

## MOBILE COMPOSITE AIRFIELD ELEMENT OF SECURITY AND RELIABILITY IN AIR TRANSPORT

## PRZENOŚNE KOMPOZYTOWE NAWIERZCHNIE LOTNISKOWE ELEMENTEM BEZPIECZEŃSTWA I NIEZAWODNOŚCI W TRANSPORCIE LOTNICZYM

Mariusz Wesołowski, Piotr Barszcz, Krzysztof Blacha

Air Force Institute of Technology. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

**Abstract:** *The problem of safety of the flight operations will be valid as long as there will be aviation, both civil and military. Ensuring the safety was, is and will be one the most important issues in the functioning and development of aviation. The safety of flight operations affect the implementation of all the elements involved in this process, which can be summarized in three groups, namely: man, the aircraft and the environment, including **airfield pavements**. Airfield pavements are elements that can be intentionally destroyed by military action as well as a result of random unexpected situation (failure, catastrophe, natural disaster). The reconstruction of airfield pavements in crisis situations and in military operations should enable to restore the operational availability of destroyed elements in the shortest possible time.*

**Keywords:** *security, reliability, air transport, mobile composite covering*

**Streszczenie:** *Problem bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych będzie aktualny tak długo, jak długo istnieć będzie lotnictwo, zarówno cywilne jak i wojskowe. Zapewnienie bezpieczeństwa było, jest i będzie jednym z najważniejszych zagadnień w funkcjonowaniu oraz rozwoju lotnictwa. Na bezpieczeństwo realizacji operacji lotniczych wpływają wszystkie elementy biorące udział w tym procesie, które można ująć w trzech grupach, tj.: człowiek, statek powietrzny oraz otoczenie, w tym **nawierzchnie lotniskowe**. Nawierzchnie lotniskowe to elementy, które mogą być zniszczone celowo w wyniku działań militarnych jak również w wyniku wystąpienia niespodziewanych sytuacji losowych (awaria, katastrofa, klęska żywiołowa). Odbudowa nawierzchni lotniskowych w sytuacjach kryzysowych oraz w działaniach wojennych powinna umożliwiać odtworzenie gotowości eksploatacyjnej zniszczonych elementów funkcjonalnych lotniska w czasie możliwie najkrótszym.*

**Słowa kluczowe:** *bezpieczeństwo, niezawodność, transport lotniczy, mobilne pokrycie kompozytowe*

## 1. Wstęp

Przenośne nawierzchnie lotniskowe stosuje się w celu umożliwienia wykonywania operacji lotniczych wojskowym statkom powietrznym w warunkach losowych. Początki sięgają czasów I wojny światowej, w czasie której wykorzystywano różnego rodzaju siatki rozwijane bezpośrednio na gruncie i następnie kotwione, w celu poprawy nośności nawierzchni szczególnie w niekorzystnych warunkach wodno-gruntowych. Wraz ze wzrostem masy samolotów zaczęto stosować różnego rodzaju konstrukcje kratowe, wykonane ze spawanych płaskowników, które poprzez wałowanie wgniatano w nawierzchnie gruntowe, a ich brzegi kotwiono. Najbardziej rozpowszechnionymi tego typu nawierzchniami były siatki Sommerfelda oraz kraty Irvinga. Te rozwiązania były stosowane jedynie jako metody doraźnego wzmocnienia nawierzchni gruntowych [8].

Pierwszą pełną i rozbierną nawierzchnię z płyt prefabrykowanych wykonano na zachodnim brzegu Afryki w roku 1936, przy współpracy USA i niemieckiego towarzystwa lotniczego Lufthansa. Dynamiczny rozwój konstrukcji mobilnych nawierzchni lotniskowych nastąpił w okresie II wojny światowej i po jej zakończeniu w takich krajach jak USA i były ZSRR [8].

