

## BADANIE ODPORNOŚCI UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH NA PRÓBĘ HYDROSTATYCZNEGO CIŚNIENIOWANIA W ŚRODOWISKU WODY MORSKIEJ

### Streszczenie

Artykuł zawiera sprawozdane z badań hydrostatycznego ciśnieniowania, zgodnie z normą ED-112, kaset katastroficznych systemu rejestracji parametrów lotu S2-3a, przeprowadzonych w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych oraz Instytucie Wysokich Ciśnień PAN. W pierwszym rozdziale opisany jest projekt stanowiska do hydrostatycznego ciśnieniowania do 60 MPa oraz szereg testów sprawdzających czy aparatura spełnia zakładane wymagania. W drugim rozdziale przedstawione są przebieg prób wykonanych na kasecie katastroficznej oraz na układach elektronicznych kasety pozbawionych tytanowej obudowy. Wyniki badań zawierają między innymi podatność na uszkodzenia wybranych urządzeń elektronicznych pod wpływem działania wysokiego ciśnienia wody morskiej.

### WSTĘP

Projektowanie i wdrażanie systemów, mających zastosowanie w lotnictwie, wymaga sprostaniu ściśle określonych norm i przepisów prawa lotniczego. Przedmiotem badania były kasety ochronne w wersjach S2-3a-K oraz S2-3a-K/VCR, systemu rejestracji parametrów lotu S2-3a opracowanego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Zarówno układy elektroniczne jak i elementy mechaniczne kaset ochronnych, zwyczajowo nazywanymi „czarnymi skrzynkami”, są poddawane szeregom testów, weryfikujących ich niezawodność i odporność na warunki środowiskowe. Dokumentem określającym wymagania dla katastroficznych rejestratorów parametrów lotu jest norma ED-112 organizacji EUROCAE. Podstawą realizacji badań był paragraf 2-4.2.6 wyżej wymienionej normy (Deep Sea Pressure and Sea Water Immersion) określający przebieg sprawdzenia wpływu wysokiego ciśnienia wody morskiej na kasetę katastroficzną.

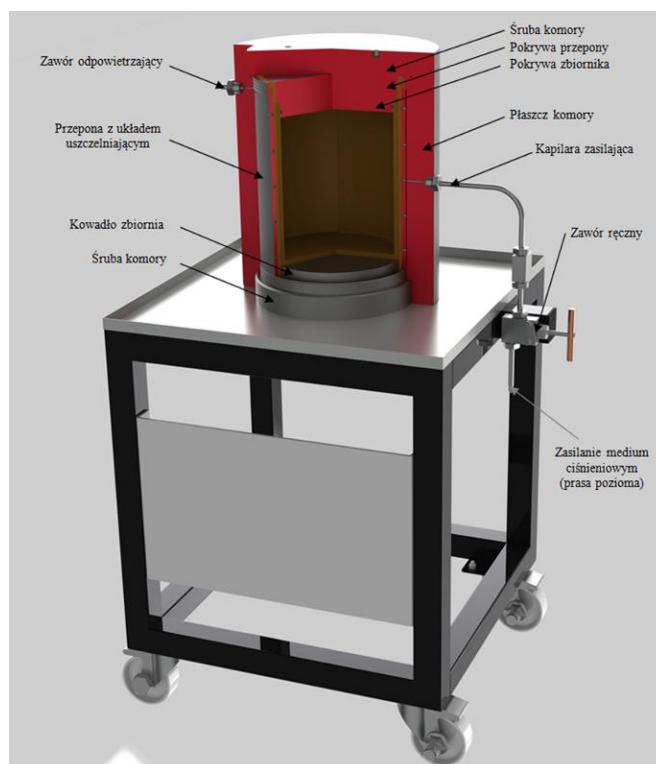
### 1. BUDOWA STANOWISKA DO BADANIA HYDROSTATYCZNEGO CIŚNIENIOWANIA W ŚRODOWISKU WODY MORSKIEJ

Decyzję o budowie nowego stanowiska do przeprowadzenia ciśnieniowania kasety rejestratora parametrów lotu podjęto w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych, ze względu na zakończone niepowodzeniem poszukiwanie europejskiej instytucji bądź laboratorium, w którym można by przeprowadzić tego typu badanie. Instytut Wysokich Ciśnień PAN, posiadający zaawansowaną aparaturę laboratoryjną i wieloletnie doświadczenie w podobnej tematyce, podjął się wykonania stanowiska spełniającego zakładane kryteria. Celem projektu było uzyskanie ciśnienia słupa wody morskiej 6000 m, co odpowiada w przybliżeniu 60 MPa, działającego na kasetę katastroficzną rejestratora w czasie 24 godzin.

