

Jerzy LEWITOWICZ<sup>1</sup>

### **EKSPLLOATACYJNE KOMPUTEROWE BAZY DANYCH W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI DANYCH ŹRÓDŁOWYCH**

*W procesie eksploatacji statków powietrznych wykorzystuje się duże komputerowe systemy bazy danych, umożliwiające tzw. komputerowe wspomaganie eksploatacji. Dużym problemem jest niepewność danych źródłowych i ich wiarygodność co w znaczącym stopniu wpływa na wiarygodność wyników obliczeń i wnioskowania prognostycznego.*

### **COMPUTER OPERATIONS-AND-MAINTENANCE DEDICATED DATABASES AND SOURCE DATA UNCERTAINTIES**

*Huge computer databases that provide the so-called computer-aided support of aircraft operations and maintenance are used throughout the whole lifecycles of aircraft. The source data uncertainties and the source data reliability produce, however, great problems, since both affect the reliability of results gained and forecast-dedicated inference.*

## **1. WSTEP**

Współczesny, każdy obiekt techniczny – na przykładzie statku powietrznego – to wytwór działania człowieka. Każdy obiekt rozpatrywany jest pod kątem jego użyteczności. Implikuje to konieczność posiadania wielu właściwości, takich jak: niezawodność, gotowość, bezpieczeństwo użytkowania (np. bezpieczeństwo lotów), podatność eksploatacyjną itp. Własności i właściwości materializują się w procesie eksploatacji [1, 3]. Sterowanie procesem eksploatacji statków powietrznych (ogólnie obiektów technicznych) polega na korygowaniu programu eksploatacyjnego, a w szczególności na odpowiednim doborze i rozmieszczeniu w czasie kalendarzowym lub czasie użytkowania odpowiednich przedsięwzięć eksploatacyjnych, mających na celu:

- zapobieganie przed nieoczekiwanym wyczerpywaniem się zasobu funkcjonowania (pracy, nalogu) statków powietrznych, a w tym spowalnianie procesów zużycia i starzenia;
- odtwarzanie zasobu funkcjonowania przez odpowiednie przedsięwzięcia eksploatacyjne (obsługę i odnowę) w optymalnych momentach czasu ze względu na efektywność, gotowość itp.;

---

<sup>1</sup> Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6 Sp. 96;  
e-mail: jerzy.lewitowicz@itwl.pl

- diagnozowanie stanu technicznego obiektu, wykrywanie stanów przedawaryjnych oraz identyfikację zasobu funkcjonowania (nalotu).

Eksploatacja SP wymaga dużych środków materiałowych i technicznych i z tego tytułu poddawana jest optymalizacji (czytaj: minimalizacji kosztów) przy równoczesnym zapewnieniu wymaganego bezpieczeństwa lotów, gotowości do realizacji zadań, niezawodności itp. Roczne koszty eksploatacji SP w światowych liniach lotniczych sięgają miliardów dolarów. Konstrukcja współczesnego samolotu czy śmigłowca, ogólnie statku powietrznego (SP) jest projektowana pod kątem spełnienia zarówno zakładanych osiągnięć i parametrów lotnych, jak i eksploatacyjnych. Istotnym czynnikiem, jaki musi być brany pod uwagę, jest wieloletnia eksploatacja (25-100 lat!).

## **2. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE EKSPLOATACJI STATKÓW POWIETRZNYCH**

Do efektywnego sterowania systemami eksploatacji statków powietrznych wykorzystuje się systemy komputerowe. Dane wejściowe przygotowuje się w oparciu o:

