

**Sprawozdanie merytoryczne z wykonania projektu rozwojowego R 00 020 02**

***„Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji  
interfejsu człowiek - maszyna w kokpitach wojskowych  
statków powietrznych”***

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

Warszawa, 2009

## SPIS TREŚCI

<b>1. PLANOWANE ZADANIE BADAWCZO-ROZWOJOWE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ZAŁOŻENIA BADAWCZE I PROJEKTOWE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. OPIS UZYSKANYCH WYNIKÓW .....</b>	<b>6</b>
3.1. WPROWADZENIE .....	6
3.2. POMIARY PARAMETRÓW PSYCHOFIZJOLOGICZNYCH .....	7
3.3. WARUNKI OPTYMALIZACJI INTERFEJSU .....	8
3.4. SYMULATOR BADAWCZO-KONSTRUKCYJNY .....	10
3.5. TECHNOLOGIA BADAŃ OPTYMALIZACYJNYCH .....	15
<b>ZADANIE 1: ANALIZA I OKREŚLENIE ZAKRESU BADAŃ, METOD POMIARU PARAMETRÓW PSYCHOFIZJOLOGICZNYCH, KRYTERIÓW OPTYMALIZACJI ORAZ ZAŁOŻEŃ NA STANOWISKO OPERATORA STATKU POWIETRZNEGO .....</b>	<b>18</b>
<b>ZADANIE 2: OPRACOWANIE MODELU MATEMATYCZNEGO WYBRANEGO WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO WRAZ Z INSTALACJAMI POKŁADOWYMI, DZIAŁAJĄCEGO W CZASIE RZECZYWISTYM.....</b>	<b>19</b>
<b>ZADANIE 3: OPRACOWANIE BADAWCZEGO STANOWISKA OPERATORA WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO.....</b>	<b>19</b>
<b>ZADANIE 4: WYKONANIE I PRÓBY BADAWCZEGO STANOWISKA OPERATORA WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO.....</b>	<b>20</b>
<b>ZADANIE 5: BADANIA TESTOWEJ GRUPY OPERATORÓW WYBRANEGO WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO.....</b>	<b>22</b>
<b>ZADANIE 6: OPRACOWANIE METOD OPTYMALIZACJI INTERFEJSU CZŁOWIEK – MASZYNA DLA WYBRANEGO WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO .....</b>	<b>26</b>

## 1. Planowane zadanie badawczo-rozwojowe

Postęp techniczny we współczesnym lotnictwie wojskowym oraz rosnące koszty opracowania nowych statków powietrznych, spowodowały wydłużenie okresów eksploatacji sprzętu latającego. W rezultacie powstał problem eksploatacji dużej i stale rosnącej liczny wojskowych statków powietrznych przestarzałych pod względem ich możliwości w stosunku do wymagań współczesnego, stale zmieniającego się pola walki. Jedynym praktycznie możliwym rozwiązaniem tego problemu okazało się modernizowanie tych elementów i systemów pokładowych, które umożliwiły by osiągnięcie pożądanego poziomu operacyjnego. Ponadto takie modernizacje musiały być możliwe pod względem technicznym i technologicznym oraz opłacalne ze względów finansowych. Nawet pobieżne analizy operacyjne, techniczne i finansowe wykazały, że systemami najbardziej podatnymi na tego rodzaju zabiegi są pokładowe systemy awioniczne. Wynika to z szeregu przyczyn, a między innymi takich jak:

- najwyższa efektywność wprowadzanych zmian pod względami: operacyjnym i finansowym,
- najszybszy postęp techniczny i technologiczny w tej dziedzinie, powodujący efekty powyżej wymienione oraz najszybsze starzenie się moralne eksploatowanego wyposażenia z tego obszaru,
- modułowość systemów awionicznych pozwalająca na stosunkowo łatwą wymianę poszczególnych elementów, układów lub całych systemów,
- cyfryzacja pokładu wojskowych statków powietrznych ułatwiająca integrację wymienianych lub modernizowanych elementów, z pozostałymi systemami na pokładzie.

Efektom tych zjawisk jest wojskowy statek powietrzny, który w czasie swojego życia operacyjnego, poddawany jest wielokrotnym modernizacjom, mającym na celu dostosowanie do wymagań zmieniającego się pola walki oraz wykonywanych zadań. Istotą tych zmian jest przeważnie wprowadzanie nowego wyposażenia awionicznego, w tym zintegrowanych systemów wskazań w kokpicie, umożliwiających pilotom lub załogom obsługę i efektywne wykorzystanie nowo integrowanego wyposażenia. Jednym z istotniejszych zagadnień związanych z wprowadzanymi modernizacjami jest zmiana układu wskaźników i elementów sterujących w kokpicie wojskowego statku powietrznego. Wiąże się to ze zmianą sposobu pracy załogi, a w tym faktycznymi możliwościami operacyjnymi oraz efektywnością jej działania. Decydujący jest tu rodzaj i sposób wprowadzania zmian do układu wskaźników oraz ilości i sposobu prezentowania na nich informacji.

Determinują one w istocie efektywność wprowadzonych zmian, a więc i całego przedsięwzięcia modernizacyjnego. Wynika stąd bezpośrednio konieczność optymalizowania zmodernizowanego interfejsu pilot-operator – wojskowy statek powietrzny tak, aby skuteczność całego systemu człowiek-stetk powietrzny była jak najwyższa, a co najmniej wystarczająca na zmieniającym się polu walki.

Ogólnie rzecz ujmując optymalizacja interfejsu człowiek – maszyna ma na celu zminimalizowanie obciążenia pracą operatora systemu technicznego, co umożliwi mu efektywne i długotrwałe wykonywanie zadań. Uniknie się w ten sposób szybkiego zmęczenia operatora, a w konsekwencji zminimalizuje się możliwość popełnienia błędów. Zmniejszy to potencjalne szanse na pojawienie się stanu niebezpiecznego lub awarii systemu, a w razie jej pojawienia się, stworzy operatorowi możliwość prawidłowej reakcji. Pojawiający się w takich sytuacjach deficyt czasu na podjęcie decyzji oraz prawidłową reakcją powinien być możliwie minimalny. Wielkość tego

deficytu czasu wiąże się bezpośrednio z jakością dostosowania zmodernizowanego interfejsu do możliwości i zadań człowieka – operatora.

Zagadnienie optymalizacji projektowanego interfejsu człowiek-maszyna ma charakter złożony, gdyż efektywność takiego interfejsu zależy od bardzo wielu czynników, powiązanych pomiędzy sobą. Wpływ tych czynników może być inny w zależności od rodzaju wykonywanego zadania sterowniczego oraz warunków jego realizacji. Stąd też zagadnienie optymalizacji interfejsu wymaga opracowania specjalnego podejścia do jego wykonania. Metody standardowe, polegające na zbudowaniu i przebadaniu efektywności szeregu modeli zmodernizowanych kokpitów nie mogą być w takim przypadku zastosowane ze względu na ich czasochłonność i nieakceptowalnie wysoki koszt realizacji. Ze względu na narastające potrzeby modernizowania kolejnych wojskowych statków powietrznych w Polsce oraz bardzo wysokie koszty zakupu za granicą narzędzi jakie mogą być wykorzystywane podczas takich prac, zdecydowano się na podjęcie próby opracowania metod optymalizacji takich interfejsów.

Metody optymalizacji jakie mają być wykorzystywane w praktyce inżynierskiej muszą cechować się wysoką efektywnością i prostotą. Jednakże przede wszystkim powinny w sposób jednoznaczny wskazywać co najmniej na właściwy kierunek zmian konstrukcyjnych, o ile nie na konkretne rozwiązanie. Ponadto takie metody powinny być na tyle nieskomplikowane, by mógł je stosować inżynier lotnik, awionik lub elektronik, co najwyżej przy współpracy psychologów i/lub lekarzy specjalistów medycyny lotniczej.

Omawiany projekt miał na celu opracowanie stanowiska badawczego umożliwiającego optymalizację interfejsu człowiek-operator – wojskowy statek powietrzny oraz technologii wykonywania prac badawczo – konstrukcyjnych dających w rezultacie zoptymalizowany interfejs (kokpit lub stanowisko operatora) wojskowego statku powietrznego.

Innym efektem, ściśle związanym z opracowaną technologią, było opracowanie i wykonanie stanowiska badawczego, na którym będzie można prowadzić prace związane z opracowywaniem interfejsu człowiek – maszyna, a co za tym idzie, optymalizowaniem całego stanowiska pracy operatora systemu. Stanowisko to miało mieć postać inżyniersko - badawczego, uniwersalnego symulatora wojskowych statków powietrznych, przystosowanego do prac związanych przede wszystkim z opracowywaniem zoptymalizowanych kokpitów ich zmodernizowanych wersji.