#### 1.1. Projekt stanowiska z komorą do hydrostatycznego ciśnieniowania do 60 MPa

Stanowisko przeznaczone do badań nie mogłoby funkcjonować bez urządzenia zasilającego. Urządzeniem tym jest istniejąca w IWC PAN prasa złożona z komory roboczej i multiplikatora ciśnienia, zaprojektowana i wykonana w Laboratorium Plastyczności Pod Wysokim Ciśnieniem IWC PAN. Prasa zasilająca jest przystosowana do wygenerowania ciśnienia hydrostatycznego do 1800 MPa[3].

Kolejnym równie istotnym elementem jest wysokociśnieniowa komora robocza, w której umieszczany jest badany obiekt (Rys. 1). Komora została wykonana na potrzeby ITWL i przystosowana do prowadzenia długookresowych badań ciśnieniowych w zakresie od 0 do 60 MPa. Składa się z trzech zasadniczych elementów: przepony poliuretanowej, zbiornika poliuretanowego zawierającego medium do ciśnieniowania i komory stalowej. Dodatkowo stanowisko wyposażono w systemy kontroli, rejestracji i akwizycji danych w trakcie trwania procesu ciśnieniowania.



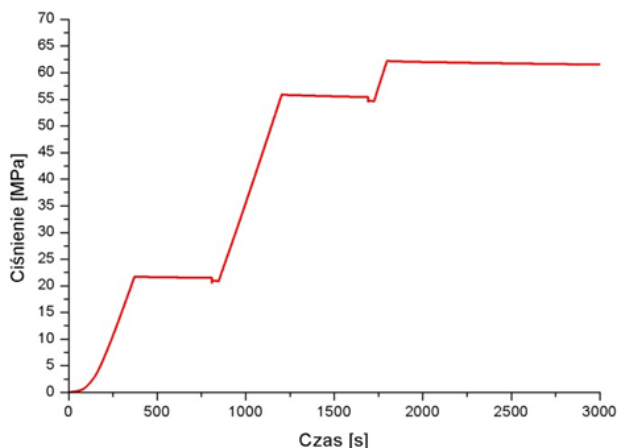
Rys. 1. Komora wysokociśnieniowa do hydrostatycznego ciśnieniowania do 60 MPa [3]

## 1.2. Próby eksploatacyjne

Stanowisko zostało poddane próbom eksploatacyjnym w celu sprawdzenia szczelności układu, stabilności ciśnieniowej w długim okresie czasu oraz działania systemu rejestracji i akwizycji ciśnienia.

