

Mirosław NOWAKOWSKI¹

SYSTEMY POMIAROWE WYKORZYSTYWANE W BADANIACH W LOCIE STATKÓW POWIETRZNYCH

Podstawą projektowania każdego systemu pomiarowego jest program badań określający cele, obiekty, metody, sposoby opracowywania i prezentacji wyników badań w postaci ułatwiającej wnioskowanie oraz środki techniczne niezbędne do realizacji programu. Jednym z takich środków jest aparatura tworząca mniej lub bardziej złożony system pomiarowy. W skład aparatury pomiarowej wchodzi:

- urządzenia pomiarowe służące do zmiany mierzonej wielkości fizycznej na sygnał optyczny, mechaniczny lub elektryczny (wskaźniki, nadajniki, czujniki, przetworniki);*
- urządzenia pośredniczące służące do wzmocnienia, dopasowania sygnału do wymaganej wartości lub postaci;*
- urządzenia rejestrujące zachodzące zjawiska (kamery, rejestratory);*
- urządzenia dekodujące zapisaną informację (dekodery, komputery).*

MEASURING SYSTEMS USED IN FLIGHT TESTS OF AIRCRAFT

Any design of any measuring system is usually (or at least, should be) based on two fundamental elements, i.e.: a testing-work program that defines objectives, objects exposed to tests, methods, and techniques of handling the test results to display them in the form that makes inference easier, and engineered means indispensable to perform and successfully accomplish this program. One of such means is the apparatus that makes up a more or less complicated measuring system. It is usually composed of the following items:

- measuring devices capable of converting physical quantities that are to be measured into optical, mechanical, or electrical input signals (indicators, transmitters, sensors, transducers);*
- 'intermediate' devices used to amplify and/or adjust any signal gained to some required value or form;*
- devices that record the occurring phenomena (cameras, recorders);*
- devices to decode the recorded information (decoders, computers).*

¹ Dr inż. Mirosław NOWAKOWSKI, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

1. WSTĘP

Badania nowo produkowanych oraz modernizowanych statków powietrznych przeprowadza się przed wprowadzeniem do produkcji i eksploatacji. Dopuszczenie statku powietrznego do eksploatacji możliwe jest tylko po uzyskaniu certyfikatu. Uzyskuje się go po odpowiednich badaniach, które obejmują próby na ziemi i w locie. Badania te mają na celu sprawdzenie przewidywanego zakresu użytkowania na zgodność z określonymi normami, przepisami i Załoženiami Taktyczno-Technicznymi. Wykazanie spełnienia wymagań przepisów budowy statku powietrznego w zakresie osiągnięć i własności lotnych jest możliwe poprzez pomiary wykorzystujące wskazania przyrządów pokładowych rejestrowanych za pomocą systemów pomiarowych.

2. STRUKTURA I CHARAKTERYSTYKI SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Podstawą projektowania każdego systemu pomiarowego jest program badań określający cele, obiekty, metody, sposoby opracowywania i prezentacji wyników badań w postaci ułatwiającej wnioskowanie oraz środki techniczne niezbędne do realizacji programu. Jednym z takich środków jest aparatura tworząca mniej lub bardziej złożony system pomiarowy. Program badań jest głównym źródłem informacji służących do określenia wymagań dotyczących charakterystyk użytkowych systemu pomiarowego. Dodatkowymi źródłami takiej informacji mogą być wyniki badań przeprowadzonych na modelach cybernetycznych i fizycznych oraz wyniki badań doświadczalnych obiektów podobnej klasy. Przyjmując program badań za podstawę określenia wymagań dotyczących charakterystyk użytkowych systemu pomiarowego, należy mieć na uwadze, że może on ulegać zmianom w trakcie rozwoju badań, co z reguły pociąga za sobą konieczność dokonywania zmian w systemie pomiarowym.

Do oszacowania przebiegu w czasie sygnałów wielkości mierzonych korzysta się zwykle z metod analizy czasowej i częstotliwościowej (tabela 1), określając czas narastania sygnału lub ich częstotliwość graniczną. Częstotliwość graniczną określa amplituda widma częstotliwościowego sygnału. Dysponując modelami sygnałów wielkości mierzonych, należy przeprowadzać analizę wymagań dotyczących dokładności pomiaru.

