-800 przedstawiono poniżej w tabeli 6. Natomiast na rys. 7 zaprezentowano uzyskane wyniki nośności z przeprowadzonych badań terenowych w latach 2016–2018 oraz szacowaną prognozę zależności trwałości nawierzchni z lotniskowych płyt prefabrykowanych od czasu jej przyszłej eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych badań nośności można stwierdzić, iż technologia wymiany płyt z zastosowaniem elementów prefabrykowanych zapewnia odtworzenie stanu nośności płyt betonowych i jej utrzymanie na poziomie zapewniającym bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Technologia ta znacznie wpływa na poprawę stanu nośności konstrukcji nawierzchni drogi startowej [10].

Podsumowanie

W polskich warunkach klimatycznych najlepiej sprawdzają się nawierzchnie lotniskowe wykonane z betonu cementowego ponieważ mają wysoką odporność mrozową, odporność na działanie środków do odladzania stosowanych w okresie zimowym, wysoką wytrzymałość na ścislenie i zginanie, a także dobrą przyczepność kół statków powietrznych do nawierzchni.

Intensywny i bardzo długi okres eksploatacji nawierzchni lotniskowych, czasami dłuższy niż przewidziany okres użytkowania, wymusił poszukiwanie nowych, skutecznych i szybkich technologii do odbudowy zniszczo-

nych płyt lotniskowych. Odtworzenie stanu nośności pojedynczych, zdegradowanych płyt betonowych z wykorzystaniem technologii lotniskowych płyt prefabrykowanych zostało poddane szczegółowemu sprawdzeniu w warunkach laboratoryjnych i terenowych.

Opisana technologia zapewnia szybkie i skuteczne odtworzenie stanu nośności zdegradowanych, betonowych nawierzchni lotniskowych. Tym samym umożliwia bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych statkom powietrznym.

Szczególną zaletą omawianej technologii jest bardzo krótki czas wykonania, który nie przekracza 4–5 godzin i jest uzależniony od przerw w ruchu lotniczym pomiędzy realizowanymi operacjami lotniczymi. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Zieja M., Barszcz P., Blacha K., Wesołowski M.: The evaluation method of degradation degree of runway pavement surfaces constructed from cement concrete. Safety and Reliability – Theory and Applications, Čepin, Briš (eds). Taylor & Francis Group, London 2017.

Tab. 5. Wyniki ugięć sprężystych dla prefabrykatów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018

Płyta	2016	2017	2018
1	311,60	270,30	300,80
2	358,40	245,10	392,30
3	391,80	332,80	340,50
4	304,90	362,90	389,50
5	305,60	405,00	393,70
6	344,10	318,90	387,50

Tab. 6. Wyniki nośności dla wskaźnika PCN 52 – lotniskowe płyty prefabrykowane

Element Funkcjonalny Lotniska	Wskaźnik nośności PCN	Całkowita liczba operacji lotniczych		
		2016	2017	2018
DS (lotniskowe płyty prefabrykowane)	52/R/B/W/T	120 000	110 000	100 000

- [2] NO-17-A204:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.
- [3] PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- [4] NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.
- [5] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości.
- [6] NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności.
- [7] PN-EN 12390-3 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania.
- [8] PN-88/B-06250 Beton zwykły.
- [9] Wesołowski M., Poświęta A., Jakubek M.: Szybkie technologie odtwarzania stanu technicznego uszkodzonych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego, IX Konferencja Dni Betonu, Wisła 2016.
- [10] Wesołowski M., Świerzewski B., Kowalewska A., Jakubek M.: Lotniskowa płyta prefabrykowana – skuteczna technologia odtworzenia stanu nośności zdegradowanych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego. X Konferencja Dni Betonu, Wisła 2018.

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych przy użyciu urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem

Skid resistance properties of airport pavements using a device with artificially enforced vertical pressure



Andrzej Pożarycki

Dr inż.

Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Poznańskiej

andrzej.pozarycki@put.poznan.pl



Tomasz Moralewski

Hax HYDRAULICS, Hax Warias
Dariusz

tmoralewski@hax-serwis.pl



Mariusz Wesołowski

Płk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych, Warszawa, Zakład
Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl

Streszczenie: W układach pomiarowych do oznaczania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych, spośród szeregu rozwiązań dominuje koncepcja sztucznie wymuszonego docisku. Jest to naturalny wybór biorąc pod uwagę rzeczywiste warunki kontaktu jakie panują podczas manewrów startu i lądowania statków powietrznych. W artykule opisano konsekwencje kształtowania układów mechanicznych wywołujących docisk pionowy koła pomiarowego do nawierzchni. Analizę poparto zbiorem wyników badań właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych. W następstwie przedstawiono statystyczne aspekty wartości siły docisku pionowego w kontekście zmiennych warunków determinujących cechy warstwy przypowierzchniowej nawierzchni.

Słowa kluczowe: Właściwości przeciwpoślizgowe; nawierzchnie lotniskowe

Abstract: In the measuring systems for determining the skid resistance properties of airport pavements, the concept of artificially enforced vertical pressure dominates among a number of solutions. This is a natural choice considering the real contact conditions that prevail during aircraft starting and landing maneuvers. The article describes the consequences of shaping mechanical systems that induce vertical pressure of the measuring wheel to the pavement surface. The analysis was supported by a set of test results of anti-slip properties of airport pavements. As a result, the statistical aspects of the value of the vertical downforce are presented in the context of variable conditions determining the properties of the surface layer of the surface.

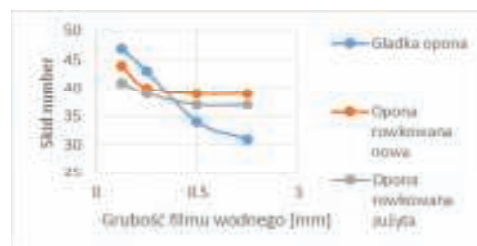
Keywords: Skid resistance; airport pavements

Liczba dostępnych rozwiązań i różnorodność poszczególnych metod oznaczania wskaźników właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni powoduje, że uzyskane wartości np. współczynników przyczepności nawierzchni są unikalne dla poszczególnych urządzeń. Przykładowe zależności, które obrazują zmienność wartości przykładowego wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni ze względu na przyjęte parametry techniczne systemu pomiarowego, pokazano między innymi na rysunku 1 w odniesieniu do parametru „stopień poślizgu (ang. skid number)” wg normy ASTM E – 274.

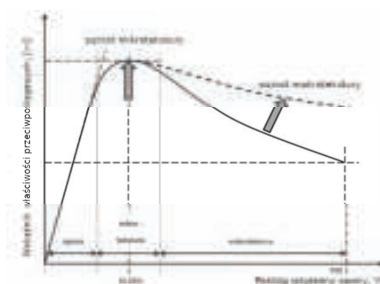
Dlatego, decydując się na diagnozowanie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni warto sięgać po metody, które gwarantują dostęp

do wszystkich wartości generowanych przez sensory układu pomiarowego podczas realizacji badań. Mimo wszystko duża ilość zmiennych [3, 4, 5], która towarzyszy zjawiskom na styku opony i warstwy przypowierzchniowej nawierzchni powoduje, że na świecie nie ma uniwersalnych sposobów, które można wykorzystać do przeliczenia wyników pomiarów nawierzchni, wykonanych różnymi urządzeniami. To jeden z powodów,

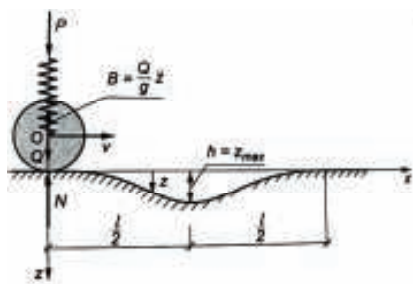
a)



b)



1. Ilustracja typowych zmian wartości wskaźnika właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni w funkcji: a) różnego rodzaju opon testowych [1], b) w zależności od stopnia poślizgu względnego opony [2]



2. Model sprężystego ruchu koła po sztywnym torze (bez poślizgu)

Cel

Jeśli koło pomiarowe porusza się po poziomym, sztywnym torze, to nacisk na tor jest naciskiem statycznym i w nawiązaniu do rysunku 2 można go obliczyć jako $N(st.) = P + Q$.

W przypadku gdy pod kołem wystąpi nierówność, koło zaczyna się przemieszczać nie tylko poziomo, ale i pionowo z przyspieszeniem. Jeżeli by założyć, że nierówności są opisane równaniem krzywej w postaci (1)

$$z = \frac{h}{2} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right) \right) \quad (1)$$

to dla $x = 0$, wartość minimalna dla N wynosi (2):

$$N_{min} = P + Q \left(1 - \frac{2\pi^2 v^2 h}{gl^2} \right) \quad (2)$$

oraz dla $x = l/2$, wartość N osiąga maksimum równe (3):

$$N_{min} = P + Q \left(1 + \frac{2\pi^2 v^2 h}{gl^2} \right) \quad (3)$$

Z punktu widzenia pomiaru wartości wskaźników właściwości przeciwpślizgowych (np. współczynnika tarcia) warto zauważyć, że przy spełnionej nierówności $(2\pi^2 v^2 h)/(g l^2) > 1$, wartość siły nacisku dynamicznego może być mniejsza od wartości siły P . To oznacza, że przy pomiarach na nawierzchni o określonych kombinacjach parametrów nierówności podłużnych i prędkości pomiarowych dochodzi do odebrania się koła od toru.

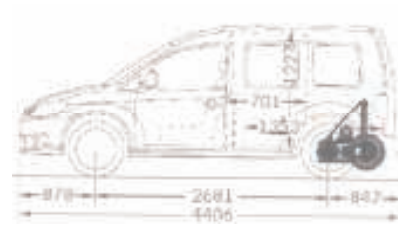
Wobec powyższych, celem pracy jest przedstawienie rzeczywistych i nie filtrowanych rozkładów dla wielkości, które wykorzystuje się do obliczania wartości współczynnika przyczep-

a)



3. Widok urządzenia wybudowanego na potrzeby oznaczania wartości współczynnika przyczepności nawierzchni lotniskowych

b)



ności przy zastosowaniu rozwiązań ze sztucznie wymuszonym i kontrolowanym dociskiem pionowym koła pomiarowego do nawierzchni. Dodatkowo zakłada się, że pomiary wykonane są na nawierzchniach, dla których wartość wskaźnika równości podłużnej spełnia warunek $IRI < 3$.

Metodyka pomiarów

Do pomiarów wykorzystano urządzenie CSR [6, 7], które powstało jako efekt współpracy między jednostkami przemysłową (HAX) i naukową (Politechnika Poznańska) przy udziale w badaniach porównawczych zespołu badawczego z Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.

Ocenę właściwości przeciwpślizgowych nawierzchni w urządzeniu CSR oparto na standardowym modelu (4) wykorzystywanym do estymacji wartości wskaźnika tarcia na styku opona / nawierzchnia wyrażonego zależnością CSR_i (ang. Continuous Skid Resistance index).

$$CSR_i = \frac{M}{F \cdot r} \quad (4)$$

gdzie:

CSR_i – współczynnik przyczepności wzdłużnej, [-], M – rejestrowana wartość momentu, [Nm], F – rejestrowana wartość siły pionowego docisku opony do nawierzchni, [N], r – ramię momentu, [m] (w warunkach statycznych równe 0.21 m).

W odniesieniu do charakterystyki przedstawionej na rysunku 1b, w urządzeniu CSR wykorzystano koło pomiarowe przyhamowane względem kół pojazdu o 13 %. Podczas prze-

jazdu urządzeniem, parametr CSR_i wyznaczany jest w odstępach co 10 cm. Tym samym, użytkownik ma możliwość przeprowadzenia umownie ciągłego pomiaru właściwości przeciwpślizgowych nawierzchni jezdni. Do pomiarów wykorzystano oponę Unitester 520, a ciśnienie w oponie wynosiło 700 kPa (7 bar). Pomiary prowadzone były zarówno w warunkach „na sucho” jak i „na mokro” przy zastosowaniu filmu wodnego o grubości 1 mm (rysunek 4a). W celu kontroli warunków pomiaru urządzenie wyposażono w przyrząd do okresowej, statycznej kalibracji przetworników tensometrycznych. Kontrolą podlegają takie wielkości jak: wartość siły pionowej oraz wartość momentu, które są porównywane z wzorcowymi wartościami przetworników tensometrycznych stanowiska kalibracyjnego pokazanego na rysunku 4b.

Procedura kalibracyjna polega na: 1) ustawieniu stanowiska pod oponą koła pomiarowego urządzenia CSR, 2) Opuszczeniu koła pomiarowego i zadaniu docisku siłą o wartości ≤ 1400 N, 3) odczytu uzyskanych wartości z przetworników wzorcowych, 4) wymuszeniu przesuwu stolika kalibracyjnego momentu, 5) odczytu wartości momentu przy założeniu, że ramię przyłożenia siły jest stałe, 6) zarejestrowania wartości przez komputer pokładowy urządzenia CSR, 7) porównania odczytów i w przypadku jeśli wskazania sensorów różnią się o więcej niż 5 % wprowadza się poprawki kalibracyjne.

Charakterystyka dynamiczna modelu koła pomiarowego

Dla rozwiązania pokazanego na rysunku **3b** zagadnienie analizy właściwości modelu (1) można powiązać z analizą wymuszenia kinematycznego [1]. Wpływ nierówności nawierzchni określa wówczas model, który opisuje reakcję koła pomiarowego na zadany zewnętrznie ruch na sztywnym torze. W ogólnym przypadku schematy dla modeli z wymuszeniami siłowym i kinematycznym pokazane są na rysunku **5**.

Schemat rozważanych rozwiązań ingerujących w zakres konstrukcji mechanicznej tylnego mostu urządzenia pomiarowego CSR, przedstawiony jest na rysunku **6**, gdzie 1) przekładnia zębata, 2) komory sprzęgieł, 3) wahacz z kołem pomiarowym, 4) zespół półosi, 5) mocowanie siłownika hydraulicznego, 6) tensometryczny przetwornik siły, 7) tensometryczny przetwornik momentu. Wyniki dla rozwiązań docisku koła pomiarowego do nawierzchni przedstawiono w układzie o jednym stopniu swobody, ale przy wykorzystaniu koncepcji modeli z połączeniem sprężystym (rysunek **6a**) i lepko - sprężystym (rysunek **6b**).

Konsekwencją wywierania różnego rodzaju wpływów na powierzchnie styku opona / nawierzchnia podczas pomiarów wartości współczynnika przyczepności, jest inny charakter modelu (4), który w kontekście rozwiązań pokazanych na rysunkach **6a** i **6b** przyjmuje postać odpowiednio (5) lub (6).

$$\text{CSRi} = \frac{M}{N(x,t) \cdot r}, \text{ gdzie } N(x,t) = F + m_1 g - m_1 \ddot{y} - m_0 \ddot{q} \quad (5)$$

gdzie (oznaczenia zgodnie z rysunkami **6a** i **6b**):

$$m_0 \ddot{q} + k_1(q - y) = 0$$

oraz

$$m_1 \ddot{y} - k_1(q - y) - (m_0 + m_1)g = 0$$

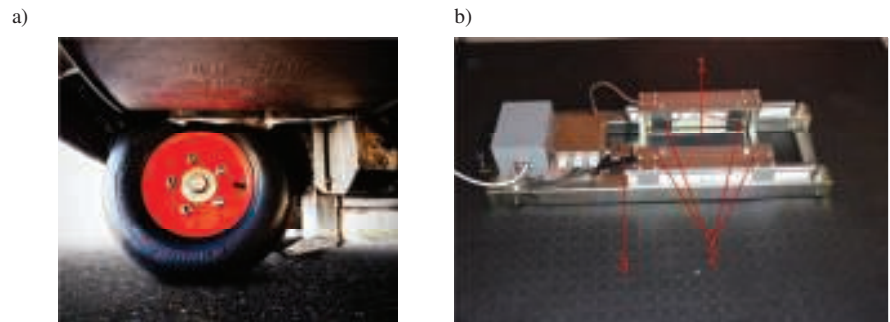
$$\text{CSRi} = \frac{M}{N(x,t) \cdot r}, \text{ gdzie } N(x,t) = F + m_2 g - m_2 \ddot{y} - m_3 \ddot{q} \quad (6)$$

gdzie (oznaczenia zgodnie z rysunkami **6a** i **6b**):

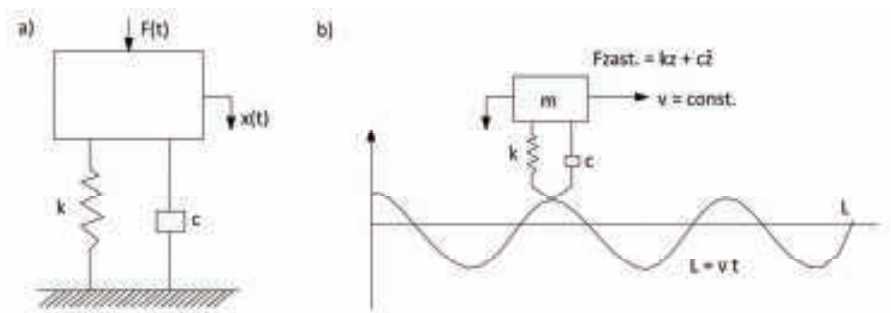
$$m_3 \ddot{q} + c_2(\dot{q} - \dot{y}) + k_2(q - y) = 0$$

oraz

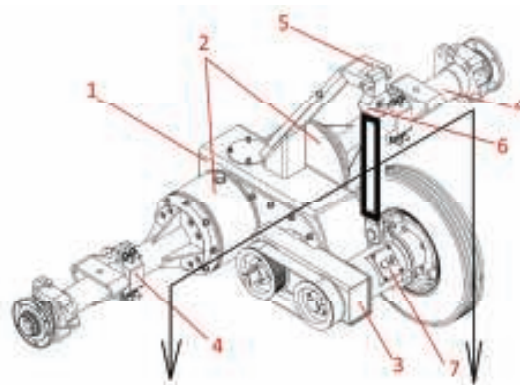
$$m_2 \ddot{y} - c_2(\dot{q} - \dot{y}) - k_2(q - y) - (m_3 + m_2)g = 0$$



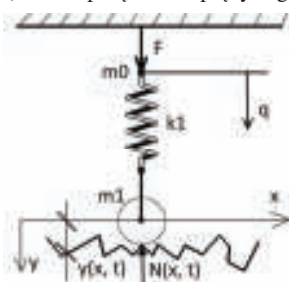
4. Widok od lewej: a) koła pomiarowego z dyszką układu podającego wodę, b) stanowisko do kalibracji statycznej przetworników tensometrycznych zamontowanych w urządzeniu CSR (1- miejsce na oponę koła pomiarowego (stolik przesuwany) 2 i 3 – tensometryczne przetworniki siły do kalibracji odpowiednio siły pionowej i momentu)



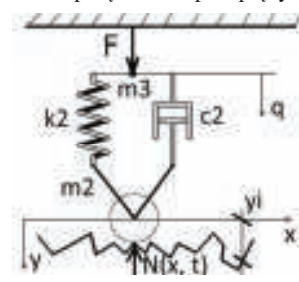
5. Ilustracja równoważności wymuszeń w układzie o jednym stopniu swobody a) wymuszenie siłowe, b) wymuszenie kinematyczne



a) model połączenia sprężystego



b) model połączenia lepko-sprężystego



6. Schematy modeli testowanych układów pomiarowych w urządzeniu CSR

To w jaki sposób zachowują się poszczególne modele rozwiązań pokazano na przykładach wyników uzyskanych w kampaniach pomiarowych opisanych w dalszej części tej pracy.