### Próba szczelności

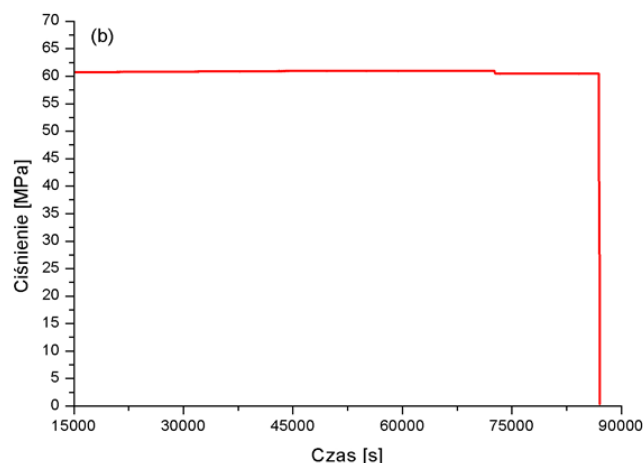
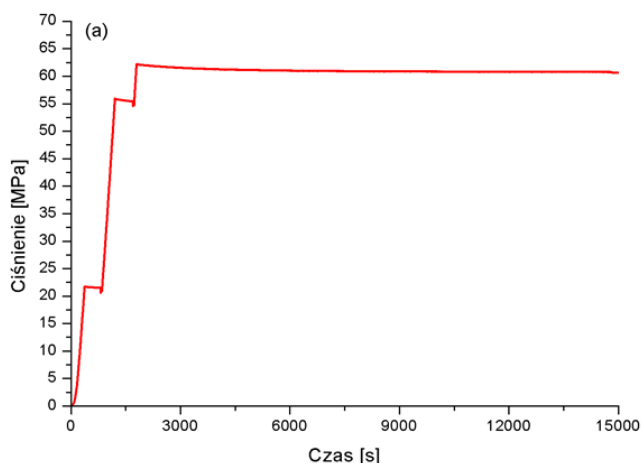
Próba była wykonana na obiekcie modelowym o objętości równej objętości kasety ochronnej. Ciśnienie medium roboczego zostało podniesione do maksymalnego ciśnienia 60 MPa. Podczas ciśnieniowania, konieczne było przerywanie tego procesu i uzupełnianie medium ciśnieniowego w komorze roboczej prasy zasilającej. Przyczyną takiego działania była większa objętość pomiędzy płaszczem a przeponą poliuretanową, gdzie przepompowywane było medium zasilające, w stosunku do wcześniej wspomnianej komory. Wyniki pomiarów ciśnienia w funkcji czasu zostały przedstawione na rysunku 2. Wznoszące charakterystyki ilustrują wzrost ciśnienia natomiast jej wyplaszczenia przedstawiają chwile czasu, w których nastąpiło odcięcie komory roboczej prasy zasilającej za pomocą zaworu ręcznego i uzupełnienie w niej medium ciśnieniowego. W trakcie podnoszenia ciśnienia nie zaobserwowano żadnych nieszczelności w układzie.



Rys. 2. Wykres ciśnienia w funkcji czasu podczas generowania ciśnienia w komorze roboczej [3]

### Próba stabilności ciśnieniowej

Ze względu na spadki ciśnienia związane ze stygnięciem medium podczas zatrzymania procesu sprężania, konieczne było wygenerowanie odpowiednio większego ciśnienia początkowego (Rys. 3).



Rys. 3. Wykres ciśnienia w funkcji czasu dla pełnego cyklu ciśnieniowania [3]

W wyniku badań okazało się, że po krótkim czasie wyraźnego spadku przez kolejne 20 godzin ciśnienie malało nieznacznie. Podczas trwania próby uzyskano ciśnienie w komorze ciśnieniowej nie mniejsze niż 60 MPa przez okres 24 godzin.

## 2. PRZEPROWADZENIE BADANIA ODPORNOŚCI UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH NA DZIAŁANIE WYSOKIEGO CIŚNIENIA WODY MORSKIEJ

Układami elektronicznymi poddanymi badaniom były kasety ochronne systemu rejestracji parametrów lotu S2-3a w wersjach S2-3a-K oraz S2-3a-K/VCR. Cały proces prowadzenia prób był zdeterminowany zaleceniami zawartymi w normie ED-112 EUROCAE. Badania odbywały się w Zakładzie Samolotów i Śmigłowców Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych oraz w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN.

### 2.1. Program badań

Odporność kasety ochronnej na działanie ciśnienia o wartości 60 MPa, w środowisku wody morskiej prowadzono według przedstawionego niżej programu:

1. Rejestracja danych testowych w kasecie ochronnej;
2. Odczyt i archiwizacja zarejestrowanych danych testowych;
3. Przeprowadzenie dobowej próby ciśnieniowej (wg normy ED 112);
4. Demontaż kasety ochronnej, zgodnie z Instrukcją Wewnętrzną (IW 36-P7-02);
5. Odczyt i archiwizacja danych testowych z pamięci pakietu elektroniki kasety ochronnej zgodnie z (IW 36-P7-02);
6. Porównanie zapisanych danych testowych odczytanych przed i po przeprowadzeniu badania[2].

