

Dr hab. inż. Marek ROŚKOWICZ
Dr inż. Piotr LESZCZYŃSKI
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechatroniki i Lotnictwa

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.295

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROCESU DIAGNOZOWANIA SYSTEMU HYDRAULICZNEGO STATKU POWIETRZNEGO

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki symulacji komputerowych i badań eksperymentalnych wykonywanych w celu oceny możliwości diagnozowania systemu hydraulicznego samolotu. Symulacje i badania przeprowadzono w układzie zasilania systemu hydraulicznego samolotu MiG-29 obciążonego wybranymi elementami układów funkcjonalnych. Jako parametry diagnostyczne wykorzystano sygnały zmiany ciśnienia i natężenia przepływu w układzie oraz zmiany czasu przesterowań elementów wykonawczych systemu. Wykazano różnice pomiędzy rezultatami analiz komputerowych a wynikami badań eksperymentalnych wynikające z występowania w rzeczywistych systemach dodatkowych zjawisk, m.in. zjawiska uderzenia hydraulicznego.

COMPUTER AIDED DIAGNOSIS OF AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEM

Abstract: The paper presents the results of computer simulations and experimental studies performed in order to evaluate the possibility of diagnosing the hydraulic system of the aircraft. Simulations and tests were carried out in the supply system of the hydraulic system of the MiG-29 aircraft loaded with selected elements of functional systems. The diagnostic parameters used in signal changes in pressure and flow rate in the system, changes to system actuators overdriving. It has been shown differences between the results of computer analysis and experimental results due to the presence of additional systems in real phenomena, among others, hammer phenomenon.

Słowa kluczowe: system hydrauliczny, komputerowe symulacje działania systemów hydraulicznych, diagnozowanie systemów hydraulicznych

Keywords: hydraulic system, computer simulations of action hydraulic systems, hydraulic systems diagnostics

1. WPROWADZENIE

Jednym z istotnych podzespołów konstrukcyjnych statków powietrznych, mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo i niezawodność procesu eksploatacji statków powietrznych, jest ich system hydrauliczny [1]. Szerokie zastosowanie systemów hydraulicznych w statkach powietrznych wynika przede wszystkim z korzystnego stosunku