Wyniki pomiarów

Pomiary wykonane zostały na drodze startowej z nawierzchnią asfaltową oraz na nawierzchni parkingu wykonanej z betonu cementowego. Długość odcinków pomiarowych wynosiła 100 metrów w każdym przypadku. Podczas realizacji kampanii pomiarowych na kompletny zbiór wyników złożyły się następujące scenariusze:

- pomiary na odcinku nawierzchni z betonu asfaltowego SMA 0/11 mm (pomiar „na sucho” i „na mokro”); wartość IRI < 1.5;
- pomiary na nawierzchni z betonu cementowego teksturowanego matą jutową (pomiar „na sucho” i „na mokro”); wartość IRI < 3;

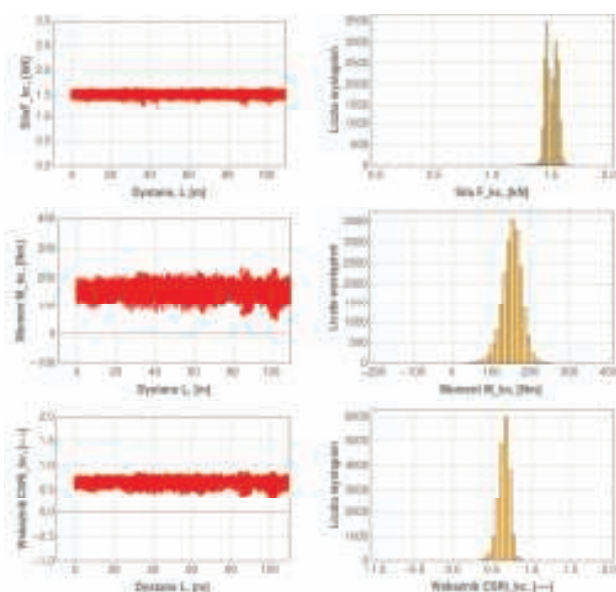
W pomiarach wykonanych wiosną wykorzystano model pokazany na rysunku 6a, a latem na rysunku 6b. W następstwie na analizę pojedynczego odcinka nawierzchni złożył się zbiór 19900 wyników pomiarów. Na rysunkach 7 i 8 pokazano wpływ nierówności podłużnej na zarejestrowane wartości siły pionowej i momentu. W pierwszym przypadku wykresy obrazują wyniki pomiarów na drodze startowej przy prędkości 65 km/h w warunkach „na mokro”. Natomiast na rysunku 8, zilustrowano rzeczywistą reakcję systemu na analogiczne warunki pomiarów, ale na odcinku nawierzchni z betonu cementowego.

Dla celów porównawczych, na rysunku 9 pokazano też reakcję siły pionowego docisku koła pomiarowego do nawierzchni uzyskaną w pomiarach na nawierzchni z betonu cementowego przy prędkości pomiarowej równej 65 km/h i bez podawania filmu wodnego.

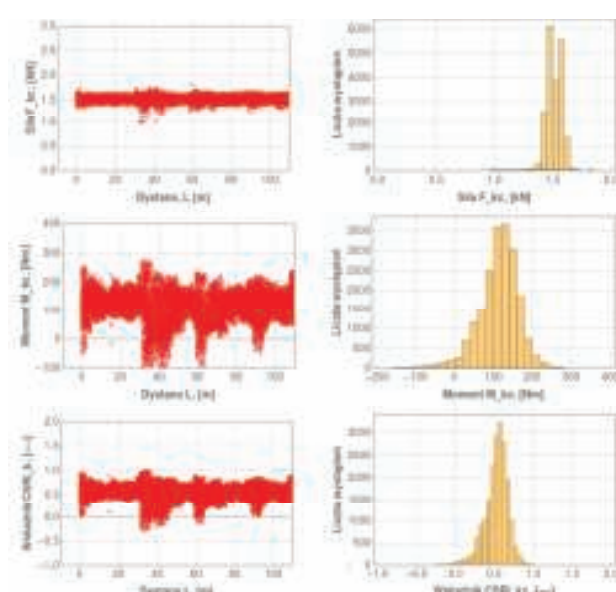
Z analizy wartości sił zestawionych na rysunku 9 wynika, że model z rozwiązaniem sprężystym (rysunek 6a) jest na tyle wrażliwy, że następuje zjawisko oderwania się koła pomiarowego od toru jazdy. To oznacza, że czynniki równości podłużnej nawierzchni i sił bezwładności prowadzą w konsekwencji do różnych wartości współczynnika przyczepności uzyskanych dla obu testowanych modeli.

Dyskusja

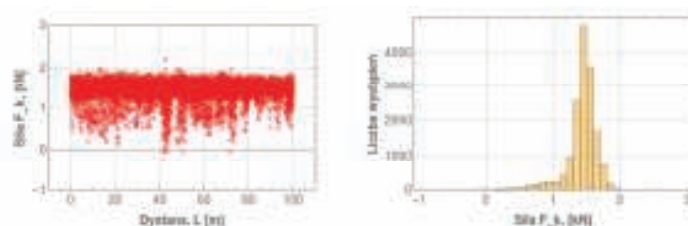
Porównanie wartości bezwzględnych współczynnika CSRI uzyskanych przy wykorzystaniu obu omówionych w tym artykule rozwiązań z uwagi na różne podejście do ukształtowania pionowego docisku koła pomiarowego do nawierzchni nie może być tutaj brane pod uwagę. Można jednak prześledzić reakcję tych dwóch systemów pomiarowych na zmianę warunków pomiaru. Na rysunkach 10a



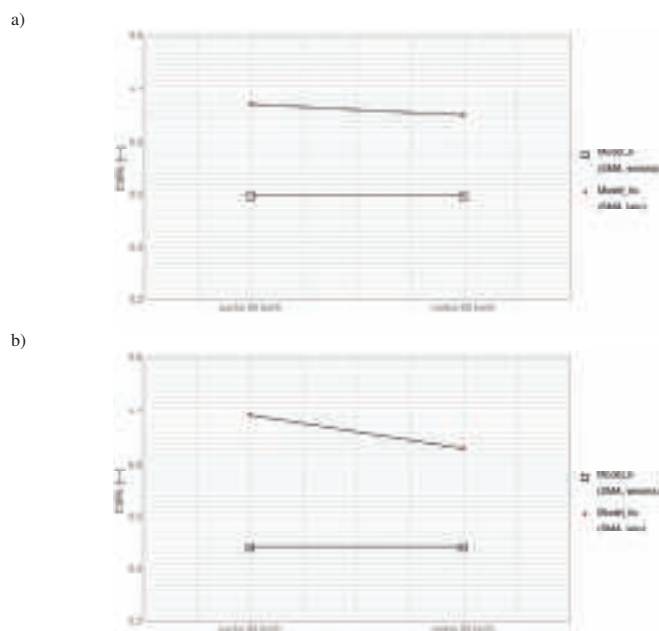
7. Wyniki pomiarów na drodze startowej z asfaltową warstwą ścieralną ($v = 65$ km/h, „na mokro”, wykorzystany model rozwiązania w urzędzeniu CSR - zgodnie z rysunkiem 6b)



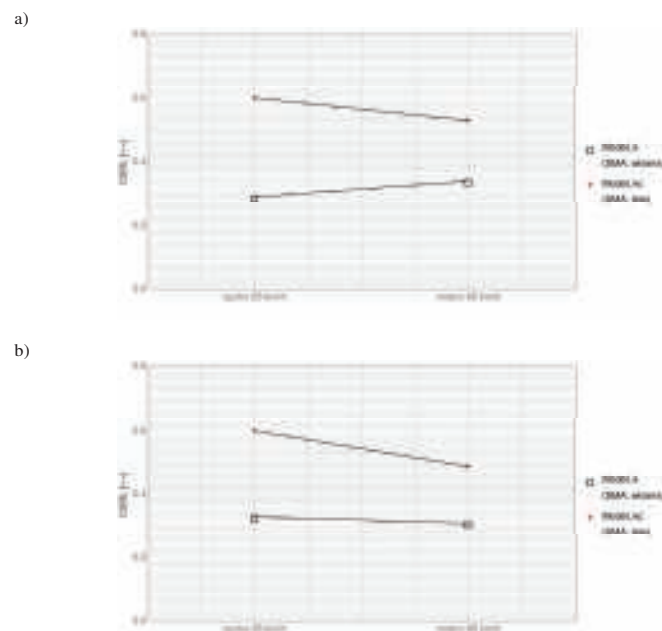
8. Wyniki pomiarów na nawierzchni z betonu cementowego ($v = 65$ km/h, „na mokro”, wykorzystany model rozwiązania - zgodnie z rysunkiem 6b)



9. Wykres siły pionowego docisku koła pomiarowego do nawierzchni wraz z histogramem dla pomiarów na nawierzchni z betonu cementowego w warunkach „na sucho” przy prędkości 65 km/h (model rozwiązania - zgodnie z rysunkiem 6a)



10. Ilustracja graficzna reakcji układu pomiarowego w pomiarach „na sucho” i „na mokro” na nawierzchni asfaltowej: a) prędkość pomiarowa 65 km/h i b) prędkość pomiarowa 95 km/h



11. Ilustracja graficzna reakcji układu pomiarowego w pomiarach „na sucho” i „na mokro” na nawierzchni z betonu cementowego: a) $v = 65$ km/h i b) $v = 95$ km/h

i **b** pokazano reakcję obu rozwiązań na przykładzie wyników pomiaru na nawierzchni asfaltowej.

Poprzez analogię do wyników pokazanych na rysunku **10**, reakcja rozwiązań dla modelu sprężystego i lepkosprężystego pokazana jest na rysunkach **11a** i **b**.

Cechą charakterystyczną rozwiązania z modelem sprężystym jest reakcja układu pomiarowego na wykorzystanie filmu wodnego i pomiaru bez filmu. W ogólnym przypadku, użytkownik spodziewa się, że wartość współczynnika przyczepności będzie mniejsza zarówno wraz ze wzrostem prędkości pomiarowej jak i w warunkach „na mokro” w porównaniu do pomiarów bez użycia wody. W tym eksperymencie zasady te potwierdzają się dla tylko wyników uzyskanych przy wykorzystaniu modelu z tłumikiem.

Wnioski

W pracy omówiono cząstkowe wyniki eksperymentu, który przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia CSR, zbudowanego na potrzeby oznaczania wartości współczynnika przyczepności wzdłużnej nawierzchni lotniskowych przy różnych prędkościach. Uwagę skierowano na rozpoznanie właściwości układów pomiarowych

zastosowanych w tym urządzeniu, które zdeterminowane są głównie właściwościami modelu sprężystego i lepkosprężystego. W oparciu o analizę wyników zebranych podczas kampanii pomiarowych na dwóch rodzajach nawierzchni lotniskowych stwierdzono, że zgodnie z oczekiwaniami układ modelu z tłumikiem prowadzi do dwóch głównych wniosków 1) rozkłady statystyczne sporządzone dla wartości wielkości pośrednich składających się na model wskaźnika CSRI są znacznie bardziej skupione wokół wartości średniej w porównaniu do analogicznych rozkładów wykonanych dla modelu sprężystego, 2) tłumik konsekwentnie redukuje niepożądany wpływ równości podłużnej na obliczane wartości wskaźnika CSRI ograniczając skłonność układu pomiarowego do rejestrowania wartości wielkości pośrednich i odrywania koła pomiarowego od nawierzchni. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Cempel C. Drgania mechaniczne - wprowadzenie. Politechnika Poznańska, 1982.
- [2] Ueckermann A., Wang D., Oeser M. and Sreinauer B. Towards Contactless Skid Resistance Measurement. Safer Roads International

Conference, May 18-21, 2014, UK.

- [3] Burtos M., et. Al. Development of correlation equations between different measurements of skid resistance in pavements. Indian Journal of Engineering & Material Sciences, Vol. 13, April 2006, pp. 117-122.
- [4] Descornet G., et. Al. Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance. FEHRL Report 2006/01, pp. 1-161.
- [5] International Experiment to Compare and Harmonize Skid Resistance and Texture Measurements. PIARC, 1995, 430 pages.
- [6] Pożarycki Andrzej, Fengier Jakub, Warias Dariusz, Tomasz Moralewski. Identyfikacja odcinków nawierzchni lotniskowych o zmiennych właściwościach przeciwpoślizgowych urządzeniem CSR. Poznań - Lotnictwo dla obronności, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2016, pp. 483-494.
- [7] Pożarycki A., Fengier J., Wyczalek M., Skrzypczak P., Wesołowski M., Blacha K., Analiza wyników metody fotogrametrycznej w świetle właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, Drogownictwo, 2017, nr 3, str. 75-84

Standaryzacja i integracja procesu projektowania planów generalnych portów lotniczych

Standardization and integration of the airport master plan design process



Michał Kozłowski

Dr inż.

Zakład Inżynierii Transportu
Lotniczego, Wydział Transportu
Politechnika Warszawska

m.kozlowski@wt.pw.edu.pl

Streszczenie: Artykuł prezentuje konkluzję wniosków i doświadczeń praktycznych oraz wyników badań Autora w dziedzinie zarządzania portami lotniczymi, sformułowanych w kontekście realizacji inwestycji Centralnego Portu Komunikacyjnego. Przedmiotem podjętych rozważań i implikacji jest proces projektowania Planu Generalnego Portu Lotniczego – PGPL, który w aktualnym stanie formalnym i faktycznym powinien zostać zmodyfikowany, w celu zapewnienia efektywności realizacji oraz skuteczności i jakości wyników. Na wstępie scharakteryzowano PGPL na podstawie przeprowadzonego studium dotyczących przedmiotu rozważań aktów prawnych oraz wybranych dokumentów normatywnych oraz przeprowadzono studium zagadnień jakości i ryzyka projektu PGPL. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wnioski dotyczące konieczności standaryzacji i integracji procesu dynamicznego projektowania PGPL.

Słowa kluczowe: Plan Generalny Portu Lotniczego; Zarządzanie Projektem; Standaryzacja i Integracja

Abstract: The article presents the conclusion of the practical experience as well as the results of the author's research in the field of airport management, formulated in the context of the implementation of the investment of the Central Polish Airport. The subject of the considerations and implications is the process of designing the Airport Master Plan – AMP, which in the current situation should be modified in order to ensure effectiveness and efficiency of implementation and quality of results.

At the beginning, AMP was characterized on the basis of a study concerning legal acts and selected standard documents, and a study of the quality and risk issues of the AMP was carried out. On the basis of the results obtained, conclusions have been formulated regarding the need for standardization and integration of the dynamic process of AMP design.

Keywords: Airport Master Plan; Project Management; Standardization and Integration

Ustawowym [42] obowiązkiem podmiotów zarządzających lub zakładających lotnisko użytku publicznego, jakim jest będący podmiotem rozważań port lotniczy, jest m.in. sporządzenie Planu Generalnego Lotniska, a w przedmiocie rozważań Planu Generalnego Portu Lotniczego – PGPL, którego celem jest udokumentowanie planu rozwoju portu lotniczego, a przedmiotem, w szczególności:

- zakres terytorialny,
- specyfikacja i wartości parametrów powierzchni ograniczających przeszkody lotnicze,
- koncepcja rozwoju przestrzennego wraz z założeniami zagospodarowania stref wokół lotniska,
- plan rozwoju ruchu lotniczego,

m.in. w podziale na operacje regularne, czarterowe i lotnictwo ogólne, przewozy pasażerów i towarów,

- koncepcja zapewniania służb żeglugi powietrznej,
- analiza przepustowości, z uwzględnieniem jej obecnych (w przypadku istniejących lotnisk) i przyszłych parametrów, dotyczących: pola manewrowego i płyt postojowych [43], terminali, przestrzeni powietrznej oraz dróg dojazdowych do lotniska i układów komunikacyjnych, w odniesieniu do prognozowanego rozwoju ruchu i planowanych modernizacji lotniska,
- informacje ekonomiczno-finan-

sowe dotyczące w szczególności obecnej i planowanej struktury własnościowej, przewidywanych źródeł finansowania inwestycji, obecnej i przewidywanej rentowności i płynności podmiotu, planowanej wysokości opłat lotniskowych i przychodów z ich tytułu, z odniesieniem do całości planowanych przychodów podmiotu,

jak również wszelkie inne dane, informacje i charakterystyki, które w istotnym stopniu dotyczą bieżącego funkcjonowania i przyszłego rozwoju portu lotniczego.

Ustawa [42] określa wymagania sporządzenia PGPL w minimum 20-letnim horyzoncie czasowym oraz jego aktualizacji w okresach 5-letnich

lub częściej, jeżeli istniejące lub projektowane cechy techniczno-eksploatacyjne lotniska lub warunki ekonomiczne, operacyjne, środowiskowe oraz finansowe wymagają wprowadzenia istotnych zmian.

Projekt PGPL (i każda jego aktualizacja) przed zatwierdzeniem (w aspekcie zgodności z polityką transportową kraju) przez ministra właściwego do spraw transportu, podlega kolejno:

- konsultacjom z gminami, których tereny zostały objęte zakresem terytorialnym PGL,
- zaopiniowaniu przez Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego – ULC,
- uzgodnieniu (w aspekcie zgodności z programami rządowymi dotyczącymi rozwoju kraju, w tym jego poszczególnych regionów) przez ministra właściwego w sprawach rozwoju regionalnego.

Zatwierdzony PGPL jest sformalizowaną prezentacją (tekstową i graficzną) pewnej planistycznej koncepcji funkcjonowania i rozwoju danego portu lotniczego [2, 43]. Należy mieć jednak na uwadze to, że PGL nie jest dokumentem o charakterze stricte planu biznesowego, ale zbiorem prognostycznych założeń operacyjno-technicznych eksploatacji portu lotniczego w określonym otoczeniu technicznym, operacyjnym, meteorologicznym, środowiskowym, rynkowym, ekonomicznym i gospodarczym oraz prawnym. Z uwagi na to, celem i przedmiotem prawnie określonej [42] procedury zatwierdzenia PGPL jest tylko zapewnienie optymalnego i efektywnego rozwoju infrastruktury i eksploatacji portu lotniczego, zgodnie z generalnymi celami i założeniami dotyczącymi strategii rozwoju transportu i infrastruktury [30] oraz rozwoju regionalnego [29], zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, co ma szczególne znaczenie w przypadku portów lotniczych włączonych do sieci TEN-T [35]. Co do zasady, zatwierdzony PGPL nie jest również programem inwestycyjnym podlegającym implementacji wprost, jak również nie

ogranicza swobody działalności gospodarczej podmiotu zarządzającego portem lotniczym, i jako taki nie może stanowić elementu nadmiernej ingerencji Państwa w działalność podmiotów zarządzających portami lotniczymi [2, 31].

Proces projektowania Planu Generalnego Portu Lotniczego

Ogólne wymagania ramowe i standard wykonania PGPL zostały określone przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ang. International Civil Aviation Organization – ICAO) w Aneksie 14 ICAO [43] i Podręczniku ICAO Doc 9184 [2], które stanowią, że PGPL ma przedstawiać planistyczną koncepcję optymalnego rozwoju portu lotniczego, w oparciu o logicznie połączone i adekwatnie zagregowane wyniki badań i analiz dotyczących:

- prognoz wielkości ruchu i przewozu lotniczego,
- zagadnień ekonomicznych i finansowych,
- kryteriów i metody lokalizacji,
- infrastruktury,
- systemów i procesów eksploatacji,
- przepustowości,
- zagospodarowania przestrzennego i ochrony środowiska naturalnego,

sposoby wykonania których zostały odpowiednio określone w innych publikacjach ICAO, m.in.: Doc 8991 Manual on Air Traffic Forecasting, Doc 9157 Aerodrome Design Manual, Doc 9562 Airport Economics Manual, Doc 9889 Airport Air Quality Manual, tworzących pewien formalny zbiór specyfikacji i wytycznych.

Powszechną praktyką jest wykorzystywanie przy sporządzaniu PGPL również innych metod i algorytmów, określonych np. przez Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Lotniczych (ang. International Air Transport Association – IATA) [1] lub opracowanych na gruncie teorii i badań naukowych [12, 19, 25, 26, 27]. Praktyka taka

jest następstwem wysokiego stopnia ogólności przywołanych dokumentów ICAO w sensie metodycznym, jak również szczególnego znaczenia PGPL dla podmiotu zarządzającego portem lotniczym i wynikających z tego potrzeb dotyczących zakresu merytorycznego i stopnia szczegółowości treści PGPL.

W sensie teorii metodologii projektowania [8], wykonanie PGPL stanowi zadanie jednostkowego projektowania inżynierskiego, którego wynik poprzedza działania realizacyjne. Realizacja tego zadania projektowania obejmuje realizację następujących zadań cząstkowych:

- ustalenie celu, określenie zakresu, przyjęcie założeń,
- identyfikacja wymagań,
- projektowanie,
- budowa,
- eksploatacja, a następnie modernizacja i rozbudowa albo likwidacja lub zmiana przeznaczenia,

które realizowane są w formule usystematyzowanego procesu. Proces ten, z uwagi na specyfikę celu i przedmiotu oraz szeroki i zróżnicowany zakres merytoryczny PGPL, jest złożonym, iteracyjnym i interferencyjnym procesem projektowania inżynierskiego, obejmującym liczne działania, w tym:

- gromadzenie, weryfikacja i agregacja danych i informacji wejściowych i międzyetapowych,
- określanie wariantów projektowych, kryteriów wyboru i podejmowanie decyzji,
- określanie celów i kryteriów optymalizacyjnych oraz podejmowanie decyzji,

oraz bezpośrednie działania, prowadzące do osiągnięcia wyniku celowego, tj.: analizy i projektowanie, z zastosowaniem określonych metod i algorytmów, których wybór jest w znaczącym stopniu arbitralną decyzją Wykonawcy PGPL.