### 2.2. Rejestracja, odczyt i archiwizacja danych testowych

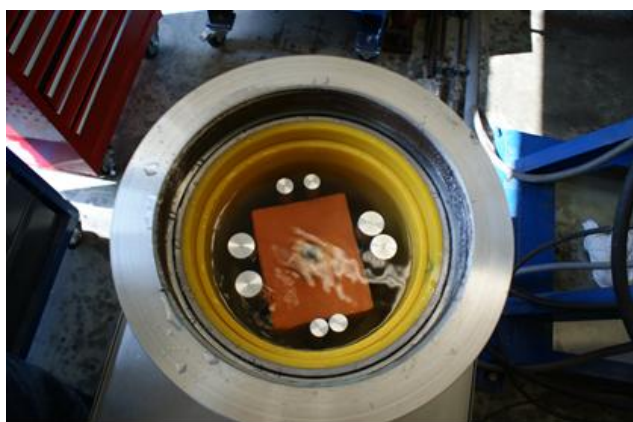
Przed rozpoczęciem badań w pamięci kasety zapisano dane testowe. Dane zapisano w formacie przeznaczonym dla śmigłowca Mi-17. Wykonano pięć kilkunastominutowych zapisów 8 parametrów, w tym dwóch analogowych, symulowanych przebiegiem sinusoidalnym o amplitudzie do 5 VDC i częstotliwościami ustawionymi w różnych zapisach na wartość 0.01, 0.02 lub 0.03 Hz. W tabeli 1 przedstawiono dane odczytane z kasety przed przystąpieniem do wykonania próby. Przyjęto, że wynik pozytywny badania to identyczność danych odczytanych z pamięci kasety przed i po zakończeniu badania. Dane odczytano za pomocą testera WTS-5 z zainstalowanym systemem deszyfracji Obiektywna Analiza Zapisu (OAZ).

**Tab. 1.** Wartości parametrów diagnostycznych w poszczególnych zapisach przed wykonaniem badania [2]

Nr zapisu	1.	2.	3.	4.
Początek zapisu h:m:s	12:09:37	12:29:45	12:45:34	13:01:08
Czas trwania zapisu h:m:s	00:19:11	00:14:57	00:14:58	00:15:02
Diag [dz]	0	0	0	0
T [sek]	0÷ 1151	0÷897	0÷898	0÷902
Kan.wz [dz]	2048÷2049	2048÷2049	2048÷2049	2048÷2049
NRID [dz]	696947	696947	696947	696947
Vpr [dz]	2049÷2050	2558÷3580	2049÷2050	2557÷3581
Hbar [dz]	2557÷3581	2049÷2050	2558÷3581	2049÷2050

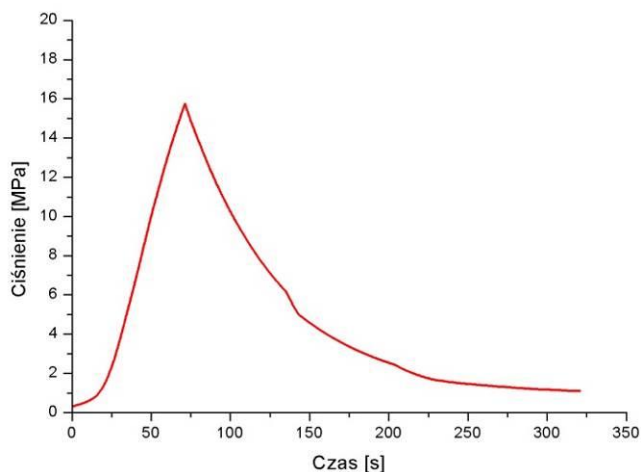
### 2.3. Badanie kasety katastroficznej na działanie ciśnienia 60 MPa w czasie 24 godzin

Kaseta katastroficzna składa się ze stalowego korpusu z izolacją termiczną, obudowy tytanowej wraz z układem uszczelnień oraz umieszczonym w niej pakiecie elektroniki. Kaseta umieszczona w komorze do ciśnieniowania pokazana jest na fotografii 1.



