

2
2022

TECHNIKA

lotnicza

i ASTRONAUTYCZNA

AVIATION AND SPACE TECHNOLOGY



POLITECHNIKA
LUBELSKA

Drodzy Czytelnicy



Oddajemy do Waszych rąk drugi numer czasopisma Technika Lotnicza i Astronautyczna, które zostało wznowione po długiej ponad 30-letniej przerwie. W tym miejscu chciałbym serdecznie podziękować grupie osób zrzeszonych wokół Redaktora Naczelnego – dra hab. Jarosława Pytki, która w sposób bezinteresowny podjęła się reaktywacji tego cenego dla miłośników lotnictwa i astronautyki czasopisma. Mam nadzieję, że trud jaki wkładacie w opracowanie kolejnych materiałów oprócz satysfakcji przyniesie Wam wkrótce uznanie środowiska całej szeroko pojętej branży lotniczej.

W bieżącym numerze czasopisma przedstawiamy informacje w takich tematach, jak: systemy sterowania samolotem rozwijane w Politechnice Rzeszowskiej, nowoczesny napęd pomocniczy dla szybowców, symulator do szkolenia pilotów samolotu A230, rozwój kabin pasażerskich samolotów, akrobacje lotnicze, repliki szybowców z Rosji, samolot towarzyszący R XIII Lublin i w wielu innych. Mam nadzieję, że każdy z Was znajdzie dla siebie coś interesującego.

Na zakończenie zachęcam do publikowania artykułów na łamach Techniki Lotniczej i Astronautycznej, zarówno naukowych jak i popularnonaukowych. Nasze czasopismo jest znakomitą platformą do wymiany myśli, poglądów, opinii, recenzji, etc. na wszelkie tematy związane z lotnictwem i astronautyką. Ze swojej strony obiecuję, że doteżymy wszelkich starań by oferta czasopisma była coraz bardziej atrakcyjna i by w przyszłości znalazło się ono na liście czasopism punktowanych, co jest bardzo ważne dla środowiska naukowego.

Życząc przyjemnej lektury pozostaje z wyrazami szacunku
Zbigniew Pater



Replika szybowca IS-A Salamandra 53 w locie. Fot. Akademicki Ośrodek Szybowcowy Politechniki Rzeszowskiej

Samolot z okładki – Lublin R.XIII

JAROSŁAW PYTKA

Samolot Lublin R.XIII powstał w roku 1930 jako kolejna i prawdopodobnie najbardziej charakterystyczna konstrukcja lotnicza inżyniera Jerzego Rudlickiego. R.XIII był przedstawicielem popularnego nie tylko w owym czasie typu samolotu wielozadaniowego, do którego zastosowań należały takie misje jak łącznikowa, obserwacyjna, towarzysząca, szkolna, a nawet wodnosamolotu torpedowego. Ponieważ charakteryzował się sprawdzoną, żeby nie powiedzieć przestarzałą koncepcją górnopłata z odkrytymi kabinami pilota i strzelca – obserwatora, ustępował osiągnięciom swoim konkurentom. Jednak w przypadku samolotów i produkcji lotniczej, rankingi nie zawsze są najważniejsze, więcej o tym w dalszej części felietonu. Jakkolwiek, model R.XIII był najliczniej produkowanym samolotem spod znaku Lublin (łącznie 272 egzemplarze).

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na dwa aspekty o bardziej ogólnym znaczeniu. Po pierwsze, osoba konstruktora Jerzego Rudlickiego, która może być wzorem dla niejednego studenta podejmującego studia politechniczne, a i nie tylko. Przyszły konstruktor Lublina R.XIII i innych samolotów studiował we Francji, w Ecole Superiere d'Aeronautique. W ramach pracy dyplomowej wykonał projekt samolotu pasażerskiego, zawierający liczne innowacje (np. toaleta pokładowa). Wart podkreślenia jest fakt, że na wykonanie projektu student Rudlicki miał zaledwie ...4 tygodnie! Studia ukończył uzyskując dyplom inżyniera. Projektując samoloty w lubelskich Zakładach Mechanicznych E. Plage i T. Laśkiewicz, jako pierwszy w świecie zastosował interesujące rozwiązanie tzw. usterzenie Rudlickiego, zwane również usterzeniem motylkowym. Myślę, że naszym Czytelnikom nie trzeba wyjaśniać o co chodzi, warto jedynie dodać, że przytoczony układ konstrukcyjny znalazł zastosowanie w wielu słynnych konstrukcjach lotniczych, m. in. Beechcraft Bonanza, Fuoga Magister czy F22 Raptor.