Wymiernymi efektami oczekiwanymi po realizacji omawianego projektu miało być uniezależnienie się kraju od zagranicznych dostawców systemów awionicznych, którzy za ich integrację na pojedynczym typie statku powietrznego żądają od 1,5 do 3 mln \$. W cenie tej nie uwzględnia się na ogół praw do wykorzystania opracowanego systemu w innych statkach powietrznych. Uniknie się także konieczności stosowania systemów awionicznych jakie ich producenci oferują w składzie projektowanych przez nich modernizowanych interfejsów, co nie zawsze jest opłacalne lub racjonalne z punktu widzenia użytkownika polskiego. Ponadto uruchomienie takiego stanowiska wraz z realizacją przykładowego systemu pozwoli na stworzenie ośrodka, który będzie w stanie realizować następne prace tego typu na rzecz Sił Zbrojnych RP oraz oferować swoje usługi za granicą.

Wdrożenie wyników wnioskowanego projektu będzie miało istotny wpływ na wzrost bezpieczeństwa publicznego poprzez unowocześnienie statków powietrznych wykorzystywanych przez te służby, przy ponoszeniu stosunkowo niewielkich nakładów finansowych. Ponadto nastąpi uniezależnienie się od zagranicznych dostawców technologii modernizacji statków powietrznych. Podczas modernizacji

kolejnych typów statków powietrznych mogą powstawać nowe stanowiska pracy związane z tymi programami.

Podsumowując, planowanym efektem końcowym realizacji omawianego projektu była technologia opracowywania zoptymalizowanych interfejsów człowiek – maszyna, a w zasadzie człowiek – złożony system techniczny. Przewidywano jej zastosowanie do projektowania układów sterowania systemami ruchomymi, a w tym wojskowymi statkami powietrznymi.

## 2. Założenia badawcze i projektowe

Opracowanie technologii optymalizowania interfejsu operatora wojskowego statku powietrznego oraz stanowiska wykorzystywanego do tego celu wymagało przeprowadzenia szeregu badań z dwu różnych dziedzin naukowych:

- fizjologii i psychologii lotniczej,
- budowy systemów mechatronicznych, działających w czasie rzeczywistym.

W obszarze *fizjologii i psychologii lotniczej* należało:

- określić parametry psychofizjologiczne umożliwiające efektywne badania optymalizacyjne interfejsów człowiek-maszyna,
- określić zakresy i metody pomiarów wybranych parametrów psychofizjologicznych operatorów wojskowych statków powietrznych dla ich różnych typów: odrzutowego, szkolnego samolotu poddźwiękowego, szkolnego samolotu turośmigłowego, śmigłowca szkolnego, śmigłowca wielozadaniowego średniej wielkości, bezpilotowego statku powietrznego,
- opracować metody wyboru zadań testowych, które pozwolą na efektywne przeprowadzenie badań optymalizacyjnych,
- opracować metody pomiaru czasu reakcji operatora oraz jego obciążenie pracą (workload factor), pozwalające na uzyskanie znormalizowanych i zoptymalizowanych wartości wielkości, które mogły by stanowić wytyczne dla konstruktorów stanowiska operatora.

Wymagania z tego obszaru wpłynęły w sposób zasadniczy na konfigurację sprzętu pomiarowego stanowiska badawczego, w wersji docelowej.

W zakresie *budowy systemów mechatronicznych* należało opracować:

- strukturę mechaniczną badawczego stanowiska operatora, która umożliwiła by stosunkowo łatwą modyfikację optymalizowanego interfejsu, podczas prowadzonych prac badawczych i konstrukcyjnych,
- strukturę systemu komputerowego o otwartej architekturze, który w czasie rzeczywistym będzie w stanie realizować następujące funkcje:
  - modelować ruch przestrzenny wojskowego statku powietrznego,
  - działanie jego systemów pokładowych w stanach normalnych i awaryjnych,
  - sterować wskaźnikami i sygnalizatorami na stanowisku operatora,
  - odczytywać stan organów sterowania z wymaganą częstością,
  - rejestrować dane wymagane do dalszych analiz i prac konstrukcyjnych,

- prezentować na wskaźnikach stanowiska informacje i dane niezbędne do sterowania statkiem powietrznym oraz prowadzenia prac badawczych i konstrukcyjnych,
  - zobrazowywać otoczenie badanego wojskowego statku powietrznego.
- strukturę mechaniczną i oprogramowanie umożliwiające efektywne włączanie do badanego toru sterowania ruchem obiektu, rzeczywistych urządzeń takich, jak np. nowo zaprojektowane wskaźniki.

Wymagania z obszaru mechatroniki określają w istocie urządzenie znane, jako symulator badawczo – konstrukcyjny. W związku z tym należało brać pod uwagę możliwość wykorzystania modułów sprzętowych i oprogramowania dostępnych na rynku, a stosowanych w tego typu systemach.

Założenia badawcze i projektowe oraz wymagania różnego poziomu zostały szczegółowo omówione w opracowaniu: C. Szczepański: „Wymagania funkcjonalne - Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych” wyd. ITWL Warszawa 2007, 7 stron.

### **3. Opis uzyskanych wyników**

#### **3.1. Wprowadzenie**

Prace wykonane w ramach niniejszego projektu wzięły pod uwagę doświadczenia członków zespołu zdobyte podczas opracowywania i wykorzystywania: stanowiska do pomiaru dynamicznej ostrości wzroku połączonego z pomiarem położenia środka ciężkości badanego człowieka (posturograf) „Hiperion”, opracowanego dla Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej, symulatorów lotu samolotów: MiG-21 bis, I-22 „Iryda”, TS-11 „Iskra”, PZL-130 „Orlik”, Su-22, śmigłowca „Sokół” oraz symulatora utraty orientacji przestrzennej podczas lotu. Ponadto uwzględniono wyniki uzyskane podczas realizacji prac nad zintegrowanym systemem awioniki śmigłowca „Sokół”, w wersji CSAR (Combat Search And Rescue), w których istotny wkład mieli członkowie zespołu realizującego opisywany projekt.

Do zrealizowania zagadnień wynikających z przedstawionych założeń i wymagań projektowych zostały zastosowane najnowocześniejsze metody i technologie, umożliwiające ich osiągnięcie. Kluczowe dla całej pracy stanowisko badawcze (symulator badawczo-konstrukcyjny) wykorzystuje w maksymalnym stopniu dostępne na rynku systemy i oprogramowanie czasu rzeczywistego, co zapewnia możliwość modyfikowania i rozbudowywania systemu w przyszłości bez konieczności ponoszenia wygórowanych nakładów.

Szereg badań i prac konstrukcyjnych wchodzi w zakres tzw. wysokich technologii High Tech. Zastosowano tu najnowocześniejsze, przystosowane do potrzeb projektu, systemy czasu rzeczywistego wraz z niezbędnym oprogramowaniem, do badania interakcji człowieka – operatora z nowoczesnymi systemami zobrazowania elektronicznego wykorzystywanymi we współczesnych systemach awionicznych.

W ramach omawianego projektu opracowano i wykonano stanowisko do optymalizacji interfejsu człowiek – maszyna dla wojskowych statków powietrznych. Stanowisko to ma postać badawczo – konstrukcyjnego symulatora kokpitu wojskowego statku powietrznego, o otwartej architekturze oprogramowania oraz

budowie mechanicznej umożliwiającej łatwe demontowanie i montowanie różnorodnego wyposażenia kontrolno – pomiarowego, wykorzystywanego przez operatora optymalizowanego systemu. Mechaniczna struktura ma postać stelaży z zamontowanymi monitorami dotykowymi, na których odwzorowano panele centralne i boczne kokpitów wojskowych statków powietrznych. Opracowane oprogramowanie umożliwia włączenie w pętle obliczeniowe rzeczywistych urządzeń, np. wskaźników lub organów sterowania.

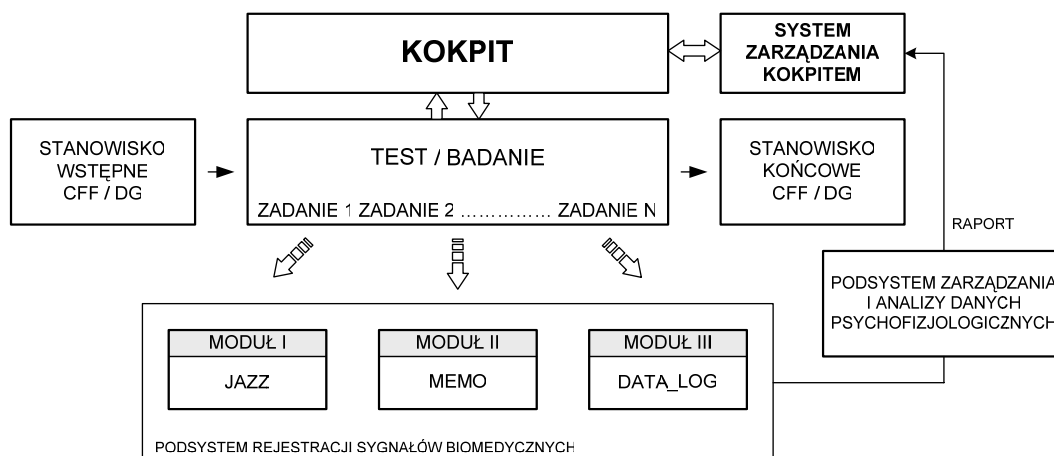
Stanowisko jest także wyposażone w sprzęt umożliwiający pomiar parametrów psychofizjologicznych operatorów optymalizowanych systemów, archiwizowanie i analizę pomierzonych danych oraz ich prezentację.