Realizacja procesu projektowania PGPL cechuje się twórczą i synergiczną interdyscyplinarną konceptualizacją sposobu realizacji celów w bardzo

szerokim spektrum zagadnień, dotyczących w szczególności: infrastruktury i statków powietrznych, lotniczych urządzeń naziemnych, uwarunkowań społecznych i gospodarczych, prognoz wielkości i struktury ruchu i przewozu lotniczego, aspektów środowiskowych, strategii przewoźników lotniczych, strategicznych celów, założeń i kierunków rozwoju transportu określanych w wymiarze wspólnotowym, krajowym i regionalnym [22].

Zasobami [11] procesu projektowania PGPL są:

- sponsor i klienci oraz interesariusze i beneficjenci projektu,
- zespół projektowy,
- metodyka zarządzania projektem,
- zbiory danych i informacji,

oraz metody gromadzenia, agregowania i przetwarzania zbiorów danych, różniących się od siebie zakresem i stopniem określoności oraz poziomem integralności i spójności.

Właściwość i adekwatność zasobów projektu PGPL oraz relacje powiązań determinują jakość wyników realizacji projektu PGL, co w szczególności dotyczy członków zespołu projektowego, do którego powinni należeć eksperci określonych dziedzin, podejmujący w zakresie realizacji projektu również arbitralne decyzje o doborze i zakresie wykorzystania zbiorów danych oraz wyboru metod i narzędzi. Z przeprowadzonych wcześniej badań [22] wynika, że krytycznym zasobem projektu PGPL są członkowie zespołu projektowego, którzy muszą spełniać wymagania, dotyczące w szczególności:

- poziomu kompetencji merytorycznych,
- motywacji i umiejętności przyjmowania odpowiedzialności,
- umiejętności pracy zespołowej oraz aktywności i skuteczności działania.

Kolejnym istotnym czynnikiem, znacząco determinującym przebieg realizacji i jakość wyników projektu PGPL, jest zarządzanie zasobem danych i informacji oraz komunikacją, w szczególności

w zakresie konsultacji, co stanowi komponent zarządzania wiedzą i repozytorium projektu, i co w aspekcie eksplicytniej i implicytnej wiedzy projektu ma znaczący wpływ na jakość i ryzyko realizacji projektu PGL, jakoś wyników i ryzyko ich zastosowania [6].

Jakość i ryzyko procesu projektowania Planu Generalnego Portu Lotniczego

Niezależnie od wybranych algorytmów i metod realizacji poszczególnych zadań cząstkowych oraz zarządzania realizacją projektu PGPL, charakterystyczną cechą procesu projektowania PGPL jest występowanie czynników [9, 22]:

- zmienności polityk i strategii przewoźników lotniczych,
- rozwoju i doskonalenia konstrukcji statków powietrznych,
- nieokreśloności prognoz i analiz prognostycznych, której stopień rośnie wraz ze wzrostem horyzontu czasowego,
- potencjalnej konkurencji pomiędzy portami lotniczymi i wynikających z tego sprzeczności celów i założeń,
- potencjalnej konkurencji pomiędzy portem lotniczym, a innymi rodzajami transportu i wynikających z tego konfliktów celów i założeń,
- potencjalnie sprzecznych lub rozbieżnych celów i kryteriów wyboru ustalanych wewnętrznie przez Wykonawcę PGPL i określanych zewnętrznie (np.: polityka transportowa, plan rozwoju i zagospodarowania przestrzennego),

które to czynniki będą losowo i dynamicznie zmienne w 20-letnim horyzoncie czasowym opracowania PGPL, jak również w mniejszym stopniu w 5-letnich okresach aktualizacyjnych PGPL.

Istotną kwestią jest również hierarchiczne podporządkowanie procesu projektowania PGPL planowaniu politycznemu, ekonomicznemu i przestrzennemu na poziomie Państwa [9].

W takim stanie rzeczy istotnym zagadnieniem problemowym staje się jakość PGPL rozumiana jako stopień spełnienia wymagań [39] i oczekiwań:

• klientów procesu projektowania PGPL, do których przede wszystkim należą podmioty zarządzające portami lotniczymi oraz organy administracji rządowej, właściwe w sprawach lotnictwa, transportu i infrastruktury, rozwoju i gospodarki,

- interesariuszy, do grona których należą przewoźnicy lotniczy, agenci obsługi naziemnej, instytucje zapewniające służby ruchu lotniczego, społeczność lokalna pozostająca w obszarze ciężenia portu lotniczego, podmioty zarządzające innymi portami lotniczymi oraz przewoźnicy i zarządcy infrastruktury innych rodzajów transportu,

determinowana w szczególności dostępnością i spójnością danych wejściowych, adekwatnością wybranych metod i poprawnym ich zastosowaniem, kompetencjami członków zespołu Projektowego PGPL, skutecznością procesów konsultacji z bezpośrednimi użytkownikami i interesariuszami PGPL.

Należy zwrócić uwagę, że zagadnienie jakości PGPL musi być rozpatrywane w szerszym kontekście, niż tylko ograniczonym do portu lotniczego, będącego podmiotem PGPL. Złożone relacje i uwarunkowania formalno-prawne, organizacyjne, operacyjne i ekonomiczne determinują konieczność rozpatrywania jakości PGPL z uwzględnieniem, że będący jego podmiotem port lotniczy, jest:

- szczególnego rodzaju lotniskiem użyteczności publicznej [43],
- wysoce złożonym systemem technicznym [14, 23],
- wysoce złożonym systemem funkcjonalnym [18, 19],
- jednym z wielu na konkurencyjnym rynku transportu lotniczego [3, 4, 5, 28, 30],

- elementem systemu transportu lotniczego [30, 38],
- multimodalnym elementem zintegrowanego systemu transportowego [13, 21, 35, 38], który może być rozpatrywany jako ogniwo zintegrowanego łańcucha dostaw [24],
- czynnikiem rozwoju regionalnego [29] i społeczno-gospodarczego [17],

którego eksploatacja przebiega w dynamicznie i niezależnie zmiennym otoczeniu i warunkach [16, 19, 24, 37] oraz podlega oddziaływaniu licznych czynników zakłócających: technicznych, środowiskowych, operacyjnych i pozostaje w związku z:

- niezawodnością techniczną elementów infrastruktury [14, 23],
- zarządzaniem przestrzenią i ruchem lotniczym [7, 25, 34],
- zbiorowościami operujących statków powietrznych i strukturami potoków ruchu [20, 25].

Wyznacza to kontekst ryzyka zarządzania i eksploatacji portu lotniczego [15, 16, 17, 24], którego przyczynami jest występowanie zakłóceń, uszkodzeń elementów infrastruktury i innych sytuacji awaryjnych, skutkujących występowaniem kongestii oraz obniżeniem przepustowości portu lotniczego [26, 27, 37] i gotowości operacyjnej [20] lub przerwaniem ciągłości eksploatacji portu lotniczego [14, 19].

Ryzyko to, w szczególności w aspekcie możliwości jego ograniczania [44] (np. poprzez wprowadzanie nadmiarów do struktury niezawodnościowej portu lotniczego [19] w założeniach projektów inwestycyjnych), nie jest uwzględniane w przedmiocie PGPL, co stanowi istotną i nieuzasadnioną słabość formalnych specyfikacji PGPL.

Znaczącym jest również fakt, że formalne specyfikacje PGPL pomijają w ogóle zagadnienia ryzyka, zarówno ryzyka realizacji projektu, jak i ryzyka wynikającego z przyjęcia do realizacji założeń i koncepcji zatwierdzonego PGPL [22], będącego następstwem występowania licznych czynników

zmienności i nieokreśloności [9]. Stoi to w oczywistej sprzeczności z wymaganiami oraz prawnymi i faktycznymi interesami klientów i interesariuszy procesu projektowania PGPL. Skutkiem tego jest poszukiwanie i wykorzystywanie w procesie projektowania PGPL różnych metod, dających możliwość uzyskania wyników o zakresie i jakości spełniających określone wymagania i zgodnych z przyjętymi założeniami. Tym samym powstaje zbiór niejednorodnych merytorycznie i jakościowo planów generalnych poszczególnych portów lotniczych, co można określić pojęciem „niekompatybilności”, która znacząco utrudnia i ogranicza możliwość ich zintegrowanego i systemowego wykorzystywania na każdym poziomie problemowym zarządzania systemami i procesami transportowymi, tj.: adaptacji, optymalizacji i regulacji, zarówno w skali mikro – pojedynczego portu lotniczego [18, 21], jak i makro – systemów i sieci transportowych [13, 35, 38].

Zagadnienie standaryzacji i integracji procesu projektowania Planu Generalnego Portu Lotniczego

Proces projektowania PGPL jest wysoce złożonym procesem, który może być realizowany z przyjęciem statycznego (opartego na stosunkowo prostych algorytmach deterministycznych [1, 2]) lub dynamicznego (uwzględniającego losową zmienność czynników niezależnych [9, 11]) podejścia metodycznego, z których każde pomija aspekty standaryzacji i integracji metod projektowania oraz zasad i procedur zarządzania projektem PGPL, co jednak jest potrzebą praktyczną. W takim stanie rzeczy podejmowane były działania mające celu opracowanie bardziej szczegółowych, niż specyfikacje formalne [2, 43], wytycznych odnośnie jednolitego sposobu sporządzania i spójnej prezentacji wyników PGPL, w skali danego Państwa (np. [10]), w oparciu o publikacje

naukowe (np. [9, 12]).

Działania takie (bezskutecznie) podjęto również w Polsce. W 2013 roku resort transportu wystąpił z inicjatywą opracowania (we współpracy z ULC, resortem rozwoju regionalnego, MON, PAŻP, P.P. „Porty Lotnicze” i Związkiem Regionalnych Portów Lotniczych) dokumentu określającego zakres merytoryczny i zawartość formalną PGPL, stanowiącego swoisty konsensus i spełniającego dezyderaty zaangażowanych podmiotów [31]. Inicjatywa ta była odpowiedzią na zgłaszane przez podmioty zarządzające portami lotniczymi potrzeby ujednolicenia i uszczegółowienia wymagań, metod i standardów projektowania PGPL, w sposób zgodny z przepisami prawa oraz z krajowymi [30] i wspólnotowymi [13, 35] strategicznymi dokumentami i programami w dziedzinie transportu lotniczego, z poszanowaniem zasad zrównoważonego rozwoju [24] i koncepcji zagospodarowania przestrzennego. Projekt przedmiotowych wytycznych został przygotowany w oparciu o liczne publikacje międzynarodowe [1, 2, 12, 43] i krajowe [25, 26, 97] i obejmował swoim zakresem szczegółowe specyfikacje merytoryczne oraz wytyczne metodyczne.

W aktualnym stanie formalnym i faktycznym [36, 40] wynikającym z podjętych decyzji o realizacji inwestycji Centralnego Portu Komunikacyjnego – CPK, aktualizacja PGPL stała się zadaniem specyficznie trudnym. Nieokreśloność potencjalnego oddziaływania CPK na rynek i strukturę przewozów lotniczych oraz rozłożenie ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej i pomiędzy poszczególnymi portami lotniczymi, jak również decyzji rządowych powoduje, że koniecznym jest przyjęcie pewnego standardu aktualizacji już zatwierdzonych PGPL, opartego na synergicznej integracji strony rządowej, podmiotów zarządzających portami lotniczymi oraz innymi interesariuszami, a w szczególności przewoźnikami lotniczymi, bez czego kolejne edycje PGPL będą tyl-

ko bezwartościowymi dokumentami stanowiącymi wykonanie obowiązku ustawowego [42]. Należy przy tym mieć na uwadze, że realizacja inwestycji CPK oparta jest, obok dotychczas wydanych przepisów ustawowych [41, 42] na przepisach określających zasady i tryb zarządzania przygotowaniem i realizacją inwestycji CPK oraz inwestycji towarzyszących i innych przedsięwzięć związanych z budową CPK [40], z wiodącą rolą Pełnomocnika Rządu do spraw Centralnego Portu Komunikacyjnego dla Rzeczypospolitej Polskiej, będącego sekretarzem stanu w Kancelarii Prezesa Rady Ministrów, do zadań którego należy w szczególności przygotowanie i nadzór nad realizacją inwestycji CPK, w tym w szczególności [36]:

- analiza prawnych, technicznych i ekonomicznych uwarunkowań przygotowania oraz realizacji inwestycji;
- przygotowanie projektu założeń inwestycji i koncepcji realizacji działań koniecznych do przeprowadzenia inwestycji;
- przygotowanie propozycji zmian legislacyjnych oraz zmian w rządowych dokumentach strategicznych, koniecznych do przeprowadzenia inwestycji.

Z przytoczonych powyżej zakresów regulacji ustawowych [40] i kompetencji Pełnomocnika ds. CPK wynika, że zarówno procesy realizacji inwestycji CPK, jak również zmian legislacyjnych i programowych w dziedzinie transportu lotniczego będą dynamiczne, co powinno zostać odpowiednio uwzględnione przy aktualizacji zatwierdzonych PGPL.

W szczególności, przedmiot standardu sporządzania (i aktualizacji już zatwierdzonych) PGPL powinien odpowiednio dotyczyć i jednolicie określać:

1. rozróżnienie szczegółowych specyfikacji dotyczących odpowiednio portów lotniczych istniejących i nowo zakładanych,
2. zasady ustalania kryteriów projek-

towych i podejmowania decyzji z ich zastosowaniem [11], np. lokalizacyjnych [2, 43],

3. metodę określania wartości wskaźnika używalności lotniska [43],
4. metodę obliczania wartości gotowości operacyjnej portu lotniczego [20],
5. metodę oceny zbilansowania wartości wskaźników używalności lotniska i gotowości operacyjnej portu lotniczego [18, 20, 43],
6. metodę analizy przepustowości pola manewrowego, płyt postojowych i terminali portu lotniczego oraz zakres i stopień szczegółowości prezentowanych wyników [9, 12, 27],
7. metodę prognostycznej oceny stopnia nasycenia przepustowości i zasady interpretowania wyników [26],
8. metodę oceny zbilansowania przepustowości i pojemności poszczególnych podsystemów portu lotniczego, tj.: CTR i TMA, pola manewrowego, płyt postojowych, w tym odlodzeniowych, terminali pasażerskich i towarowych, systemów transportu kolejowego i drogowego, parkingów samochodowych, itp. [1, 18, 21, 27],
9. metody analizy i zarządzania ryzykiem eksploatacji portu lotniczego [15, 16, 17, 32, 44], w tym ciągłości działania [14, 19],
10. metodę analizy zdolności zaspokojenia popytu na przewóz lotniczy [1, 9],
11. sposób określenia specyfikacji CTR i wymagań dotyczących TMA oraz zapewnienia Służb ATS [7],
12. strukturę relacji i sposób publikacji innych, wymaganych przepisami [42] dokumentów, np. programu wykorzystania lotniska, prognozę i plan organizacji ruchu lotniczego na lotnisku i w jego rejonie ze wskazaniem sposobów uniknięcia kolizji z ruchem prowadzonym z istniejących już sąsiednich lotnisk, wypis i wyrys z miejscowego

planu zagospodarowania przestrzennego dla terenu lotniska oraz obszarów go otaczających, znajdujących się w strefie jego oddziaływania, odpis decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego, odpis decyzji o warunkach zabudowy, odpis decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji w zakresie lotniska użytku publicznego albo odpis decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji w zakresie CPK [40], celem ograniczenia liczby sporządzanych dokumentów i eliminacji powielania ich treści,

13. „kamienie milowe”, będące punktami decyzyjnymi realizacji poszczególnych zadań określonych w PGPL, odniesione do wyników właściwych analiz i aktualizowanych prognoz.

Przyjęcie i jednolite stosowanie określonych powyżej standardów zapewni spójność nowych lub zaktualizowanych PGPL, a jakość procesów realizacji, wyników i skutków wykorzystania można będzie efektywnie zapewnić poprzez wprowadzenie procedur zapewniających zintegrowaną realizację procesów projektowania PGPL, w szczególności poprzez:

- wprowadzenie obowiązku sporządzania prognoz popytu na ruch i przewóz lotniczy właściwemu urzędowi, np. ULC lub GUS z przyjęciem jednolitych założeń i spójnych danych wejściowych oraz przekazania wyników tych prognoz Wykonawcom PGPL do jednolitego i spójnego wykorzystania,
- wdrożenie procedur wymiany informacji i konsultacji pomiędzy Wykonawcą PGL, a innymi, właściwymi podmiotami prowadzącymi działalność w zakresie lotnictwa cywilnego, w szczególności przewoźnikami lotniczymi i PAŻP oraz innymi instytucje i podmiotami, np.: GDDKiA, PKP,
- wdrożenie procedury identyfikacji aktualnie obowiązujących wymagań prawnych i innych wymagań,

mających zastosowanie w projektowaniu PGPL.

Podsumowanie

Zakres merytoryczny i stopień szczegółowości aktualnie obowiązujących formalnych specyfikacji [2, 42, 43] sporządzenia PGPL nie zapewniają faktycznie akceptowalnych i zgodnych z wymaganiami praktycznymi poziomów jakości i ryzyka realizacji procesu projektowania PGPL [22] i wykorzystania jego wyników [9]. Stanowi to szczególnie istotny problem w kontekście realizacji inwestycji CPK. Jak wynika z przeprowadzonych badań [22] krytycznymi zasobami i aktywami projektu PGPL, obok członków zespołu projektowego są metody i zasoby danych, które powinny być wykorzystywane w systematycznie jednolity i powtarzalny sposób. Wynika z tego celowość opracowania i jednolitego stosowania metod analiz oraz wdrożenia zasad i procedur zarządzania projektem PGPL, zawierających komponenty zapewnienia jakości i zarządzania ryzykiem [11, 22, 32, 39, 44]. W zakresie tych procedur, szczególne znaczenie należy przypisać procedurom konsultacji i wymiany informacji [11, 39, 44].

Opracowanie, a następnie ich jednolite, skuteczne i efektywne stosowanie wskazanych powyżej metod, zasad i procedur, zapewniających standaryzację i integrację procesów projektowania PGPL, wymaga podjęcia również właściwych przedsięwzięć organizacyjnych, z odpowiednim udziałem przedstawicieli właściwych instytucji i podmiotów. Zasadnym będzie zastosowanie rozwiązań, analogicznych do już istniejących i właściwie funkcjonujących, tj. merytorycznego rozszerzenia i uszczegółowienia zakresu kompetencji komitetów przewoźników lotniczych w portach lotniczych i komitetów użytkowników portów lotniczych [33, 42], Komitetu Zarządzania Przestrzenią Powietrzną [34], a w szczególności Rady do

spraw budowy Centralnego Portu Komunikacyjnego, będącej organem doradczym Pełnomocnika ds. CPK w sprawach realizacji oraz funkcjonowania inwestycji CPK. Innym możliwym rozwiązaniem wydaje się być powołanie przy Prezesie ULC lub ministrze właściwym ds. transportu odrębnego organu konsultacyjnego.