Drugi aspekt odnosi się do obecności przemysłu lotniczego w Lublinie, a także w całym kraju. Produkcja samolotów to działalność polegająca na otrzymywaniu wyrobów o bardzo wysokim stopniu przetworzenia materiałów wyjściowych, z bardzo znaczącym udziałem skomplikowanych technologii. Efektem produkcji lotniczej jest obiekt techniczny, którego powstanie wymaga wielu godzin pracy ludzi – specjalistów oraz funkcjonowania linii produkcyjnych. Jak wielki jest udział technologii w produkcji lotniczej, niech zobrazuje następujące porównanie (bez obrazy dla rolników!): jaki jest koszt jednego kilograma samolotu myśliwskiego w stosunku do kosztu kilograma ziemniaków. Wynik pobieżnej kalkulacji jest dobitny: kilka tysięcy! Tyle kosztuje technologia, tak wiele warta jest praca i myśl twórcza inżyniera. Warto więc utrzymywać przemysł i produkcję lotniczą. Znany jest przypadek licencyjnego samolotu CSS-13 produkowanego w Mielcu, a także w Warszawie w latach 1949–1956, podczas gdy pierwowzór radziecki Po-2 pochodził z roku 1928. Pomimo przestarzałej, wręcz prymitywnej konstrukcji samolotu, jego produkcja była okazją i szansą na rozwinięcie przemysłu lotniczego. Nawet mimo oczywistego wątku politycznego, opłacało się. Założy zakładów w Mielcu i na Okęciu wiele lat czerpały z doświadczenia nabytego przy produkcji CSS-ów, również wówczas, gdy do produkcji wdrażano własne konstrukcje. Natomiast, jaka jest cena braku rodzimego przemysłu lotniczego, dość dobrze doświadczyli akademicy z Politechniki Lubelskiej. Gdy w roku 1986 powstała na tej uczelni specjalność Budowa śmigłowców, studenci uczestnicząc w zajęciach laboratoryjnych na stanowiskach zakładów PZL WSK Świdnik poznawali technologię, uczyli się metod badawczych, nawiązywali kontakty, dzięki którym podejmowali pracę w przemyśle lotniczym. Pracownicy naukowcy Politechniki realizowali liczne projekty badawcze we współpracy z jednostkami Wytwórni. W roku 2009 fabrykę przejął włosko-angielski koncern Agusta Westland, nastąpił wówczas zwrot o 180 stopni: ani studenci ani pracownicy Politechniki nie mieli już wstępu na teren zakładów w celach dydaktycznych czy naukowych...

TECHNIKA
lotnicza
i ASTRONAUTYCZNA
AMBIEN AND SPACE TECHNOLOGY



Wydawca:
Politechnika Lubelska

Adres redakcji:
ul. Nadbystrzycka 36, pok. 604
20-618 Lublin

Redaguje zespół:
Ernest Gnapowski,
Jan Laskowski,
Tomasz Murawski,
Michał Ombach,
Red. naczelny - Jarosław Pytka
j.pytka@pollub.pl

Rada programowa:
prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater
(Rektor Politechniki Lubelskiej –
przewodniczący)

Członkowie:
gen. bryg. w st. spocz. mgr inż. Ryszard Dębski
(Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,
Prezes Towarzystwa Polskich Inżynierów
Lotnictwa SIMP),
dr inż. Andrzej Glass,
(**Redaktor Honorowy**),
dr hab. inż. Andrzej Gontarz
(Politechnika Lubelska),
gen. broni pil. prof. dr hab. Jerzy Gotowała
(Akademia Sztuki Wojennej),
prof. Pablo Iscold
(Center of Aeronautical Studies, Federal
University of Minas Gerais, Pampulha,
Brazylia),
prof. dr hab. inż. Marek Orkisz
(Politechnika Rzeszowska),
prof. Zbigniew Pater
(Politechnika Lubelska - Przewodniczący RP),
gen. bryg. pil. dr hab. Jan Rajchel
(Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych
w Dęblinie - obecnie Lotnicza Akademia
Wojskowa w Dęblinie),
dr hab. Paweł Soroka
(Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach),
dr inż. Marek Szumski
(Politechnika Rzeszowska),
prof. dr hab. inż. Romana Śliwa
(Politechnika Rzeszowska),
płk dr hab. inż. Adam Wetoszka
(Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie),
dr hab. inż. Kazimierz Zaleski (Politechnika
Lubelska, SIMP),
prof. dr hab. Józef Zajac
(Państwowa Akademia Nauk Stosowanych
w Chełmie)