W ramach przeprowadzonych prac przebadano i zoptymalizowano system wskazań dla nowo opracowanego wskaźnika danych o sterowanym obiekcie (wojskowym statku powietrznym), dla wybranego typu statku powietrznego samolotu szkolno treningowego TS-11 „Iskra”. Pozwoliło to na weryfikację zarówno opracowanej technologii jak i samego stanowiska badawczego.

### 3.2. Pomiary parametrów psychofizjologicznych

Psychofizjologiczny system pomiarowy służący do określenia stopnia obciążenia wykonywaniem zadaniem lotniczym (badawczym) zawiera dwa podsystemy:

- podsystem zarządzania i analizy danych psychofizjologicznych,
- podsystem rejestracji sygnałów biomedycznych, na który składają się trzy moduły pomiarowe.



Schemat systemu pomiarowego parametrów psychofizjologicznych

Pierwszy z nich mierzący parametry okoruchowe, drugi określający czasy reakcji na zadawane bodźce wizualne oraz trzeci detekujący parametry HR. System zawiera dodatkowe stanowisko badawcze umożliwiające pozyskiwanie informacji w trybie off-line przed i po właściwym teście w postaci parametrów CFF (Critical Flicker Fusion) oraz parametrów Testu Wiedeńskiego.

Podsystem zarządzania i analizy danych psychofizjologicznych pełni kontrolę nad systemem badań psychofizjologicznych. Jest on integratorem dla modułów pomiarowych wchodzących w skład biosystemu. Informacja wyjściowa tego podsystemu ma charakter raportu z części medycznej badań.

Komunikacja między elementami Systemu Badań Psychofizjologicznych odbywa się na zasadzie podziału klient/serwer. Serwerem jest aplikacja sterująca, pracująca na komputerze głównym, klientem program sterujący komputerem pokładowym. Komunikacja odbywała się w środowisku połączeń protokołu TCP. Przed każdym badaniem System Optymalizacji wysyła do oprogramowania sterującego komputerem informację synchronizującą czas zegarów w Systemie. Moduł komunikacji odbiera i przekazuje ją do komputera pokładowego. Oprogramowanie komputera głównego służy zbieraniu i przetwarzaniu informacji z poszczególnych podsystemów.

Zasadniczą część oprogramowanie komputera głównego stanowi moduł systemu zarządzania i analizy danych psychofizjologicznych. Jego głównym zadaniem jest wygenerowanie raportu końcowego systemu badań psychofizjologicznych na podstawie informacji uzyskanych z poszczególnych podsystemów zgromadzonej w bazie danych badań. Aplikacja jest wyposażona między innymi w interfejs umożliwiający dodawanie do bazy informacji o badanych, grupach badanych i poszczególnych sesjach badań.

Aplikacja składa się z:

- modułu obsługi bazy danych,
- modułu komunikacji z podsystemami,
- modułu analiz EKG,
- modułu całościowej analizy dostępnych informacji i generowania raportu końcowego.

Interfejs aplikacji zawiera:

- formularz zarządzania bazą danych,
- formularz akwizycji informacji pomiarowej,
- formularz obsługi rejestratora Data\_Log,
- formularz analiz EKG,
- formularz analiz zmienności rytmu serca,
- formularz analiz całościowych,
- formularz komunikacji.

Wszystkie rejestrowane w trakcie badań parametry są obliczane w pomiarowych zakresach czasu odpowiadającym poszczególnym fazom symulowanych zadań lotniczych. Dane generowane przez moduł mają postać tabel zapisywanych w strukturze bazy danych.

### **3.3. Warunki optymalizacji interfejsu**

Warunki optymalizacji interfejsu realizowane były w oparciu o misje i zadania wykonywane w trakcie jej trwania.

W myśl przyjętego założenia misja określona została jako sekwencja zadań realizowanych przez zespół człowiek-samolot od momentu startu do momentu lądowania. Natomiast zadanie w ramach misji zostało określone jako zamknięty czasowo (lub przestrzennie, lecz sprowadzony do dziedziny czasu) ciąg czynności, które stanowią pewną całość ze względu na przyjęte kryteria rozdzielania.

W badaniach optymalizacyjnych misja została potraktowana jako złożenie sekwencji (uporządkowany zbiór) zadań ze względu na kryterium rozdzielania.



$$M = \bigcup_{i=1}^n Z_i^\alpha$$

Powodzenie misji wymaga zrealizowania każdego z zadań w określonej *a priori* sekwencji jednak dokładność realizacji zadania poprzedniego może zmienić parametry zadania następnego.

- |                      |   |
|----------------------|---|
| Parametry zadania    | - wartości wejściowe (w rozumieniu liczbowym lub lingwistycznym) dla danego zadania, określają sposób jego wykonania. |
| Wyniki zadania Y     | - wartości (w rozumieniu liczbowym lub lingwistycznym), które należy osiągnąć w efekcie realizacji zadania.           |
| Zmienne wejściowe X  | - stan początkowy (stan otoczenia i systemu w chwili rozpoczęcia zadania) i parametry zadania.                        |
| Zadanie jako relacja | $R=f(X \times Y) \in \langle 0, 1 \rangle$  |

Wartość  $f(X \times Y)$  określa stopień realizacji zadania. Minimalny dopuszczalny stopień realizacji  $\gamma$  warunkuje powodzenie misji. Można więc przyjąć, że dla każdej oceny zadania  $Z_i$  istnieje pewna wartość  $\gamma_i$ , dla której zadanie  $f_i$  uznaje się za wykonane, gdy  $f_i(X_i \times Y_i) > \gamma_i$ .

Warunkiem poprawnej realizacji zadania jest poprawna (na pewnym poziomie ustalonym dla każdej z czynności w konkretnym zadaniu) realizacja wszystkich czynności, przy czym uporządkowany zbiór wymaganych poziomów wykonania  $\{\gamma_{i1}, \dots, \gamma_{in}\}$  nie musi być jednoznaczny, tj. może być kilka różnowartościowych zbiorów, które zapewniają sukces misji.

Prawidłowe zrealizowanie czynności wymaga właściwej współpracy w zespole człowiek-samolot. Przyjęto założenie, że czynnik ludzki (niepoprawne działania pilota wynikające z jego fantazji, braków w wyszkoleniu, itd.) nie występuje. W takim przypadku **warunkiem realizacji zadania było dostarczenie pilotowi odpowiedniej informacji w odpowiedniej formie.**

Pozostałe elementy zbioru wynikały z właściwości obiektu sterowanego, np. przy stabilizacji wysokości konieczna jest informacja o kącie pochylenia, co już nie wynika bezpośrednio z zadania, ale wynika z modelu obiektu i sposobu sterowania nim.

Poza zadaniami, na realizację misji wpływają czynniki zewnętrzne, wśród których należy wyróżnić:

- warunki, tj. parametry otoczenia, które mogą zmieniać poziom realizacji zadań, parametry otoczenia można wprowadzić do parametrów zadań (np. poziom turbulencji),
- zdarzenia – nagłą zmianę stanu otoczenia, która wymaga reakcji pilota (np. awaria, ostrzał).

Zdarzenia mają istotne znaczenie w układzie interfejsu człowiek-maszyna (pilot-samolot), gdyż warunkiem poprawnej reakcji jest odpowiednie, co do czasu i formy poinformowanie pilota o zdarzeniu.

