

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI PRZEPROWADZENIA WSTĘPNEJ IDENTYFIKACJI ZAKRESU PRACY ZESPOŁU NAPĘDOWEGO SAMOLOTU PRZED WYPADKIEM NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYKI USZKODZENIA ŚMIGŁA PO ZDARZENIU

ROBERT KONIECZKA

*Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Gliwice, oraz  
Biegły Sądowy z zakres lotnictwa przy Sądzie Okręgowym w Warszawie i Krakowie  
e-mail: robert.konieczka@polsl.pl; bieglylot@wp.pl*

Artykuł stanowi próbę znalezienia prawidłowości w uszkodzeniach śmigła samolotu w zależności od zakresu pracy zespołu napędowego. Wybór takiego tematu wynikał z potrzeb określenia przybliżonego zakresu pracy zespołu napędowego podczas zaistnienia wypadku lotniczego. Szczególnie istotne jest to w sytuacji, gdy brak jest innych możliwych do identyfikacji danych dotyczących zakresu pracy zespołu napędowego takich jak zapisy rejestratorów czy zeznania wiarygodnych świadków. Artykuł bazuje na analizie uszkodzeń zaistniałych podczas kilkunastu wypadków z udziałem samolotu wyposażonego w śmigła przy znanym zakresie prędkości obrotowej zespołu napędowego. Źródło tej wiedzy stanowią ogólnie dostępne raporty PKBWL. Na tej podstawie sformułowane są ogólne prawidłowości dotyczące zakresu uszkodzeń. Jednoznaczne wyniki zaburza wpływ innych czynników istotnych, takich jak np. prędkość lotu, charakter podłoża, geometria zderzenia. Na tej podstawie autor próbuje sformułować przybliżone ogólne prawidłowości, określić czynniki wpływające na niecisłość oceny oraz wskazać dalsze działania w celu osiągnięcia postawionych celów badawczych.

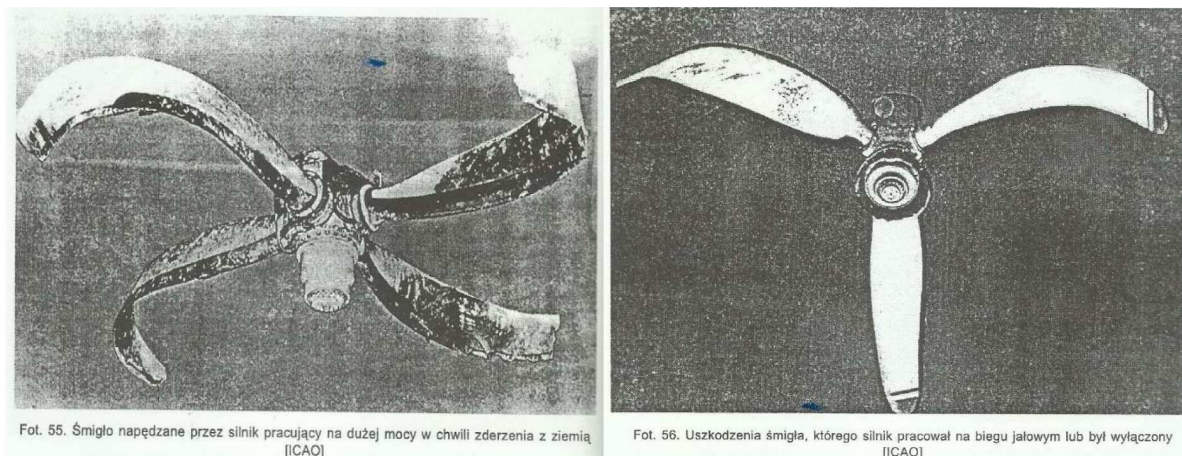
*Słowa kluczowe:* wypadek, łopata śmigła, śmigło

### 1. Wstęp

Z każdym rokiem obserwuje się dynamiczny wzrost liczby użytkowanych statków powietrznych. Dotyczy to w szczególności małych statków powietrznych, w tym samolotów lekkich z napędem śmigłowym oraz podobnie napędzanych ultralightów. Właśnie te samoloty dosyć często ulegają uszkodzeniom i wypadkom. Wynika to z wielu czynników, takich jak: powszechność stosowania, mała odporność na czynniki zewnętrzne, niskie umiejętności pilotów itd. [6]. Zazwyczaj dzieje się to w miejscach, gdzie nie ma świadków, na lokalnych lądowiskach i lotniskach. Samoloty te nie muszą zgodnie z właściwymi przepisami posiadać rejestratorów lotu, nie ma więc możliwości odtworzenia w sposób wiarygodny ostatnich minut lotu. Jednocześnie zdarza się, że wszelkie inne urządzenia lub ich nośniki mogące pozwolić na odtworzenie wypadku (gps, loggery itp. [5]) ulegają uszkodzeniu. Stąd nie wiadomo nawet, na jakich obrotach pracował zespół napędowy, co mogłoby mieć kluczowe znaczenie dla dalszej analizy.