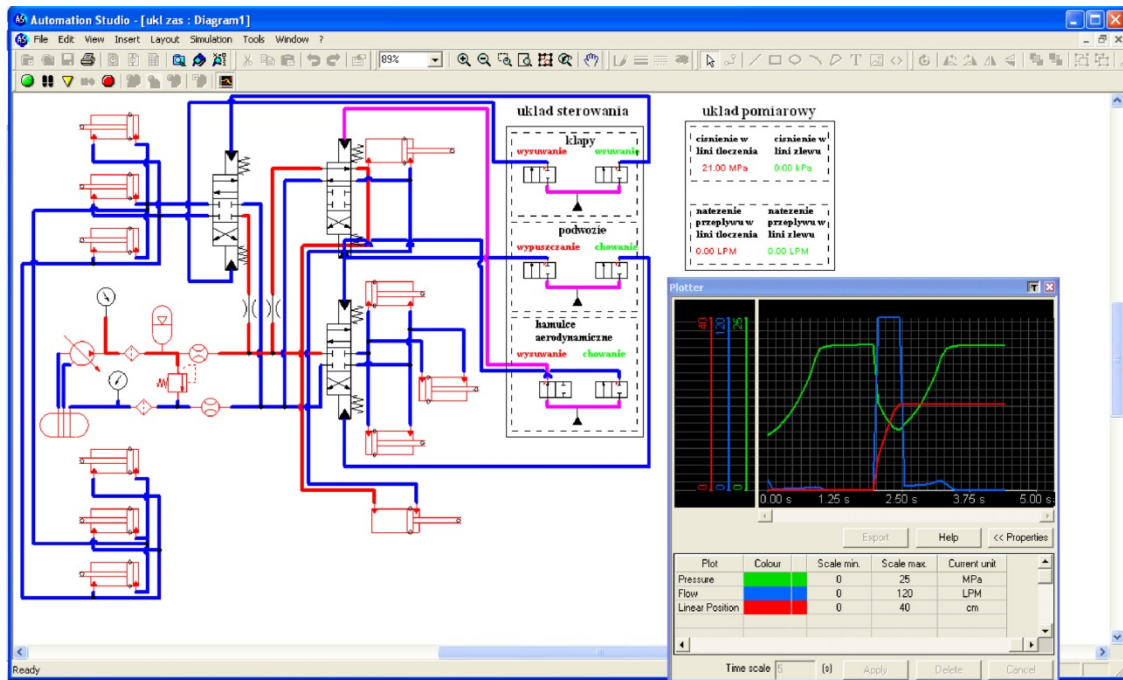
masy i wydajności energetycznej tego typu rozwiązań w odniesieniu do zajmowanej objętości oraz charakterystyk zapewniających bardzo dobrą płynność ruchu elementów płatowca [2]. Funkcjonalnie systemy hydrauliczne można podzielić na układy zasilające i układy odbioru energii. Ze względu na charakter odbioru energii rozróżnia się układy wymagające ciągłego lub periodycznego zasilania. W układach płatowcowych zespoły instalacji hydraulicznej wymagające ciągłego zasilania to zespoły wykorzystywane przede wszystkim do wspomagania systemów sterowania statków powietrznych (sterowanie usterzeniem wysokości i kierunku, sterowanie lotkami, sterowanie systemem autopilota). Układy zasilane periodycznie to przede wszystkim wspomagające systemy startu i lądowania (sterowanie podwoziem, sterowanie hamulcami aerodynamicznymi, sterowanie klapami, sterowanie stożkiem dyfuzora wlotowego silnika, sterowanie zwieraczem zasłonek dyszy wylotowej, sterowanie obrotem ruchomych części skrzydła, sterowanie obrotem przedniej gołeni, sterowanie automatycznym hamowaniem kół podczas chowania podwozia, sterowanie włączaniem i wyłączaniem obciążenia pedałów) [2, 3].

W procesie eksploatacji system hydrauliczny i jego zespoły poddawane są oddziaływaniom wielu czynników wpływających niekorzystnie na ich stan techniczny, a związanych m.in. z przekroczeniem warunków pracy przewidzianych przez konstruktora dla danego typu zespołu lub nieprzestrzeganiem zasad eksploatacji sformułowanych w dokumentacji technicznej, co w konsekwencji prowadzi do uszkodzeń systemu. Występowanie uszkodzeń można przewidywać we właściwie przygotowanym i realizowanym procesie diagnozowania, pod warunkiem ciągłego analizowania zmian stanu technicznego instalacji [5].

System hydrauliczny jest złożonym i niepodatnym diagnostycznie obiektem. Z tego względu kompleksowe diagnozowanie (zbieranie, przetwarzanie informacji i lokalizacja uszkodzeń) w systemie jest bardzo trudne do przeprowadzenia. W związku z tym postanowiono wykorzystać możliwości współczesnych systemów komputerowych w zakresie symulacji działania instalacji hydraulicznej i na podstawie otrzymanych rezultatów ocenić możliwości diagnozowania hydraulicznych układów wykonawczych i układów zasilania. Do badań wytypowano instalację hydrauliczną samolotu MiG-29. Komputerowy projekt systemu hydraulicznego przygotowano w środowisku programu Automation Studio 5.0 firmy Famic Technologies. Otrzymane wyniki analiz komputerowych porównano jakościowo z pomiarami ciśnień w testach eksperymentalnych. Wyniki symulacji komputerowych oraz parametry otrzymane w badaniach eksperymentalnych mogą zostać wykorzystane jako parametry wejścia przy projektowaniu modułów diagnostycznych instalacji hydraulicznej.