**Fot. 1.** Otwarte stanowisko badawcze z zainstalowaną kaseta ochronną [2]

Podnoszenie ciśnienia następowało z prędkością 1256 mm<sup>3</sup>/s wyłączając etapy uzupełniania medium ciśnieniowego w komorze roboczej urządzenia zasilającego. Rysunek 4 przedstawia charakterystykę ciśnienia w funkcji czasu, zarejestrowaną w czasie trwania próby. Po uzyskaniu ciśnienia bliskiego 16 MPa zaobserwowano gwałtowny spadek ciśnienia w komorze stanowiska. Proces przeważało, zredukowano ciśnienie do ciśnienia atmosferycznego i zdjęto pokrywę komory.



**Rys. 4.** Charakterystyka ciśnienia w funkcji czasu dla procesu ciśnieniowania kasety katastroficznej [3]

Stwierdzono nieszczelność w jednym z przepustów elektrycznych oraz uszkodzenie obudowy tytanowej w okolicy łączenia korpusu obudowy z pokrywą (Fot. 2). Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że w obecnej formie, pełne doszczelnienie kasety ochronnej może okazać się niewykonalne. W takim przypadku norma ED-112 przewiduje wykonanie próby odporności układów elektronicznych na działanie wody morskiej. Badaniu podlega układ elektroniczny bez obudowy, poddany ciśnieniu słupa wody morskiej o wysokości 3 m przez 30 dni. Korzystając z przygotowanego zaplecza laboratoryjnego postanowiono zwiększyć zakres prowadzonych badań o próbę wytrzymałości samego układu elektronicznego kasety ochronnej na ciśnienie słupa wody morskiej o wysokości 6000 m w czasie 24 godzin.

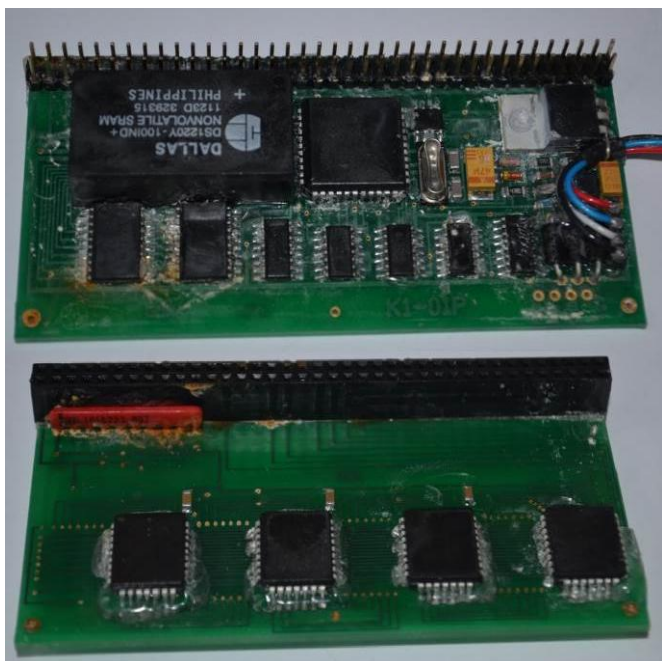


**Fot. 2.** Stan obudowy tytanowej po dokonaniu próby ciśnieniowej

### 2.4. Badanie układów elektronicznych na działanie ciśnienia 60 MPa w czasie 24 godzin

Układ elektroniczny kasety S2-3a-K złożony jest z dwóch współpracujących modułów. Pierwszym z nich jest moduł sterujący, który podczas standardowego trybu pracy odbiera dane z systemu rejestracji i zapisuje je na pamięciach FLASH, zamontowanymi na drugim module. Połączone w jedno module stanowią cały układ elektroniczny, który w normalnych warunkach pokryty elastyczną zalewą, znajduje się w tytanowej obudowie. Próbie hydrostatycznego ciśnieniowania została poddana jedynie elektronika w elastycznej zalewie. Charakterystyka ciśnienia działającego na pakiet elektroniki w funkcji czasu jest przedstawiona na rysunku 5.