W Polsce od 2003 roku do naprawy dużych uszkodzeń nawierzchni lotniskowych stosuje się składane pokrycie kompozytowe typu ELP-1 KRATER wyprodukowane przez Stocznię Żuławy (rys. 1). Pokrycie ma wymiary: szerokość 1,8 m, długość 9,1 m i grubość 8,0 mm. Elementy połączone są ze sobą elastycznymi przegubami, które zapewniają współpracę pojedynczych segmentów pod obciążeniem. Zespół tych elementów stanowi pokrycie o wymiarach: 16,5 x 9,1 m. Połączone ze sobą dwa pokrycia tworzą matę o wymiarach: 16,5 x 18,2 m, która spełnia wymagania naprawy dużych uszkodzeń nawierzchni lotniskowych. Standardowe pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER waży 1 638 kg.



*Rys.1 Kotwienie pokrycia ELP-1 KRATER do nawierzchni betonowej*

Wykorzystanie tego rodzaju nawierzchni pozwala na spełnienie wysokich reżimów czasowych i zapewnienie bezpieczeństwa poruszającym się po nich wojskowym statkom powietrznym.

## 2. Mobilne pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER

Przewoźne, elastyczne pokrycie lotniskowe ELP-1 KRATER zostało wyprodukowane w Polsce przez Stocznię Żuławy Sp. z o.o. z siedzibą w Piaskowcu w województwie pomorskim. Prace projektowe rozpoczęły się w roku 1999 i otrzymały roboczą nazwę „Awaryjny zestaw naprawczy dróg i nawierzchni lotniskowych”. Głównym założeniem projektowym było przeznaczenie pokrycia do naprawy nawierzchni lotniskowych niszczonych w wyniku działań celowych, budowy tymczasowych lądowisk dla śmigłowców oraz naprawy nawierzchni drogowych zaplanowanych na potrzeby wojska.

Elastyczne pokrycie lotniskowe zostało przebadane przez Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Zakres badań obejmował badania laboratoryjne, których celem było sprawdzenie właściwości fizyko-mechanicznych pokrycia oraz badania poligonowe, w trakcie których ocenie poddano walory eksploatacyjne. Po zakończeniu prac kwalifikacyjnych, w październiku 2002 roku rozpoczęto produkcję mobilnego pokrycia kompozytowego ELP-1 KRATER, a w roku 2008 wprowadzono je w wyposażenie Sił Zbrojnych RP.

Do produkcji krajowej, mobilnej nawierzchni lotniskowej wykorzystano jako matrycę żywicę poliestrową typu PALATAL U 541 TV-03, a jako wzmocnienie włókno szklane typu E wyprodukowane w Krośnieńskich Hutach Szkła. Właściwości fizyczne i mechaniczne utwardzonej żywicy przedstawiono w tabeli 1, zaś podstawowe właściwości mechaniczne włókna szklanego typu E w tabeli 2.

Tab. 1 Właściwości fizyczne i mechaniczne utwardzonej żywicy PALATAL U 541 TV-03

Właściwości żywicy	Wartość	Jednostka
Wytrzymałość na rozciąganie	70	MPa
Moduł sprężystości podczas rozciągania	4,3	GPa
Wydłużenie względne przy zerwaniu	2,0	%
Współczynnik Poissona	0,36	---
Wytrzymałość na zginanie	110	MPa
Moduł sprężystości podczas zginania	4,3	GPa
Wydłużenie względne przy zginaniu	2,6	%
Odporność termiczna (HDT)	63	°C
Odporność na uderzenie (udarność)	10	KJ/m <sup>2</sup>
Temperatura zeszklenia (Tg)	93	°C

Tab. 2 Właściwości mechaniczne włókna szklanego typu E

Właściwości	Wartość	Jednostka
Gęstość	2,54	Mg/m <sup>3</sup>
Wytrzymałość na rozciąganie	2 200	MPa
Moduł sprężystości Younga	70	GPa
Współczynnik Poissona	0,23	---

Stosując metodę wyciągania przy produkcji włókien, uzyskano włókna o średnicy od 6 do 18  $\mu\text{m}$ . Do wykonania elastycznego pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER przyjęto 44% włókna szklanego typu E. Struktura wyprodukowanego kompozytu składa się z dziesięciu warstw maty z włókna szklanego oraz dwóch warstw tkaniny.