**Przedstawiciele przemysłu
i przedsiębiorstw branży lotniczej:**
dr inż. Paweł Chojnacki
(Leonardo/PZL Świdnik),
mgr inż. Andrzej Farian
(EXIN Sp. z o.o.),
mgr inż. Jerzy Krawczyk
(EKOLOT),
dr inż. Tomasz Krysiński
(Airbus Helicopters),
pil. mgr inż. Jacek Mainka
(WIZZAIR),
mgr inż. Edward Margański
(Zakłady Lotnicze Margański&Mysłowski S.A.)

Rysunek na okładce: Alicja Pytka



Pokazy akrobacyjne Dubai Airshow 2021. Fot. Facebook

Wskazówki dla Autorów:

1. Publikacja artykułu w TLiA jest bezpłatna
2. Manuskrypt artykułu można przygotować w dowolnej formie, najlepiej w programie MS Word 2003 lub nowszym, nie ma nakazanego formatu tekstu. Grafiki mogą być wklejone do tekstu bądź dołączone jako osobne pliki. Należy pamiętać o podpisach do rysunków. Rysunki bądź tabele zaczerpnięte ze źródeł innych niż Autora mogą być publikowane jedynie za pisemną zgodą właściciela praw autorskich.
3. TLiA publikuje następujące rodzaje artykułów:
 - a) artykuły naukowe, w tym standardowe, skrócone (tzw. noty techniczne lub inżynierskie), artykuły przeglądowe; artykuły naukowe podlegają recenzji,
 - b) artykuły metodyczne, dydaktyczne, stanowiące opis wraz z komentarzem do materiału dydaktycznego; do artykułów metodycznych, dydaktycznych można dołączać materiał uzupełniający w postaci prezentacji, filmów, itd.
 - c) relacje, np. z konferencji, wystaw, konkursów, zawodów,
 - d) rozszerzone streszczenia prac dyplomowych, inżynierskich i magisterskich a także doktorskich,
 - e) artykuły o treści popularno – naukowo – technicznej, publikowane na prawach rękopisu.
4. Przygotowane artykuły można przysyłać pocztą elektroniczną na adres: j.pytka@pollub.pl
Informujemy potencjalnych Autorów, że w niedalekiej przyszłości uruchomimy internetowy system redakcyjny, który umożliwi umieszczanie artykułów, a także dwustronną komunikację między redakcją a Autorem.

Spis treści

4	Systemy sterowania samolotem projektowane w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej
13	FES – nowoczesny pomocniczy napęd dla szybowców
18	Od błędu ludzkiego do zmienności wydajności
23	Symulator do szkolenia pilotów samolotu A320
26	Kabina pasażerska samolotu na przestrzeni lat
30	Człowiek w procesie sterowania statkiem powietrznym
36	Dubai Air Show 2021
40	Puchacz nie zabija – korkociąg i spirala
44	Samolot towarzyszący R. XIII Lublin jako wsparcie z powietrza dla wojsk lądowych
50	Repliki szybowców z Rosji

Systemy sterowania samolotem projektowane w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej

Prof. ANDRZEJ TOMCZYK
Politechnika Rzeszowska



Streszczenie

Artykuł omawia pokrótce przykładowe rozwiązania pokładowych systemów sterowania opracowane w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej w latach 1978-2020. Zaczynając od teoretycznej analizy wymagań dla systemów wspomagających ręczne sterowanie samolotem, poprzez układy automatycznego sterowania (autopilot dla samolotów lekkich) dochodzimy do złożonych systemów pośredniego sterowania (Fly-by-Wire) oraz całkowicie autonomicznych systemów sterowania bezpilotowymi statkami powietrznymi. Na przykładzie rozwiązań technicznych zastosowanych w projektowanych urządzeniach można prześledzić rozwój awioniki pokładowej mającej zastosowanie w samolotach ogólnego przeznaczenia. Omówione skrótowo w artykule rozwiązania są bardziej szczegółowo opisane w przytoczonej bibliografii.