Bezpośrednim motywem wyboru tematu badań, dotyczącego wstępnej identyfikacji zakresu pracy zespołu napędowego samolotu przed wypadkiem na podstawie charakterystyki uszkodzenia śmigła po zdarzeniu, był wypadek samolotu PA-220T Seneca V, SP-HIN, jaki miał miejsce 23 maja 2013 r. na północnym zboczu Babiej Góry. Wobec braku dostępności zapisów urządzeń rejestrujących oraz niejednoznacznego i wątpliwego położenia dźwigni sterowania silnikami, w toku czynności badawczych próbowano zidentyfikować zakres pracy silnika (silników) na podstawie uszkodzeń śmigła. Okazało się jednak, że brak jest źródeł, do jakich można byłoby odnieść przedmiotowe uszkodzenia. Jedyne źródłem była publikacja sprzed prawie dwudziestu lat [9]. Jej

niewątpliwą wadą była słaba jakość wykonanych fotografii (rys. 1) i brak precyzyjnego kreślenia (opisu) okoliczności wskazanych uszkodzeń. Ponadto wskazane źródło nie określało typu statku powietrznego, profilu zderzenia i szeregu innych czynników mogących mieć istotny wpływ na zakres uszkodzeń. Jednostkowy charakter publikacji nie pozwala również na wyciągnięcie szczegółowszych wniosków dotyczących charakteru uszkodzeń i nie pozwala na szersze wykorzystanie w analizie wypadków. Ponadto, jak zostanie to wskazane dalej, niektóre stwierdzenia z tej publikacji nie są w pełni zgodne z przeprowadzoną analizą.



Rys. 1. Zdjęcia zamieszczone w publikacji dotyczącej metodyki badań wypadków<sup>4</sup> w niewielkim stopniu mogą służyć jako materiał porównawczy do oceny prędkości zespołu napędowego na podstawie ich uszkodzeń

## 2. Analiza raportów z badania zdarzeń lotniczych

Dla osiągnięcia założonych celów badawczych wyszukano wśród dostępnych raportów Państwowej Komisji Badania Wypadków Lotniczych (PKBWL) zdarzenia z udziałem polskich samolotów śmigłowych [7], jedno i wielosilnikowych. Warunkiem koniecznym była możliwość identyfikacji zakresu pracy silnika niezależnie od tego, czy był to silnik tłokowy czy turbinowy. Do analizy wstępnie przyjęto (generalnie) następujący podział zakresu pracy zespołu napędowego:

- łopaty w bezruchu lub poniżej prędkości biegu jałowego,
- niskie obroty lub obroty biegu jałowego,
- wysokie obroty.

Ze względu na osiągnięte wyniki, w dalszej części opracowania zredukowano analizę do dwóch zakresów prędkości zespołu napędowego.

Ogólnie zidentyfikowano i poddano analizie dziesięć przypadków zderzeń samolotu z podłożem przy niskich obrotach i pięć przy wysokich. Należy w tym miejscu zauważyć, iż dla zapewnienia wiarygodności wyników tej analizy wzięto pod uwagę jedynie przypadki, w których była pewność co do zakresu pracy silnika (silników).

## 3. Charakterystyka uszkodzeń śmigła przy niskich obrotach oraz obrotach poniżej biegu jałowego

Cechą charakterystyczną uszkodzeń śmigła zatrzymanego lub pracującego przy obrotach znacznie poniżej biegu jałowego (zazwyczaj przy niepracującym silniku) są:

- uszkodzenia tylko pojedynczej łopaty przy jednoczesnym braku naruszenia innych łopat,
- zniekształcenia (podwinięcie łopaty na całej długości) w kierunku przeciwnym do kierunku lotu<sup>1</sup>,
- brak dużych uszkodzeń wynikających z ruchu obrotowego śmigła (na krawędziach natarcia),
- brak śladów cięć na podłożu i innych przeszkodach.