Produkcja elastycznych pokryć lotniskowych odbywała się na specjalnie przygotowanych stanowiskach roboczych. Pojedyncze warstwy, z których składa się struktura płyty, łączono na zakład z elastycznym łącznikiem płyt. Laminowanie wykonano według obowiązujących zasad, przestrzegając jednocześnie proporcji środka utwardzającego w stosunku do żywicy określonej przez producenta. Wytworzony w ten sposób kompozyt miał za zadanie spełnienie specjalnych wymagań technicznych i użytkowych. Decydującymi cechami były: zdolność do przenoszenia obciążeń statycznych, dynamicznych i termicznych od poruszających się po tych nawierzchniach statków powietrznych. W związku z powyższym, elastyczne pokrycie lotniskowe ELP-1 KRATER zostało szczegółowo zweryfikowane podczas badań kontrolnych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych i poligonowych.

### **3. Badania materiałowe**

Mobilne, kompozytowe pokrycie lotniskowe ELP-1 KRATER zostało poddane szczegółowym badaniom materiałowym w celu określenia podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych oraz sprawdzenia jego odporności na działanie czynników chemicznych występujących na nawierzchniach lotniskowych podczas ich całorocznej eksploatacji. Badania wykonano w laboratoriach Zakładu Lotniskowego oraz Zakładu Niezawodności i Bezpieczeństwa Techniki Lotniczej ITWL, a także w laboratorium badań materiałowych Wojskowej Akademii Technicznej (WAT). Zakres badań laboratoryjnych obejmował:

- określenie wytrzymałości na rozciąganie,
- sprawdzenie wytrzymałości na zginanie,
- sprawdzenie wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie,
- badania wytrzymałościowe w podwyższonych i niskich temperaturach,
- sprawdzenie odporności na działanie czynników eksploatacyjnych występujących na nawierzchniach lotniskowych,
- badanie szorstkości,
- oznaczenie wytrzymałości elastycznych połączeń między elementami pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER,
- badanie wytrzymałości połączeń kotwiących pokrycie do nawierzchni lotniskowej (połączenia śrubowe).

W publikacji zostaną przedstawione jedynie wybrane wyniki badań laboratoryjnych, tj. oznaczenie wytrzymałości elastycznych połączeń między elementami pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER oraz badanie wytrzymałości połączeń kotwiących pokrycie. Prezentacja wyników pozostałych badań będzie przedmiotem kolejnej publikacji.

### Oznaczenie wytrzymałości elastycznych połączeń między elementami kompozytowego pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER

Sprawdzenie wytrzymałości elastycznych połączeń między elementami pokrycia wykonano dla dwóch serii próbek dostarczonych przez producenta, czyli Stocznię Żuławy. Próbki do badań były w kształcie prostokąta o wymiarach 685 x 100 mm, w tym połączenie elastyczne o wymiarach 75 x 100 mm. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej do prób statycznych typu MTS 32231 o zakresie pomiarowym do 250 kN z Zakładu Niezawodności i Bezpieczeństwa Techniki Lotniczej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych [2]. W trakcie badań wytrzymałościowych wykonywanych na pierwszej serii próbek, w początkowej fazie obciążenia zaobserwowano nadmierne wydłużenia materiału stanowiącego projektowane, elastyczne połączenie elementów pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER. Uzyskane wielkości wydłużenia, wynoszące w stosunku do bazy próbki 50-60%, zdyskwalifikowały ten rodzaj połączenia z dalszych badań. Jednocześnie rozległy charakter zniszczenia, występujący już w początkowym okresie obciążenia próbki, nie gwarantował oczekiwanej trwałości połączenia. Ilustrację przebiegu wydłużenia i zniszczenia jednej z próbek przedstawiają rysunki 2 i 3.