- rozpoznane procesy, zjawiska i wskaźniki opisujące trajektorię stanu technicznego statków powietrznych, a w szczególności:
  - zjawisk fizycznych powodujących zmianę stanu technicznego, symptomów uszkodzeń i stanów przedawaryjnych,
  - związków przyczynowo-skutkowych między zmianą stanu technicznego poszczególnych zespołów i elementów a stanem zdadności maszyny,
  - przebiegów procesów zmian stanu technicznego poszczególnych zespołów i elementów SSP w zależności od warunków i czasu użytkowania, czasu kalendarzowego, programu obsługi (w tym konserwacji i uzdatniania), zakłóceń przypadkowych lub innych zdarzeń losowych występujących w procesie eksploatacji;
- opracowanie procesów i wskaźników charakteryzujących podsystem utrzymywania zdadności i alimentacji, a w tym:
  - dyspozycyjności personelu oraz niezawodności infrastruktury i stanowisk obsługi,
  - przydatności, motywacji i niezawodności (bezbiełdności) zespołów obsługowych;
- rozpoznanie procesów i opracowanie wskaźników charakteryzujących potrzeby systemu eksploatacji oraz możliwości systemu zaopatrywania – logistyki, takich jak:
  - intensywność zużycia zasobów materiałowych, energetycznych i innych – przy danej intensywności użytkowania,
  - charakterystyk strumienia dostaw, pojemności magazynowych, przepustowości i mobilności systemu zaopatrywania;
- opracowane jednoznacznie programy eksploatacyjne;

- skatalogowane i opatrzone jednolitym kodem informatycznym zbiory ludzi, eksploatowane statki powietrzne i ich części składowe oraz wszystkie wykorzystywane zasoby przedmiotowe;
- opracowane modele ocenowe i wyznaczone parametry sterujące systemem eksploatacji, takie jak: efektywność, gotowość, bezpieczeństwo lotów itp.;
- ustalone wymagania ilościowo-jakościowe dotyczące parametrów, cech i przebiegu procesu:
  - dobrane środki łączności do transmisji danych i jednolity standard sprzętu komputerowego oraz oprogramowania narzędziowego,
  - opracowaną bazę danych eksploatacyjnych z systemem przetwarzania informacji o ludziach, obiektach, zasobach, procedurach, cechach i zdarzeniach,
  - przygotowaną kadrę do projektowania systemów eksploatacji oraz korzystania z nowoczesnych środków informatyki i łączności.

Skuteczne sterowanie eksploatacją prowadzi do:

- osiągnięcia pożądaných efektów z odpowiednią zakładaną efektywnością;
- rozpoznania procesów destrukcji i zmian wskaźników niezawodności, bezpieczeństwa i efektywności dla potrzeb dopasowania programów eksploatacyjnych obsług i odnów;
- wykrycia rezerw trwałości statków powietrznych podnoszących efektywność całego lotniczego systemu.

### 3. EKSPLOATACYJNA BAZA DANYCH

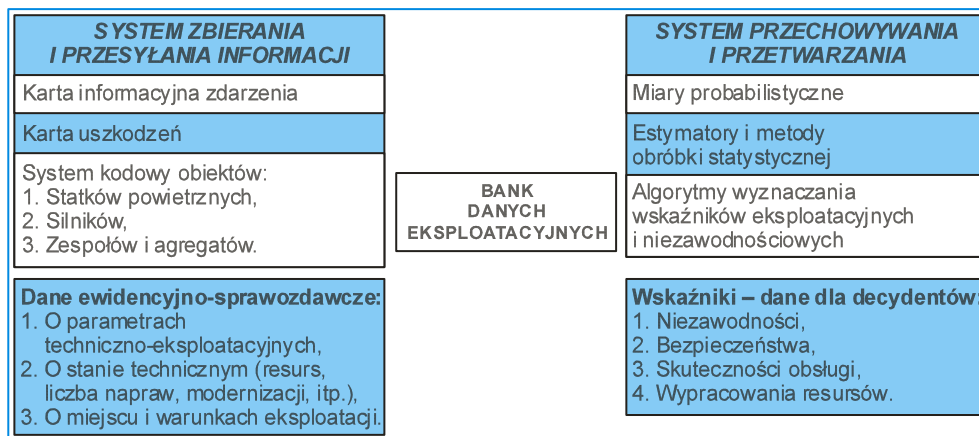
W procesie eksploatacji statków powietrznych tworzy się duże i mniejsze – w zależności od wielkości lotniczego systemu transportowego (LST) czy lotniczego systemu wojskowego (LSW) – komputerowe systemy informatyczne, bazy danych, umożliwiające tzw. komputerowe wspomaganie eksploatacji (KWE).