Przykład łopaty śmigła nieruchomego podczas zderzenia z ziemią z charakterystycznymi uszkodzeniami przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyczne cechy uszkodzeń śmigła na małych obrotach zatrzymanego podczas zderzenia z twardym podłożem z widocznymi śladami ciągnięcia podwiniętej łopaty, druga łopata pozostała nienaruszona [źródło: Raport nr 91/05 PKBWL]

Podobny stan uszkodzeń występuje, gdy śmigło ma niewielką prędkość obrotową poniżej biegu jałowego. W takich okolicznościach również nie zostają uszkodzone wszystkie łopaty. Śmigło ze względu na małą prędkość obrotową szybko wyhamowuje, minimalizując uszkodzenia zarówno samego śmigła, jak i podłoża. Nieznacznie większe uszkodzenia mogą dotyczyć śmigieł napędzanych silnikami turbinowymi. Ich prędkość na biegu jałowym jest zazwyczaj wyższa od analogicznego śmigła napędzanego silnikiem tłokowym. Wywinięcie łopaty następuje na długości od 1/3 do całej długości łopaty. Wywinięcie końcówek łopat, jak wynika z analizowanych przykładów, zazwyczaj ma kierunek przeciwny do obrotów śmigła, co generalnie wydaje się być dość naturalne i zgodne z rozkładem sił.

#### 4. Charakterystyka uszkodzeń śmigła przy wysokich obrotach lub zbliżonych do maksymalnych

Zderzenia samolotu z podłożem na wysokich (maksymalnych) obrotach mają miejsce znacznie rzadziej aniżeli przy obrotach niskich. Wynika to z faktu, iż zazwyczaj zderzenia z ziemią następują podczas lądowania lub podejścia do lądowania. W takich okolicznościach obroty silnika samolotu są zredukowane. Inaczej wygląda sytuacja, gdy zderzenie z ziemią następuje podczas

<sup>1</sup>Jest to zgodne z ustaleniami zawartymi w pracy [9].

przelotu lub startu. Dotyczyć to może także sytuacji przeciągnięcia samolotu. Wtedy obroty silnika są wysokie, a nawet w pewnych okolicznościach maksymalne.

Uszkodzenia łopaty przy wysokich obrotach są ze swej natury większe aniżeli przy obrotach niskich. Wynika wprost z dużych obrotów śmigła i zazwyczaj większej prędkości samolotu. Skutkiem tego jest większa degradacja struktury samolotu, w tym śmigła (śmigieł), niejednokrotnie związana z oderwaniem śmigła lub jego elementów (łopat). Dochodzi do tego uszkodzenie piasty śmigła lub co najmniej kołpaka. Takich uszkodzeń nie spotyka się przy niskich obrotach. Typowy przykład uszkodzenia śmigła przy dużych obrotach ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Charakterystycznie duże uszkodzenia śmigła pracującego na wysokich obrotach po zderzeniu z twardym podłożem (skałą); śmigło oderwane od samolotu i pozbawione jednej łopaty [źródło: Raport nr 660/13 PKBWL]

Kolejną charakterystyczną cechą jest duża liczba śladów uderzeń łopat o podłoże (cięż [3]), a nawet o utwardzone elementy infrastruktury. Charakteryzują się one dużymi zniszczeniami wynikającymi z energii śmigła na dużych obrotach. Dotyczy to w szczególności zderzeń z podłożem pod małym kątem, kiedy nie ma miejsca nagłe wyhamowanie obrotów, w szczególności, jeśli podłoże jest miękkie (ziemia). Przykład takich śladów przedstawia rys. 4.