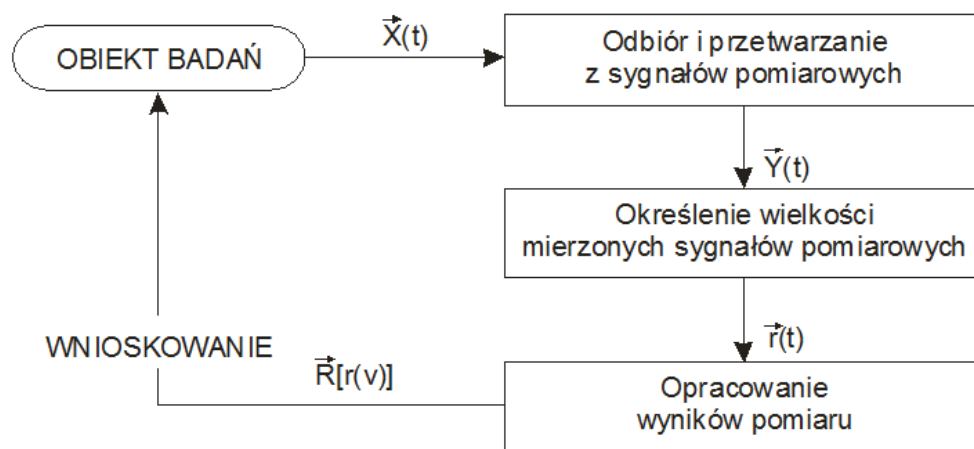
Tab. 1. Charakterystyki wybranych mierzonych wielkości

Lp.	Wielkości mierzone	Symbol	Jednostka miary	Pasma częstotliwości sygnałów wielkości mierzonych [Hz]	Wymagania dla Δ_{gr} [%]
1	2	3	4	5	6
1	Wysokość przyrządowa lotu	h_p	m	0 – 2	6
2	Prędkość przyrządowa lotu	V_p	km h ⁻¹	0 – 2	0,5 - 1
3	Temperatura otoczenia	T	K	0 – 2	0,5 – 1

4	Prędkość obrotowa silników	N	obr	0 – 5	0,2 – 0,5
5	Zużycie paliwa	Q	l/h	0 – 2	0,5
6	Ciśnienie w instalacjach silnika	P	MPa	0 – 10	1 – 1,5
7	Ciśnienie w instalacjach hydraulicznych i pneumatycznych	P	MPa	0 – 100	1,5 – 2,0
8	Przesunięcie elementów wykonawczych instalacji hydraulicznych i pneumatycznych	L_1	mm	0 – 20	1,5 – 2,0
9	Przesunięcie elementów automatyki sterowania silnikiem	L_n	mm	0 – 10	1,5
10	Siły działające w elementach wykonawczych instalacji hydraulicznej i pneumatycznej	P	N	0 – 100	1,5
11	Siły na sterownicach samolotu	P	N	0 – 10	1,5
12	Przesunięcia kątowe powierzchni sterowanych samolotu	A_s	-	0 – 10	1,5
13	Prędkości kątowe względem prostokątnego układu odniesienia związanego z samolotem X_1, Y_1, Z_1	Ω	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	0 – 10	1,5
14	Przeciążenia wzdłuż osi prostokątnego układu odniesienia związanego z samolotem X_1, Y_1, Z_1	N	-	0 – 10	1,5
15	Odształcenia względne elementów konstrukcji silnika i płatowca	E	mm^{-1}	0 – 200	5 – 10
16	Drgania elementów konstrukcji płatowca	A_k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	0 – 200	5 – 10
17	Drgania samowzbudne elementów usterzenia (flutter)	A_f	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	0 – 100	5 – 100
18	Przebiegi nieustalone parametrów źródeł energii elektrycznej a) napięcie	U	V	0 – 25	1 – 1,5

	b) prąd	I	A	0 – 25	1 – 1,5
	c) rezystancja	R	Ω	0 – 25	1,5 – 2
19	Drgania silników	a	$m \cdot s^{-2}$	20 – 1000	5 – 10

Przez pojęcie systemu pomiarowego rozumie się zorganizowany zbiór elementów i połączeń między nimi oraz sekwencję czynności, w wyniku których informację pobiera się z obiektu badań, przetwarza a następnie przedstawia człowiekowi lub zastępującym go automatom w formie odpowiedniej do wykorzystania w procesie badań doświadczalnych (rys.1).