Przetwarzanie informacji w KWE pozwala na analizę możliwości zabezpieczenia działań LST (LSW) na tle planów operacyjnych.

Przykładowe charakterystyki uzyskane z systemu informatycznego przetwarzania danych to:

- dane dotyczące wystarczalności rozporządzalnych zasobów przedmiotowych (statków powietrznych, urządzeń, paliwa itp.);
- dane dotyczące wydajności obsługowych w poszczególnych rodzajach działań oraz rezerw produkcyjnych niezbędnych do utrzymania zakładanego rytmu funkcjonowania LST (LSW);
- związki funkcyjne lub korelacyjne zasobów i usług z intensywnością poszczególnych działań eksploatacyjnych.

Nowoczesny system eksploatacji statków powietrznych znacznie sprawniej i efektywniej funkcjonuje przy wykorzystaniu nowoczesnych środków informatycznych w postaci komputerowych systemów wspomaganie eksploatacji (rys. 1), które oparte są o informacje zawarte w eksploatacyjnej bazie danych [2, 5].



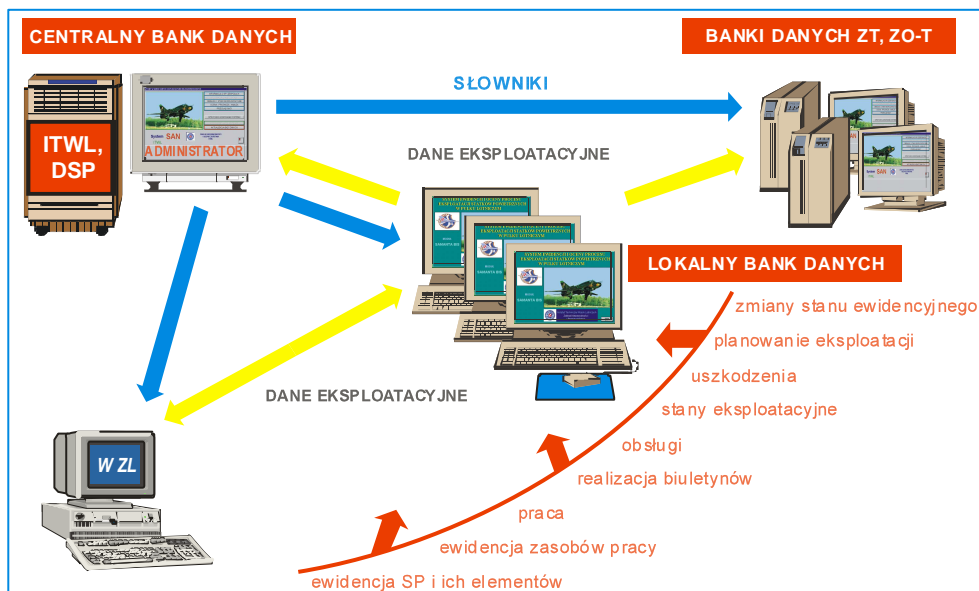
Rys. 1. Struktura komputerowego systemu wspomaganie eksploatacji (KWE)

Eksploatacyjne bazy danych (EBD) tworzy się w celu optymalnego zarządzania eksploatacją statków powietrznych (rys. 2). Dane zbierane i następnie przetwarzane obejmują całą sferę eksploatacji statków powietrznych, to jest wszystkie zdarzenia techniczne – uszkodzenia, odnowy, wykonywane prace, utrzymujące zdolność techniczną i zdolność do lotu, realizację zadań (OZL) oraz dane techniczne, organizacyjne, gotowościowe itp., przydatne do sterowania eksploatacją. Ze względu na charakter źródeł pozyskiwania danych oraz obiektów technicznych wyróżnia się dane źródłowe dotyczące:

- pojedynczego statku powietrznego (lub grupy statków powietrznych), będących w użytkowaniu (w podsystemie użytkowania PEUż);
- pojedynczego statku powietrznego (lub grupy statków powietrznych), będących w podsystemie utrzymywania zdolności – obsługiwanie (PEUt);
- systemów organizacyjnych logistycznych.

Efektywność podejmowanych decyzji w oparciu o informacje KSE w dużej mierze zależy w praktyce od zasobu bazy danych, od zdolności i często od szybkości wykorzystania informacji w rzeczywistym działaniu. Baza danych powinna zawierać następujące moduły:

- danych eksploatacyjnych statków powietrznych (struktura techniczna opisana za pomocą kodów, parametry eksploatacyjne);
- obserwowane zdarzenia eksploatacyjne, w szczególności uszkodzenia;
- realizacji działań eksploatacyjnych (obsługi, odnowy itp.);
- zbiorów kodów operatorów i urządzeń towarzyszących pracom na sprzęcie lotniczym;
- zbiorów diagnostycznych metod, procedur i narzędzi (MPN) umożliwiających jakościową i ilościową ocenę stanu technicznego SP oraz obserwację stanów awaryjnych i katastroficznych;



Rys. 2. Przykład struktury eksploacyjnej bazy danych typu SAN/SAMANTA wykorzystywanej w Siłach Powietrznych RP [źródło – ze zbiorów ITWL] ITWL, IWspSZ, DSP – centrale banku danych; WZL – zakłady produkcyjne lub remontowe; Z-T, Z-TO – podstawowe jednostki organizacyjne eksploatujące statki powietrzne

- zbiorów metod i procedur umożliwiających ocenę przydatności SP do realizacji zadań (OZL) w zakresie efektywności, gotowości, bezpieczeństwa lotów.

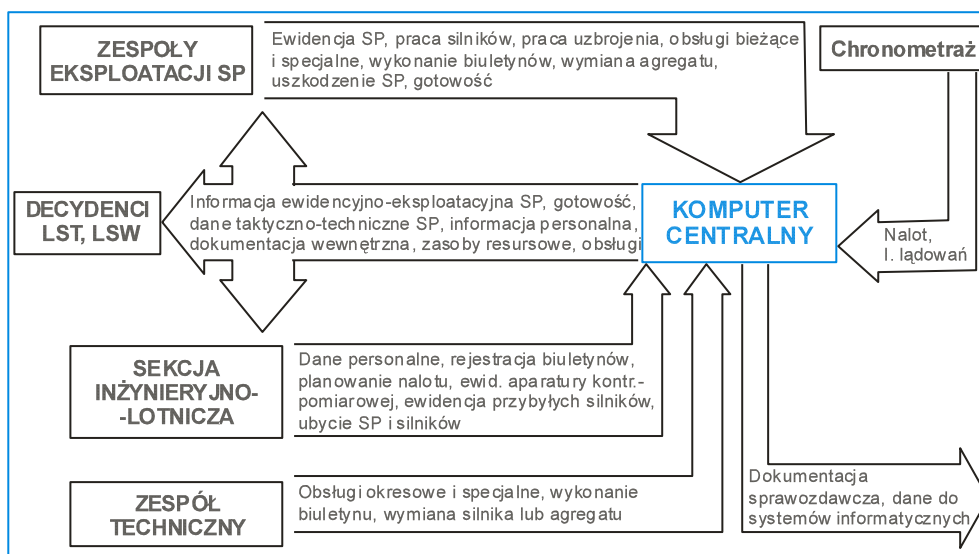
Proces decyzyjny dotyczący eksploatacji statków powietrznych obejmuje interaktywne współdziałanie podsystemów utrzymywania zdolności technicznej statku powietrznego (PEUż) i jego użytkowania (PEUt), które w rezultacie analizy zadań – zdolności wykonania lotu i oceny stanu technicznego SP są korygowane. W szczególności dotyczy to:

- diagnozowania stanu technicznego SP potwierdzającego stan zdolności lub zorientowanego na prewencyjne wykrycie stanów awaryjnych;
- działań profilaktycznych zapewniających bezawaryjne wykorzystanie potencjału eksploacyjnego SP;
- odtwarzanie potencjału eksploacyjnego poprzez odpowiednią alimentację SP i realizację odpowiednich odnow SP (napraw, wymian, remontów).

Dane do EBD zbierane są przez wszystkie służby każdego lotniczego systemu transportowego (LST) lub też lotniczego systemu wojskowego (LSW). Gromadzone są one również w pokładowych komputerowych urządzeniach rejestracji danych eksploacyjnych. Przykład przepływu informacji w systemie komputerowego

wspomagania eksploatacji przedstawia rysunek 3. Pozwala to na realizację następujących zadań:

- wszechstronną analizę procesu eksploatacji wszystkich egzemplarzy SP;
- wypracowanie podstawowych danych do podejmowania decyzji eksploatacyjnych;
- przekazanie informacji do banku danych na wyższym szczeblu organizacyjnym.



Rys. 3. Przepływ informacji w komputerowym systemie wspomagania eksploatacji statków powietrznych

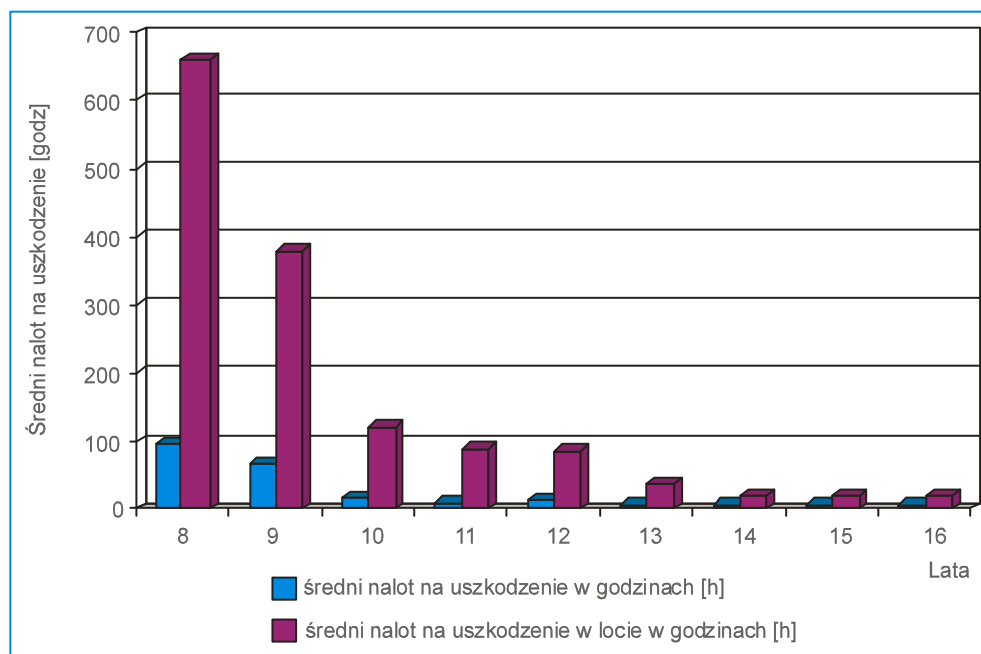
#### 4. WSKAŹNIKI EKSPLOATACYJNE

Gdy posiada się odpowiednie zbiory informacji w eksploatacyjnej bazie danych, to wyboru wskaźników ocenowych dokonuje się według zawartości informacji. Następnie przeprowadza się ich redukcję, wykorzystując na przykład analizę korelacyjną. Wspomniana analiza prowadzi do zawężenia liczby wskaźników i wyboru najistotniejszych. Najbardziej ogólnym, syntetycznym wskaźnikiem jakości procesu eksploatacji jest efektywność, której miary formułuje się w zależności od rodzaju i właściwości obiektu oraz jego przeznaczenia.