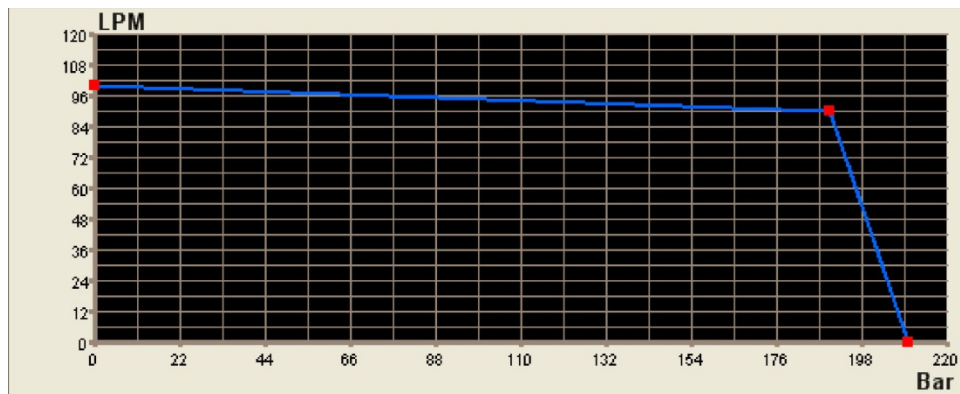
2. KOMPUTEROWY MODEL LOTNICZEGO SYSTEMU HYDRAULICZNEGO

Z wykorzystaniem komputerowych metod projektowania wykonany został model lotniczego układu zasilania hydraulicznego. Parametry elementów zostały dobrane tak, aby spełniały wymagania stawiane lotniczym instalacjom hydraulicznym samolotów wielozadaniowych. Podstawowe dane techniczne zaprojektowanego układu są następujące: pojemność zbiornika – 20 dm³, zakres ciśnienia roboczego wytwarzanego przez pompę – 19÷21 MPa, natężenie przepływu – 0÷100 dm³/min, ilość cieczy w akumulatorze hydraulicznym – 2 dm³, ciśnienie azotu w komorze gazowej akumulatora (przy zerowym ciśnieniu w instalacji) – 8 MPa. Widok schematu zaprojektowanego systemu hydraulicznego z układami wykonawczymi przedstawiono na rysunku 1. Jako odbiorniki energii hydraulicznej z układu zasilania zostały zaprojektowane układy: klap z sześcioma siłownikami, podwozia z trzema siłownikami oraz hamulców aerodynamicznych również z trzema siłownikami.



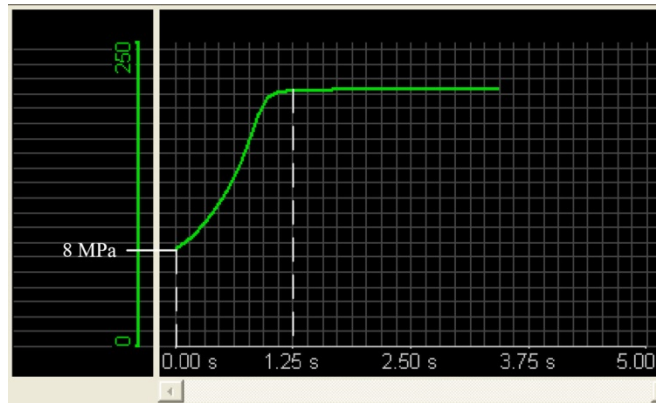
Rys. 1. Widok okna środowiska programu Automation Studio 5.0 po uruchomieniu symulacji pracy zaprojektowanych układów

Charakterystyka obciążenia pompy (natężenie przepływu w magistrali tłoczenia w funkcji ciśnienia tłoczenia) została po jej zlinearyzowaniu zaimplementowana do projektu na podstawie danych eksperymentalnych otrzymanych w wyniku wykonania badań na stanowisku pomiarowym – rysunek 2.