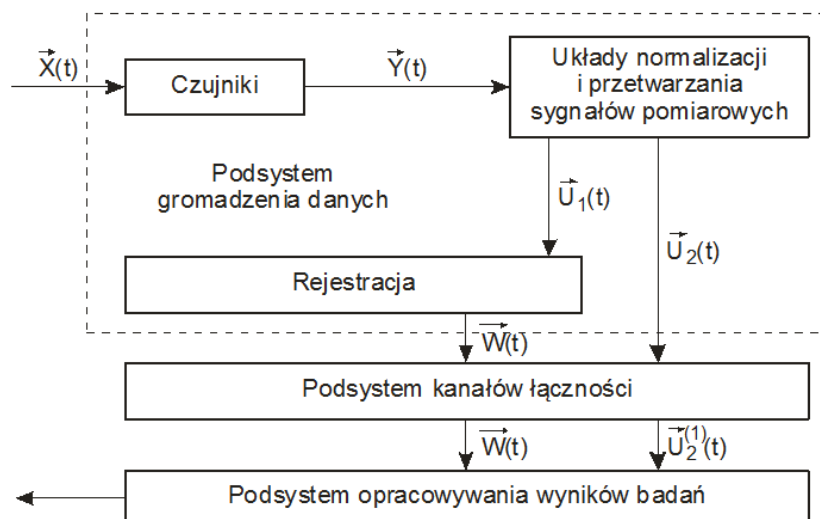


Rys.1. Sekwencja czynności pomiaru i opracowania wyników

Badania są działaniem mającym na celu uzyskanie informacji. Mogą one być prowadzone na modelach cybernetycznych i fizycznych oraz na obiektach rzeczywistych w procesie ich powstawania i użytkowania. Obiektami badań mogą być zjawiska i procesy zachodzące w przyrodzie oraz wytwory pracy ludzkiej. Przez informację rozumie się wiadomość dającą się opisać pojęciami znanymi z teorii informacji tj. ilością informacji, strumieniem informacji i wartością informacji. Pomiar jest badaniem doświadczalnym mającym na celu wyznaczenie wartości wielkości X wyrażonej liczbą A z odpowiednim minimum w jednostce pomiaru.

W tak określonym systemie pomiarowym zbiór wielkości mierzonych $\vec{X}(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ jest odbierany z obiektu badań, przetwarzany, a następnie opracowywany do postaci wygodnej dla wnioskowania $\vec{R} = \{r_1(V_1), r_2(V_2), \dots, r_k(V_k)\}$ z pośrednich sygnałów $W(t)$ i $U(t)$.

Na rys.2 przedstawiono strukturę funkcjonalną systemu z podziałem na trzy charakterystyczne podsystemy.



Rys.2. Schemat struktury funkcjonalnej systemu pomiarowego

Podsystem gromadzenia danych

W podsystemie gromadzenia danych można wyróżnić szczególne przypadki, a mianowicie:

- dla poszczególnych wielkości mierzonych rezerwuje się oddzielne kanały pomiarowe, zwane kanałami prostymi;
- dla jednej wielkości mierzonej można wykorzystywać dwa lub większą liczbę kanałów prostych, zwanych kanałami składanymi;
- kanał pomiarowy jest wykorzystywany do pomiaru od kilku do kilkudziesięciu wielkości i nazywany jest kanałem grupowym.

Podsystem kanałów łączności

Zadaniem tego podsystemu jest przesyłanie sygnałów pomiarowych z podsystemu gromadzenia danych do podsystemu opracowywania wyników badań.

Podsystem opracowywania wyników badań

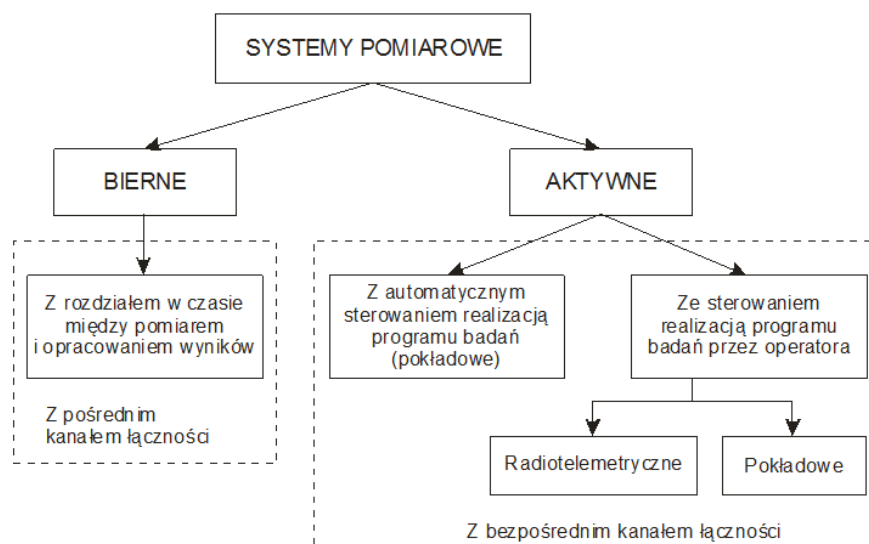
W tym podsystemie operacje na sygnałach pomiarowych mają na celu:

- uzyskanie wartości wielkości mierzonych wraz z oszacowaniem dokładności;
- wykonanie algorytmicznych przekształceń do postaci ułatwiającej wnioskowanie zgodnie z programem badań;
- wydruk opracowanych wyników badań.

3. SYSTEMY POMIAROWE

Projektując system pomiarowy należy określić jego charakterystyki spełniające założenia programu badań. Są to tak zwane charakterystyki użytkowe, wykorzystywane przy projektowaniu systemu pomiarowego na poziomie wyboru struktury funkcjonalnej.

Dobór wyjściowej struktury funkcjonalnej jest łatwiejszy po dokonaniu odpowiedniej klasyfikacji systemu pomiarowego. Szczególnie interesująca w aspekcie badań w locie wydaje się klasyfikacja odzwierciedlająca stopień, automatyzacji badań doświadczalnych. W przedstawionej na rys. 3 propozycji klasyfikacji systemów pomiarowych wyróżniono dwa ich rodzaje, a mianowicie aktywne i bierne. Systemy aktywne dzielą się na dwie grupy. Pierwsza z nich pozwala na pełną automatyzację procesu badań bez udziału człowieka w trakcie realizacji programu. Drugą grupę systemów aktywnych, pozwalających na sterowanie procesem badań w czasie rzeczywistym, dzieli się na pokładowe i radiotelemetryczne. Systemy pomiarowe zaliczone do biernych nie stwarzają możliwości bezpośredniego wspomagania pilota przy podejmowaniu decyzji o kontynuowaniu lub przerwaniu lotu.



Rys.3. Wariant klasyfikacji systemów pomiarowych

4. APARATURA POMIAROWO – REJESTRUJĄCA WYKORZYSTYWANA W BADANIACH NAZIEMNYCH I W LOCIE STATKÓW POWIETRZNYCH

Aparatura pomiarowo – rejestrująca do badań naziemnych i w locie spełnia wysokie wymagania dotyczące dokładności pomiaru i warunków zastosowania (duże zmiany temperatury, ciśnienia, przeciążenia, drgania), a przez to pozwala ocenić zjawiska zachodzące w trakcie lotu.

W skład aparatury pomiarowej wchodzi:

- urządzenia pomiarowe służące do zmiany mierzonej wielkości fizycznej na sygnał optyczny, mechaniczny lub elektryczny (wskaźniki, nadajniki, czujniki, przetworniki);
- urządzenia pośredniczące służące do wzmocnienia, dopasowania sygnału do wymaganej wartości lub postaci;
- urządzenia rejestrujące zachodzące zjawiska (kamery, rejestratory);
- urządzenia dekodujące zapisaną informację (dekodery, komputery).

W wyniku rozwoju elektrycznych metod pomiarów wielkości nieelektrycznych powstawały i były miniaturyzowane urządzenia pomiarowe wykorzystujące różne zjawiska fizyczne. W konsekwencji doprowadziło to do powstania całej gamy różnorodnych urządzeń służących do pomiaru:

- parametrów opisujących ruch statku powietrznego,
- parametrów związanych z organami sterowania statku powietrznego,
- drgań,
- naprężeń konstrukcji,
- parametrów opisujących stan napędów i instalacji statku powietrznego.

Wśród nich są między innymi:

- urządzenia wykorzystujące zjawisko zmiany rezystancji na skutek zmian temperatury (czujniki temperatury), zmiany położenia ruchomych organów (czujniki położenia liniowych i kątowych), ciśnienia (czujniki ciśnienia), przyłożonej siły (tensometryczne czujniki siły);
- zaawansowane technologicznie urządzenia wykorzystujące, do określenia położenia statku powietrznego, promień lasera propagujący się w przewodzie światłowodowym (laserowa platforma żyroskopowa).