Różnorodność definicji i modeli efektywności wymaga indywidualnego podejścia do danego obiektu i procesu jego eksploatacji. Są jednak stałe cechy obiektu mocno skorelowane z efektywnością, takie jak: bezpieczeństwo, niezawodność, gotowość i trwałość. Na identyfikację tych cech kładzie się szczególny nacisk.

Wskaźniki eksploatacyjne mogą być wyznaczone dla całego statku powietrznego, jak też dla poszczególnych zespołów czy instalacji. Na ogół oblicza się wskaźniki dla całego SP, płatowca, zespołu napędowego, awioniki. Na rysunku 4 pokazano przykładowo zmiany wybranych wskaźników – dla floty około stu egzemplarzy jednego z typów

wojskowych statków powietrznych – służących podejmowaniu odpowiednich decyzji w procesie sterowania eksploatacją statków powietrznych.



Rys. 4. Średni nalot na jedno uszkodzenie w funkcji lat eksploatacji floty wojskowych statków powietrznych

Dla przykładu kolejne trzy wskaźniki eksploatacyjne: a) wskaźnik strumienia uszkodzeń całego statku powietrzego; b) wskaźnik wykrycia uszkodzeń w podsystemie utrzymywania zdolności technicznej statku powietrzego; c) wskaźnik wykrycia uszkodzeń w podsystemie użytkowania (w locie) statku powietrzego oblicza się z następujących wzorów:

– wskaźnik strumienia uszkodzeń całego statku powietrzego  $\omega_{rj}$ :

$$\omega_{rj} = \frac{\sum_{f=j}^{j_{\max}-1} n_{rj}^f(\Delta t)}{\sum_{f=j}^{j_{\max}-1} N^f \Delta t} = \frac{n_{rj}(\Delta t)}{N_j \Delta t} \quad (1)$$

gdzie:  $n_{rj}(\Delta t)$  – liczba uszkodzeń, powstałych w przedziale  $[j\Delta t, (j+1)\Delta t]$  czasu pracy we wszystkich eksploatowanych statkach powietrznych  $r$ -tego typu;

$N_j\Delta t$  – sumaryczny czas pracy wszystkich statków powietrznych  $r$ -tego typu eksploatowanych w przedziale czasu  $[j\Delta t, (j+1)\Delta t]$ .

– wskaźnik wykrycia uszkodzeń w podsystemie utrzymywania zdatości technicznej statku powietrznego  $Q_{r\gamma}$ :

$$Q_{r\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^N n_{i\gamma}}{\sum_{i=1}^N \sum_{\gamma=1}^M n_{i\gamma} + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^m n_{il}} \quad (2)$$

gdzie:  $n_{i\gamma}$  – liczba uszkodzeń wykrytych w trakcie wykonywania obsługi rodzaju  $\gamma$  na  $i$ -tym statku powietrznym typu  $r$  w rozpatrywanym przedziale czasu;

$N$  – liczba statków powietrznych typu  $r$ ;

$M$  – liczba rodzajów obsługi statku powietrznego typu  $r$ ;

$n_{il}$  – liczba uszkodzeń wykrytych w locie  $i$ -tego statku powietrznego typu  $r$  w rozpatrywanym przedziale czasu;

$m$  – liczba lotów  $i$ -tego statku powietrznego w rozpatrywanym przedziale czasu.