Ponadto z przeprowadzonej analizy (którą zaprezentowano powyżej) wynikało, że na efektywność informacyjną kokpitu wpływają nie tylko zadania, jakie mają być realizowane ale także zdarzenia jakie mogą wystąpić w czasie realizacji misji. Wniosek: bardziej krytyczną sytuacją może być wystąpienie zdarzenia przy realizacji zadania niż samo zadanie. Z tego względu testy uwzględniały losowo generowane zdarzenia (losowo dobierany czas jak i sam fakt wystąpienia zdarzenia). Tak, więc zadanie krytyczne będzie takim zagadnieniem, które wymaga dostarczenia zbiorów zawierających

maksymalną, jednak wciąż akceptowalną z punktu widzenia wydolności sterowniczej pilota, ilość informacji. Wybór zdarzeń krytycznych dla całego kokpitu wymagało przeprowadzenia dekompozycji zadań na czynności oraz określenia zbiorów niezbędnych informacji dla tych czynności (również zbiorów rozmytych, gdy np. informacja jest potrzebna, ale bez szczególnej dokładności, w innych zdarzeniach precyzja może mieć natomiast kluczowe znaczenie), aby pokryć najpełniej zbiór wszystkich dostarczanych przez elementy kokpitu informacji.

Takie podejście do opracowania i zadania krytycznego, którego w codziennej praktyce lotniczej się nie realizuje, sprawdzilo się w etapie badań interfejsu człowiek-operator – wojskowy statek powietrzny (human-machine interface HMI).

### 3.4. Symulator badawczo-konstrukcyjny

#### 3.4.1. System komputerowy

Przez pojęcie system komputerowy należy rozumieć układ współdziałania dwóch składowych: sprzętu komputerowego oraz oprogramowania, działających w ramach sieci komputerowej. Zaprojektowany i zrealizowany system komputerowy jest wspierany działaniami człowieka poprzez Graficzne Interfejsy Użytkownika (**ang.: Graphical User Interface – GUI**). System komputerowy opracowanego symulatora badawczo konstrukcyjnego realizuje następujące funkcje:

- modelowanie ruchu przestrzennego wojskowego statku powietrznego,
- modelowanie pracy systemów pokładowych w stanach normalnych i wybranych stanach awaryjnych,
- sterowanie wskaźnikami i sygnalizatorami na stanowisku operatora,
- odczytywanie stanu organów sterowania wojskowym statkiem powietrznym,
- rejestrowanie danych niezbędnych do dalszych analiz i prac konstrukcyjnych,
- prezentowanie na wskaźnikach informacji i danych niezbędnych do sterowania wojskowym statkiem powietrznym oraz prowadzenia prac badawczych i konstrukcyjnych,
- wizualizowanie otoczenia badanego wojskowego statku powietrznego.

Praca systemu komputerowego symulatora badawczo-konstrukcyjnego przebiega w trzech fazach, z których poprzednia przygotowuje dane stanowiące podstawę do realizacji następnej. Są to:

- przygotowanie badania/ćwiczenia;
- realizacja eksperymentu badawczego;
- analiza zarejestrowanych parametrów.

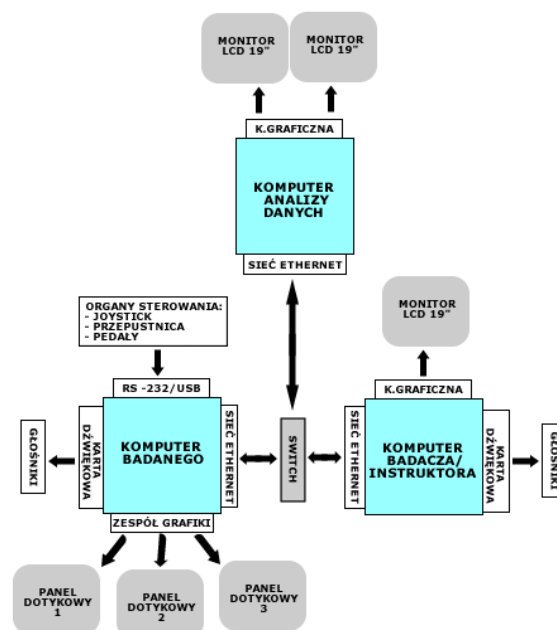
W każdej z wymienionych faz następuje komunikacja człowieka z systemem symulatora. Jest ona realizowana za pośrednictwem GUI lub innych urządzeń umożliwiających wprowadzanie i wyprowadzanie danych w różnej postaci (odnosi się to głównie do urządzeń medycznych przyłączanych do systemu komputerowego).

Z przedstawionych powyżej funkcji systemu komputerowego wynika także podział oprogramowania systemu komputerowego:

- Oprogramowanie realizujące funkcję modelowania ruchu przestrzennego statku powietrznego.

- Oprogramowanie generujące interfejsy graficzne wraz z imitacją zakłóceń w czasie badania jak również efekty dźwiękowe.
- Oprogramowanie bazodanowe umożliwiające archiwizację oraz odpowiednią akwizycję informacji niezbędnych do prowadzenia prac badawczych i konstrukcyjnych.
- Oprogramowanie komunikacyjne zabezpieczające prawidłowe współdziałanie modułów programowych jak również współpracę z urządzeniami zewnętrznymi.

System komputerowy symulatora badawczo konstrukcyjnego został opracowany w oparciu o dostępny na rynku komercyjny sprzęt komputerowy najwyższej jakości. W celu obsługi innych urządzeń zewnętrznych zastosowano standardowe karty procesorowe połączone do komputerów, umożliwiające komunikację z elementami układów pomiarowych i organów sterowania statkiem powietrznym. Komunikacja pomiędzy komputerami jest realizowana za pośrednictwem szybkiej sieci komputerowej klasy Ethernet 100 MB.



Architektura sprzętowa systemu komputerowego symulatora badawczo-konstrukcyjnego

### 3.4.2. Stanowisko instruktora-badacza

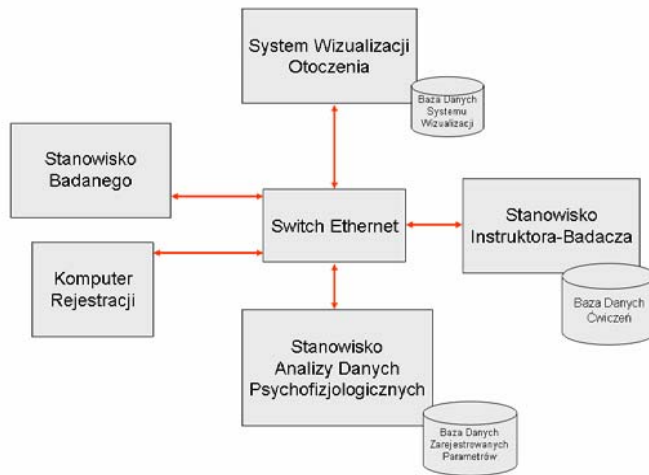
Stanowisko Instruktora-Badacza zajmuje w systemie symulatora miejsce szczególne. Funkcjonalnie jest to centralny element, który za pośrednictwem sieci informatycznej steruje pracą pozostałych jego elementów.

W trakcie realizacji ćwiczenia Stanowisko Instruktora-Badacza komunikuje się ze Stanowiskiem Badanego, Komputerem Rejestracji, Systemem Wizualizacji Otoczenia i Stanowiskiem Analizy Danych Psychofizjologicznych, sterując przebiegiem badania oraz monitorując stan poszczególnych urządzeń.

Stanowisko Instruktora-Badacza zapewnia:

- Uruchomienie symulatora;
- Ciągły nadzór nad jego działaniem;
- Modyfikację warunków symulowanego zadania;
- Zapis wymaganych informacji o przeprowadzonym badaniu;
- Wyłączenie symulatora;

- Obserwowanie działania badanego w kokpicie;
- Opracowywanie nowych scenariuszy badań;
- Modyfikowanie bazy danych systemu wizualizacji symulatora.



Rysunek 5.1. Miejsce stanowiska Instruktor-Badacza w symulatorze



### Schemat funkcjonalny stanowiska Instruktor-Badacza i jego techniczne wykonanie

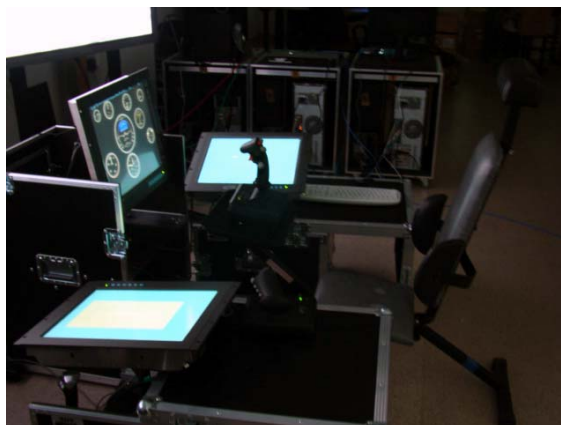
Sterowanie przebiegiem ćwiczenia/badania jest realizowane ze stanowiska Instruktor-Badacza za pośrednictwem komend. Są one wprowadzane przy wykorzystaniu Graficznego interfejsu Użytkownika tegoż stanowiska, będącego oryginalnym oprogramowaniem opracowanym podczas realizacji omawianego projektu.