Rys. 2 Próbka w początkowej fazie obciążenia



Rys. 3 Stan całkowitego zniszczenia elastycznego połączenia

W związku z powyższym, producent elastycznego pokrycia lotniskowego ELP-1 KRATER przedstawił nową propozycję łączenia elementów płytowych nawierzchni składanej, polegającą na zastosowaniu innych materiałów o mocniejszej osnowie. Dostarczona do badań druga seria składała się z sześciu próbek o takich samych wymiarach jak poprzednie. Uzyskane wyniki z badań wytrzymałościowych przedstawiono w tabeli 3.

Charakterystycznym zjawiskiem związanym ze zniszczeniem elastycznych połączeń między elementami pokrycia było to, że zniszczenie wszystkich próbek następowało gwałtownie, a pęknięcie miało w każdym przypadku miejsce na granicy ośrodka elastycznego łącznika i maty o znacznie wyższej sztywności niż łącznik. Strefa elastycznego połączenia, która została zatopiona w płycie kompozytowej jest w niej dobrze zakotwiona i podczas obciążenia nie wykazała oznak rozwarstwienia oraz braku współpracy.

Tab. 3 Wyniki badań złącza elastycznego

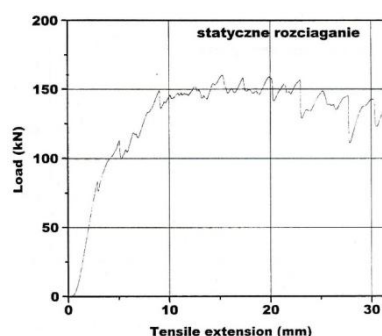
Numer próbki	WIELKOŚĆ SIŁY $F$ [kN]	Wydłużenie bezwzględne $l$ [mm]	Wydłużenie próbki [%]
1	185,88	13,75	2,61
2	221,64	16,01	3,04
3	221,38	16,14	3,06
4	218,80	16,41	3,11
5	223,97	16,52	3,13
6	209,46	15,97	3,03
Wartość średnia $x$	213,52	15,80	3,00
Odchylenie standardowe $s$	14,46	1,03	0,19
Współczynnik zmienności	6,77%	6,50%	6,46%

### Badanie wytrzymałości połączeń kotwiących pokrycie ELP-1 KRATER

Badania połączeń kotwiących matę do nawierzchni lotniskowej zostały przeprowadzone na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym w laboratorium badań materiałowych WAT [2,7]. Celem badań było określenie wytrzymałości połączeń śrubowych oraz sprawdzenie poprawności rozmieszczenia otworów montażowych w mobilnej nawierzchni lotniskowej ELP-1 KRATER. Badania miały charakter czystego ścinania, dla którego określono wytrzymałość połączeń śrubowych i wytrzymałość strefy przykrawędziowej płyt kompozytowych. Badania przeprowadzono dla trzech próbek w kształcie prostokąta o wymiarach 1000 x 500 mm, z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej typu INSTRON 8802 o nr fabr. H2014. Na rysunku 4 przedstawiono sposób przeprowadzenia badań wytrzymałościowych, natomiast w tabeli 4 zestawiono wielkości uzyskanych sił i odkształceń badanych płyt, a graficzną ilustrację przebiegu badania jednej z próbek przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4 Przebieg badania wytrzymałości na rozciąganie otworów montażowych w płycie kompozytowej



Rys. 5 Wykres obciążenia próbki nr 1 w funkcji odkształcenia połączenia

Tab. 4 Wielkości sił i odkształceń badanych płyt

Numer próbki	Wielkość siły $F$ [kN]	Wydłużenie bezwzględne $l$ [mm]
1	159,00	14,80
2	160,30	15,26
3	202,40	13,94
Wartość średnia $x$	173,90	14,67
Odchylenie standardowe $s$	24,69	0,67
Współczynnik zmienności	14,20%	4,57%

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych stwierdzono, że kształt otworów montażowych mobilnego pokrycia lotniskowego zmienia się z kołowego na eliptyczny. Badanie poprawności złączy śrubowych przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych, symulujące w przybliżeniu pracę płyty mocowanej do stałej części nawierzchni, wykazało dostateczną wytrzymałość tego połączenia.