Uwzględniając jednak publikowane w prasie informacje o podjętych na szczeblu rządowym decyzjach o zamknięciu Portu Lotniczego im. F. Chopina w Warszawie, z chwilą uruchomienia CPK, należy rozważyć właściwość w tej sprawie Związku Regionalnych Portów Lotniczych, którego celem działania jest organizowanie i systematyzowanie współpracy regionalnych portów lotniczych, m.in. w zakresie procesów inwestycyjnych i modernizacji oraz opracowywania wspólnych standardów jakości funkcjonowania portów lotniczych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Airport Development Reference Manual. IATA ADRM
- [2] Airport Planning Manual, Part 1 Master Planning. ICAO Doc 9184
- [3] Augustyniak W., Kalinowski S. Benchmarking oraz metody mierzenia efektywności portów lotniczych. W: Rekowski M. (red.), Regionalne porty lotnicze w Polsce – charakterystyka i tendencje rozwojowe. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2011, s. 239-255.
- [4] Augustyniak W. Kryteria oceny portów lotniczych przez linie lotnicze, Przegląd Komunikacyjny, Nr 7, 2013, ss. 8-12
- [5] Augustyniak W. Efektywność finansowa i techniczna regionalnych portów lotniczych w Polsce. Przegląd Komunikacyjny, Nr 2, 2012, ss. 8-15
- [6] Balek J., Valuch M., Ižvold L., Pawlicki J., Čuraj M.: Poprawa jakości pro-

jektów budowli transportowych z wykorzystaniem metod zarządzania wiedzą. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport z. 65/2009, ss. 5-11

- [7] Banaszek K., Kozłowski M. Operacyjne aspekty koncepcji utworzenia duoportu dla aglomeracji warszawskiej. W: Skorupski J. (red.) Wyzwania inżynierii ruchu lotniczego. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, 2016, ss. 29-38
- [8] Basiewicz T. Metodologia projektowania w inżynierii transportu. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1987
- [9] Belobaba P., Neufville R., Odoni A. R., Reynolds G. Airport Systems Planning, Design and Management. McGraw-Hill, 2013.
- [10] Federal Aviation Administration. Airport Master Plans. U.S. Department of Transportation Advisory Circular AC 150/5070-6B, 2007
- [11] Guidance on project management. ISO 21500:2012
- [12] Horonjeff R., McKelvey F. X., Sprule W. J., Young S. B. Planning and Design of Airports. The McGraw-Hill, NY, 2010
- [13] Komunikat Komisji - Sieci transeuropejskie: W kierunku podejścia zintegrowanego. COM(2007) 135
- [14] Kozłowski M. Aspect of reliability in airport business continuity management. Journal of KONBiN, No 3, 2015, ss. 43-50
- [15] Kozłowski M. Aspekt standaryzacji w procesie zintegrowanego zarządzania ryzykiem. Przegląd Komunikacyjny, nr 11, 2014, ss. 40-43
- [16] Kozłowski M. Kontekst zintegrowanego zarządzania ryzykiem operacyjnym w porcie lotniczym. W: Radomyski A. i in. (red) Współczesne aspekty bezpieczeństwa w transporcie lotniczym. Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, 2017, ss. 197-207
- [17] Kozłowski M. Społeczno-gospodarczy kontekst zarządzania ryzykiem eksploatacji portu lotniczego

- go. Logistyka - czasopismo dla profesjonalistów, nr 3, 2015, ss. 2396-2405
- [18] Kozłowski M. Systemowe ujęcie zagadnienia analizy i kształtowania charakterystyk funkcjonalnych lotniska komunikacyjnego. Konferencja „Lotnictwo w Polsce na początku XXI wieku”, Radom, 2001 r.
- [19] Kozłowski M. The concept of method for determining the minimum level of airport business continuity. Journal of KONBiN, vol. 1, No 37, 2016, ss. 5-22
- [20] Kozłowski M., Malarski M. Gotowość operacyjna portu lotniczego dla różnej struktury potoku obsługiwanego statków powietrznych. Konferencja „Transport XXI wieku”, Tom II, Warszawa, 2004
- [21] Kozłowski M., Marczewski R., Winiński A. Zagadnienie przepustowości portu lotniczego rozpatrywanego w aspekcie węzła multimodalnej sieci transportowej. II Konferencja TIL, Kielce, 2008 r.
- [22] Kozłowski M., Stelmach A. Zarządzanie jakością i ryzykiem projektu planu generalnego portu lotniczego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 118, 2017, ss. 131-143
- [23] Kozłowski M., Skorupski J., Stelmach A. Simulation analysis of aerodrome CNS system reliability. W: Stein H. i in. (red.) Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World, Taylor & Francis Group, 2018, ss. 2505-2511
- [24] Kozłowski M., Syta J. Koncepcja zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw portu lotniczego. W: Radomyski A. i in. (red) Współczesne aspekty bezpieczeństwa w transporcie lotniczym. Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, 2017, ss. 179-195
- [25] Malarski M., Skorupski J. Modelowanie przestrzeni lotniska w celu wyznaczenia jego pojemności dla różnych systemów organizacji ruchu lotniczego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Automatyka, nr 115, 1994, ss. 93-102
- [26] Malarski M., Skorupski J. Metoda modelowania pracy portu lotniczego wykorzystująca kongestię ruchu. W: Sympozjum naukowe Przepustowość polskich lotnisk komunikacyjnych w aspekcie realizacji programu HUB dla lotniska Warszawa Okęcie im. Fryderyka Chopina / Praca Zbiorowa, 2002, ss. 81-86
- [27] Malarski M., Skorupski J. Metoda wyznaczania pojemności lotniska. W: Sympozjum naukowe Przepustowość polskich lotnisk komunikacyjnych w aspekcie realizacji programu HUB dla lotniska Warszawa Okęcie im. Fryderyka Chopina / Praca Zbiorowa, 2002, ss. 75-80
- [28] Marciszewska E. Jakość w procesie kształtowania przewag konkurencyjnych na rynku. W: Transport morski i lotniczy w obsłudze ruchu pasażerskiego. Implikacje dla regionów. Zeszyt Naukowy nr 491 Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2008
- [29] Marciszewska E., Kaliński D. Port lotniczy jako czynnik rozwoju regionalnego. W: Barski A., Fabirkiewicz W., Jarosza Cz. Rozwój lotnictwa w regionach. Toruń, 2009
- [30] Program Rozwoju Sieci Lotnisk i Lotniczych Urzędów Naziemnych; przyjęty Uchwałą Rady Ministrów dnia 8 maja 2007 r.
- [31] Projekt wytycznych do planu generalnego lotnisk użytku publicznego. Ministerstwo Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej, 2013
- [32] Risk management – Risk assessment techniques. ISO/IEC 31010:2009.
- [33] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie tworzenia i działania komitetów oraz współdziałania i konsultacji w porcie lotniczym. Dz.U. z 2004 r. Nr 103, poz. 1088
- [34] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 września 2008 r. w sprawie Komitetu Zarządzania Przestrzenią Powietrzną oraz ustalenia zakresu jego działania. Dz. U. z 2014 r., poz. 1173
- [35] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 348/1 PL
- [36] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2017 r. w sprawie ustanowienia Pełnomocnika Rządu do spraw Centralnego Portu Komunikacyjnego dla Rzeczypospolitej Polskiej. Dz.U. z 2017 r., poz. 874
- [37] Skorupski J., Kozłowski M., Stelmach A. Metoda badania przepustowości portu lotniczego w warunkach zakłóceń. W: Problemy Niezawodności Systemów. Polska Akademia Nauk, 2007, ss. 288-298
- [38] Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów - Sprawozdanie z postępu prac we wdrażaniu sieci TEN-T w latach 2014–2015. COM(2017) 327
- [39] Systemy zarządzania jakością – Wymagania. PN-EN ISO 9001:2015-10
- [40] Ustawa z dnia 10 maja 2018 r. o Centralnym Porcie Komunikacyjnym. Dz.U. z 2018 r., poz. 1089
- [41] Ustawa z dnia 12 lutego 2009 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie lotnisk użytku publicznego. Dz.U. z 2009 r. Nr 42, poz. 340
- [42] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze. Dz.U. z 2018 r., poz. 1183
- [43] Załącznik 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym. Lotniska, Tom I - Projektowanie i eksploatacja lotnisk
- [44] Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne. PN-ISO 31000:2012

Analiza możliwości zwiększenia bezpieczeństwa w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie nowych technologii

Analysis of the possibilities of general aviation safety increasing through the use of new technologies



Marta Galant

Dr inż.

Politechnika Poznańska

Marta.galant@put.poznan.pl

Streszczenie: W artykule zawarto analizę bieżącego stanu bezpieczeństwa lotniczego w Polsce oraz ocenę możliwości jego poprawy. Zwrócono uwagę, że specyfika lotnictwa ogólnego i zarobkowego praktycznie nie pozwala na ich wspólne traktowanie w zarządzaniu bezpieczeństwem. Omówiono koncepcję SHELL i propozycję jej rozwinięcia celem wykorzystania przy projektowaniu systemów bezpieczeństwa. Pozwoliło to na wskazanie możliwości aplikacyjnych systemów bezpieczeństwa. Kolejno przeanalizowano możliwości oraz ewentualne korzyści płynące z wprowadzania proponowanych technologii w lotnictwie ogólnym. Artykuł podsumowano wnioskami aplikacyjnymi będącymi jednocześnie przyszłymi kierunkami rozwoju zagadnienia zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie ogólnym.

Słowa kluczowe: Bezpieczeństwo; Transport lotniczy; Lotnictwo Ogólne

Abstract: The paper presents an analysis of the current state of aviation safety in Poland and an assessment of the possibility of its improvement. It has been pointed out that the specificity of general and commercial aviation practically does not allow their joint treatment in security management. The SHELL concept and the proposal to develop it for use in the design of security systems were discussed. This allowed to indicate the security systems application possibilities. Sequentially potential benefits of the proposed implementation of technology in general aviation were analyzed. The article is summarized by application conclusions which are also the future directions of the development of safety management in general aviation.

Keywords: Safety; Air transport; General Aviation

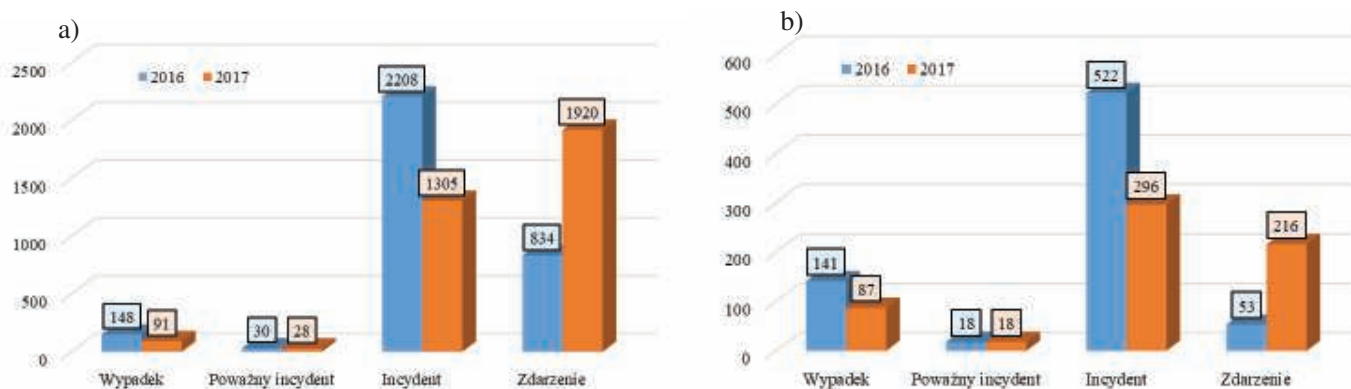
Poczucie bezpieczeństwa jest jedną z podstawowych potrzeb człowieka. Takie jej umiejscowienie w piramidzie potrzeb nie pozostawia wątpliwości co do słuszności ciągłego prowadzenia prac na rzecz jego zwiększania oraz takiego oddziaływania na źródła zagrożeń, aby oszacowane ryzyko było akceptowalne. Transport lotniczy nieustannie jest najszybciej rozwijającą się gałęzią transportu [8, 13, 15]. Ciągłe uważany jest również za najbezpieczniejszy sposób przemieszczania się [11]. Analizując statystyki wypadków lotniczych w przewozach komercyjnych faktycznie dojść można do takich wniosków. Jednak dobre wyniki osiągane w lotnictwie zarobkowym (ang. Commercial Air Transport, CAT) nie mają odzwierciedlenia w drugiej, równie znaczącej, części lotnictwa jaką jest lotnictwo ogólne

(ang. General Aviation, GA). Corocznie w Polsce wykonywanych jest około 200 000 operacji lotniczych GA oraz około 350 000 operacji związanych z przewozem pasażerów [1]. Dodatkowo, corocznie liczby te zwiększają się o około 10%. Wszystko to wskazuje, że prace omówione w niniejszym opracowaniu są niezbędne, a wykorzystywanie nowych osiągnięć techniki jest konieczne do osiągnięcia założonych celów.

Stan bezpieczeństwa lotniczego w zależności od rodzaju lotnictwa

Główną instytucją odpowiedzialną za bezpieczeństwo w transporcie lotniczym w Polsce jest Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC). Jest on odpowiedzialny za wdrażanie przepisów regulujących działalność lotniczą w

kraju. W ramach ULC powołano Biuro Zarządzania Bezpieczeństwem w Lotnictwie Cywilnym. Do jego zadań należy nadzorowanie, koordynowanie i prowadzenie spraw dotyczących zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie cywilnym, w tym przede wszystkim tworzenie, aktualizacja i koordynacja Krajowego Programu Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym (KPBWLC). ULC nie prowadzi jednak badań zdarzeń lotniczych. Do tego celu, w 2002 roku powołano niezależną i stałą Państwową Komisję Badania Wypadków Lotniczych (PKBWL). Komisja działa przy ministrze właściwym do spraw transportu (od 2011 roku Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa). Komisja corocznie publikuje Statystykę Zdarzeń Lotniczych [10], która jest prezentowana podczas Krajowych Konferencji Bezpieczeństwa



1. Liczba zdarzeń lotniczych (z podziałem na kategorie) w Polsce w latach 2016-2017, gdzie: a) liczba zdarzeń ogółem, b) liczba zdarzeń w sektorze lotnictwa ogólnego; opracowanie własne na podstawie [10]

Lotów organizowanych przez Urząd Lotnictwa Cywilnego. Ustawa Prawo Lotnicze wśród typów zdarzeń lotniczych wyróżnia: wypadki, poważne incydenty i incydenty [16]. Przez wypadek lotniczy rozumie się zdarzenie związane z eksploatacją statku powietrznego, które zaistniało od chwili, gdy jakkolwiek osoba weszła na jego pokład z zamiarem wykonania lotu, do momentu, gdy wszystkie osoby znajdujące się na pokładzie opuściły ten statek powietrzny, i podczas którego: jakkolwiek osoba doznała obrażeń ze skutkiem śmiertelnym lub poważnego obrażenia ciała, statek powietrzny został uszkodzony lub nastąpiło zniszczenie jego konstrukcji lub statek powietrzny zaginął lub znajduje się w miejscu, do którego dostęp jest niemożliwy [16]. Poważnym incydemtem lotniczym jest zdarzenie, którego okoliczności zaistnienia wskazują, że nieomal doszło do wypadku lotniczego [16]. Jako incydent lotniczy uważa się zdarzenie inne niż wypadek lotniczy, związane z eksploatacją statku powietrznego, które ma wpływ lub mogłoby mieć wpływ na jej bezpieczeństwo [16]. W raportach PKBWL zachowana jest niniejsza nomenklatura. W 2017 roku PKBWL zarejestrowała 3 344 zgłoszenia zdarzeń lotniczych, z czego 91 zakwalifikowano jako wypadki, 28 jako poważne incydenty, 1 305 jako incydenty a pozostałe 1 920 jako inne zgłoszenia [10]. Porównując dane z rokiem 2016 liczba wypadków zmniejszyła się o 16%, a liczba poważnych incydentów o prawie 40%.

Liczba incydentów zmniejszyła się o ponad 40%. Z kolei zaobserwowano znaczące zwiększenie udziału innych zgłoszeń – zwiększył się on czterokrotnie! (rys. 1). W sektorze lotnictwa ogólnego w 2017 roku zarejestrowano 616 zgłoszeń [10]. W porównaniu z rokiem 2016, w którym liczba ta wyniosła 734, zanotowano zmniejszenie tej liczby o 16% (rys. 1). Podobnie jak w przypadku ogólnej liczby zdarzeń lotniczych liczba wypadków zmniejszyła się o około 40%. Ponownie liczba incydentów zmniejszyła się prawie o połowę, a liczba innych zdarzeń zwiększyła się czterokrotnie. Porównując liczbę wypadków w sektorze lotnictwa ogólnego do liczby wypadków ogółem można zauważyć, że w 2016 roku ich stosunek corocznie wynosi 95%. Z kolei liczba incydentów i innych zdarzeń prezentuje odwrotną zależność – w 2016 roku zdarzeń i incydentów w GA stanowiła 19%, w 2017 roku – 16%.

Zwiększona liczba zgłoszeń spowodowana jest wdrożeniem i przestrzeganiem obowiązków wynikających z KPBwLC. Opisano w nim metody zapewniania bezpieczeństwa, rozumiane jako obowiązkowy system zgłaszania zdarzeń lotniczych (dla podmiotów lotniczych) oraz dobrowolny i poufny system zgłaszania informacji mających wpływ na bezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym (dla użytkowników przestrzeni powietrznej). Pierwszy z systemów nakłada na podmioty lotnicze obowiązek zgłoszenia do PKBWL zaistniałych zdarzeń polegających na przerwie w działaniu, wadzie,

uszkodzeniu statku powietrznego lub jego elementu albo innych okoliczności, które miały lub mogły mieć wpływ na bezpieczeństwo lotu. Zgłoszenie takiego zdarzenia powinno być dokonane do PKBWL w ciągu 72 godzin od momentu zaistnienia [9]. W celu usprawnienia systemu obowiązkowego zgłaszania wprowadzono zapis w Ustawie Prawo Lotnicze [16], który zakazuje dyskryminowania pracowników, którzy dokonali zgłoszenia (art. 135a ust. 5 ustawy). Dodatkowym zabezpieczeniem jest zapis mówiący o zaniechaniu wszczęcia postępowania karnego wobec naruszeń prawa popełnionych nieumyślnie (z wyjątkiem przypadków rażącego niedbalstwa). Analiza zgłoszonych zdarzeń pozwala na opracowywanie i aktualizację Krajowego Planu Bezpieczeństwa. Poufny system zgłaszania informacji mających wpływ na bezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym prowadzony jest przez Zespół Identyfikowania Zagrożeń w Lotnictwie Cywilnym funkcjonujący przy ULC. Został on powołany w 2008 roku na mocy obwieszczenia Prezesa ULC o wprowadzeniu dobrowolnego i poufnego systemu zgłaszania informacji mających wpływ na bezpieczeństwo lotów w lotnictwie cywilnym (Dziennik Urzędowy ULC nr 14 z 2008 r.). Podstawowym założeniem funkcjonowania Zespołu jest to, że za jego pośrednictwem mają być zbierane informacje pochodzące od środowiska lotniczego, które pozwolą na wskazanie potencjalnych obszarów zagrożeń dla bezpieczeństwa działań

ności lotniczej.

Należy jednak zwrócić uwagę na różnicę pomiędzy liczbą zgłoszeń pomiędzy sektorem lotnictwa ogólnego a komercyjnego. W tym pierwszym na jeden wypadek lotniczy przypada 7 zgłoszeń. W lotnictwie komercyjnym stosunek ten wynosi 682:1 (na 4 wypadki lotnicze przypało aż 2728 zgłoszeń). Świadczy to o skuteczności działania wprowadzonego systemu zarządzania bezpieczeństwem w organizacjach lotniczych (SMS). Lotnictwo komercyjne cechuje się większą świadomością bezpieczeństwa. Wprowadzone programy przynoszą wymierne efekty dzięki promocji bezpieczeństwa, szkoleniom oraz prowadzeniu działań zmierzających do podnoszenia poziomu bezpieczeństwa. W lotnictwie ogólnym występuje zdecydowanie większe rozproszenie użytkowników. Wielu pilotów nie jest stowarzyszonych w aeroklubach i operacje lotnicze wykonuje wyłącznie rekreacyjnie. Oznacza to, że nie są prawnym podmiotem lotniczym i nie mają obowiązku opracowania, wdrożenia i przestrzegania zasad SMS.

Poza mniejszą świadomością bezpieczeństwa bardzo istotnym jest zwrócenie uwagi na zmieniający się stosunek poszczególnych zdarzeń w polskim lotnictwie. Na rysunku 2 przedstawiono zmianę liczby poszczególnych zdarzeń w ciągu ostatnich 5 lat. Korzystnym zjawiskiem jest zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych. Niepokojącym jest jednak zdecydowane zmniejszenie liczby incydentów

na rzecz pozostałych zdarzeń. Niejasna procedura kwalifikacji zdarzeń przez PKBWL pozostawia niepewność co do obecnego stanu. Określanie zdarzeń jako „inne, nie mające wpływu na bezpieczeństwo” może spowodować pewnego rodzaju uśpienie czujności i ograniczenie skupienia na niwelowaniu źródeł zagrożeń. Takie działania mogą mieć znaczne negatywne konsekwencje w przyszłości.