W trakcie realizacji badania na ekranie prawego monitora jest prowadzony monitoring stanu poszczególnych elementów systemu, natomiast na ekranie lewego monitora Instruktor-Badacz może obserwować trasę i profil lotu samolotu kierowanego przez Badanego. Trasa lotu jest zobrazowywana na podłożu mapy cyfrowej.

#### 3.4.3. Stanowisko badanego

Zapewnienie prawidłowego przebiegu badania wymaga od badanego poprawnego wykonania czynności nakazanych przez instruktora-badacza. Jest więc to stanowisko podstawowym elementem prowadzonych badań. Składa się ono z następujących elementów:

- Układu prezentacji danych o położeniu statku powietrznego w przestrzeni, jego parametrach lotu i wyposażenia pokładowego (kokpit symulowanego statku powietrznego). Jest on zasilany informacyjnie poprzez komputer stanowiska badanego. W jego skład wchodzi dotykowe monitory ekranowe, panele przełączników symulujących procesy dwustanowe (włączony – wyłączony lub wyboru określonego trybu pracy) oraz stelaż umożliwiający trwałe zamocowanie tych elementów w kokpicie symulatora.



- Organów sterowania położeniem statku powietrznego w przestrzeni. Organy sterowania badawczego symulatora wojskowego statku powietrznego odwzorowują z dużą wiernością rzeczywiste rozwiązania techniczne stosowane w nowoczesnych statkach powietrznych, a przede wszystkim ich funkcje. W przyjętym rozwiązaniu technicznym wykorzystano maimulatory dostępne na rynku, które z powodzeniem stosowane są w profesjonalnych i amatorskich symulatorach lotu. Zaletą tego rozwiązania jest duża podatność modernizacyjna (rekonfiguracja kokpitu) oraz dostęp do oprogramowania wspierającego użytkowanie urządzeń.



Organy sterowania symulatora badawczego-konstrukcyjnego

- Moduł symulacji ruchu statku powietrznego.  
Dla potrzeb symulacji zastosowano model odwzorowujący lot wojskowego odrzutowego samolotu szkolno-treningowego, w zakresie mechaniki lotu z uwzględnieniem jego własności pilotażowych oraz następujących warunków:
  - 1) Lot wykonywany jest w rzeczywistej atmosferze o określonych w przestrzeni lotu samolotu rozkładach parametrów:
    - ciśnienia i temperatury,
    - prędkości wiatru (wektor prędkości wiatru o składowych stałej i zmiennej w czasie).
  - 2) Sterowanie modelem statku powietrznego (przez pilota) jest takie jak w rzeczywistym samolocie, poprzez następujące parametry systemów pokładowych i organy sterowania:
    - prędkość obrotową wirnika silnika,
    - ster wysokości, ster kierunku i lotki,
    - klapy,
    - podwozie.

- 3) Sterowanie automatyczne samolotem:
  - zakres podstawowy (tłumienie, stabilizacja i doprowadzenie do lotu poziomego),
  - automatyczna nawigacja (lot po określonej trasie, wyprowadzenie na punkt itp.).
- 4) Model wyznacza parametry lotu samolotu:
  - w zakresie klasycznej mechaniki lotu,
  - w nawigacyjnych układach współrzędnych.

Przyjęte układy współrzędnych i wyznaczone zależności pomiędzy parametrami ruchu w tych układach umożliwiają bezpośrednie wykorzystanie ich do opracowania modelu (programu komputerowego) dynamiki ruchu sterowanego samolotu. Przyjęte założenia odpowiadają warunkom realizacji lotów obiektów w nawigacyjnych układach współrzędnych.

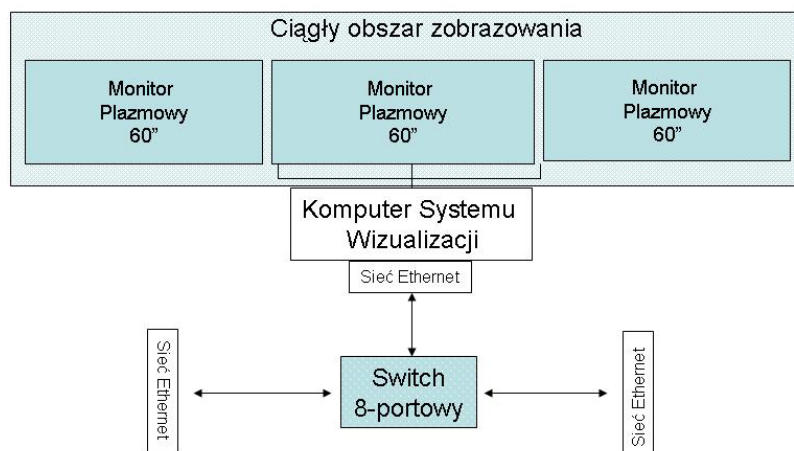
#### 3.4.4. Stanowisko analizy danych

Służy do rejestracji, archiwizacji, analizy i prezentacji danych zapisanych podczas badań. Oprócz zapisu wartości parametrów psychofizjologicznych badanych operatorów wojskowych statków powietrznych, odbywa się tu także prezentacja wyników w postaci wniosków dla konstruktorów badanych interfejsów. Stanowisko to umieszczone jest w osobnym pomieszczeniu w stosunku do symulatora badawczego. Jego głównym elementem jest komputer wyposażony w odpowiednie peryferia przeznaczone do zapisu i archiwizacji danych, urządzenia do prezentacji wyników badań, prowadzenia przygotowania badanych do wykonania prób na symulatorze oraz analizy wykonania zadań przez badanych.

#### 3.4.5. System wizualizacji

System wizualizacji otoczenia składa się z dwóch podstawowych elementów. Stanowiska komputerowego odpowiedzialnego za generowanie obrazu oraz systemu projekcji obrazu. W skład systemu wizualizacji wchodzi następujące elementy sprzętowe:

- a) komputer wizualizacji;
- b) monitory plazmowe.



Struktura sprzętowa systemu wizualizacji



W systemie zastosowano trzy monitory plazmowe o przekątnej 42" skonfigurowane jako jeden obszar zobrazowania. Takie rozwiązanie zapewnia wizualizację jednorodnego, panoramicznego pola obserwacji dla operatora wojskowego statku powietrznego o jednoosobowej załodze. Jasność wyświetlanego obrazu zapewnia odwzorowanie otoczenia zarówno w dzień jak i w nocy, w różnych porach roku. W warunkach laboratoryjnych, w jakich prowadzone były badania, wystarczającym było źródło światła (emiter obrazu) o jasności 5000 ANSI lumenów.



System wizualizacji zainstalowany w laboratorium HMI

### 3.5. Technologia badań optymalizacyjnych

Optymalizacja interfejsu człowiek-operator – wojskowy statek powietrzny w aspekcie fizjologicznym i psychologicznym procesu sterowania sprowadza się do zmniejszenia obciążenia poznawczego operatora w trakcie tego procesu sterowania. Badania optymalizacyjne, będące w swojej istocie badaniami ergonomii optymalizowanego interfejsu, polegały na pomiarze obciążenia psychicznego i psychofizjologicznego dla poszczególnych wariantów interfejsu.

W ramach projektu opracowano i wykonano stanowisko do badań optymalizacyjnych interfejsu człowiek – maszyna HMI dla wojskowych statków powietrznych, opisane w poprzednich rozdziałach.

Stanowiska badawcze wchodzące w skład symulatora badawczo-konstrukcyjnego, ze względu na ich powiązania funkcjonalne oraz wymagania wynikające z technologii badań optymalizacyjnych HMI rozmieszczono w specjalnie stworzonym laboratorium.

Zaprojektowane laboratorium symulatora badawczo-konstrukcyjnego wykorzystuje kompleks pomieszczeń, które zapewniają właściwe funkcjonowanie wszystkich stanowisk badawczych oraz ograniczają dostęp do laboratorium osobom nieupoważnionym.

W odniesieniu do zadań symulatora badawczo-konstrukcyjnego, realizowanych na stanowiskach badacza i badanego, pomieszczenie, w którym jest on zabudowany zapewnia spełnienie poniżej omówionych kryteriów.

W laboratorium, podczas prowadzenia badań, utrzymywany jest zakres temperatur określany jako strefa zapewniająca dobre samopoczucie na poziomie między 20°C a 23°C, a poziom wilgotności kształtuje się na poziomie między 38% a 70%. Warunki klimatyczne na tym poziomie utrzymuje system klimatyzacyjno-wentylacyjny zabudowany w laboratorium.