Zestawy pomiarowe do badań statków powietrznych można podzielić na cztery grupy:

4.1 Zestawy do badań w locie prototypów statków powietrznych

Zestaw charakteryzuje się dużą liczbą mierzonych parametrów. Niektóre parametry są rejestrowane także na ziemi metodą radiową lub telemetryczną. Przykładem jest zestaw S2-3a opracowany w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Na rys. 4 przedstawiono zestaw wraz z modułem odczytowym i testerem. Zestaw umożliwia:

- ocenę stanu technicznego zespołów SP wraz z zespołem napędowym,
- rejestracją parametrów lotu,
- rejestrację i wizualizacją przekroczeń parametrów,
- deszyfrację zarejestrowanych parametrów podczas lotu.



Rys. 4. Zestaw rejestratora do badań w locie S2-3a

A – blok akwizycji S3-1a-2/TC2 z kasetą eksploatacyjną S3-1a-2k;
 B – kasetę ochronną S2-3a-K; C – pulpit indeksu pilota S2-3a-P;
 D – czytnik kaset; E – komputerowy tester; F – tester

Podstawowym systemem pomiarowo-rejestrującym wykorzystywanym w badaniach certyfikacyjnych statków powietrznych jest badawczy system rejestracji parametrów lotu S2-3a/P.

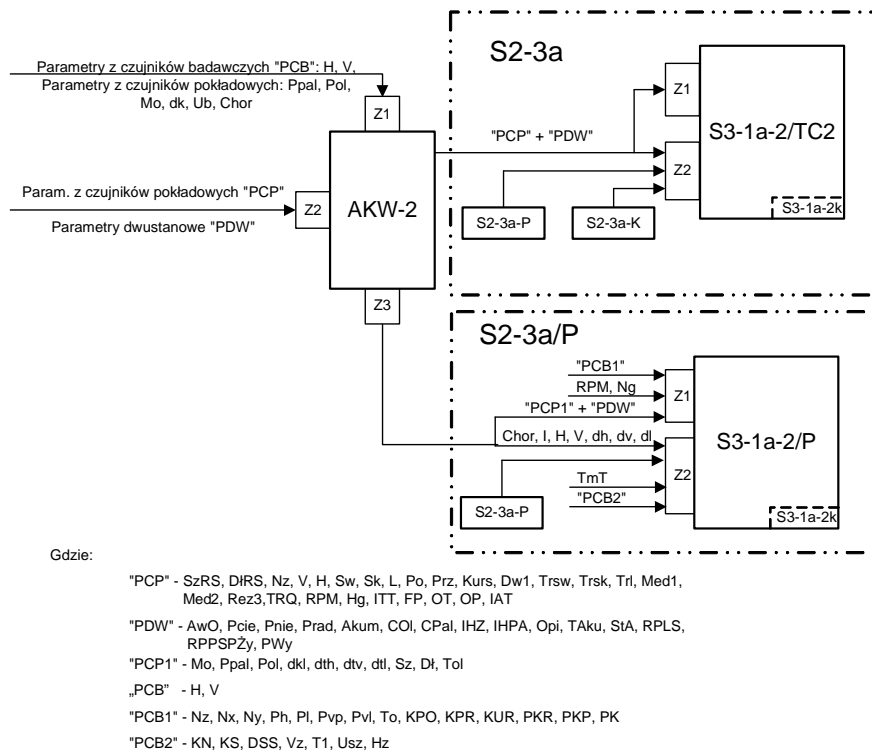
W skład systemu pomiarowo-rejestrującego wykorzystywanego w trakcie badań naziemnych i w locie statków powietrznych wchodzi:

- standardowy system rejestracji parametrów lotu samolotu,
- badawczy system rejestracji parametrów lotu samolotu.

Standardowy katastroficzno-eksploatacyjny system rejestracji parametrów lotu S2-3a jest integralnym wyposażeniem samolotu. Rejestrator ten przeznaczony jest do rejestracji parametrów lotu samolotu w normalnych i awaryjnych warunkach lotu oraz do zabezpieczenia zarejestrowanej informacji w przypadku katastrofy lotniczej.