Próba trwała ponad 24 godziny. Po wyjęciu badanego elementu usunięto pokrywającą go powłokę zabezpieczającą. Stwierdzono, że woda morska miała bezpośredni kontakt z układami elektronicznym oraz, że jedynym elementem wykazującym uszkodzenie mechaniczne był rezonator kwarcowy. Stan elementów elektronicznych jest przedstawiony na fotografiach 3 i 4.



Fot. 3. Stan elementów elektronicznych po dokonaniu próby ciśnieniowej



Fot. 4. Rezonator kwarcowy po dokonaniu próby ciśnieniowej

## 2.5. Porównanie odczytanych danych po próbach ciśnieniowych

Dane po wykonaniu ciśnieniowania odczytano w taki sam sposób jak przed przystąpieniem do próby, za pomocą testera WTS-5 z zainstalowanym systemem deszyfracji OAZ. Początkowo dokonano odczytu zamieniając uszkodzony moduł sterujący na nowy egzemplarz. Stwierdzono pełną identyczność odczytanych parametrów, w porównaniu do odczytu dokonanego przed umieszczeniem kasyety ochronnej w komorze stanowiska badawczego. Wyniki odczytu pokazano w tabeli 2. Następnie wymieniono uszkodzony rezonator kwarcowy w module sterującym. Okazało się, że pozostałe elementy są sprawne, a naprawiony moduł działa poprawnie.

Tab. 2. Wartości parametrów diagnostycznych w poszczególnych zapisach po wykonaniu badania [2]

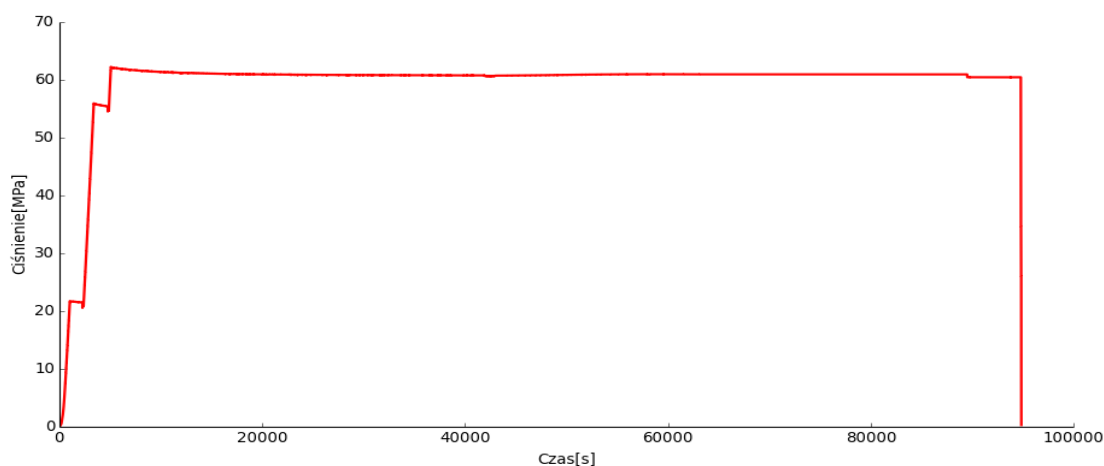
Nr zapisu	1.	2.	3.	4.
Początek zapisu [h:m:s]	12:09:37	12:29:45	12:45:34	13:01:08
Czas trwania zapisu [h:m:s]	00:19:11	00:14:57	00:14:58	00:15:02
Diag [dz]	0	0	0	0
T [sek]	0÷1151	0÷897	0÷898	0÷902
Kan.wz [dz]	2048÷2049	2048÷2049	2048÷2049	2048÷2049
NRID [dz]	696947	696947	696947	696947
Vpr [dz]	2049÷2050	2558÷3580	2049÷2050	2557÷3581
Hbar [dz]	2557÷3581	2049÷2050	2558÷3581	2049÷2050

## PODSUMOWANIE

Moduły elektroniczne kaset katastroficznych w pełni spełniły zalecenia zawarte w normie ED 112. Dodatkowo wykazano, że ciśnienie 60 MPa środowiska wody morskiej w czasie 24 godzin, nie wpłynęło na możliwość odczytania danych zapisanych przez rejestrator. Elementy elektroniczne w znaczącej większości nie wykazały negatywnego wpływu ciśnienia na ich zewnętrzne obudowy, jak również na ich późniejsze działanie.