W laboratorium, podczas prowadzenia badań, zapewniony jest odpowiedni (zgodny z normą), a zarazem wygodny (ze względu na pracę przed monitorami komputerowymi) system oświetlenia, który zapewnia światło w I klasie ograniczenia lśnienia bezpośredniego oraz wystarczający poziom natężenia oświetlenia na poziomie 300 lx. Zastosowane oprawy świetlówkowe typu "darklight"

z elektronicznym układem stabilizująco-zapłonowym (HFR) zapewniają właściwą jakość światła w stosunku do wymaganych potrzeb.



Widok ogólny hali symulatora badawczo-konstrukcyjnego

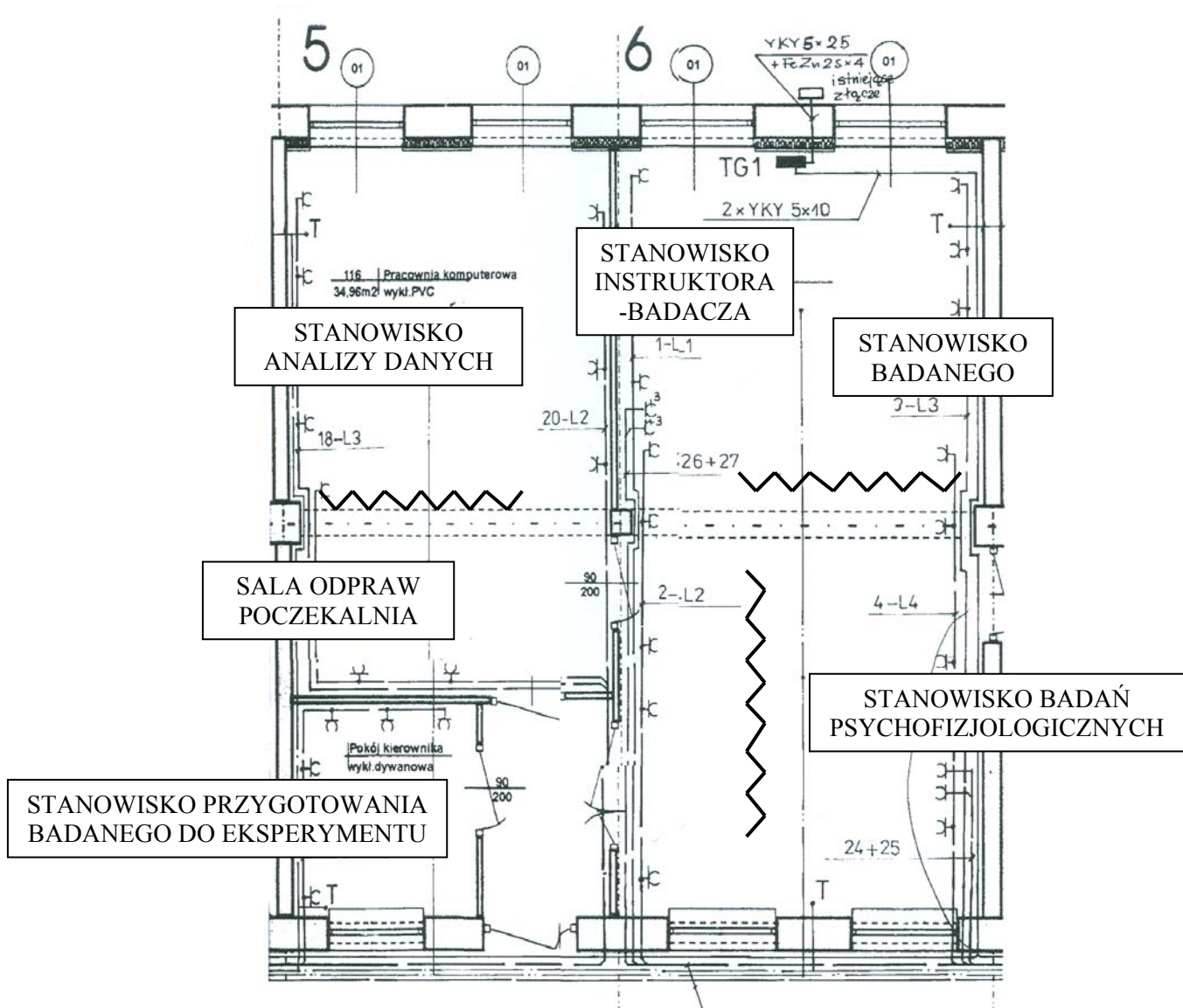
Ponadto pomieszczenia laboratorium wyposażone są:

- w teleinformatyczną sieć strukturalną;
- w sieć energetyczną;
- w elementy fizycznej ochrony (antywłamaniowe główne drzwi wejściowe, kraty w oknach, położona instalacja zamka elektromagnetycznego i systemu kontroli dostępu do pomieszczeń).

Powierzchnia użytkowa poszczególnych pomieszczeń wynosi:

- gabinet lekarski – około 7m<sup>2</sup>;
- stanowisko analizy danych oraz sala odpraw/poczekalnia – 35m<sup>2</sup>;
- hala symulatora badawczo-konstrukcyjnego – 52m<sup>2</sup>





Szkic laboratorium symulatora badawczo-konstrukcyjnego (w oparciu o dokumentację techniczną budynku B2) oraz jego przestrzenna organizacja

## **Zadanie 1: Analiza i określenie zakresu badań, metod pomiaru parametrów psychofizjologicznych, kryteriów optymalizacji oraz założeń na stanowisko operatora statku powietrznego**

W obszarze *fizjologii i psychologii lotniczej* określono zakresy i metody pomiarów parametrów psychofizjologicznych operatorów wojskowych statków powietrznych dla różnych ich typów: odrzutowego, szkolnego samolotu poddźwiękowego, szkolnego samolotu turbośmigłowego, śmigłowca szkolnego, śmigłowca wielozadaniowego średniej wielkości, bezpilotowego statku powietrznego. Opracowano metody pomiaru czasu reakcji operatora oraz jego obciążenie pracą (workload factor), pozwalające na uzyskanie znormalizowanych i zoptymalizowanych wartości wielkości, które mogą stanowić wytyczne dla konstruktorów stanowiska operatora.

W zakresie *budowy urządzeń mechatronicznych* przeanalizowano i opracowano:

- strukturę mechaniczną badawczego stanowiska operatora, która umożliwia stosunkowo łatwą modyfikację optymalizowanego interfejsu, podczas prowadzonych prac badawczych i konstrukcyjnych,
- strukturę systemu komputerowego o otwartej architekturze, który w czasie rzeczywistym: modeluje ruch przestrzenny wojskowego statku powietrznego oraz działanie jego systemów pokładowych w stanach normalnych i awaryjnych, steruje wskaźnikami i sygnalizatorami na stanowisku operatora, odczytuje stan organów sterowania z wymaganą częstością, rejestruje dane wymagane do dalszych analiz i prac konstrukcyjnych, prezentuje na wskaźnikach stanowiska informacje i dane niezbędne do sterowania statkiem powietrznym oraz prowadzenia prac badawczych i konstrukcyjnych,
- strukturę mechaniczną i oprogramowanie umożliwiające efektywne włączanie do badanego toru sterowania ruchem obiektu, rzeczywistych urządzeń,
- jako przykładowy wojskowy statek powietrzny do badań realizowanych w ramach niniejszego projektu, po dokonaniu szeregu analiz, wybrano odrzutowy, szkolno-treningowy samolot poddźwiękowy TS-11 „Iskra”.

Szczegółowe dane i wyniki przeprowadzonych prac zawarto w następujących opracowaniach:

- C. Szczepański: *Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Wymagania funkcjonalne*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL, Warszawa 2007, 7 stron
- C. Szczepański (red.): *Analiza i określenie założeń na symulator do badania operatorów wojskowych statków powietrznych*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 3154/50, Warszawa 2007, 84 strony
- C. Szczepański (red.): *Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Projekt wstępny*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 3171/50, Warszawa 2007, 113 stron

## **Zadanie 2: Opracowanie modelu matematycznego wybranego wojskowego statku powietrznego wraz z instalacjami pokładowymi, działającego w czasie rzeczywistym**

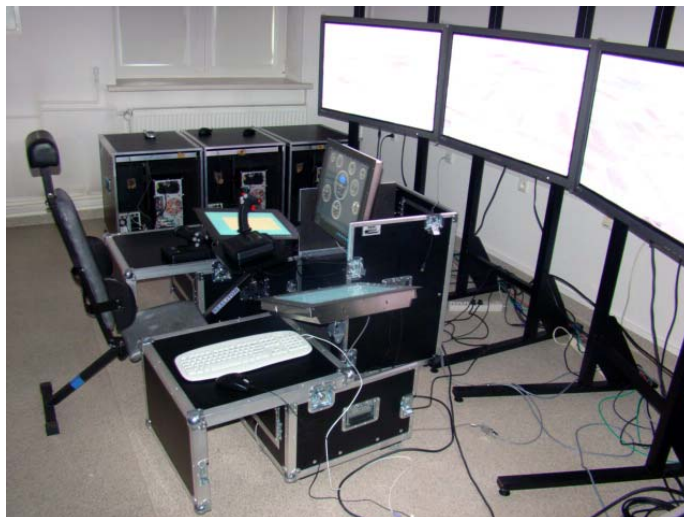
W ramach tego zadania przeprowadzono analizy funkcjonalności modelu matematycznego dynamiki ruchu przestrzennego wybranego samolotu testowego, mające na celu możliwie dobre dostosowanie do potrzeb projektowanego stanowiska badawczego oraz przyszłych jego zastosowań. Zamodelowano wybrane instalacje pokładowe, mające wpływ na skuteczność interfejsu pilota samolotu testowego, stany awaryjne oraz warunki pogodowe. Opracowany model matematyczny zweryfikowano korzystając z danych z prób w locie oraz z prób symulatora lotu testowego samolotu, w jakich brali poprzednio udział uczestnicy niniejszego projektu badawczo rozwojowego.