Możliwości wpływania na bezpieczeństwo w lotnictwie ogólnym

Podręcznik SMM rekomenduje przeprowadzanie identyfikacji zagrożeń na podstawie modelu SHEL (czasem określanego SHEL(L)) [7]. Model SHELL jest narzędziem koncepcyjnym wykorzystywanym do analizowania wzajemnego oddziaływania różnorodnych komponentów systemu. Nazwa SHEL(L) pochodzi od pierwszych liter części składowych, które to oznaczają [12]:

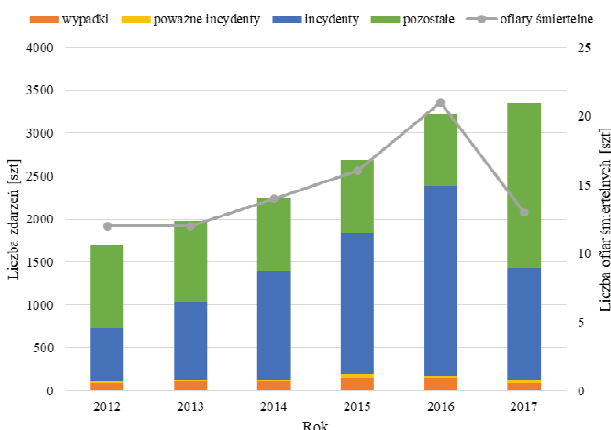
- oprogramowanie (ang. Software, S) – dotyczy procedur, szkolenia, itp.,
- sprzęt (ang. Hardware, H) – dotyczy maszyny i wyposażenia,
- środowisko (ang. Environment, E) – dotyczy kontekstu operacyjnego w którym funkcjonuje system L-H-S,
- czynnik ludzki (ang. Liveware, L) – dotyczy ludzi w miejscu pracy.

Schemat ideowy modelu systemu SHELL przedstawiony jest na rysun-

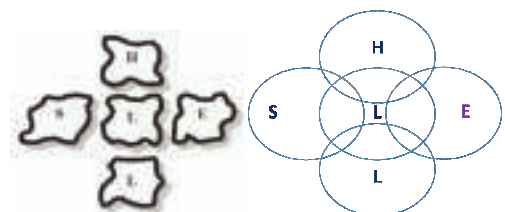
ku 3. Model ten kładzie nacisk na indywidualne i ludzkie punkty styku z innymi składnikami i cechami systemu. Wizualne przedstawienie modelu jako pasujących do siebie elementów może symbolizować, że pełną sprawność system uzyskuje przy odpowiednim połączeniu komponentów – kolejno S-L, L-H, L-E i L-L. Należy jednak zwrócić uwagę na kompleksowość i komplementarność systemów transportu lotniczego. Poza stykiem poszczególnych elementów (S, H, E, L) z centralnym czynnikiem ludzkim L (pilotem) należy oddziaływać również na połączenia bezpośrednie pomiędzy nimi (np. S-H) a także na układy trójkątne (S-L-H). Dopiero takie podejście do konstruowania systemów bezpieczeństwa pozwoli na wprowadzenie rozwiązań, które mogą pozytywnie wpłynąć na ograniczanie ryzyka zagrożeń w lotnictwie ogólnym.

Przykładowo:

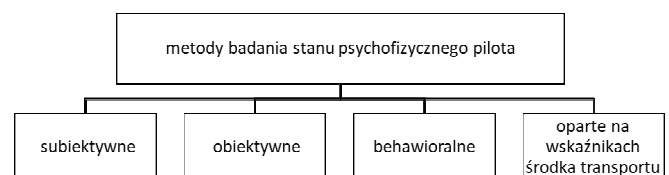
- pomiędzy czynnikami S i H można wyznaczyć obszar S-H oraz złożenie S-L-H. W pierwszym z nich istotnym jest odpowiednie połączenie przepisów z eksploatowanym sprzętem. Istnieje szereg regulacji dotyczących certyfikacji, przeglądów i eksploatacji środków transportu lotniczego jednak działając zgodnie z przyjętą zasadą istotne jest połączenie czynników S, H i L – czyli takie opracowanie procedur aby były one przejrzyste a zarazem skuteczne.
- proaktywnego podejścia do zarządzania bezpieczeństwem



2. Liczba zdarzeń lotniczych w polskim lotnictwie w ostatnich 5 latach; opracowanie własne na podstawie [10]



3. Schemat ideowy modelu SHELL [2, 6] oraz propozycja rozszerzenia modelu o dodatkowe obszary oddziaływania



4. Podział metod badania stanu psychofizycznego pilota [4]

- czynnik H znajduje się w okolicy czynnika E – powoduje to określenie obszarów H-L (współpraca człowieka ze statkiem powietrznym), E-L (oddziaływanie środowiska na człowieka – temperatura, oświetlenie, hałas, widoczność, turbulencje, ukształtowanie terenu) ale też nowego obszaru E-L-H w którym należy tak połączyć system człowiek-technika-środowisko aby możliwie było ograniczanie ryzyka zagrożeń. Przykładem takiego działania może być system wspomagający pilota w sytuacji pogorszenia warunków zewnętrznych.
- kolejnym przykładem jest obszar L-L-E czyli współdziałanie pilota, otaczających go ludzi i środowiska. Kluczowym działaniem pozwalającym na ograniczenie ryzyka w tym obszarze może być rozszerzenie szkoleń z zakresu CRM (współpraca w załodze, ang. Crew Resources Management) ale także system monitorujący stan psychofizyczny pilota, który jest przedmiotem dalszych analiz w pracy.

W każdym z obszarów zdefiniować można szereg źródeł zagrożeń, które kolejno mogą aktywować zagrożenia prowadzące do występowania zdarzeń niepożądanych. Kluczem do ograniczania ryzyka zagrożeń jest więc oddziaływanie na źródła zagrożeń zanim jeszcze nastąpi aktywizacja zagrożenia. Podejście takie jest zgodne z obowiązującą obecnie tendencją do wykorzystywania proaktywnych metod zarządzania bezpieczeństwem (w zamian metod reaktywnych stosowanych w przeszłości).

Monitorowanie stanu pilota jako narzędzie do zwiększenia bezpieczeństwa w lotnictwie

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale należy szukać rozwiązań łączących różne elementy obszaru analiz jakim jest przewóz lotniczy. Liczba zadań, jakie wykonuje operator powoduje zwiększenie obciążenia po-

znanczego, które wykorzystuje jego zasoby potrzebne do właściwego wykonania zadania, tzw. zasoby poznawcze. Pojęcie obciążenia poznawczego odnosi się do stopnia zaangażowania zasobów poznawczych w bieżącą aktywność podmiotu [4]. Jedną z możliwych, a zarazem skutecznych metod pozwalającą ograniczyć ryzyko zagrożeń, w których jednym ze źródeł zagrożeń jest nadmierne obciążenie systemu poznawczego operatora jest bieżące jego monitorowanie.

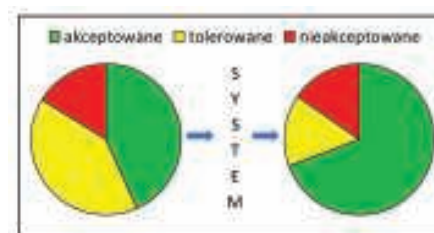
Badania obciążenia poznawczego ze względu na charakter można podzielić na cztery grupy (rysunek 4): subiektywne, obiektywne, behawioralne oraz oparte na wskaźnikach środka transportu [4, 14]. Pierwsze z nich opierają się na subiektywnej ocenie obciążenia przez badanego i są realizowane w postaci testów lub kwestionariuszy. W celach badawczych zdecydowanie częściej stosowane są metody obiektywne. Są one związane z pomiarem parametrów fizjologicznych niezależnie od operatora (np. bioelektryczna aktywność mózgu lub utlenowanie krwi). Metody behawioralne oznaczają wykrywanie symptomów obciążenia takich jak ziewanie, zamykanie oczu, zbyt długie sakady (intensywne ruchy gałki ocznej, polegające na bardzo szybkim przemieszczaniu punktu koncentracji wzroku z jednego miejsca w inne) czy fiksacje (relatywnie stała pozycja gałki ocznej, w trakcie której następuje skupienie uwagi). Z kolei określenie niesprawności operatora oparte na wskaźnikach pojazdu to na przykład monitorowanie ruchów kierownicy, sterów, zachowanie odpowiednich parametrów (położenie w pasie drogi, zadana wysokość lotu).

Implementacja systemu bezpieczeństwa – wnioski aplikacyjne

Aby określić poziom ryzyka zagrożeń należy przeprowadzić procedurę zgodną z algorytmem zarządzania ryzykiem. Należy więc początkowo rozpoznać i określić obszar analiz, kolejno rozpoznać źródła zagrożeń a na

ich podstawie sformułować zagrożenie. Przypisanie im odpowiednich wielkości pozwala na szacowanie ryzyka co kończy etap jego analizy. Kolejnym krokiem jest ocena ryzyka polegająca na jego wartościowaniu i kategoryzowaniu (ryzyko akceptowane, tolerowane, nieakceptowane). Po wartościowaniu ryzyka następuje postępowanie wobec ryzyka. Oznacza to zajęcie aktywnej postawy wobec zagrożeń zidentyfikowanych w obszarze analiz systemu transportu i generowanego przez nie ryzyka. Dotyczy to zagrożeń o kategorii tolerowane i nieakceptowane. W przypadku zagrożeń akceptowanych reagowanie ogranicza się do monitorowania ryzyka.

W celu oceny wpływu wykorzystania technologii na bezpieczeństwo w lotnictwie ogólnym zdefiniowano obszar analiz jako: lot samolotu lotnictwa ogólnego w przestrzeni niekontrolowanej zgodnie z przepisami dla lotów z widocznością. W analizowanym obszarze zidentyfikowano 37 zagrożeń, z których aż 15 skategoryzowano jako tolerowane, a 6 jako nieakceptowane [4]. W pracy [4] zaproponowano zatem projekt systemu, którego wytworzenie, wdrożenie i używanie może skutkować obniżeniem poziomu ryzyka. Zakładając, że stan psychofizyczny pilota, przez co rozumie się pośrednio jego sprawność psychofizyczną, może być monitorowany, a skutki jego obniżenia niwelowane przez działanie systemu wspomagającego jego pracę, możliwe było zmniejszenie wartości niektórych parametrów (dla zagrożeń, w których jako źródło rozpoznano złą kondycję psychofizyczną pilota). Na podstawie analizy ryzyka zauważono, że aż w 80% zdefiniowanych zagrożeń zła kondycja pilota jest jednym ze źró-



5. Porównanie wyników oceny ryzyka zagrożeń przed i po zastosowaniu analizowanego systemu [4]

deł zagrożeń.

Celem weryfikacji implementacji systemu postanowiono zatem jeszcze raz przypisać wartości parametrów, z założeniem poprawnej pracy systemu. Uznano, że niemożliwym jest oddziaływanie na poziom wielkości strat będących skutkiem aktywizacji zagrożenia. Postanowiono przeanalizować zatem możliwość obniżenia poziomu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia.

Zastosowanie wspomnianego założenia pozwoliło na obniżenie poziomu prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia dla czternastu zagrożeń. Łącznie udało się obniżyć kategorię ryzyka dla dziewięciu zagrożeń (rysunek 5). Po zaimplementowaniu systemu ograniczono ryzyko zagrożeń. Ponowna jego ocena wskazała, że 27 zagrożeń należy do kategorii akceptowane, 6 sklasyfikowano jako tolerowane oraz 6 jako nieakceptowane.

Analizy wykazały, że zaimplementowanie zaprezentowanego w pracy [4] systemu monitorowania stanu psychofizycznego pilota i wspomagającego jego pracę w sytuacji niedoboru zasobów poznawczych może przyczynić się do ograniczenia ryzyka w 14 z 37 (ok. 40%) sformułowanych wcześniej zagrożeń.

Podsumowanie

Lotnictwo ogólne (GA) cieszy się coraz większą popularnością. Cechuje się ono bardzo dużą różnorodnością formy – od lotów biznesowych, przez widokowe, aż do rekreacyjnych. Dlatego identyfikacja źródeł zagrożeń powinna być przeprowadzana w wąskich obszarach analiz, z uwzględnieniem różnej specyfiki wykonywanych czynności.

Analiza w niniejszej pracy dotyczy elementu systemu zarządzania bezpieczeństwem, w postaci zagadnienia postępowania wobec ryzyka zagrożeń dla przyjętego obszaru analiz, jakim jest lot samolotu lotnictwa ogólnego w przestrzeni niekontrolowanej wykonywany zgodnie z przepisami dla lotów z widocznością. Wyrazem tego

postępowania jest m.in. powoływanie i badanie odpowiednich systemów bezpieczeństwa, umożliwiających redukcję ryzyka zagrożeń w wymagających tego obszarach. Jako przykład takiego systemu zaproponowano system monitorowania stanu psychofizycznego pilota i wspomagania jego działań w sytuacji niedoboru zasobów poznawczych w czasie rzeczywistym. Oszacowano zatem skutki wprowadzenia takiego systemu i wykazano, że możliwe jest dzięki niemu ograniczenie ryzyka zagrożeń.

Przedstawione rozważania potwierdzają postawioną tezę dotyczącą istnienia różnic w specyfice GA i CAT, niepozwalających na ich wspólne traktowanie w zarządzaniu bezpieczeństwem. Przyszłe systemy i metody powinny być zatem dedykowane dla rodzaju lotnictwa. Dodatkowo, zgodnie z propozycją rozszerzenia modelu SHELL powinny być opracowywane w przynajmniej trzech obszarach jednocześnie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Analiza przewozów pasażerskich w polskich portach lotniczych w 2017 roku., Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Wydział Statystyk i analiz, Warszawa, 2018.
- [2] Cieślak E. Bezpieczeństwo w lotnictwie. Bezpieczeństwo i niezawodność w lotnictwie, Toruń, 2009.
- [3] Fellner A., Osowski M. Uwzględnienie czynnika ludzkiego w analizie bezpieczeństwa procesu zarządzania zasobami ludzkimi. Problemy kryminalistyki, 2015, 290(4), 35-45.
- [4] Galant M. Ograniczanie ryzyka zagrożeń w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie systemu monitorującego stan psychofizyczny pilota, Rozprawa Doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2017.
- [5] Galant M., Merksiz J. Analysis of the possibilities of using EEG in assessing pilots' psychophysical condition. Scientific Journal of Silesian University of Technology.

Series Transport, vol. 95, pp. 39-46, 2017.

- [6] Grochowski M. Wnioski z badań zdarzeń lotniczych prowadzonych przez Komisję Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego. Bezpieczeństwo i niezawodność w lotnictwie, Toruń, 2009.
- [7] International Civil Aviation Organization, Safety Management Manual, Doc. 9859 ICAO, Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa, 2013.
- [8] Klich E. Bezpieczeństwo lotów. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 2011.
- [9] Krajowy Program Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym. Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa. Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa, 2016.
- [10] Lewandowski P. A. Statystyka Zdarzeń Lotniczych 2016/2017. Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych, Warszawa, 2018.
- [11] Łuczak K. (red.). Zarządzanie bezpieczeństwem w lotnictwie cywilnym. Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katowice, 2016.
- [12] Makarowski R., Smolicz T. Czynniki ludzkie w wypadkach lotniczych. Wyd. Adriana Aviation sp. z o.o., Kosowizna, 2012.
- [13] Merksiz J., Pielecha J., Markowski J., Galant M., Jasiński R., Gallas D. The analysis of air transport in Poland. International Conference on Air Transport INAIR 2015, Amsterdam, Holland, 2015.
- [14] Razin P., Kruszewski M., Niezgoda M., Kamiński T. Wybrane metody detekcji stanów zmęczenia u osób kierujących pojazdami. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 114, 2016.
- [15] UrbanyiPopiołek I. (red.). Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2013.
- [16] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. (Dz.U. 2002 Nr 130 poz. 1112), Prawo Lotnicze. Warszawa, Kancelaria Sejmu, 2002.

Badanie oddziaływań kontaktowych w obiekcie gruntowo-powłokowym z użyciem tensometrów

Investigations of contact interactions in buried corrugated metal structure by means of strain gauges



Czesław Machelski

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; Katedra Mostów i Kolei

czeslaw.machelski@pwr.edu.pl



Leszek Korusiewicz

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny; Katedra Wytrzymałości materiałów

Leszek.Korusiewicz@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule analizuje się rozkłady oddziaływań kontaktowych pomiędzy gruntem i powłoką w postaci składowych normalnych i stycznych. W obliczeniach wykorzystuje się wyniki pomiarów odkształceń jednostkowych uzyskane z tensometrów elektrooporowych. Przedstawiono algorytm przekształcania funkcji odkształceń na siły kontaktowe rozłożone wzdłuż pasma obwodowego powłoki. Przy regularnym rozstawie punktów pomiarowych korzystne jest ujęcie różnicowe rozwiązania. Skuteczność algorytmu wykazano na przykładzie badania realizowanego w warunkach laboratoryjnych, stosując statyczny układ sił jako obciążenie taborem kolejowym. Jako parametry zmienne analizy przyjęto intensywność obciążenia od wartości normowej do przewidywanej wartości granicznej. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci funkcji sił rozłożonych wzdłuż pasma obwodowego powłoki. Na przykładzie trzech przypadków wykazano w pracy, że siły kontaktowe, nawet przy prawie równomiernym rozkładzie obciążenia na naziemie, tworzą złożone funkcje, na dodatek znacznie odbiegające od proporcjonalności obciążenia.

Słowa kluczowe: Konstrukcje gruntowo-powłokowe; Oddziaływania kontaktowe; Obciążenia statyczne; Pomiary tensometryczne; Badania laboratoryjne

Abstract: This paper analyzes the distributions of contact soil-steel interactions in the form of normal and shear components. Unit strain measured by electrical resistance strain gauges are used in the calculations. An algorithm for transforming strain functions into contact forces distributed along the circumferential section of the steel shell is presented. When the measuring points are regularly spaced, it is advantageous to adopt the differential approach to the solution. The effectiveness of the algorithm has been demonstrated through a test conducted in laboratory conditions, using a static force system as the rolling stock load. The intensity of loading from the standard value to the predicted limit value was adopted as the variable parameter in the analysis. The results of the calculations are presented in the form of functions of the forces distributed along the shell's circumferential section. An analysis of three exemplary cases, carried out in this paper, has shown that even when the load distribution on the soil surcharge is almost uniform, the contact forces form composite functions. Moreover, the latter considerably diverge from load proportionality.

Keywords: Buried corrugated metal structures; Contact interactions; Static loads; Tensometric measurements; Laboratory tests.

Charakterystyczną cechą konstrukcji gruntowo-powłokowych, w odróżnieniu od klasycznych mostów, jest duży wpływ zasyпки gruntu i nawierzchni jezdni jako elementów nośnych obiektu [1]. Sztywność samej powłoki z blachy falistej jest niewielka. Podczas układania zasyпки podlega ona znacznej deformacji bowiem jest ona geometryczną formą ograniczającą wypełnienie gruntem w obiekcie mostowym. Z tego powodu przejmie ona pełne parcie gruntu tak samo jak ściana oporowa (ale podatna). Dopiero w otoczeniu zasyпки gruntu powłoka staje się efektyw-

nym elementem konstrukcji pozwalającym na przenoszenie znacznych, obciążeń komunikacyjnych.

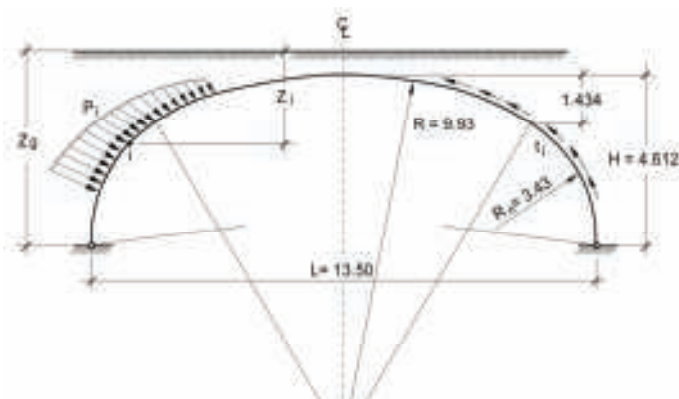
Do odwzorowania współdziałania powłoki z gruntem w warstwie kontaktowej konstrukcji gruntowo-powłokowych wykorzystuje się trzy grupy badań:

- a. przemieszczenia punktów powłoki, pozwalające na określenie deformacji pasma obwodowego [2, 3, 4];
- b. odkształcenia jednostkowe blachy falistej, służące do wyznaczenia sił wewnętrznych w paśmie

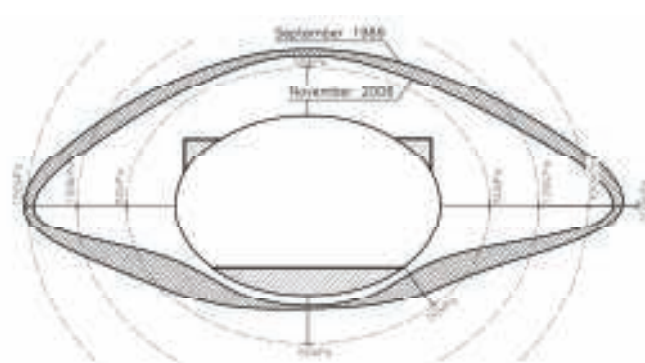
- c. bezpośredni pomiar parcia gruntu na powłokę [7, 8].