#### 4. Analiza warunków pracy mobilnego pokrycia kompozytowego ELP-1 KRATER

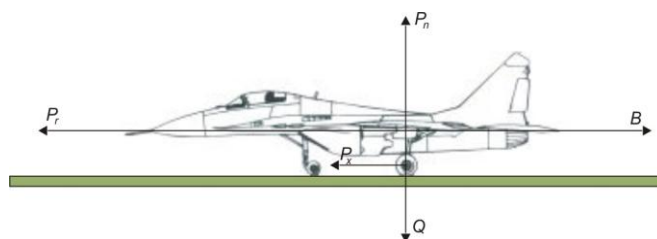
Statek powietrzny, kołując po nawierzchni lotniskowej, oddziałuje na nią w wieloraki sposób. Rozróżniane są następujące rodzaje oddziaływań: termiczne, chemiczne, akustyczne i mechaniczne [8]. Oddziaływanie mechaniczne samolotu na mobilne pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER jest najistotniejsze z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy nawierzchni składanej i dlatego zostało poddane analizie. Zarówno siły poziome, jak i pionowe są funkcją ciężaru samolotu, prędkości rozbiegu i dobiegu oraz technik pilotażu. Szczególnie niebezpieczne dla składanej nawierzchni kompozytowej są siły poziome, powstające w momencie zetknięcia się kół lądującego samolotu z nawierzchnią.

#### Oddziaływanie statku powietrznego na mobilną nawierzchnię lotniskową w czasie startu

Manewr startu statku powietrznego składa się z fazy rozbiegu, w której samolot, stykając się z nawierzchnią lotniskową, zwiększa prędkość do uzyskania prędkości oderwania  $V_{od}$ , gwarantującej powstanie na skrzydle samolotu odpowiednio dużej siły nośnej  $P_n$ . Umożliwia ona bezpieczne uniesienie się samolotu i przejście do drugiego etapu startu, czyli początkowego wznoszenia, w którym samolot, lecąc nad drogą startową, zwiększa swoją prędkość i wysokość lotu do momentu osiągnięcia 15 m wysokości dla samolotów śmigłowych i 10,7 m dla samolotów odrzutowych. Na tych wysokościach manewr startu uważany jest za zakończony [1].

Maksymalne obciążenia statyczne, oddziałujące na nawierzchnię lotniskową, występują na początku startu, czyli w momencie rozpoczynającym rozbieg samolotu.

W czasie startu wraz ze wzrostem prędkości wzrasta siła nośna samolotu  $P_n$ , przez co ulega zmniejszeniu obciążenie nawierzchni. Układ sił działających na samolot w czasie startu przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6 Układ sił działających na statek powietrzny w czasie startu

gdzie:

$P_r$  – siła ciągu samolotu,

$B$  – siła bezwładności,

$P_n$  – siła nośna samolotu,

$Q$  – ciężar startowy samolotu,

$P_x$  – siła oporu toczenia koła samolotu.

Siłę bezwładności wyraża się wzorem [8]:

$$B = \frac{Q}{g} \cdot a_s \quad (1)$$

gdzie:

$a_s$  – przyspieszenie samolotu,

$g$  – przyspieszenie ziemskie.

Natomiast siłę nośną oblicza się ze wzoru [8]:

$$P_n = C_z \cdot \frac{\rho \cdot V_t^2}{2} \cdot F_s \quad (2)$$

gdzie:

$C_z$  – bezwymiarowy współczynnik proporcjonalności, zależny od kształtu i profilu skrzydła oraz warunków opływu płata strumieniem powietrza,

$\rho$  – gęstość powietrza,

$V_t$  – prędkość samolotu,

$F_s$  – powierzchnia rzutu płata skrzydła na płaszczyznę przechodzącą przez jego cięciwę na całej długości.

Gdy statek powietrzny w czasie rozbiegu osiągnie prędkość oderwania, wówczas siła nośna jest równa ciężarowi samolotu, czyli  $P_n = Q$ .