Szczegółowe dane i wyniki przeprowadzonych prac zawarto w następujących opracowaniach:

- J. Manerowski (red.): *Model dynamiki lotu sterowanego samolotu TS-11 Iskra dla symulatora badawczo-konstrukcyjnego*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 3523/50, Warszawa 2007, 105 stron

## **Zadanie 3: Opracowanie badawczego stanowiska operatora wojskowego statku powietrznego**

Badawcze stanowisko operatora wojskowego statku powietrznego jest badawczo konstrukcyjnym symulatorem lotu samolotu testowego, umieszczonym w specjalnie dla niego przystosowanych pomieszczeniach laboratorium.



W ramach niniejszego zadania opracowano projekt zarówno samego symulatora (stanowisko badanego) jak też stanowiska instruktora badacza oraz stanowiska analizy danych. Ponadto wykonano projekt niezbędnych przeróbek pomieszczeń laboratorium. Całość dokumentacji projektowej zawarto w:

- C. Szczepański (red.): *Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Projekt techniczny*. Projekt

badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 3441/50, Warszawa 2007, 164 strony

- S. Michalak (red.): *Opracowanie dokumentacji technicznej i implementacja cyfrowego wskaźnika pilotażowo-nawigacyjnego dla laboratorium HMI do przeprowadzenia badań grupy testowej operatorów w ramach tematu <<Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych>>* Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4105/50, Warszawa 2008, 254 strony

#### **Zadanie 4: Wykonanie i próby badawczego stanowiska operatora wojskowego statku powietrznego**

W ramach tego zadania wykonano i przebadano funkcjonalnie wszystkie stanowiska wchodzące w skład całego laboratorium. W próbach uczestniczyli członkowie zespołu wykonującego niniejszy projekt oraz pilot, pracownik ITWL, należący do zespołu zakładu naukowo badawczego, w którym realizowany jest projekt.

Podczas prób zweryfikowano ostatecznie poprawność rozwiązań technicznych oraz ich realizacji, a poprawki i zmiany z tych prób wynikłe wniesiono do dokumentacji technicznej projektu.

W procesie optymalizacji interfejsu człowiek – maszyna HMI dla wojskowych statków powietrznych, symulator badawczo-konstrukcyjny jest podstawowym narzędziem badawczym do weryfikacji jakości tego procesu. W związku z tym symulator musi umożliwić sprawne przeprowadzenie badań, zarejestrowanie i analizę uzyskanych wyników.



Weryfikację rozwiązań konstrukcyjnych przeprowadzono w oparciu o badania funkcjonalne w ścisłym powiązaniu z zadaniami realizowanymi przez symulator. Badaniami funkcjonalnymi objęto strukturę sprzętową i informatyczną symulatora oraz trzy stanowiska robocze: badanego, instruktora-badacza i analizy danych. Badania stanowisk roboczych przeprowadzono, jako autonomiczne, sprawdzające poprawność przyjętych rozwiązań technicznych dla poszczególnych stanowisk oraz kompleksowe umożliwiające ocenę pracy całego symulatora badawczo-

konstrukcyjnego ze względu na powiązania funkcjonalne, komunikacyjne i organizacyjne.

**Wnioski z badań funkcjonalnych:**

1. Wyposażenie techniczne stanowisk umożliwia ich szybką rekonfigurację oraz dostosowanie do nowych wymagań, funkcji lub potrzeb związanych z prowadzonymi badaniami.
2. Podatność modernizacyjna stanowisk badawczych zapewnia badanie i optymalizację kokpitów wojskowych statków powietrznych praktycznie dowolnego typu.
3. Dostawienie kolejnego fotela pilota lub operatora wyposażenia pokładowego, zmiana organizacji tablicy przyrządów pokładowych (cyfrowe, prezentowane na dotykowych monitorach LCD) lub włączenie w tor badawczy rzeczywistego przyrządu pokładowego może być zrealizowane w krótkim czasie.

Szczegółowe dane i wyniki przeprowadzonych prac zawarto w następujących opracowaniach:

- C. Szczepański (red.): *Opracowanie dokumentacji badań funkcjonalnych symulatora badawczo-konstrukcyjnego w ramach projektu badawczo-rozwojowego <<Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych>>*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 3982/50, Warszawa 2008,
- C. Szczepański (red.): *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Opis Techniczny*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4342/50, Warszawa 2008, 137 stron
- C. Szczepański (red.): *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Formularz Techniczny*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4346/50, Warszawa 2008, 53 strony
- C. Szczepański (red.): *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych SKB – Instrukcja Eksploatacji*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4350/50, Warszawa 2008, 91 stron
- W. Puchalski: *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Instrukcja Obsługi Stanowiska Instruktora-Badacza*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4354/50, Warszawa 2008, 68 stron
- W. Puchalski: *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – System diagnostyczny ON-LINE*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4351/50, Warszawa 2008, 9 stron
- K. Butlewski: *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach*

- wojskowych statków powietrznych – Instrukcja Obsługi Stanowiska Analizy Danych. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4353/50, Warszawa 2008, 39 stron
- P. Golański: *Simulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Instrukcja Obsługi Stanowiska Badanego*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4355/50, Warszawa 2008, 8 stron
  - D. Karczmarz: *Protokół kompletacji infrastruktury sprzętowej i programowej dla symulatora badawczo-konstrukcyjnego*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4349/50, Warszawa 2008, 6 stron
  - P. Mądrycki: *Protokół z instalacji oprogramowania systemowego i narzędziowego symulatora badawczo-konstrukcyjnego*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4348/50, Warszawa 2008, 3 strony
  - D. Karczmarz: *Protokół końcowy i Sprawozdanie-Załącznik 1 z badań funkcjonalnych symulatora badawczo-konstrukcyjnego*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4356/50, Warszawa 2008, 79 stron

#### **Zadanie 5: Badania testowej grupy operatorów wybranego wojskowego statku powietrznego**

Badania psychofizjologiczne (użytkowe) przeprowadzone zostały w oparciu o stanowiska badawcze symulatora konstrukcyjno-badawczego na grupie 38 pilotów z WSOSP (Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych) w Dęblinie, 1 i 2 Ośrodka Szkolenia Lotniczego oraz 10 podchorążych pierwszego roku z WSOSP.

Celem badań psychofizjologicznych (użytkowych) było pozyskanie danych pomiarowych dla określenia poziomu obciążenia pracą, związanego z wykonywaniem zadań lotniczych na symulatorze z możliwością zmiany ustawień kokpitu.

Wszyscy badani wykonywali dwukrotnie dwudziestominutowy lot na symulatorze lotniczym, przy czym w czasie jednego lotu kokpit miał postać standardową (typ A), w czasie drugiego celowo zniekształconą, niezgodną z przyjętymi standardami (typ B). Celem badań było określenie wskaźników, które pozwalają na podstawie psychologicznych i fizjologicznych kryteriów wychwycić zwiększone obciążenie poznawcze związane z nieoptymalnym kokpitem.

Każdy z badanych otrzymywał inną, losowo ustaloną kolejność lotów (na kokpicie zwykłym bądź zniekształconym).

Pozyskane dane pomiarowe posłużyły do opracowania technologii do optymalizacji interfejsu człowiek - maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych.