W każdej z tych grup pomiarowych realizuje się odmienną metodologię badawczą. Jednak w jej wyniku można uzyskać oddziaływania kontaktowe w postaci funkcji sił powierzchniowych, rozkładanych z reguły na dwie składowe: normalną p i styczną t , jak na rys. 1.

W trakcie budowy skutecznym jest sposób a. Wynikiem oddziaływań gruntu jest deformacja powłoki określana jako przemieszczenia punktów



1. Schemat sił kontaktowych podczas budowy obiektu [3]



2. Zmiana oddziaływania gruntu na powłokę w okresie eksploatacji obiektu [7]

miarowych w postaci składowych pionowych w i poziomych u . Pomiar realizowany jest z zastosowaniem technik geodezyjnych – wystarczająco dokładnych z uwagi na duże wartości przemieszczeń [9]. Na podstawie zależności przemieszczenie – oddziaływanie kontaktowe, w modelu pasma obwodowego powłoki jako elementu wydzielonego z układu konstrukcyjnego oblicza się składowe siły normalnych p i stycznych t .

Oddziaływania gruntu na powłokę są zmienne w czasie budowy jak również podczas eksploatacji. Na wartości sił wewnętrznych główny wpływ ma położenie analizowanego punktu względem poziomu zasypki z_g . Jednak istotne znaczenie ma oprócz cech fizycznych gruntu również technologia zagęszczania zasypki, jej grubości po obydwu stronach powłoki, użyty sprzęt, warunki klimatyczne, przerwy robocze. Efekty te o cechach losowych są odwzorowane w deformacji powłoki – są zapisem procesu budowy obiektu. Na podstawie przemieszczeń po zakończeniu budowy ocenia się jakość prac w

tych obiektach. Dla powłok o wyróżniającej się geometrii przygotowuje się prognozę przemieszczeń – analogicznie jak w programie sprężenia mostów betonowych.

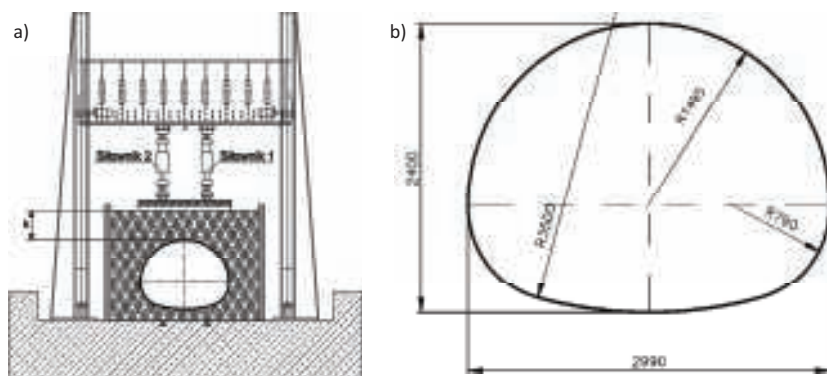
W przypadku obciążeń użytkowych skutecznym jest sposób b omawiany w pracy. Jest on szczególnie przydatny, gdy występuje regularny rozstaw czujników pomiarowych (tensometrów) na paśmie obwodowym powłoki. W niniejszej pracy analizuje się efekt doraźny obciążenia, traktowany jako statyczny. Wyniki tych analiz mogą służyć do oceny skuteczności klasycznych modeli geotechnicznych [10, 11, 12, 13].

Bezpośredni pomiar parcia gruntu, stosowany w sposobie c (z wykorzystaniem presjometrów), nie wymaga modelowania oddziaływania gruntu na powłokę [8]. Może być on wykorzystany do obserwacji zmian oddziaływań pomiędzy gruntem a powłoką w obiekcie podczas jego eksploatacji. Na rysunku 2 przedstawiono jeden z przykładów wyników badań obiektu w Dovre (Norwegia). Powłokę wykonano jako elipsę po-

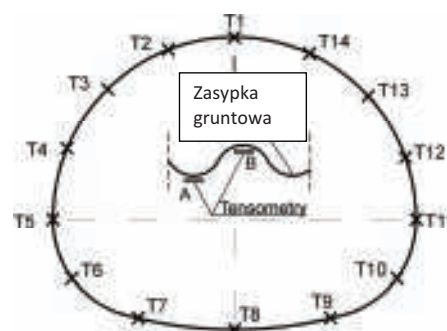
ziomą o rozpiętości $L = 10,78$ m i wysokości $H = 7,13$ m z naziemem o grubości 4,2 m. Powłokę utworzono z blachy falistej o typowym profilu MP 200×55×7. W narożach powłoki wykonano betonowe żebra usztywniające o kształcie trójkątnego przekroju poprzecznego, widoczne na rys. 2.

Największe wartości składowej normalnej oddziaływania p uzyskano na głębokości 7,8 m od poziomu jezdni (naziemu). W podsumowaniu wyników badań z tych pomiarów [7] stwierdzono 30% redukcję nacisku na powłokę po dwudziestoletniej eksploatacji. W tej technice pomiarowej trudnością jest określenie sił stycznych. Wadą układu pomiarowego jest ingerencja w ośrodek gruntowy.

W modelach obliczeniowych MES obiektów gruntowo-powłokowych [10] wyróżnia się dwa podukłady konstrukcyjne: powłokę z blachy falistej oraz pozostałą część w postaci zasypki gruntowej, nawierzchni i podbudowy jezdni. Drugi podukład jest trudny do identyfikacji. Zatem określenie oddziaływań wzajemnych



3. Schemat stanowiska badawczego i geometria pasma obwodowego powłoki



4. Schemat rozmieszczenia tensometrów na paśmie obwodowym powłoki

gruntu na powłokę pozwala na redukcję modelu obiektu do wydzielonego pasma obwodowego. Wyniki podane w pracy mogą być również wykorzystywane do modelowania oddziaływania kontaktowego styku powłoki i gruntu.

Opis badanej konstrukcji

Analizowany model obiektu o konstrukcji gruntowo-powłokowej, jak na rys. 3a, wybudowano na terenie Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Żmigrodzie. Powłokę typu Multiplate wykonano z blach falistych MP 150×50×3,75 mm o profilu zamkniętym i kształcie jak rys. 3b, o długości $L = 14,4$ m.

W badaniach deformacji i sił wewnętrznych powłoki wykorzystano bazę pomiarową przedstawioną na rys. 4. Na wybranym środkowym paśmie obwodowym naklejono na dostępnej od wewnątrz powierzchni blachy falistej tensometry elektrooporowe. Zastosowano regularny odstęp pomiędzy tensometrami $2b = 0,631$ m. W każdym punkcie pomiarowym czujniki rozmieszczano parami, w wierzchołku i dolinie korugacji, usytuowane w kierunku obwodowym.

W ogólnym programie badań

modelu przepustu stosowano wiele wariantów obciążenia statycznego i cyklicznego. Badania obiektu realizowano przy kilku grubościach naziomu i różnych schematach obciążenia. Wyniki badań przedstawiane w pracy dotyczą minimalnej grubości zasypki, czyli naziomu wynoszącego w kłuczu powłoki $h = 0,6$ m. Wybrano jako obciążenia symulujące tabor kolejowy, normowy schemat UIC 71 przyjmowany do projektowania obiektów mostowych. Układ sił obciążenia o sumarycznej wartości P pomiędzy siłownikami a badanym modelem rozkładano z użyciem dwóch warstw podkładów kolejowych i ułożonej na nich płyty stalowej, jak na rys. 3a. W doborze siły P uwzględniono współczynnik dynamiczny dla danej wartości naziomu h . W pracy przedstawiono wybrane wyniki z jednego układu pomiarowego, oznaczone dalej jako:

- schemat A – rozpoczynający serię obciążeń z siłą $P = 586$ kN;
- schemat B – trzecie, kolejne obciążenie jak w schemacie A;
- schemat C – maksymalne obciążenie z siłą $P = 1500$ kN.

Zależność odkształcenie powłoki – oddziaływanie gruntu

Bliźniaczy układ czujników, przy

przyjęciu zasady płaskich przekrojów, umożliwia wyznaczenie odkształceń w osi bezwładności przekroju poprzecznego blachy falistej jak w zależności

$$\varepsilon_o = \frac{\varepsilon_A(f-t) + \varepsilon_B(f+t)}{2f} \quad (1)$$

We wzorze (1) ujęta jest geometria blachy falistej MP $ax \times f \times t$. W analizowanym przypadku blachy występują następujące wymiary: MP 150×50×3,75 mm. Do określenia zmiany promienia krzywizny powłoki można wykorzystać zależności geometryczne blachy oraz ε_A i ε_B jak w równaniu

$$\rho = \frac{\varepsilon_A - \varepsilon_B}{f} \quad (2)$$

Wyznaczone w (1) i (2) wielkości geometryczne wykorzystuje się do określenia sił wewnętrznych w powłoce: siły osiowej

$$n = \frac{E \cdot A}{a} \varepsilon_o \quad (3)$$

oraz momentu zginającego

$$m = \frac{E \cdot I}{a} \rho \quad (4)$$

gdzie: $A/a = 4,70$ mm²/mm i $I/a = 1432,6$ mm⁴/mm są charakterystykami geometrycznymi przekroju poprzecznego blachy falistej (o długości fali a) natomiast $E = 205000$ MPa jest cechą wytrzymałościową materiału (stali).

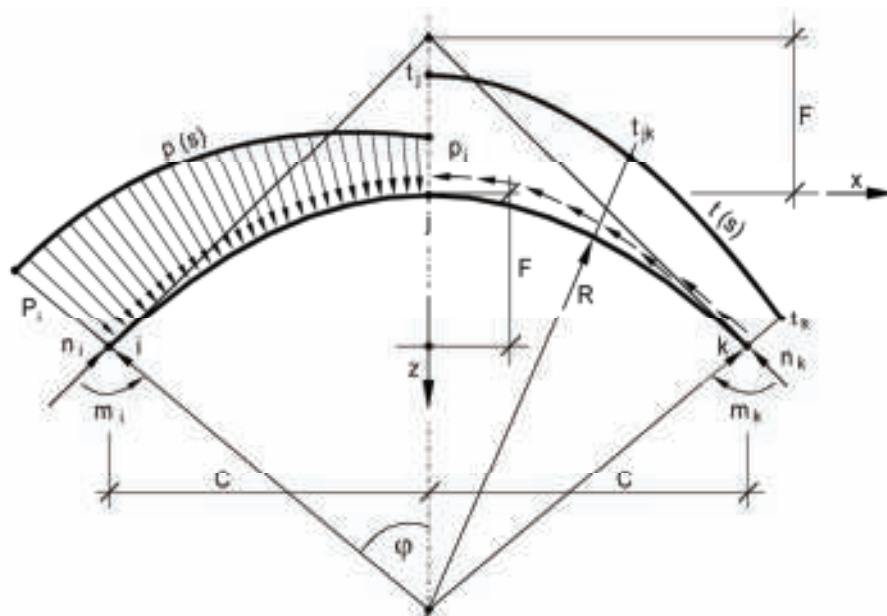
Z zależności statycznych sił wewnętrznych n i m jako funkcji odległości pomiędzy punktami, ale licznymi wzdłuż pasma obwodowego powłoki jako wycinek koła o długości cięciwy b , otrzymuje się w ujęciu różnicowym oddziaływania normalne

$$p_j = \frac{m_i - 2m_j + m_k}{b^2} + \frac{n_j}{R} \quad (5)$$

oraz styczne

$$t_{jk} = \frac{n_j - n_k}{b} + \frac{m_j - m_k}{b \cdot R} \quad (6)$$

Wartość p_j obliczana jest w punkcie pomiarowym powłoki j , natomiast siły t_{jk} pomiędzy punktami j oraz k , jak



5. Oznaczenia sił wewnętrznych i oddziaływań gruntu na powłokę

na rys. 5. W niniejszej pracy, w celu zwiększenia dokładności wykresów, wprowadzono dodatkowe punkty pośrednie pomiędzy pomiarowymi, jak na rys. 4. Stąd długości łuku pomiędzy punktami pomiarowymi wynoszą $2b = 0,631$ m. We wzorach (5) i (6) promienie krzywizny powłoki R na długości pasma obwodowego są

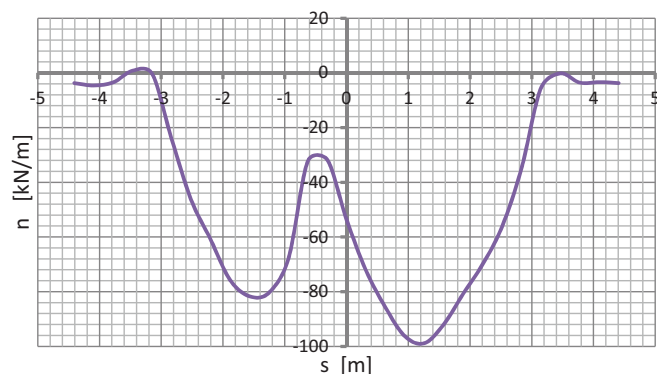
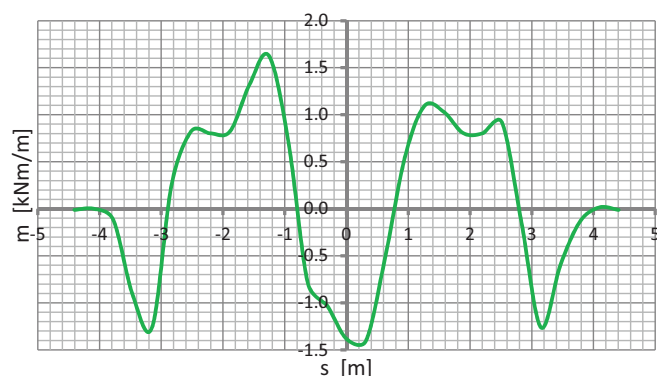
zróżnicowane ($R = 1,495$ m w części górnej, $R_n = 0,79$ m w części narożnej i $R_d = 3,50$ m w podstawie).

Z wycinka powłoki, jak na rys. 5, wynikają następujące zależności geometryczne: odległość pomiędzy punktami pomiarowymi ($2C$ - długość cięciwy)

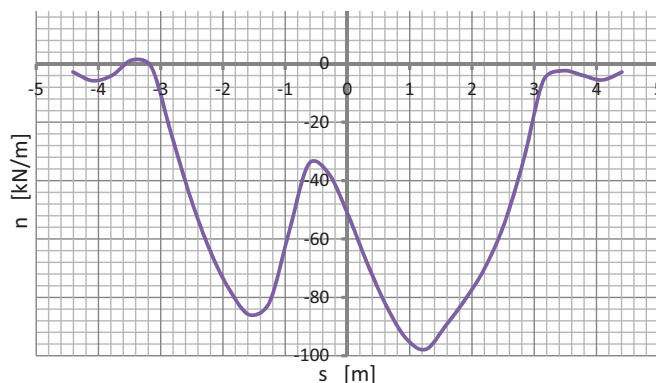
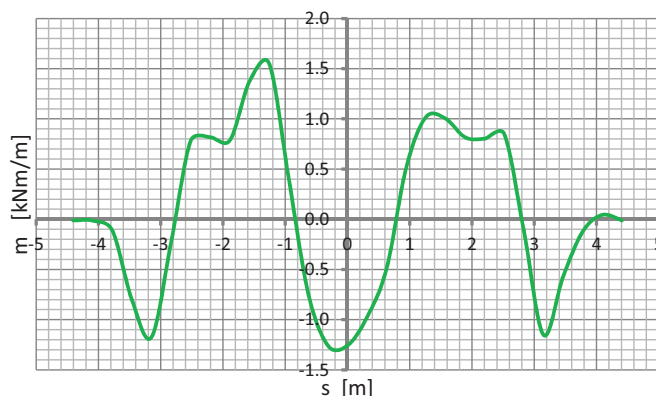
$$C^2 = F(2R - F) \quad (7)$$

oraz długość łuku pomiędzy punktami pomiarowymi

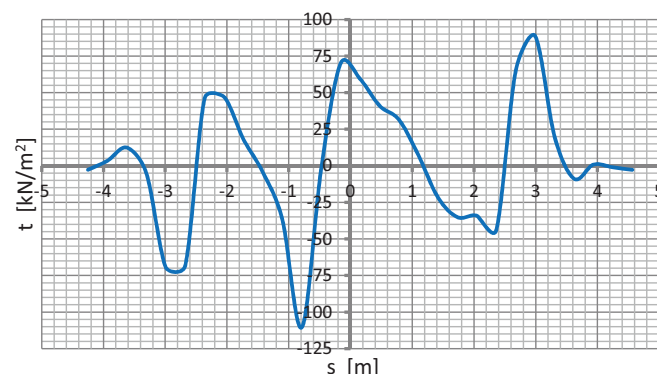
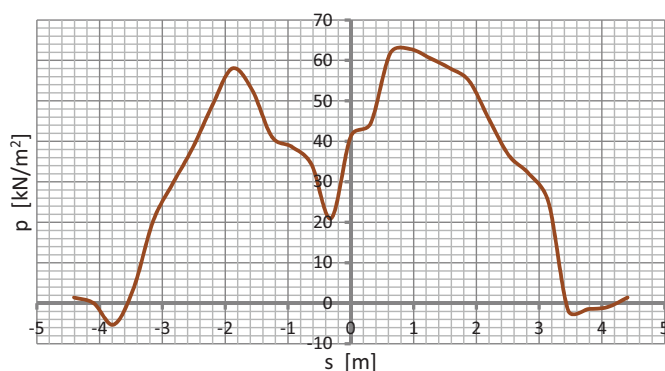
$$2b = 2\varphi \cdot R \quad (8)$$



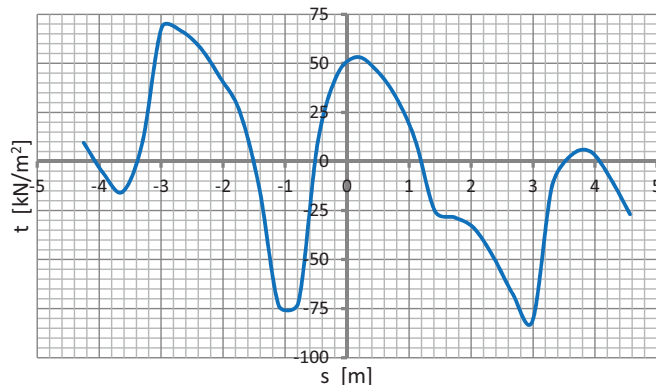
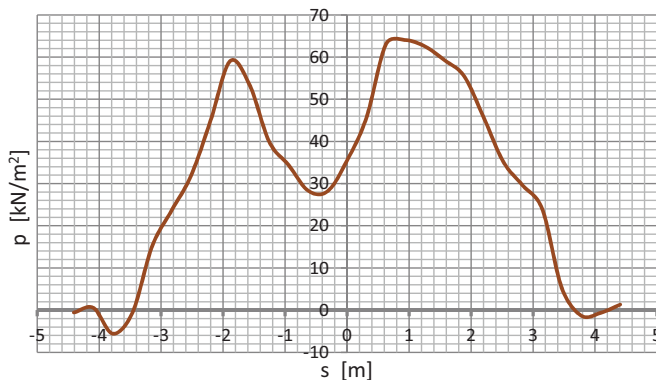
6. Siły wewnętrzne w paśmie obwodowym powłoki w schemacie A



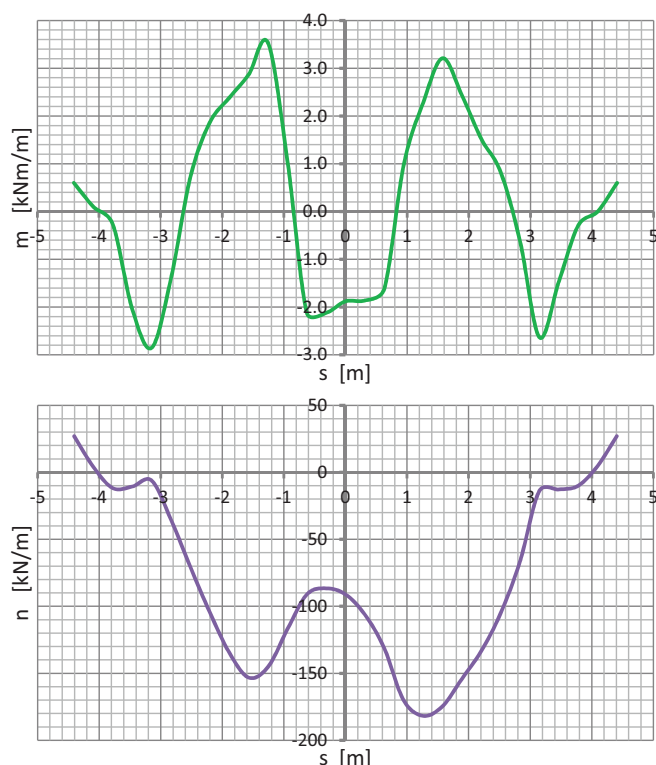
8. Siły wewnętrzne w paśmie obwodowym powłoki w schemacie B



7. Oddziaływania gruntu na długości pasma obwodowego powłoki w schemacie A



9. Oddziaływania gruntu na długości pasma obwodowego powłoki w schemacie B



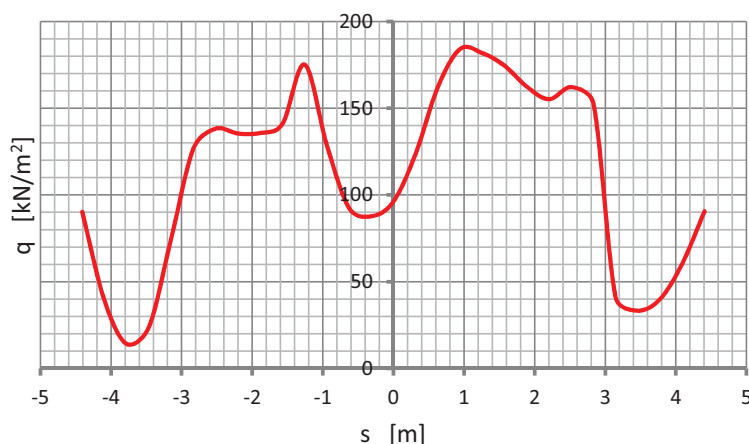
10. Siły wewnętrzne w paśmie obwodowym powłoki w schemacie C

Intensywność oddziaływań kontaktowych.