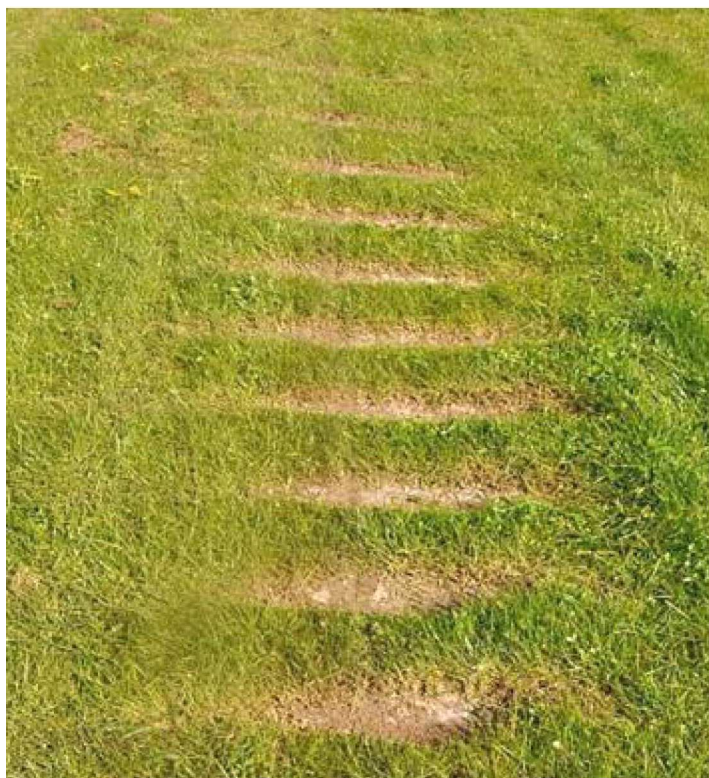
Jak wynika z treści jedynej publikacji na ten temat [9], skutecznym sposobem ustalenia zakresu pracy silnika turbosmigłowego jest także określenie kąta ustawienia łopat śmigła na podstawie:

- odcisków na korpusie i nakrętkach śmigła,
- ilości oleju w komorze skoku cylindra-siłownika zamiany kąta ustawienia śmigła,
- odcisków tłoka na gładzi cylindra-siłownika,
- położenia mechanizmów zmiany skoku.

Jednocześnie na podstawie śladów śmigła pozostawionych na ziemi (rys. 4) można w przybliżeniu określić jego prędkość obrotową w momencie zetknięcia z ziemią zgodnie ze wzorem

$$N = \frac{57,3V \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right]}{L [\text{Nł}]}$$

gdzie:  $V$  – prędkość samolotu,  $L$  - odległość między śladami,  $Nł$  – liczba łopat.



Rys. 4. Ślady cięć na miękkim podłożu uszkodzonych łopat pracujących na wysokich obrotach  
[źródło: Raport nr 692/15 PKBWL]

## 5. Czynniki mające wpływ na charakterystykę uszkodzeń śmigła

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, jest wiele czynników poza obrotami śmigła mających istotny wpływ na obraz jego uszkodzeń i właściwą identyfikację wyników analizy. Zasadnym wydaje się wzięcie ich pod uwagę – indywidualnie – przy analizie każdego wypadku. Należą do nich w szczególności:

- prędkość postępową samolotu,
- prędkość opadania samolotu,
- charakterystyka lotu samolotu (lot płaski, zakręt, korkociąg itd.),
- kąt zderzenia z podłożem,
- geometria zderzenia i jego przebieg (wbicie w podłoże, obrót, kapotaż itp.),
- charakterystyka podłoża pod względem twardości, spoistości, jednorodności struktury,
- zaburzenia i dodatkowe uszkodzenia wynikające ze zderzenia z elementami infrastruktury [4],
- liczba śmigieł, ich budowa i kolejność kontaktu z podłożem.

W otrzymanych wynikach wątpliwości budzi również relatywnie mała liczba przebadanych zdarzeń (w sumie piętnaście). Należy oczekiwać, iż w przypadku poddania analizie kilkakrotnie większej liczby wypadków osiągnie się precyzyjniejsze wyniki badań. Dodatkowym elementem będzie uwzględnienie wskazanych powyżej czynników.

## 6. Podsumowanie

- Możliwe jest z dużym prawdopodobieństwem określenie zakresu prędkości obrotowej śmigła na podstawie charakterystyki jego uszkodzeń.

- Narzędzie to jednak należy traktować jako uzupełnienie lub jako narzędzie weryfikujące inne metody badawcze. Możliwe jest do zastosowania w szczególności przy braku danych z innych źródeł.
- Właściwa weryfikacja wymaga dużej praktyki badającego i uwzględnienia szeregu osobnych czynników.
- Jednoznaczną identyfikację zaburzają takie czynniki, jak: prędkość samolotu, charakterystyka lotu, kąt zderzenia z podłożem, geometria zderzenia, sposób przemieszczania się samolotu po zderzeniu, charakterystyka podłoża, zderzenia z elementami infrastruktury, liczba łopat i budowa śmigieł.
- Prowadząc dalsze badania, należy uwzględnić wskazane powyżej czynniki. Badania winny obejmować większą liczbę różnorodnych zdarzeń, na podstawie których można określić bardziej precyzyjne cechy uszkodzeń z uwzględnieniem wszystkich czynników.
- Identyfikacja uszkodzeń śmigła na niskich obrotach jest zazwyczaj łatwiejsza i bardziej jednoznaczna aniżeli identyfikacja zakresu pracy śmigła na dużych obrotach.
- Charakterystyki uszkodzeń nie są tak jednoznacznie, jak wskazywałaby na to skąpa literatura przedmiotu [9].