Badania przeprowadzono dla dwóch konfiguracji kokpitu statku powietrznego:



Kokpit A



Kokpit B

W badaniach psychofizjologicznych oprócz stanowisk badawczych symulatora, wyposażonych w opisany uprzednio sprzęt, wykorzystano aparaturę medyczną:

- Aparat do rejestracji aktywności układu krążenia DATALOG;
- Aparat do rejestracji ruchów gałki ocznej JAZZ-NOVO;
- Aparaturę Wiedeńskiego Systemu Testów firmy Schuchfried GmbH, wyposażoną w panel reakcyjny, pedały, pióro świetlne (lub ekran dotykowy) oraz urządzenie do badania krytycznej częstotliwości migotania Flicker. System zainstalowano na Stanowisku Analizy Danych;
- Aplikację do pomiaru zakresu pamięci przestrzennej MEMO zainstalowaną w komputerze kokpitu symulatora;
- Testy w formie papierowej - figurę Reya oraz NASA-TLX. Ponieważ założono, że archiwizację danych będzie się wykonywać w formie elektronicznej, testy wykonano z użyciem tabletu.

Badania przebiegały w trzech, następujących po sobie fazach:

- faza badań wstępnych;
- faza badania podstawowego podczas realizacji zadania lotniczego;
- faza badań końcowych.

**Faza badania wstępnego** wraz z przygotowaniem Stanowiska Analizy Danych do badań psychofizjologicznych była realizowana przez operatora Stanowiska Analizy Danych (psychologa).

**Faza badania podstawowego** była inicjowana i kontrolowana przez operatora Stanowiska Instruktora. W fazie badania podstawowego realizowane było zadanie lotnicze dla dwóch wersji kokpitu: A i B.

**Zadanie lotnicze** przebiegało wg danych zawartych w tabeli 1.

- Powitanie głosowe (komputerowa synteza mowy) – „*Witamy w symulatorze badawczo-konstrukcyjnym*”
- Start z Lotniska
- Osiągnięcie WPT (Wyjściowego Punktu Trasy) - K315H2000V500

Punkt	T [s]	$\Psi$ [°]	B [°]	L/R/-	H [m]	w/z [m/s]	V[km/h]	Komenda
0	0	315	0	-	2000	0	500	Memo Zapamiętaj
1	20	270	30	L	2000	0	500	LK270B30
2	50	270	0	-	2000	0	500	Memo Odtwórz
3	70	270	0	-	2000	0	500	Memo Zapamiętaj
4	90	090	30	P	2000	0	500	PK090B30
5	160	090	0	-	2000	0	500	Memo Odtwórz
6	190	090	0	-	2000	0	500	Memo Zapamiętaj
7	210	045	30	L	2000	0	500	LK045B30
8	230	045	0	-	2000	0	500	Memo Odtwórz
9	270	045	0	-	2000	0	500	Memo Zapamiętaj
10	290	090	30	P	2300	10	500	PK090H2300w10
11	340	090	0	-	2300	0	500	Memo Odtwórz
12	360	090	0	-	2300	0	500	Memo Zapamiętaj
13	380	270	30	L	2000	-10	500	LK270B30H2000z10
14	450	270	0	-	2000	0	500	Memo Odtwórz
15	470	270	0	-	2000	0	500	Memo Zapamiętaj
16	490	315	30	P	1700	-10	500	PK315B30H1700z10
17	560	315	0	-	1700	0	500	Memo Odtwórz
18	580	315	0	-	1700	0	500	Memo Zapamiętaj
19	600	270	30	L	1500	-10	600	L270B30H1500z10V600
20	650	270	0	-	1500	0	600	Memo Odtwórz
21	670	270	0	-	1500	0	600	Memo Zapamiętaj
22	690	090	30	P	1700	10	400	PK90B30H1700w10V400
23	740	090	0	-	1700	0	400	Memo Odtwórz
24	760	090	0	-	1700	0	400	Memo Zapamiętaj
25	780	045	30	L	2000	10	500	LK045B30H2000w10V500
26	880	045	0	-	2000	0	500	Memo Odtwórz
27	900	045	0	-	2000	0	500	Koniec Zadania

**Faza Badania Podstawowego** była realizowana przez:

- operatora wojskowego statku powietrznego na Stanowisku Badanego (badanego);
- operatora Stanowiska Analizy Danych (psychologa);
- operatora Stanowiska Instruktor/Badacza (instruktora).

**Faza badania końcowego** była realizowana przez operatora Stanowiska Analizy Danych (psychologa).

Szczegółowe dane i wyniki przeprowadzonych prac zawarto w następujących opracowaniach:

- P. Materac: *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Metodyka i Protokół z uruchomienia bazy danych wraz z aplikacją transmisji raportów z badań użytkowych*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4352/50, Warszawa 2008, 14 stron
- C. Szczepański (red.): *Program badań psychofizjologicznych (użytkowych) symulatora badawczo-konstrukcyjnego*. Projekt



badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4344/50, Warszawa 2008, 25 stron,

- K. Butlewski (red.): *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Metodyka badań psychofizjologicznych.* Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4337/50, Warszawa 2008, stron17,
- R. Marchwicki: *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Zadanie testowe.* Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4345/50, Warszawa 2008, 9 stron,

## **Zadanie 6: Opracowanie metod optymalizacji interfejsu człowiek – maszyna dla wybranego wojskowego statku powietrznego**

Celem badań związanych z opracowaniem metod optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna, w odniesieniu do kokpitu wybranego statku powietrznego było odkrycie wskaźników, które pozwalają na podstawie inżynierskich, psychologicznych i fizjologicznych kryteriów wychwycić zwiększone obciążenie poznawcze związane z nieoptymalnym kokpitem.

Przeprowadzona analiza wyników badań umożliwia określenie i dobór zbioru istotnych wskaźników inżynierskich i psychofizjologicznych, które mogą zostać wykorzystane w procesie optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna.

### **Wnioski:**

1. Istnieje zależność pomiędzy konfiguracją kokpitu a jakością realizacji misji przez pilota.
2. Zastosowany w analizie współczynnik korelacji Pearsona przebiegów czasowych podstawowych parametrów lotu (iloraz kowariancji i iloczynu odchyień standardowych): kursu, wysokości i prędkości, wygenerowanych przez pilota idealnego i przez badanego, podczas lotów na symulatorze dla dwóch różnych konfiguracji kokpitu w układzie:
  - Kokpit A – Pilot idealny (symulowany)
  - Kokpit B – Pilot idealny(symulowany)
  - Kokpit A – Kokpit B (badany pilot)oraz odchylenie standardowe pomiędzy tymi samymi przebiegami wskazują, że misja została lepiej wykonana na Kokpicie A (optymalnym) niż B (zaburzonym). Natomiast utrzymanie nakazanych parametrów lotu jest najlepsze w przypadku Kursu, nieco gorsze w przypadku wysokości, natomiast najgorsze w przypadku prędkości.
3. Jakość realizacji misji zależy nie tylko od konfiguracji kokpitu ale również od poziomu wyszkolenia pilota (w odniesieniu pilot-instruktor, pilot-nowicjusz).
4. Testowane kokpity (w obszarze badań psychofizjologicznych) różnią się istotnie poziomem wywoływanych zmian spostrzeganej częstości migotania. Można zatem przyjąć, że kokpit zniekształcony prowadzi do silniejszego obciążenia poznawczego w ciągu całego lotu.
5. Określono grupę wskaźników pozwalających na optymalizację kokpitów wojskowych statków powietrznych. Zdefiniowano technologię optymalizacji HMI dla tego obszaru aplikacji, na przykładzie wybranego wojskowego statku powietrznego.
6. Zbudowany system sprzętowo - informatyczny pozwala na realizację technologii metod optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna, w odniesieniu do kokpitu statku powietrznego.
7. Zrealizowano w pełni zakładane cele badawcze i inżynierskie.

W trakcie realizacji projektu przygotowano dokumentację i otwarto w ITWL dwa przewody doktorskie:

- mgr inż. Wojciech Puchalski: Metoda oceny realizacji wybranych misji lotniczych,
- mgr inż. Krzysztof Butlewski: Metoda oceny realizacji lotów wysokomanewrowych.

Promotorem obu przewodów doktorskich został dr hab. inż. C. Szczepański.

Obie prace stanowią rozwinięcie obszaru związanego z optymalizacją kokpitów statków powietrznych.

Szczegółowe dane i wyniki przeprowadzonych prac zawarto w następujących opracowaniach:

- F. Skibniewski (red.): *Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Opracowanie podsystemu analizy danych psychofizjologicznych oraz przeprowadzenie kompleksowej analizy statystycznej obciążenia poznawczego operatora w laboratorium HMI*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4487/51, Warszawa 2008,
- C. Szczepański (red.): *Symulator badawczo-konstrukcyjny do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Protokoły z badań użytkowych*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4347/50, Warszawa 2008,
- P. Rzucidło (red.): *Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych – Raport dotyczący wyboru zadania krytycznegodla samolotu TS-11 Iskra do badań na symulatorze*. Projekt badawczo-rozwojowy 0002/R/2/T00/06/02, ITWL 4463/51, Warszawa 2008, 31 stron.

Opracował:

dr hab. inż. Cezary Szczepański