– wskaźnik wykrycia uszkodzeń w podsystemie użytkowania (w locie) statku powietrznego  $Q_{rl}$ :

$$Q_{rl} = \frac{\sum_{l=1}^m n_{il}}{\sum_{i=1}^N \sum_{\gamma=1}^M n_{i\gamma} + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^m n_{il}} \quad (3)$$



gdzie:  $Q_{rl}$  – wskaźnik wykrywalności uszkodzeń w locie statku powietrznego typu  $r$ ;

pozostałe oznaczenia - jak w zależności (2).

## 5. NIEPEWNOŚĆ DANYCH ŹRÓDŁOWYCH

Eksploatacyjne badanie niezawodności opiera się na zbiorze danych pozyskiwanych z różnych struktur organizacyjnych (różnych jednostek) i przygotowywanych przez różne osoby, które generują problem niepewności danych i wrażliwości na proces wnioskowania [5]. Pojęcie niepewności rozumiane jest jako:

- stopień zgodności informacji, w tym informacji niepewnych;
- brak odpowiedniej informacji do podjęcia decyzji;
- luka informacyjna rozumiana jako różnica między ilością informacji wymaganej do rozwiązania zadania a ilością informacji możliwej do pozyskania.

Najważniejsze powody niepewności informacji i ich wpływu na wnioskowanie niezawodnościowe, charakteryzujących niezawodność każdego obiektu technicznego, w tym i statku powietrznego, są związane:

- z małą (na ogół) liczebnością próbki statystycznej i związanym z tym szerokim przedziałem ufności badanego parametru (zmiennej losowej);
- ekstrapolacją danych z jednego parametru na inny;
- dużymi trudnościami uwzględnienia wpływu czynników pracy i otoczenia oraz roli człowieka (operatora).

Zatem wszelka analiza problemów niezawodnościowych musi uwzględniać konieczność wpływu niepewności i wrażliwości danych wyjściowych na wyniki poprzez wskaźnik korygujący niepewność danych (na ogół liczbowo zaniżanych). Wskaźnik taki wyznacza się na drodze następujących obserwacji:

- porównanie rejestrowanych uszkodzeń w porównywalnych jednostkach;
- analiza wykorzystania części zamiennych, wymiennych, zapasowych;
- analiza zamawianych zestawów zapasowych;
- doraźne kontrole dokumentacji eksploatacyjnych.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dygnatowski S., Mitkow S.: *Standardy NATO we wzajemnym obsłudze statków powietrznych*. Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej, Oficyna Wydawnicza TEXT, Nr 4 92007), Kraków 2007.
- [2] Kundler J.: *Long-trem maintenance of aeronautical information system on the base of statistical methods*. Maintenance and Reliability, No. 4 (36), 2007.
- [3] Lewitowicz J.: *Komputerowe wspomaganie eksploatacji i eksploatyki środków transportu na przykładzie statków powietrznych*. XIII Konferencja Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu TRANSCOMP'2009, Zakopane 2009.

- [4] Lewitowicz J., Żyłuk A.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*. T. 5. *Techniczna eksploatacja statków powietrznych*. Wydawnictwo. ITWL, Warszawa 2009.
- [5] Nowakowski T.: *Modelowanie niepewności wiedzy pozyskiwanej z badań niezawodności*. XXX Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2002.



Prof. J. Lewitowicz jest pracownikiem ITWL. Główne zainteresowania naukowe obejmują rozwój najnowszej techniki wojskowej, w tym w szczególności lotniczej, budowa i eksploatacja samolotów i śmigłowców ze szczególnym uwzględnieniem diagnostyki technicznej i logistyki. W dorobku naukowym posiada ponad 400 publikacji naukowych; autor lub współautor 19 książek (m.in.): *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*, sześć tomów (1993-2006), *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*, pięć tomów (2001-2009), opracował ponad 400 opinii i recenzji naukowych, uczestnik ponad 120 konferencji naukowych i technicznych z czynnym udziałem.