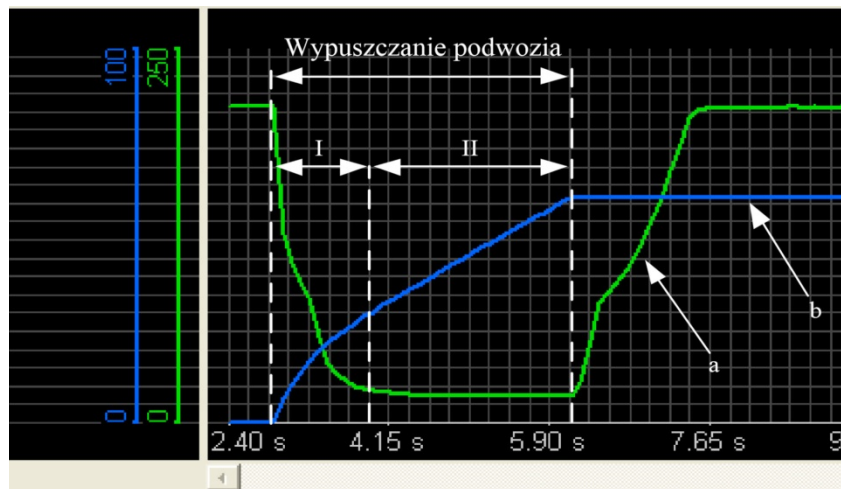


Rys. 2. Charakterystyka obciążenia pompy waporowej

W układzie jako dodatkowe źródło energii zastosowano hydrauliczny akumulator gazowy z przegrodą w postaci przepony. Podstawowym zadaniem akumulatora, oprócz łagodzenia uderzeń hydraulicznych, jest zapewnienie krótkotrwałego, zwiększonego zapotrzebowania na ciecz roboczą pod ciśnieniem. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę ładowania akumulatora (ciśnienie cieczy roboczej w akumulatorze w funkcji czasu), natomiast na rysunku 4 zaprezentowano zmiany ciśnienia w układzie zasilania systemu hydraulicznego wyposażonego w hydroakumulator podczas wypuszczania podwozia.



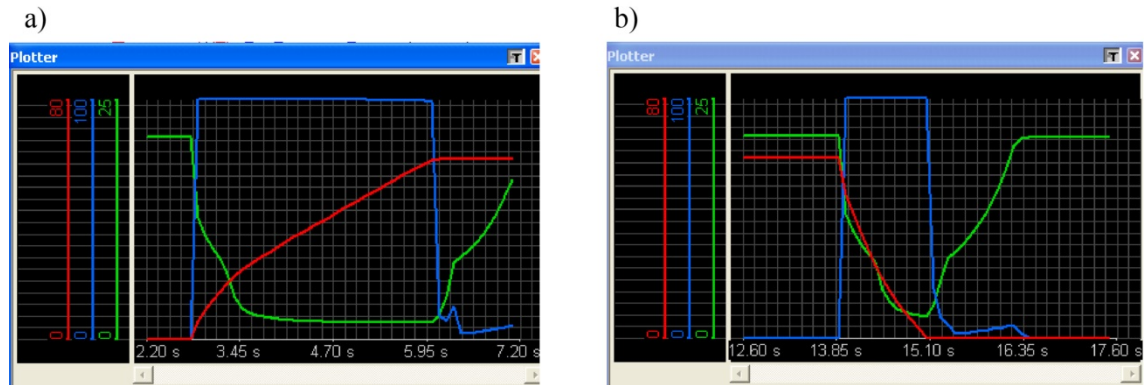
Rys. 3. Charakterystyka ładowania akumulatora hydraulicznego cieczą roboczą



Rys. 4. Charakterystyka ładowania akumulatora hydraulicznego cieczą roboczą

Krzywa *a* przedstawia zmianę ciśnienia, natomiast krzywa *b* pozycję liniową tłoczyska siłowników układu podwozia. Proces wypuszczania podwozia został podzielony na dwie części. Część I dotyczy nieliniowego ruchu tłoczyska. Taki ruch spowodowany jest oddziaływaniem akumulatora, który przyspiesza ruch tłoczyska. Druga część przedstawia liniowy ruch tłoczyska, kiedy akumulator zostanie rozładowany, a na siłowniki oddziałuje strumień cieczy generowany za pomocą pompy.