Jedynym elementem elektronicznym, który jest wrażliwy na tak wysokie ciśnienie okazał się rezonator kwarcowy w metalowej obudowie. Konstrukcja rezonatora cechuje się posiadaniem stosunkowo dużej zamkniętej przestrzeni powietrznej, która naraża element na destrukcyjne działanie wysokiego ciśnienia.

Pomimo tego iż próby zakończyły się sukcesem, warto byłoby rozpatrzyć możliwość zminimalizowania układu elektronicznego kasyety katastroficznej i umieszczenie go w obudowie, o innym kształcie, bardziej odpornej na działanie wysokiego ciśnienia. Ze względu na trudności technologiczne wytworzenia obudowy kulistej,



Rys. 5. Charakterystyka ciśnienia w funkcji czasu dla procesu ciśnieniowania układów elektronicznych kasyety

wydaje się że optymalnym kształtem byłby grubościenny walec. Kolejnym aspektem wartym poświęcenia uwagi jest zaprojektowanie odpowiednio wytrzymałych i niezawodnych przepustów elektrycznych.

Bardzo optymistycznym skutkiem wykonania próby jest fakt powstania w Polsce aparatury pozwalającej na przeprowadzenie hydrostatycznego ciśnieniowania obiektu do 60 MPa. W Europie nie znaleziono miejsca w którym można by było, przeprowadzić tego typu testy, z tego powodu zdecydowano się na wykonanie nowego stanowiska do badań.

### BIBLIOGRAFIA

1. Norma ED-112, Minimum Operational Performance Specification For Crash Protected Airborne Recorder Systems. EUROCAE 2004.
2. Raport nr 6a/36/2015 z odczytu kaset ochronnych S2-3a-K i S2-3a-K/VCR poddanych działaniu ciśnienia wody morskiej, zgodnie z normą ED-112. ITWL 2015.
3. Sprawozdanie z pracy, Stanowisko do hydrostatycznego ciśnieniowania rejestratora lotu w ciśnieniu 60 MPa w środowisku wody morskiej. IWC PAN 2015.

## HIGH PRESSURE HYDROSTATIC TEST OF ELECTRONICS SYSTEMS IN SEA ENVIRONMENT

### *Abstract*

*The article contains research report of high pressure hydrostatic influence on crash protected airborne data recorder S2-3a, according to the ED-112. Laboratory tests was held in Air Force Institute of Technology and Institute of High Pressure Physics of the Polish Academy of Sciences. First chapter describes project of laboratory apparatus for 60 Mpa hydrostatic pressing and a series of tests to check whether the appliance meets all established requirements. The second chapter presenting course of tests carried on crash protected memory module and on raw electronics without titanium housing. Researching reveals certain electronics components susceptibility for damage under high hydrostatic pressure in sea environment.*

Autorzy:

ppor. mgr inż. **Przemysław Kordowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie, Zakład Samolotów i Śmigłowców; 01-494 Warszawa; ul. Ks. Bolesława 6. Tel: +48 261851489, Fax: +48 261364603, przemyslaw.kordowski@itwl.pl

inż. **Maciej Józko** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie, Zakład Samolotów i Śmigłowców; 01-494 Warszawa; ul. Ks. Bolesława 6. Tel: +48 261851697, Fax: +48 261364603, maciej.jozko@itwl.pl

Komandor pil. mgr inż. **Wiesław Cuper** – 43. Baza Lotnictwa Morskiego w Gdyni; 81-197 Gdynia ul. Zielona. Tel: +48 261268004

prof. nadzw. dr hab. inż. **Mirosław Nowakowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie, Zakład Samolotów

i Śmigłowców; 01-494 Warszawa; ul. Ks. Bolesława 6. Tel: +48 261851336, Fax: +48 261364603, miroslaw.nowakowski@itwl.pl