W badawczym systemie pomiarowo-rejestrującym wykorzystuje się część sygnałów pomiarowych przychodzących do bloku akwizycji S3-1a-2/TC2 rejestratora pokładowego celem rejestracji ich przez rejestrator badawczy S2-3a/P. Rolę tę spełnia blok akwizycji AKW-2 zapewniający współpracę obu rejestratorów.

Schemat blokowy współpracujących ze sobą systemu rejestracji parametrów lotu S2-3a oraz badawczego systemu rejestracji S2-3a/P na pokładzie samolotu PZ:-130 TC-II Orlik przedstawia rys. 5.



Rys.5. Schemat blokowy współpracy systemu rejestracji S2-3a i S2-3a/P

Badawczy system rejestracji parametrów lotu zabudowuje się na czas realizacji programu badań naziemnych i w locie statku powietrznego.

Badawczy system rejestracji parametrów lotu umożliwi pomiar i rejestrację 42 parametrów analogowych oraz 17 parametrów dwustanowych:

Aparatura badawcza umieszczona jest w kabinie samolotu, luku technicznym, bagażniku, wnęce podwozia, przedziale silnika, wlocie do silnika, zewnętrznym węźle mocowania podwieszeń i innych.

Zestaw umożliwił wykonanie pełnych badań certyfikacyjnych w locie samolotów PZL-130 Orlik, An-28 Bryza, śmigłowców W-3WA Sokół, SW-4 i innych.

4.2 Zestawy do badań w locie wybranych zjawisk i problemów

- zestaw do rejestracji obciążeń w locie struktury statku powietrznego np. typu KAM-500/ITWL;

- zestaw do rejestracji parametrów trwałościowych silnika;
- zestaw do pomiaru oblodzenia SP;
- zestaw do badania układów śledzenia obiektów latających o zmiennej konfiguracji;
- zestaw do monitorowania stanu układu krążenia i układu oddechowego pilota w rzeczywistym środowisku pracy.

4.3 Zestawy eksploatacyjne do diagnozowania stanu technicznego zespołów i rejestracji parametrów lotu

Przykładami takich zestawów, nowo opracowywanych są:

- rejestrator danych RD-1/ITWL, przeznaczony do rejestracji i transmisji danych parametrów lotu zapisywanych na taśmach magnetycznych rejestratorów TESTER, zabudowanych na pokładach samolotów MiG-29 i Su-22;
- rejestratory serii THETYS dla samolotów Su-22;
- rejestrator parametrów lotu S2-3a.
- system monitorowania parametrów stanu statku powietrznego w czasie rzeczywistym.

4.4 Zestaw rejestratorów katastroficznych

Zestawy takie składają z dwóch bloków: zapisu parametrów lotu i pracy zespołów SP oraz zapisu rozwiązań na pokładzie SP. W rejestratory eksploatacyjne i katastroficzne wyposażony jest obecnie każdy samolot i śmigłowiec z certyfikacją.

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono systemy pomiarowe wykorzystywane w badaniach naziemnych i w locie statków powietrznych. Za pomocą systemów pomiarowych zapisywane są parametry lotu i sterowania statku powietrznego. Ich późniejsza analiza pozwala na ocenę statku powietrznego pod kątem osiąarów, własności lotnych oraz sprawdzeń funkcjonalnych wyposażenia.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lewitowicz J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych, Badania eksploatacyjne statków powietrznych. Tom 4*, Wyd. ITWL, Warszawa 2007.
- [2] Praca zbiorowa: *Zabudowa aparatury pomiarowo-rejestrującej na pokładzie samolotu PZL-130 TC-II ORLIK nr 047*, Wyd. ITWL 1444/50, Warszawa 2003.
- [3] Praca zbiorowa: *Zabudowa systemu pomiarowo-rejestrującego ACRA2 na pokładzie śmigłowca SW-4 nr 660201*, Wyd. ITWL 2037/50, Warszawa 2005.
- [4] Praca zbiorowa: *Zabudowa systemu pomiarowo-rejestrującego S2-a/p na pokładzie śmigłowca Mi-17-1V nr 6104*, Wyd. ITWL 3857/50, Warszawa 2007.
- [5] Praca zbiorowa: *Zabudowa systemu pomiarowo-rejestrującego ACRA2 na pokładzie śmigłowca W-3PL*, Wyd. ITWL 4225/50, Warszawa 2008.