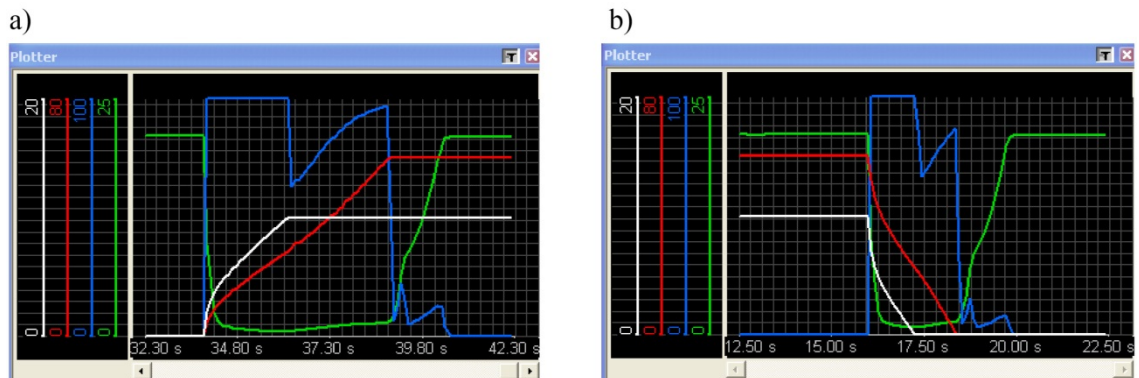
Komputerowe symulacje zaprojektowanego układu zasilania hydraulicznego przeprowadzone zostały w kilku etapach. Podczas symulacji wykonywane były obliczenia wybranych parametrów, tzn. ciśnienia, natężenia przepływu oraz liniowej pozycji tłoczyska siłowników w funkcji czasu. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki symulacji komputerowych działania układu zasilania podczas jego obciążenia układem podwozia – wypuszczanie i chowanie podwozia. Kolorem czerwonym oznaczona jest pozycja liniowa tłoczyska, tzn. długość wysuniętej części tłoczyska z komory siłownika, kolor niebieski przedstawia wartość natężenia przepływu cieczy roboczej w układzie zasilania, kolor zielony oznacza wartość ciśnienia w układzie.



Rys. 5. Parametry układu zasilania w procesie symulacji wypuszczania i chowania podwozia

Wypuszczanie podwozia następuje w czasie 3,3 sekundy, natomiast podwozie chowane jest w czasie 2 sekundy. Otrzymane wartości są zbliżone do charakterystycznych czasów pracy podwozia samolotu MiG-29 i samolotu F-16.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki obliczeń, które zostały wykonane w czasie symulacji jednoczesnego wysuwania i chowania podwozia oraz klap.



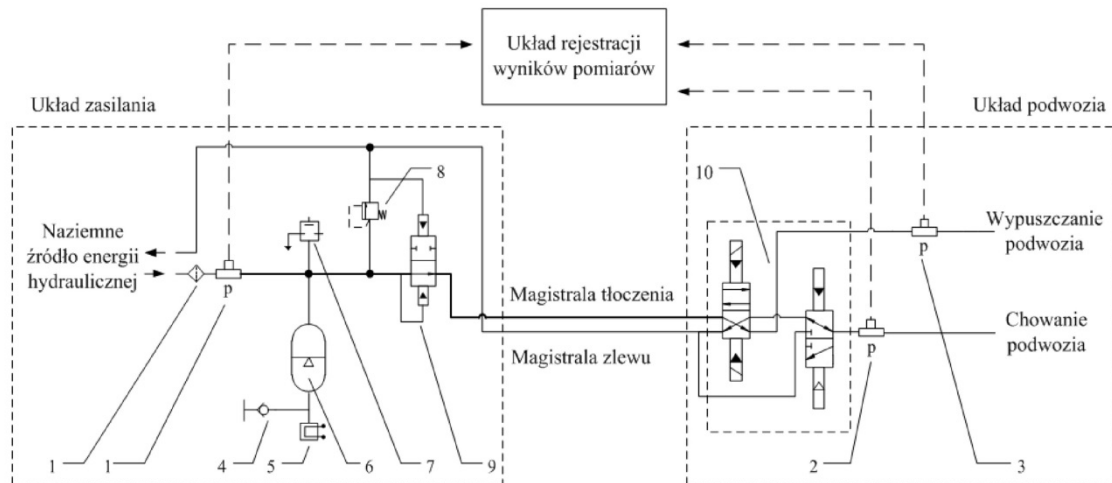
Rys. 6. Parametry układu zasilania w procesie symulacji jednoczesnego wypuszczania i chowania podwozia oraz klap