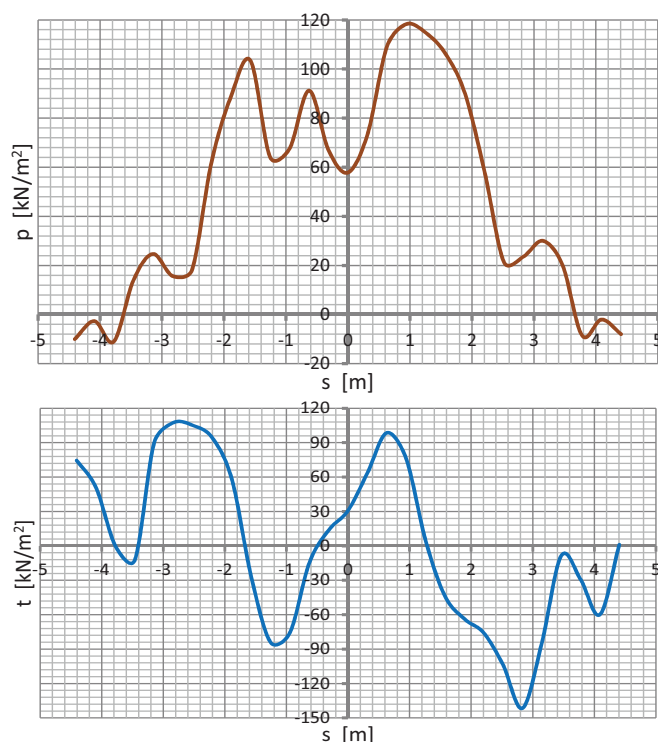
Na rysunkach 6 – 11 wartość s jest odległością analizowanego przekroju od klucza powłoki, ale liczoną wzdłuż pasma obwodowego powłoki (gdy $s = 0$ punkt położony jest w osi symetrii konstrukcji T1). Zatem odległości punktów pomiarowych po lewej stronie powłoki są ujemne, o wartościach

$$s_i = -2b(i-1) \text{ [m]} \quad (9)$$

gdy i jest numerem punktu pomiarowego, jak na rys. 4, a $2b = 0,631$ m. Na



12. Wypadkowe oddziaływania gruntu na długości pasma obwodowego powłoki w schemacie C



11. Oddziaływania gruntu na długości pasma obwodowego powłoki w schemacie C

rysunkach podanych w tym rozdziale przyjęto jako zasadę, że wartości ujemne s oznaczają lewą część powłoki (T1 – T8) a dodatnie jej prawą stronę (T14 – T8).

Z postaci wszystkich wykresów podanych w pracy wynika niewielkie przesunięcie wyników pomiarów w odniesieniu do osi symetrii powłoki. Z tego powodu wykresy, przy założonej symetrii obciążenia, są nieco inne po lewej i prawej stronie pasma obwodowego powłoki. Na wykresach przedstawionych poniżej występują charakterystyczne miejsca oddalone od klucza powłoki. Gdy $s = 8b = \pm 2,52$ m, wyniki dotyczą punktów T5 i

T11 położonych na poziomie rozpiętości powłoki L . Wartości $s = 4b = \pm 1,26$ m odpowiadają punkty T3 i T13 powłoki.

Schemat A dotyczy pomiarów inicjujących cykl obciążeń w tym samym układzie pomiarowym (ale nie pierwszym w całym programie badań). W kluczu występują maksymalne ujemne momenty zginające, ale w kilku innych miejscach powstają momenty o zbliżonych wartościach (również ujemne i dodatnie). Na wykresach $m(s)$ i $n(s)$ widoczne jest charakterystyczne miejsce, gdy $\varphi = 45^\circ$ czyli $s = \pi R/4 = \pm 1,17$ m, w którym występują największe wartości sił wewnętrznych w powłoce. Z wykresu oddziaływań normalnych p widoczne jest przesunięcie układu obciążenia w odniesieniu do symetrii (z założenia) powłoki. Odległość pomiędzy maksymalnymi oddziaływaniami normalnymi $p(s)$ wynosi ok. $s = 8b = 2,52$ m.

Schemat B dotyczy pomiarów uzyskanych w trzecim cyklu obciążeniu jak w schemacie A. Analogiczne wykresy sił wewnętrznych wskazują na niezmiennosc układu konstrukcji. W przypadku sił stycznych $t(s)$ widoczna

Tab. 1. Porównanie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych i kontaktowych

Schemat obciążenia	Analizowane wielkości statyczne			
	m [kNm/m]	n [kN/m]	p [kN/m ²]	t [kN/m ²]
A	1,63	98,9	62,8	-110,4
B	1,55	97,8	60,8	-81,3
C	3,53	181,8	117,9	-129,5
C/A	2,17	1,84	1,88	1,17

jest znaczna różnica po prawej stronie powłoki – zmiana znaku w strefie punktów T10 – T1 (jak na rysunkach **7** i **9**). Schemat C miał istotne znaczenie w ocenie bezpieczeństwa obiektu, bowiem obciążenie (siłę P) zwiększono $1500/586 = 2,56$ razy w odniesieniu do wartości normowej, jak w schemacie A. W tablicy **1** porównano wartości maksymalne uzyskane w analizowanych schematach obciążeń oznaczone jako C/A. Największy przyrost uzyskano w przypadku momentów zginających m , w zasadzie zbliżony do proporcji zmiany obciążenia. Znacznie mniej bo o połowę przyrostu obciążenia zwiększyły się siły osiowe n , podobnie jak oddziaływania normalne p . Natomiast siły styczne t pozostały prawie na niezmienionym poziomie i z podobnym rozkładem jak w schemacie B. Zatem oddziaływania gruntu na powłokę nie zmieniają się proporcjonalnie do obciążenia.

Na rysunkach **6** – **11** przedstawiono wyniki badania obiektu o naturalnych wymiarach i obciążeniu ruchomym (kolejowym) o normowej wartości w postaci układu sił P . W eksploatowanym obiekcie (i badanym) oddziaływania gruntu pochodzące od ciężaru własnego (zasytki gruntowej i nawierzchni) podlegają sumowaniu z efektem obciążenia zewnętrznego. W wartościach oddziaływań normalnych $p(P)$, podanych na wykresach, nie uwzględniono parcia gruntu $p(z_g)$ powstałego podczas układania zasytki, jak na rys. **1** i ciężaru konstrukcji przekazywania obciążenia, jak na rys. **2b**. Z tego powodu oddziaływania styczne $t(P)$ podane na tych wykresach mogą być równo-

ważne $p(P)$, a proporcja $t(P)/p(P+z_g)$ nie oznacza przekroczenia wartości współczynnika tarcia gruntu o powłokę.

Na rys. **12** przedstawiono wykres wypadkowego oddziaływania gruntu na powłokę obliczonego na podstawie składowych p i t , jak we wzorze

$$q = \sqrt{p^2 + t^2} \quad (10)$$

dla schematu C. Z wykresu $q(s)$ widoczny jest prawie równomierny rozkład oddziaływania w zakresie $-2,8 < s < 2,9$ m, czyli w zakresie punktów T5 – T1 – T11 (jak na rys. **4**).

Podsumowanie

Podczas badań przy obciążeniu niszczącym w powłoce uzyskano maksymalne naprężenie $\sigma = 96,4$ MPa w punkcie T3. Przy realizacji obciążenia normowego uzyskano $\sigma = 47,4$ MPa, a więc połowę z poprzedniej wartości. Wartości tych naprężeń są znacznie mniejsze od wytrzymałości stali S235JRG2 blachy falistej. W ogólności, w obiektach poddanych eksploatacji – o większej rozpiętości, naprężenia od obciążeń użytkowych są znacznie mniejsze.

Funkcje oddziaływań gruntu na powłokę $p(s)$ i $t(s)$ zależą od położenia układu sił na płaszczyźnie naziomu i ich rozkładu przez nawierzchnię (kolejową). Oddziaływania normalne $p(s)$ przyjmują postać jednorodną co do znaku ale o złożonym kształcie wynikającym również z geometrii pasma obwodowego powłoki, czyli promieni krzywizny, jak na rys. **3b**. Z porównania wykresów $n(s)$ i $p(s)$ wi-

doczne jest ich duże podobieństwo. Istotne znaczenie na wartości $p(s)$ ma również zginanie, jak we wzorze (5).

Wyniki analiz podane w pracy wskazują na duży udział obciążeń stycznych $t(s)$ w oddziaływaniu gruntu na powłokę. Jest to ważne w przypadku odwzorowania warstwy kontaktowej w modelowaniu konstrukcji w MES. W kształcie tych wykresów widoczny jest wpływ geometrii pasma obwodowego powłoki, czyli promieni krzywizny, jak we wzorze (6), ale również schemat obciążenia naziomu. Istotne znaczenie w funkcjach sił wewnętrznych w powłoce $n(s)$ i $m(s)$ mają wartości $t(s)$, często przekraczające $p(s)$. Oddziaływania gruntu na powłokę nie zmieniają się proporcjonalnie do obciążenia. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Machelski C.: Sztywność obiektu mostowego jako parametru użytkowego konstrukcji inżynierskich. Przegląd Komunikacyjny, 2/2016, s. 27-32.
- [2] Machelski C.: Estimation of internal forces in the shell of soil-steel structures on the basis of its displacements during backfilling. Studies Geotechnica at Mechanica, 1/2009, pp. 19-38.
- [3] Machelski C.: Szacowanie oddziaływania zasytki na powłokę w obiekcie gruntowo-powłokowym na podstawie deformacji powłoki. Przegląd Komunikacyjny, 11/2016, s. 31-36
- [4] Machelski C.: Oddziaływania pojazdu na powłokę w obiektach gruntowo-powłokowych. Przegląd Komunikacyjny, 9/2017, s. 5-10.
- [5] Korusiewicz L., Chruścielski G., Jasiński R.: Practical aspects of strains, stresses and internal forces estimation during field and laboratory tests of corrugated culverts. Archives of Institute of Civil Engineering, 12, 2012, pp. 117-131

- [6] Korusiewicz L.: Badania w czasie zasypywania gruntowo-powłokowej konstrukcji o dużej rozpiętości wykonanej bez dodatkowych elementów usztywniających. Roads and Bridges – Drogi i Mosty, 14, 3, 2015, s. 203-218
- [7] Vaslestad J., Kunecki B., Johansen T. H.: Twenty one year pressure measurements on buried flexible steel structure. Archives of Institute of Civil Engineering, No 1/2007, pp. 233-244.
- [8] Vaslestad J.: Long-term behaviour of flexible large-span culverts, Publication No.74, Norwegian Public Roads Administration, Oslo 1994, pp. 38-56.
- [9] Machelski C.: Skuteczność pomiarów geodezyjnych podczas budowy obiektów gruntowo-powłokowych. Mosty, 8/2016 s. 24-28.
- [10] Szajna W.S.: Numerical model for the analysis of construction process of soil-steel culverts. Archives of Institute of Civil Engineering, No 1/2007, pp. 215-223.
- [11] Bakht B.: Evaluations of the design methods for soil-steel structures in Canada. Archives of Institute of Civil Engineering, No 1/2007, pp. 7-22.
- [12] Jaske T., Przedecki T., Rossiński B.: Mechanika gruntów. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1966.
- [13] Klöppel K., Glöck D.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den Traglastproblemen bigeweicher in die Erde ein gebetteter Rohre. Veröffentlichung des Instituts Statik und Stahlbau der Technische Hochschule Darmstadt, 3/1979, H-10.

REKLAMA



- Rury stalowe spiralnie karbowane
- Konstrukcje ze stalowych blach falistych
- Rury przepustowe z PP i HDPE
- System kanalizacji deszczowej i sanitarnej
- Ściany oporowe z gruntu zbrojonego
- Zbiorniki retencyjne
- Geosyntetyki
- Mosty kratowe
- Gabiony
- Konstrukcje inżynierskie z żelbetowych elementów prefabrykowanych
- Płotki ochronno-naprowadzające dla pólów

ViaCon Polska Sp. z o.o.
ul. Przemysłowa 6
64-130 Rydzyna
tel.: +48 65 525 45 45
fax: +48 65 525 45 55
office@viacon.pl

www.viacon.pl

Szanowni Czytelnicy!

W roku 2018 ukazało się 12 numerów Przeglądu Komunikacyjnego z 80 artykułami. Napisało je rekordowo 128 autorów. Wszystkie artykuły są dostępne on-line. Można skorzystać z wyszukiwarki dostępnej na stronie internetowej czasopisma:

przegląd.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Dziękujemy serdecznie wszystkim Autorom oraz Recenzentom za Ich wkład w treść Przeglądu Komunikacyjnego.



Zestawienie tematyczne artykułów (według działów)

Transport drogowy / Infrastruktura drogową, Drogi rowerowe

Analiza rozwoju i bezpieczeństwa komunikacji rowerowej na terenie Szczecina, Tomasz Stoeck, 5/2018, s.27

Analysis of the bus traffic volume on rural national roads, Malwina Spławińska, 7/2018, s.7

Zastosowanie mieszanek popiołowożużlowych w budownictwie drogowym w świetle obowiązujących przepisów Patryk Damian Lewandowski, Michał Pachnicz, 8/2018, s.18

Projektowanie, budowa, utrzymanie autostrad i dróg ekspresowych – numer specjalny 11/2018

Identyfikacja parametrów drogowych wpływających na prędkość odcinkową pojazdów samochodowych na drogach zamieszanych, Robert Ziolkowski, 11/2018, s.2

Jak rozwiązać Węzeł Bielański, Maciej Krużyna, 11/2018, s.6

Konstrukcje nawierzchni dróg szybkiego ruchu - klasy A i S, na Dolnym Śląsku. Stan na koniec 2018r., Arkadiusz Polecki, 11/2018, s.10

Analiza kosztów budowy i utrzymania nawierzchni sztywnych i podatnych, Antoni Szydło, Piotr Mackiewicz, 11/2018, s.14

Indywidualne projektowanie nawierzchni w kontraktach prowadzonych w formule „projektuj-buduj”, Bartosz Budziński, Stanisław Majer, 11/2018, s.20

Badanie wpływu rodzaju asfaltu na odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania odbite z wykorzystaniem urządzenia Texas Overlay Tester (TxOT), Piotr Jaskuła, Cezary Szydłowski, Marcin Stienss, 11/2018, s.24

Zastosowanie kruszywa betonowego z recyklingu w mieszankach mineralno-cementowo-emulsyjnych, Łukasz Skotnicki, Jarosław Kuźniowski, 11/2018, s.30

Przydatność materiałów pochodzących z recyklingu betonu przy realizacji budowli ziemnych i podłoża ulepszonego obiektów infrastruktury transportowej, Bartłomiej Krawczyk, Elżbieta Stilger-Szydło, 11/2018, s.37

Betony asfaltowe z udziałem katalizatora metaloorganicznego do nawierzchni autostrad i dróg Ekspresowych, Paweł Mieczkowski, Robert Jurczak, Bartosz Budziński, 11/2018, s.44

Analiza wpływu technologii wykończenia nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne, Piotr Mackiewicz, Antoni Szydło, 11/2018, s.49

Ocena terenowa spękań niskotemperaturowych i nośności nawierzchni wybra-

nnych odcinków dróg w Polsce Północno-Wschodniej, Piotr Jaskuła, Mariusz Jaczewski, Dawid Ryś, Marek Pszczoła, 11/2018, s.55

Procesy regeneracji mieszanek mineralno-asfaltowych, Eryk Mączka, 11/2018, s.60

Projektowanie, budowa i utrzymanie lotnisk – numer specjalny 12/2018

Nieustabilizowane podejścia do lądowania w szkoleniu lotniczym na podstawie systemu monitorowania zdarzeń (FDM4GA), Łukasz Puzio, Mateusz Milewski, Robert Sklorz, Arkadiusz Tofil, 12/2018, s.2

Rola i funkcja naturalnych nawierzchni lotniskowych w systemie zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, Mariusz Wesołowski, Krzysztof Blacha, Paweł Iwanowski, Paweł Pietruszewski, 12/2018, s.6

Lotniskowe nawierzchnie na powłokach lodowych jezior, Franciszek Kaźmierczyk, Piotr Nita, 12/2018, s.11

Ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem urządzeń do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia, Mariusz Wesołowski, Krzysztof Blacha, Agata Kowalewska, Paweł Iwanowski, 12/2018, s.16

Ocena równości nawierzchni lotniskowych w aspekcie obowiązujących dokumentów normatywnych, Mariusz Wesołowski, Paweł Pietruszewski, Adam Poświata, Danuta Kowalska, 12/2018, s.24

Betonowa płyta prefabrykowana jako technologia odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych, Mariusz Wesołowski, Bartosz Świerzewski, 12/2018, s.30

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych przy użyciu urządzeń ze sztucznie wymuszonym dociskiem, Andrzej Pożarycki, Tomasz Moralewski, Mariusz Wesołowski, 12/2018, s.37

Standaryzacja i integracja procesu projektowania planów generalnych portów lotniczych, Michał Kozłowski, 12/2018, s.42

Analiza możliwości zwiększenia bezpieczeństwa w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie nowych technologii, Marta Galant, 12/2018, s.49

Badanie oddziaływań kontaktowych w obiekcie gruntowo-powłokowym z użyciem tensometrów, Czesław Machelski, Leszek Korusiewicz, 12/2018, s.54

Odporność infrastruktury krytycznej lotnisk użytku publicznego – numer specjalny 1/2018

Założenia teorii CPTED w uodpornieniu infrastruktury krytycznej portu lotniczego, Agata Tyburska, 1/2018, s.2

Zdefiniowanie przyczyn i okoliczności wypadków lotniczych w postępowaniach przygotowawczych związanych z ich zaistnieniem, Robert Konieczka, 1/2018, s.8

Safety and security. Odpowiedzialność cywilna zarządzającego portem lotniczym, Sylwia Kaczyńska, 1/2018, s.12

Wykorzystanie programu gLAB w precyzyjnym pozycjonowaniu statku powietrznego w transporcie lotniczym - testy lotnicze w Dęblinie i Mielcu, Henryk Jafernik, Kamil Krasuski, Janusz Ćwiklak, 1/2018, s.19

Rozszerzenie kompetencji Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego na lotniska użytku publicznego, Piotr Kasprzyk, Mikołaj Doscoc, 1/2018, s.24

Bezpieczeństwo i niezawodność w lotnictwie – numer specjalny 9/2018

Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa przestrzeni powietrznej w czasie bieżącym, Anita Linka, Agnieszka Wroblewska, 9/2018, s.2