Siła pionowa obciążająca nawierzchnię lotniskową na drodze startowej w czasie rozbiegu samolotu jest wyrażana wzorem [8]:

$$P_z(t) = Q \left( 1 - \frac{V_t^2}{V_{od}^2} \right) \quad (3)$$

Zaś siła oporu toczenia koła statku powietrznego obliczana jest z poniższego wzoru [4]:

$$P_x(t) = f \cdot Q \left( 1 - \frac{V_t^2}{V_{od}^2} \right) \quad (4)$$

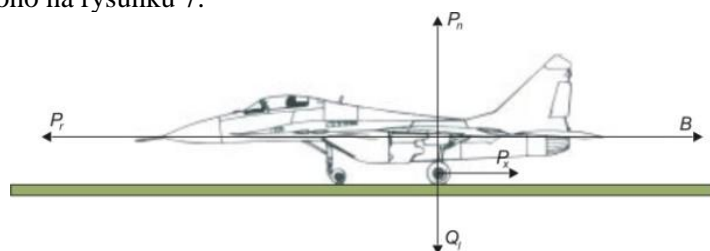
gdzie  $f$  to współczynnik oporu toczenia kół samolotu. Dla nawierzchni lotniskowych przyjmuje się, że  $f = 0,01 \div 0,04$  [8].

Na podstawie przedstawionych wzorów można stwierdzić, że w czasie startu statku powietrznego obciążenie przekazywane na nawierzchnię lotniskową za pośrednictwem goleni jest ściśle powiązane z prędkością poruszającego się samolotu.

#### Oddziaływanie statku powietrznego na mobilną nawierzchnię lotniskową w czasie lądowania

Lądowanie samolotu jest najtrudniejszym etapem lotu. Manewr ten może być wykonany pod warunkiem ścisłego zachowania określonych parametrów lotu, tj.: ustalonych składowych prędkości lotu (poziomej i pionowej), ustalonej ścieżki schodzenia oraz utrzymania kursu wzdłuż osi drogi startowej. Lądowanie statku powietrznego składa się z dwóch faz: końcowego schodzenia i dobiegu.

Końcowe schodzenie polega na zbliżaniu się kół samolotu do nawierzchni przy minimalnych obrotach silnika. Rozpoczyna się na wysokości 15 m (dla samolotów śmigłowych) i 10,7 m (dla samolotów odrzutowych) nad nawierzchnią drogi startowej. Natomiast kończy się dotknięciem kół goleni głównych do nawierzchni, czyli tzw. przyziemieniem. Po przyziemieniu następuje faza dobiegu, w czasie której samolot porusza się po drodze startowej z prędkością jednostajnie opóźnioną w stosunku do prędkości przyziemienia  $V_p$  i dąży do 0, czyli zatrzymania statku powietrznego. Siły działające na statek powietrzny w czasie dobiegu przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7 Układ sił działających na statek powietrzny w czasie dobiegu

gdzie:

$P_r$  – siła ciągu samolotu,

$B$  – siła bezwładności,

$P_n$  – siła nośna samolotu,

$Q_l$  – ciężar samolotu do lądowania,

$P_x$  – siła oporu toczenia koła samolotu.

Silę poziomą  $P_x$  wyznacza się ze wzoru:

$$P_x = (Q_l - P_n) \rho_l \quad (5)$$

W czasie normalnego lądowania statek powietrzny maksymalnie wytraca prędkość w fazie końcowego schodzenia, aby w momencie zetknięcia kół z nawierzchnią nie powodować zbyt dużych przeciążeń na podwozie i konstrukcję samolotu. W momencie przyziemienia samolot zwiększa obciążenie nawierzchni, które osiąga maksymalną wartość równą 85% masy startowej. Ciężar ten jest zmniejszony o masę zużytego paliwa w czasie lotu statku powietrznego. Na podstawie analizy przeprowadzonej w pracy [8] stwierdzono, że faza rozbiegu samolotu wywołuje większe wyciążenie konstrukcji nawierzchni lotniskowej niż faza dobiegu podczas normalnego lądowania, kiedy statek powietrzny lekko uderza kołami o nawierzchnię. Uwzględniając znaczną prędkość statku powietrznego w czasie lądowania oraz fakt, że posuwki tłoków amortyzatorów podwozia są wielokrotnie większe od ugięć nawierzchni lotniskowej, można obliczyć wypadkową obciążenia goleni samolotu  $P(t)$  według wzoru [4]:

$$P(t) = 0,5Q_l \cdot g [1 + n(t) - n_z(t)] \quad (6)$$

gdzie:

$P(t)$  – obciążenie dynamiczne przypadające na jedną goleń samolotu,

$Q_l$  – ciężar lądującego samolotu,

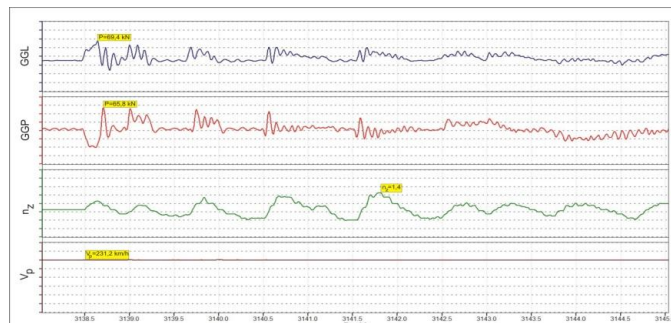
$g$  – przyspieszenie ziemskie,

$n(t)$  – względne przeciążenie pionowe wywołane siłą bezwładności rezerwowanej masy samolotu,

$n_z(t)$  – odciążenie względne wywołane działaniem siły nośnej  $P_n$ .

Funkcje  $n(t)$  i  $n_z(t)$  można uzyskać jedynie w trakcie bezpośrednich pomiarów. Z badań opisanych w [4] wynika, że podczas normalnego lądowania wartość przyspieszenia pionowego działającego na samolot jest bliska wielkości przyspieszenia ziemskiego. Oznacza to, że współczynnik  $n(t)$  osiąga wartość nieprzekraczającą 1. Zaś współczynnik  $n_z(t)$  osiąga wartość w przedziale 0,65–0,80 w czasie przyziemienia samolotu. Zdarzają się również lądowania nieudane tzw. twarde lądowania, w czasie których (w początkowej fazie dobiegu) samolot wykonuje tzw. kangury (skoki) po nawierzchni drogi startowej. W takich sytuacjach przyspieszenia pionowe są znaczne i mogą osiągnąć wartość 3 g. Z przeprowadzonych badań wynika, że liczba takich lądowań może wynosić ok. 5% ogólnej liczby lądowań, przede wszystkim podczas lotów wykonywanych przez pilotów mających małe doświadczenie.

Maksymalne naprężenia ścinające w kołkach kotwiących mobilne pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER nie występują podczas przyziemienia samolotu, lecz w czasie trwania etapu dobiegu, kiedy statek powietrzny kołuje z największą prędkością i ma włączone hamulce aerodynamiczne. Przykładowy przebieg lądowania – przyziemienia samolotu myśliwskiego MiG-29 przedstawiono poniżej na rysunku 8, gdzie:  $GGL$  – goleń główna (lewa) samolotu,  $GGP$  – goleń główna (prawa) samolotu,  $n_z$  – współczynnik przeciążenia pionowego,  $V_p$  – prędkość przyziemienia samolotu. Rysunek nr 8 przedstawia rzeczywiste wartości obciążeń dynamicznych przekazywanych poprzez golenie główne samolotu na nawierzchnię drogi startowej w momencie jego przyziemienia, a także zarejestrowane wartości współczynnika przeciążenia pionowego  $n_z$  oraz prędkości przyziemienia  $V_p$ . Prezentowane wielkości zostały wyznaczone na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów tensometrycznych przez pracowników ITWL [5].



Rys. 8 Przebieg lądowania samolotu MiG-29 w warunkach rzeczywistych [6]

Do dalszej analizy wytrzymałościowej kolka kotwiącego mobilne pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER do nieuszkodzonej nawierzchni lotniskowej, przyjęto maksymalną wartość siły poziomej  $P_x$  (oporu aerodynamicznego), która występuje w czasie dobiegu samolotu.