Podczas przeprowadzania symulacji pracy układu w czasie równoczesnego zasilania dwóch układów wykonawczych następuje wydłużenie czasu ruchu tłoczków siłowników. Wysuwanie podwozia wydłuża się z 3,3 sekundy do 4,5 sekundy przy jednoczesnym wysuwaniu klap (wysuwanie klap wydłuża się z 1 do 1,4 sekundy). Chowanie podwozia następuje w czasie bardzo zbliżonym do samodzielnej pracy tego układu.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

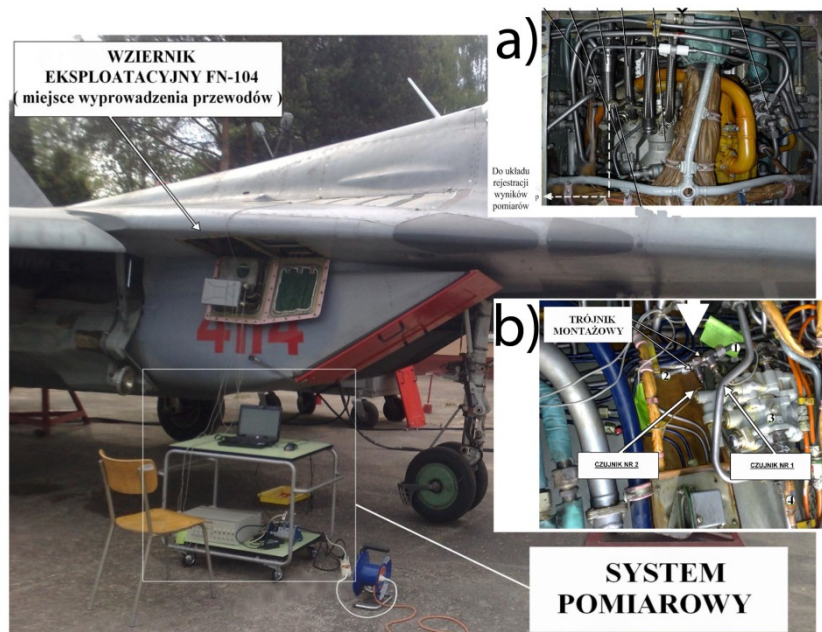
W celu jakościowej oceny wyników obliczeń symulacyjnych przeprowadzono również badania eksperymentalne. W tym celu zostało przygotowane stanowisko eksperymentalne na bazie systemu hydraulicznego samolotu MiG-29, piezoelektrycznych czujników ciśnienia firmy Endevco model 8511A-5K, układu analizy sygnałów (na bazie karty pomiarowej firmy firmy AMBEX model LC-012-1612) oraz układ rejestracji i archiwizacji danych (wykonany w oparciu o przenośny komputer z środowiskiem pomiarowym Snap Master). System hydrauliczny samolotu był zasilany z lotniskowego zasilacza hydraulicznego statków powietrznych LUZES-H. Badania na stanowisku były realizowane bez uruchomionego silnika samolotu, a w czasie wykonywania pomiarów układu podwozia samolot był ustawiony na

podnośnikach. Czujniki ciśnienia zostały zamontowane w magistrali tłoczenia głównej instalacji hydraulicznej oraz w układzie podwozia. W magistrali tłoczenia głównej instalacji hydraulicznej (układ zasilania) czujnik został umieszczony za filtrem (filtr wprowadza w układzie największy spadek ciśnienia, stąd umiejscowienie czujnika ciśnienia za filtrem umożliwi otrzymanie najbardziej wiarygodnych informacji o wartości ciśnienia na wyjściu z układu zasilania). W układzie podwozia czujniki zostaną umieszczone za zaworem sterowania podwoziem. Schemat rozmieszczenia czujników w instalacji hydraulicznej przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia czujników w instalacji hydraulicznej:

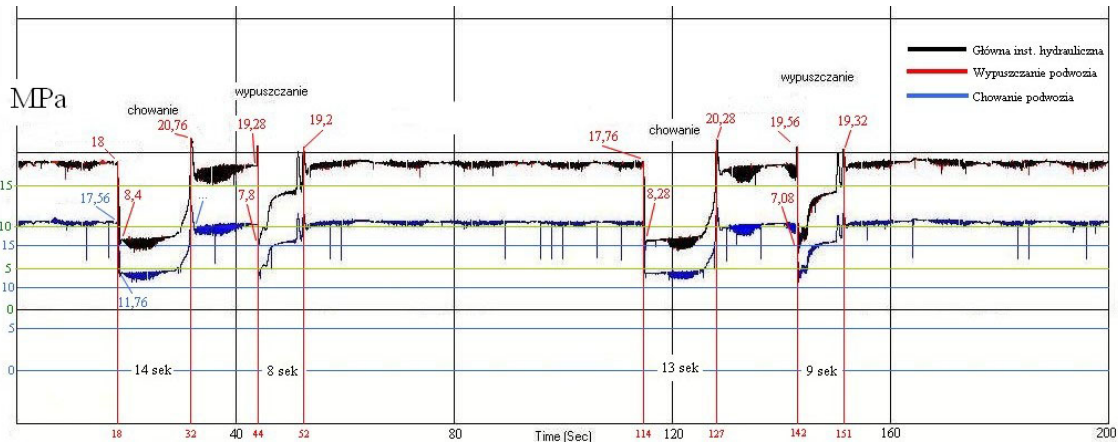
1 – filtr; (1-3)p – czujniki ciśnienia; 4 – zawór napędzania akumulatora; 5 – nadajnik ciśnienia IMD-300; 6 – akumulator hydrauliczny; 7 – przełącznik ciśnienia; 8 – zawór bezpieczeństwa; 9 – ogranicznik ciśnienia RD-39; 10 – welektrohydrauliczny rozdzielacz 773300 z wmontowanym przełącznikiem awaryjnym



Rys. 8. Widok samolotu MiG-29 ze stanowiskiem pomiarowym oraz widok luków eksploatacyjnych z zamontowanymi czujnikami ciśnienia: a) wziernik F48, b) wnętrza przedniej goleni podwozia

Na rysunku 8 przedstawiono widok stanowiska pomiarowego oraz miejsca montażu czujników w magistrali tłoczenia głównej instalacji hydraulicznej – rys. 8a (wziernik eksploatacyjny F-48) oraz w układzie podwozia we wnęce przedniej nogi – rys. 8b.

W badaniach wykorzystano agregat naziemnego zasilania instalacji hydraulicznej, łącząc go z układem zasilania głównej instalacji hydraulicznej samolotu, oraz naziemne źródło energii elektrycznej.



Rys. 9. Przebiegi ciśnienia w układzie wypuszczania i chowania podwozia

Na rysunku 9 przedstawiono przykładowy wykres zmian wartości ciśnienia w funkcji czasu w wybranych punktach systemu hydraulicznego. W celu zwiększenia czytelności wykresu skale ciśnienia (oś) dla ciśnień w poszczególnych punktach przesunięto względem siebie (odczyty z czujników pokrywały się ze sobą). Zasilanie naziemne zostało włączone przed rozpoczęciem pomiaru. W 20 sekundzie pomiaru dokonano przesterowania układu na schowanie podwozia (za pomocą dźwigni chowania/wypuszczania podwozia znajdującej się w kabine pilotów). Następnie po ustabilizowaniu się wahań ciśnienia (po ok. 12 sek.) wypuszczono podwozie. W 122 sekundzie pomiaru ponownie dokonano przesterowania układu na chowanie, a następnie wypuszczanie podwozia. W momentach przesterowania układu podwozia obserwowano charakterystyczne skoki ciśnienia związane z występowaniem zjawiska uderzenia hydraulicznego.

4. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych oraz badań eksperymentalnych można sformułować następujące wnioski:

- systemy komputerowe mogą być pomocnym narzędziem w procesie projektowania systemu diagnostycznego instalacji hydraulicznej statku powietrznego;
- istnieje potrzeba zwiększania podatności diagnostycznej systemów hydraulicznych przez proste zabiegi konstrukcyjne (np. zwiększanie dostępności do układów, zwiększanie liczby luków i wzierników) oraz poprzez budowanie zaawansowanych systemów diagnostycznych opartych o coraz doskonalsze środki do zbierania i przetwarzania informacji diagnostycznej;
- do oceny stanu technicznego instalacji hydraulicznej (jako parametry diagnostyczne) mogą być wykorzystywane sygnały ciśnienia występujące w instalacji w czasie przemieszczania jej elementów wykonawczych oraz czas chowania i wypuszczania elementów statku powietrznego;

- wykorzystanie jednocześnie w instalacji wielu układów, np.: steru wysokości, steru kierunku, układu lotek i układu podwozia (sytuacja występująca w czasie startu i lądowania samolotu) powoduje gwałtowne zmiany ciśnienia w instalacji i istotne opóźnienia czasu przesterowania poszczególnych elementów statku powietrznego. W związku z tym, w przypadku projektowania systemu diagnostycznego eksploatowanej już instalacji hydraulicznej, tego rodzaju sytuacje należy przewidzieć, tak aby uniknąć możliwości generowania przez pokładowy system diagnostyczny sygnałów o uszkodzeniu w przypadku jej bezawaryjnej pracy;
- z porównania metod komputerowych z badaniami eksperymentalnymi wynika, że w symulacjach komputerowych brakuje możliwości uzyskania (odwzorowania) zjawiska uderzenia hydraulicznego. W przebiegach symulacji komputerowej brakuje skoków ciśnienia. Natomiast na przebiegach zarejestrowanych podczas eksperymentu wyraźnie widoczne są „piki” uderzeń hydraulicznych cieczy roboczej. Zjawisko to musi być brane pod uwagę w procesie diagnozowania systemu hydraulicznego statku powietrznego.

LITERATURA

- [1] Żółtowski B., Ćwika Z.: *Leksykon diagnostyki technicznej*, Wyd. ATR, Bydgoszcz, 1996.
- [2] Banel T., Rutkowski K.: *Wyposażenie hydropneumatyczne samolotów i śmigłowców – część II Instalacje*, WAT, Warszawa, 1990.
- [3] Lewitowicz J., Borgoń J., Ząbkowicz W.: *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej. Ocena stanu technicznego lotniczych instalacji hydraulicznych w procesie ich eksploatacji – tom V*, ITWL, Warszawa, 1993.
- [4] Lewitowicz J., Borgoń J., Ząbkowicz W.: *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej. tom 2, rozdział 9*, Ułanowicz L.: *Problemy eksploatacji lotniczych instalacji hydraulicznych*, ITWL, Warszawa, 1993.
- [5] Lindstedt P.: *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*, Wydawnictwo Naukowe ASKON, Warszawa, 2002.
- [6] *Dokumentacja eksploatacyjna samolotu MiG-29, Samolot MiG-29UB książka 1. Układy płatowca*, Dowództwo Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, Poznań, 1993.
- [7] www.endevco.com/resources/catalog
- [8] Materiały szkoleniowe firmy HEM Data Corporation *Snap-Master for Windows*.