Podnoszenie poziomu bezpieczeństwa wykonywania naziemnych operacji lotniskowych poprzez wdrożenie autonomicznego systemu nadzoru i bezpieczeństwa, Anita Linka, Agnieszka Wroblewska, 9/2018, s.6

Zastosowanie geokrat do zapewnienia nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, Mariusz Wesołowski, Danuta Kowalska, Agata Kowalewska, Aleksandra Rumak, 9/2018, s.11

Wybrane problemy materiałowych badań łóżysk tocznych przystosowanych do pracy w podwyższonych temperaturach, Krzysztof Łęczycki, 9/2018, s.17

Wybrane problemy materiałowych badań uszkodzeń tarcz sprężarkowych wyko-

nanych ze stopu tytanu, Anna Krupińska, 9/2018, s.23

Infrastruktura i transport lotniczy

Technologie kosmiczne w Instytucie Lotnictwa, Leszek Lorocho, Adam Okniński, Grzegorz Rarata, Paweł Surmacz, Mariusz Kacprzak, Mariusz Krawczyk, Dawid Cieśliński, Kamil Sobczak, Piotr Wolański, 1/2018, s.34

Środki umożliwiające zwalczanie terroryzmu lotniczego, Agnieszka Fortońska, 4/2018, s.26

Kształtowanie mobilności, sterowanie ruchem

Rozwój przestrzenny a dostępność komunikacyjna wrocławskich suburbiów na przykładzie Siechnic, Smolca i Długoleki, Marek Jaskolski, Mateusz Smolarski, 2/2018, s.4

Dostępność łódzkich parków w świetle transportu indywidualnego, zbiorowego i rowerowego, Marta Borowska-Stefańska, Szymon Wiśniewski, 2/2018, s.9

Analiza połączeń komunikacji miejskiej na trasie linii kolejowej Szczecin Główny – Police na podstawie badań własnych Karol F. Abramek, Paweł Regulski, 2/2018, s.17

Problemy osób z niepełnosprawnościami w transporcie publicznym w Polsce w kontekście badań w krajach Grupy Wyszehradzkiej, Elżbieta Marciszewska, Izabela Bergel, Jaroslav, Matuška, Věra Zahorova, 3/2018, s.14

Analiza wpływu sygnalizacji świetlnej na funkcjonowanie komunikacji zbiorowej w obrębie pl. Kościuszki we Wrocławiu Emilia Skupień, Mateusz Rydlewski, 4/2018, s.2

Problemy osób z niepełnosprawnościami w transporcie publicznym Republiki Czeskiej w kontekście wyników badań przeprowadzonych w Polsce, Izabela Bergel, Elżbieta Marciszewska, Jaroslav Matuška, Věra Zahorova, 4/2018, s.8

Analiza infrastruktury i organizacji obsługi pasażerów komunikacji zbiorowej przy stacji kolejowej Poznań Główny, Elżbieta Plucińska, 5/2018, s.15

Integracja głównych dworców autobusowych i kolejowych w miastach wojew-

wódkich w Polsce, Wojciech Jurkowski, 5/2018, s.22

Wydatki gospodarstw domowych 50+ na transport i łączność – analiza statystyczna, Iwona Bąk, Beata Szczecińska, 7/2018, s.14

Wpływ czynników jakościowych komunikacji miejskiej w Polsce na substytucję środka Transportu, Michał Zajfert, 8/2018, s.2

Analiza symulacyjna etapowej realizacji zachodnich odcinków III obwodnicy Krakowa i ich oddziaływania na układ transportowy, Arkadiusz Drabicki, Andrzej Szarata, Rafał Kucharski, 8/2018, s.10

Układ sieciowy terminali warunkiem dalszego rozwoju przewozów intermodalnych, Janusz Dyduch, Henryk Zielaskiewicz, 9/2018, s.28

Transport szynowy, Infrastruktura transportu szynowego

Kolejowe przejścia graniczne na granicy polsko-czeskiej. Stopień wykorzystania i oferta przewozowa, Mateusz Smolarski, 3/2018, s.2

Bezpośrednie inwestycje zagraniczne w pozamiejskim transporcie zbiorowym w krajach Grupy Wyszehradzkiej, Zbigniew Taylor, Ariel Ciechański, 3/2018, s.7

Wpływ zastosowania wibroizolatorów sprężynowych w konstrukcji nawierzchni torowej na tłumienie drgań od torowiska, Ewelina Kwiatkowska, Wiesław Fiebig, 5/2018, s.2

Badania zużycia bocznego iglic w rozjazdach kolejowych, Grzegorz Stencel, 5/2018, s.6

Best practices for the monitoring of railway assets, Guillaume G., Huguet S., 5/2018, s.9

Odpowiedź dynamiczna drogi szynowej w kierunku wzdłużnym, Włodzimierz Czyczula, Łukasz Chudyba, 7/2018, s.2

RAMS w zakresie rozjazdów kolejowych, Ewelina Kwiatkowska, 7/2018, s.19

Koncepcja zintegrowanego systemu transportu szynowego w Radomiu z tramwajami dwusystemowymi, Paweł Wontorski, 7/2018, s.23

Innowacyjne metody diagnostyki rozjazdów kolejowych, Ewelina Kwiatkowska, 8/2018, s.22

Ocena przydatności różnych technik pomiaru geometrii układów torowych do opracowania projektów regulacji osi toru Waldemar Odziemczyk, Marek Woźniak, 8/2018, s.27

Projektowanie, utrzymanie i budowa infrastruktury w transporcie szynowym – numery specjalne: 6/2018 i 10/2018

Praca podkładu kolejowego jako konstrukcji o zmiennym przekroju poprzecznym – zagadnienie ekwiwalentnego przekroju, Włodzimierz Czyczula, Dorota Błasziewicz, Małgorzata Urbanek, 6/2018, s.2

Drgania sieci trakcyjnej spowodowane przejazdem pociągu dużych prędkości przez nierówność progową toru kolejowego, Danuta Bryja, Adam Popiołek, 6/2018, s.7

Przekładki podszytowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności, Igor Gisterek, 6/2018, s.13

Badanie i ocena sztywności nawierzchni kolejowej w oparciu o nową metodę pomiaru, Juliusz Sołkowski, Dawid Siemieński, 6/2018, s.18

Działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia, Jacek Makuch, 6/2018, s.22

Bezpieczeństwo systemów srk a nowe technologie informacyjne, Andrzej Lewiński, 6/2018, s.29

Zarządzanie majątkiem technicznym jako podstawa racjonalnego planowania rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej – założenia i przegląd systemów, Maciej Kaczorek, Aleksandra Falana, 6/2018, s.39

Wpływ nacisku koła pojazdu i powstających imperfekcji podparcia bezстыkowego toru kolejowego na jego pracę podczas eksploatacji, Włodzimierz Andrzej Bednarek, 10/2018, s.2

Rozprzestrzenianie się w podtorzu skutków katastrof kolejowych z udziałem materiałów Niebezpiecznych, Eligiusz Mieloszyk, Sławomir Grulkowski, Anita Milewska, 10/2018, s.9

Problemy na styku podtorzy torów tramwajowych i konstrukcji jezdni drogowych, Jacek Makuch, 10/2018, s.14

Sposoby rozpoznawania przyczyn braku pełnych efektów zastosowania warstwy ochronnej Łucjan Siewczyński, Michał Pawłowski, 10/2018, s.19

Wpływ sposobu ograniczenia ruchu pociągów na czas realizacji robót podtorowych, Michał Pawłowski, Kamil Protosawicki, Wojciech Straszewski, 10/2018, s.25

Budowlane obciążenia podatnych obiektów inżynierskich, Czesław Machelski, 10/2018, s.30

Geotechnika

Ocena organicznego podłoża gruntowego za pomocą metody GPR Mariola Konopko, Małgorzata Ewa Wysocka, 2/2018, s.22

Prawo w transporcie

Specustawa drogowa jako narzędzie prawne usprawniające realizację inwestycji drogowych w Polsce, Małgorzata Klaudia Kozłowska, 2/2018, s.28

Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego jako instrument kształtowania rynku przewozów pasażerskich w Polsce, Małgorzata Klaudia Kozłowska, 3/2018, s.22

Działalność jednostek samorządu terytorialnego w zakresie rozwoju lokalnego transportu kolejowego, Małgorzata Klaudia Kozłowska, Karol Kalinka, 3/2018, s.29

Ustawa o Centralnym Porcie Komunikacyjnym, Piotr Świątecki, 5/2018, s.32

Budowa Centralnego Portu Komunikacyjnego z perspektywy prawa subwencyjnego, Jakub Kociubiński, 5/2018, s.35

Kalkulacja stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w świetle prawa unijnego, Juliusz Engelhard, 6/2018, s.44

Zagadnienia ogólne i przeglądowe

Rozwój motoryzacji indywidualnej w Polsce w latach 1990-2015, Maciej Menes, 4/2018, s.14

Alfabetyczny wykaz autorów

- Karol F. Abramek, 2/2018, s.17
- Iwona Bąk, 7/2018, s.14
- Włodzimierz Andrzej Bednarek, 10/2018, s.2
- Izabela Bergel, 3/2018, s.14, 4/2018, s.8
- Krzysztof Blacha, 12/2018, s.6, 12/2018, s.16
- Dorota Błaszkiwicz, 6/2018, s.2
- Marta Borowska-Stefańska, 2/2018, s.9
- Danuta Bryja, 6/2018, s.7
- Bartosz Budziński, 11/2018, s.20, 11/2018, s.44
- Łukasz Chudyba, 7/2018, s.2
- Ariel Ciecharński, 3/2018, s.7
- Dawid Cieśliński, 1/2018, s.34
- Włodzimierz Czyczula, 7/2018, s.2, 6/2018, s.2
- Janusz Cwiklak, 1/2018, s.19
- Mikołaj Doscoc, 1/2018, s.24
- Arkadiusz Drabicki, 8/2018, s.10
- Janusz Dyduch, 9/2018, s.28
- Juliusz Engelhard, 6/2018, s.44
- Aleksandra Falana, 6/2018, s.39
- Wiesław Fiebig, 5/2018, s.2
- Agnieszka Fortońska, 4/2018, s.26
- Marta Galant, 12/2018, s.49
- Igor Gisterek, 6/2018, s.13
- Sławomir Grulkowski, 10/2018, s.9
- G. Guillaume, 5/2018, s.9
- S. Huguet, 5/2018, s.9
- Paweł Iwanowski, 12/2018, s.6, 12/2018, s.16
- Mariusz Jaczewski, 11/2018, s.55
- Henryk Jaferniki, 1/2018, s.19
- Marek Jaskólski, 2/2018, s.4
- Piotr Jaskuła, 11/2018, s.24, 11/2018, s.55
- Robert Jurczak, 11/2018, s.44
- Wojciech Jurkowski, 5/2018, s.22
- Mariusz Kacprzak, 1/2018, s.34
- Maciej Kaczorek, 6/2018, s.39
- Sylwia Kaczyńska, 1/2018, s.12
- Karol Kalinka, 3/2018, s.29
- Piotr Kasprzyk, 1/2018, s.24
- Franciszek Kaźmierczyk, 12/2018, s.11
- Jakub Kociubiński, 5/2018, s.35
- Robert Konieczka, 1/2018, s.8
- Mariola Konopko, 2/2018, s.22
- Leszek Korusiewicz, 12/2018, s.54
- Agata Kowalewska, 12/2018, s.16, 9/2018, s.11
- Danuta Kowalska, 12/2018, s.24, 9/2018, s.11
- Małgorzata Klaudia Kozłowska, 2/2018, s.28, 3/2018, s.22, 3/2018, s.29
- Michał Kozłowski, 12/2018, s.42
- Kamil Krasuski, 1/2018, s.19
- Bartłomiej Krawczyk, 11/2018, s.37
- Mariusz Krawczyk, 1/2018, s.34
- Anna Krupińska, 9/2018, s.23
- Maciej Kruszyna, 11/2018, s.6
- Rafał Kucharski, 8/2018, s.10
- Jarosław Kuźniewski, 11/2018, s.30
- Ewelina Kwiatkowska, 5/2018, s.2, 7/2018, s.19, 8/2018, s.22
- Patryk Damian Lewandowski, 8/2018, s.18
- Andrzej Lewiński, 6/2018, s.29
- Anita Linka, 9/2018, s.2, 9/2018, s.6
- Leszek Lorocho, 1/2018, s.34
- Krzysztof Łęczycki, 9/2018, s.17
- Czesław Machelski, 12/2018, s.54, 10/2018, s.30
- Piotr Mackiewicz, 11/2018, s.14, 11/2018, s.49
- Stanisław Majer, 11/2018, s.20
- Jacek Makuch, 6/2018, s.22, 10/2018, s.14
- Elżbieta Marciszewska, 3/2018, s.14, 4/2018, s.8
- Jaroslav Matuška, 3/2018, s.14, 4/2018, s.8
- Eryk Mączka, 11/2018, s.60
- Maciej Menes, 4/2018, s.14
- Paweł Mieczkowski, 11/2018, s.44
- Eligiusz Mieloszyk, 10/2018, s.9
- Anita Milewska, 10/2018, s.9
- Mateusz Milewski, 12/2018, s.2
- Tomasz Moralewski, 12/2018, s.37
- Piotr Nita, 12/2018, s.11
- Waldemar Odziemczyk, 8/2018, s.27
- Adam Okniński, 1/2018, s.34
- Michał Pachnicz, 8/2018, s.18
- Michał Pawłowski, 10/2018, s.19, 10/2018, s.25
- Paweł Pietruszewski, 12/2018, s.6, 12/2018, s.24
- Elżbieta Plucińska, 5/2018, s.15
- Arkadiusz Polecki, 11/2018, s.10
- Adam Popiołek, 6/2018, s.7
- Adam Poświęta, 12/2018, s.24
- Andrzej Pożarycki, 12/2018, s.37
- Kamil Protosawicki, 10/2018, s.25
- Marek Pszczoła, 11/2018, s.55
- Łukasz Puzio, 12/2018, s.2
- Grzegorz Rarata, 1/2018, s.34
- Paweł Regulski, 2/2018, s.17
- Aleksandra Rumak, 9/2018, s.11
- Mateusz Rydlewski, 4/2018, s.2
- Dawid Ryś, 11/2018, s.55
- Dawid Siemierński, 6/2018, s.18
- Łucjan Siewczyński, 10/2018, s.19
- Robert Sklorz, 12/2018, s.2
- Łukasz Skotnicki, 11/2018, s.30
- Emilia Skupień, 4/2018, s.2
- Mateusz Smolarski, 2/2018, s.4, 3/2018, s.2
- Kamil Sobczak, 1/2018, s.34
- Juliusz Sołkowski, 6/2018, s.18
- Malwina Sławińska, 7/2018, s.7
- Grzegorz Stencel, 5/2018, s.6
- Marcin Stienss, 11/2018, s.24
- Elżbieta Stilger-Szydło, 11/2018, s.37
- Tomasz Stoeck, 5/2018, s.27
- Wojciech Straszewski, 10/2018, s.25
- Paweł Surmacz, 1/2018, s.34
- Andrzej Szarata, 8/2018, s.10
- Beata Szczecińska, 7/2018, s.14
- Antoni Szydło, 11/2018, s.14, 11/2018, s.49
- Cezary Szydłowski, 11/2018, s.24
- Piotr Świętecki, 5/2018, s.32
- Bartosz Świerzewski, 12/2018, s.30
- Zbigniew Taylor, 3/2018, s.7
- Arkadiusz Tofil, 12/2018, s.2
- Agata Tyburska, 1/2018, s.2
- Małgorzata Urbanek, 6/2018, s.2
- Mariusz Wesołowski, 12/2018, s.16, 12/2018, s.24, 12/2018, s.30, 12/2018, s.37, 12/2018, s.6, 9/2018, s.11
- Szymon Wiśniewski, 2/2018, s.9
- Piotr Wolański, 1/2018, s.34
- Paweł Wontorski, 7/2018, s.23
- Marek Woźniak, 8/2018, s.27
- Agnieszka Wroblewska, 9/2018, s.2, 9/2018, s.6
- Małgorzata Ewa Wysocka, 2/2018, s.22
- Věra Zahorova, 3/2018, s.14, 4/2018, s.8
- Michał Zajfert, 8/2018, s.2
- Henryk Zielaskiewicz, 9/2018, s.28
- Robert Ziolkowski, 11/2018, s.2

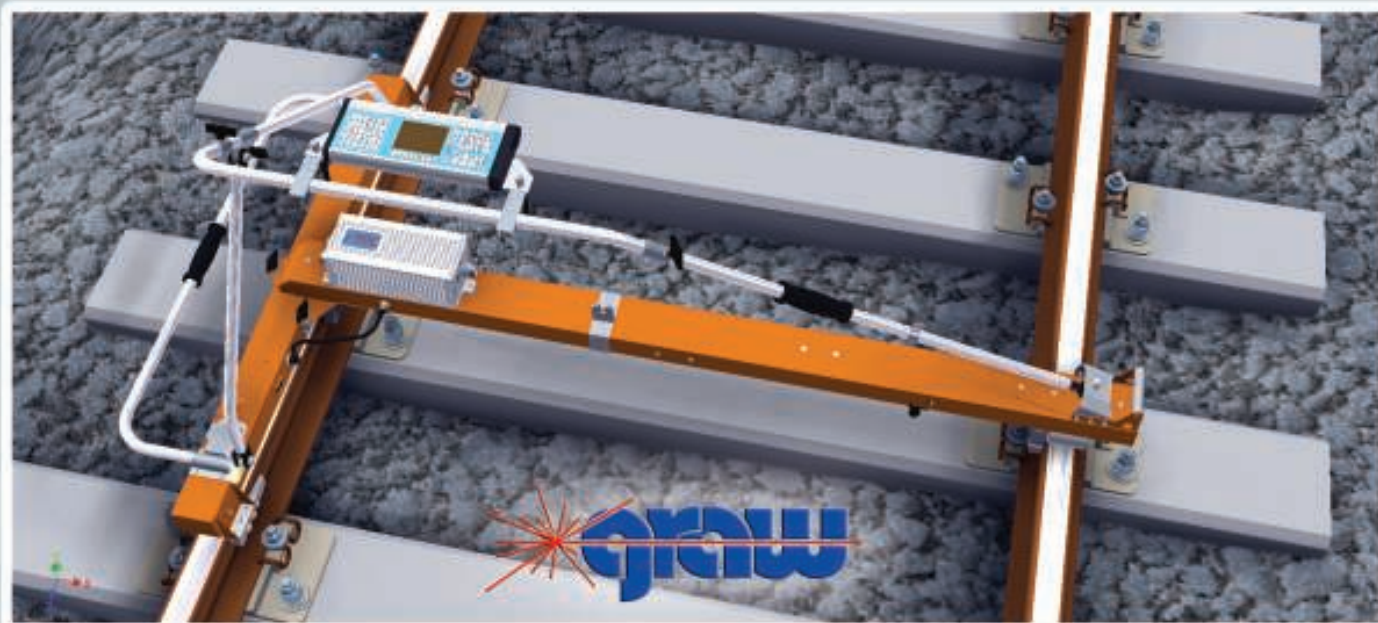
Alfabetyczny wykaz recenzentów

- Jan Bień
- Danuta Bryja
- Piotr Chrostowski
- Igor Gisterek
- Sławomir Grulkowski
- Hubert Gliński
- Wojciech Jurkowski
- Sławomir Karaś
- Marek Kawa
- Maciej Kruszyna
- Marek Krużyński
- Adam Kuszyński
- Jarosław Kuźniewski
- Krzysztof Lewandowski
- Czesław Machelski
- Piotr Mackiewicz
- Jacek Makuch
- Radosław Mazurkiewicz
- Jeremi Rychlewski
- Grzegorz Sierpiński
- Tomasz Stoeck
- Czesław Wolek
- Renata Żochowska

Opracowanie: Maciej Kruszyna

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC

Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



**W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAĆ**

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzeziny

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

- Dylatacje bitumiczne EMD typ Rekma
- Dylatacje mechaniczno-asfaltowe SILENT-JOINT^{RESA}
- Szczeliny dylatacyjne w nawierzchniach betonowych i asfaltowych
- Naprawa spękań nawierzchni
- Specjalistyczne cięcie nawierzchni betonowych i asfaltowych
- Wypełnianie szczelin dylatacyjnych w torowiskach tramwajowych
- Natrysk środkami hydrofobowymi i hydrofilowymi
- Rowkowanie (grooving) nawierzchni
- Specjalistyczne wiercenie otworów pod kotwy i dyble
- Kruszenie nawierzchni betonowych metodą ultradźwiękową – RMI



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE



PN-EN ISO 9001:2009