## 5. Podsumowanie

Mobilne pokrycie kompozytowe ELP-1 KRATER, będące w wyposażeniu polskich Sił Zbrojnych, pozwala na odbudowę elementów funkcjonalnych lotniska w możliwie najkrótszym czasie, zapewniając tym samym bezpieczne warunki wykonywania operacji lotniczych. Zrealizowane badania laboratoryjne potwierdziły spełnienie wymagań wytrzymałościowych oraz eksploatacyjnych przez materiał kompozytowy, z którego wykonano elastyczne pokrycie lotniskowe ELP-1 KRATER.

Przenośne pokrycia kompozytowe stanowią ważne uzupełnienie wyposażenia lotnictwa wojskowego oraz są istotnym elementem systemu bezpieczeństwa szkolenia lotniczego Sił Zbrojnych RP w sytuacjach losowych. Cechy pokrycia, takie jak np. niewielka masa umożliwiająca przewóz za pomocą standardowych środków transportowych, łatwość i szybkość montażu, wytrzymałość, wykonanie z materiałów kompozytowych niewymagających pracochłonnych zabiegów konserwacyjnych i umożliwiających długie jego przechowywanie, stwarzają możliwości wykorzystania go w bardzo szerokim zakresie. Zastosowanie przenośnych pokryć kompozytowych w sytuacjach losowych może znacząco wpłynąć na zachowanie zdolności operacyjnej lotnictwa.

W kolejnych publikacjach dotyczących mobilnego pokrycia kompozytowego ELP-1 KRATER sukcesywnie prezentowane będą wyniki pozostałych badań laboratoryjnych oraz poligonowych zrealizowanych w ramach pracy [6].

## 6. Literatura

- [1] Marszałek J., *Budowa lotnisk. Część II. Obliczanie nawierzchni*, Skrypt WAT, Warszawa 1984.
- [2] Nita P., *Badania własności fizyko-mechanicznych i eksploatacyjnych przenośnych, tymczasowych lotniskowych nawierzchni składanych produkowanych przez Stocznię Żuławy*, ITWL, Warszawa 2002.

- [3] Nita P., *Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych*, WKŁ, Warszawa 1999, 2008.
- [4] Rakowski J., *Wytyżenie płyty betonowej drogi startowej pod lądującym samolotem*, praca doktorska, Politechnika Wroclawska 1979.
- [5] Sprawozdanie nr 76/31/2006 z pracy pt. *Realizacja pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w locie samolotu MiG-29 nr 4101 (nr fabryczny 2960525115) w ramach postanowień biuletynu konstrukcyjno-eksploatacyjnego nr P/O/R/U/4802/2005*, ITWL, Warszawa 2006.
- [6] Wesołowski M., *Nośność mobilnych pokryć kompozytowych stosowanych do odbudowy nawierzchni lotniskowych*, praca doktorska, WAT, Warszawa 2012.
- [7] Wesołowski M., *Problemy nośności kompozytowych, mobilnych płyt nawierzchniowych*, 56 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Krynica 2010.
- [8] Wojewódzki B., *Analiza wybranych parametrów lotniskowych nawierzchni składanych*, praca doktorska, WAT, Warszawa 1995.



**Ppłk dr inż. Mariusz Wesołowski**, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej i Politechniki Warszawskiej. Kierownik Zakładu Lotniskowego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w projektowaniu, budowie i ocenie stanu technicznego konstrukcji nawierzchni lotniskowych (Udział 35%).



**Dr inż. Piotr Barszcz**, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej. Adiunkt w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w tematyce korozji, niezawodności, bezpieczeństwa i eksploatacji statków powietrznych. Uczestniczy w pracach mających na celu opracowanie i wdrożenie do eksploatacji systemu zarządzania nawierzchniami lotniskowymi (Udział 30%).



**Mjr mgr inż. Krzysztof Blacha**, absolwent Wydziału Inżynierii Wojskowej Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych i Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej. Kierownik Pracowni w Zakładzie Lotniskowym w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w projektowaniu, budowie i ocenie stanu technicznego konstrukcji nawierzchni lotniskowych (Udział 35%).