### Bibliografia

1. JAFERNIK H., FELLNER R., *Prawo i procedury lotnicze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2015, ISBN 978-83-7880-227-3
2. KLICH E., *Bezpieczeństwo lotów. Wypadki, przyczyny, profilaktyka*, Puławy, 1998
3. KONIECZKA R., How to secure basic evidence after an aviation accident (Jak zabezpieczać ślady po wypadku lotniczym), *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, **94**, 65-74, 2017, ISSN: 0209-3324
4. KONIECZKA R., Wstępna identyfikacja toru lotu statku powietrznego przed wypadkiem na podstawie śladów na podłożu oraz obiektach naziemnych i charakterystyki rozrzutu szczątków, *Prawo lotnicze i kosmiczne oraz technologie – nowe wyzwania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów, 2018, ISBN 978-83-7996-666-0
5. KONIECZKA R., Rola zapisów urzędów rejestrujących jako źródła informacji w odtwarzaniu przebiegu i określaniu przyczyn wypadków lotniczych w prowadzonych postępowaniach przygotowawczych, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, **XX**, 12, 145-161, 2019, Wydawnictwo SAN, ISSN 2543-8190
6. KONIECZKA R., Zdefiniowanie przyczyn i okoliczności wypadków lotniczych w postępowaniach przygotowawczych związanych z ich zaistnieniem, *Przegląd Komunikacyjny. Odporność infrastruktury krytycznej lotnisk użytku publicznego*, **1**, 2018, ISSN 1896-0596
7. MASARCZYK W., Identyfikacja zakresu pracy zespołu napędowego samolotu na podstawie charakterystyki uszkodzenia śmigła. Projekt inżynierski. Kierujący projektem: Robert Konieczka. Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechniki Śląskiej, Katowice, 2020.
8. RODRIGUEZ C., *Aviation Maintenance Technician Certification Series, Module 17A – propeller* (Seria certyfikacji lotniczej obsługi technicznej, moduł 17A – śmigło), Aircraft, rok wyd. ????
9. MILKIEWICZ A., RED., *Podstawy organizacji i metodyki badania wypadków lotniczych w lotnictwie cywilnym RP*, praca zbiorowa, Warszawa, 2001
10. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 4 października 2017 r. w sprawie wypadków i incydentów lotniczych (26 października 2017 r., poz. 1995)
11. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 996/2010 w sprawie badania wypadków i incydentów w lotnictwie cywilnym oraz zapobiegania im oraz uchylające dyrektywę 94/56/W

12. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (We) Nr 216/2008 z dnia 20 lutego 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w zakresie lotnictwa cywilnego i utworzenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego oraz uchylające dyrektywę Rady 91/670/EWG, rozporządzenie (WE) nr 1592/2002 i dyrektywę 2004/36/WE
13. Załącznik nr 13 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, podpisanej w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r. (Załącznik do obwieszczenia nr 20 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 25 listopada 2019 r.)
14. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 19 lipca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo lotnicze (22 sierpnia 2019 r., poz. 1580)

**Analysis of the possibility to preliminarily identify the operational range of the propelling system of an aircraft before an accident based on characteristics of the propeller damage afterwards**

The article is an attempt to find regularities in the damage of an aircraft propeller in relation to the range of operation of the propulsion system. The choice of the topic resulted from the need to define an approximate range of operation of the propulsion system during an aviation accident. It is especially essential in a situation when there are no other data concerning the range of operation of the propulsion system such as data from recorders or statements from reliable witnesses. The article is based on the analysis of the damage resulted from a number of accidents with an aircraft fitted with propellers with known range of the rotational speed. The source of this knowledge are publicly available reports from PKBWL (National Commission for the Investigation of Aircraft Accidents). They constitute a foundation for defining general regularities concerning the type of damage. Unequivocal findings become distorted by other essential factors, e.g. cruising speed, type of the surface and geometry of the event. Using this information, the author tries to outline approximate general regularities, define the factors that influence inaccuracies in the assessment and determine further actions in order to achieve the assumed research goals.