Słowa kluczowe: sterowanie samolotem, automatyczne lotnicze systemy sterowania, systemy pośredniego sterowania, sterowanie bezpilotowymi statkami powietrznymi

1. Wprowadzenie

Współczesne lotnictwo kojarzy się z najnowszymi osiągnięciami techniki, technologii, automatyzacji oraz wysokim poziomem niezawodności. Latanie jest najbardziej bezpiecznym sposobem podróżowania, a tylko niewielka część incydentów i katastrof lotniczych spowodowana jest przyczynami technicznymi. Jednym z najbardziej nowoczesnych i złożonych zespołów współczesnego samolotu jest system sterowania. Z oczywistych zatem powodów

układy automatycznego sterowania są obszarem naukowych i praktycznych zainteresowań pracowników Katedry Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej. Ale do projektowania najnowszych systemów awionicznych potrzebna jest wiedza i doświadczenie gromadzone przez lata.

Kiedy w 1951 roku powoływano w Rzeszowie Wieczorową Szkołę Inżynierską, myślano przede wszystkim o kształceniu kadr dla potrzeb produkcji mechanicznej w pobliskiej Wytwórni Sprzętu Komunikacyjnego. Jednak największe w rejonie zakłady przemysłowe w Rzeszowie i Mielcu prowadziły produkcję lotniczą, więc w naturalny sposób pojawiły się potrzeby kształcenia specjalistów lotniczych. Z inicjatywy ówczesnych docentów Henryka Kopeckiego, Adama Borowskiego oraz Jana Gruszeckiego utworzono w 1973 roku Instytut Lotnictwa na Wydziale Mechanicznym Politechniki Rzeszowskiej oraz uruchomione zostały studia w specjalności budowy płatowców, budowy silników lotniczych, a w kilka lat później powołane zostały specjalności „pilotaż” oraz „awionika”. W ten sposób Politechnika Rzeszowska stała się drugim po Politechnice Warszawskiej ośrodkiem kształcenia kadr dla lotnictwa.

Działalność dydaktyczna jest wtedy efektywna, gdy zespół nauczający prowadzi badania naukowe w deklarowanym obszarze kształcenia. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie kolejnych etapów rozwoju specjalistycznego zespołu naukowego na przykładzie podejmowanych prac badawczych i projektowych realizowanych początkowo w Zakładzie Systemów Sterowania, następnie przekształconego w Katedrę Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej. Jednocześnie jest to przegląd

tematyki typowej dla procesu projektowania wyposażenia pokładowego oraz rozwoju pokładowych systemów sterowania dla samolotów ogólnego przeznaczenia i/lub bezpilotowych statków powietrznych.

2. Technika cyfrowa na pokładzie statku powietrznego

Statek powietrzny jest konstrukcją bardzo skomplikowaną, w której tradycyjnie wyróżnia się płatowiec, zespół napędowy oraz wyposażenie pokładowe. Tylko racjonalna integracja tych trzech zespołów pozwala uzyskać zamierzone efekty funkcjonalne, a przede wszystkim akceptowalny poziom bezpieczeństwa eksploatacji statku powietrznego. Bardzo istotną rolę odgrywa wyposażenie pokładowe, które umożliwia realizację zdefiniowanych zadań (transport, obronność, sport, rekreacja) oraz pełni funkcję specyficznego „interfejsu” pomiędzy sprzętem a pilotem (członkiem załogi). Początkowo stosowane były elektromechaniczne i analogowe elektroniczne moduły pokładowe, jednak rosnący stopień merytorycznego i technicznego skomplikowania systemów pokładowych spowodował nieakceptowalny wzrost masy i zawodności tych systemów. Aktualnie dominującym elementem wyposażenia pokładowego są urządzenia awioniczne, czyli specjalizowane moduły elektroniczne. Obecnie są to wieloprocessorowe systemy cyfrowe, dostosowane do pracy w warunkach typowych dla techniki lotniczej i spełniające rygorystyczne wymagania przepisów i norm lotniczych. Było więc rzeczą naturalną, że w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, w ówczesnym Zakładzie Systemów Sterowania na Wydziale Mechanicznym PRz pojawiły się inicjatywy podjęcia tematyki lotniczej w zakresie wyposażenia pokładowego samolotów, w szczególności dotyczącej sterowania statkiem powietrznym. Pierwszą pracą z tego obszaru był projekt zlecony przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Sprzętu Komunikacyjnego w Mielcu opracowania kryteriów oceny właściwości pilotażowych oraz zasad syntezy systemów wspomagających ręczne sterowanie samolotem okołodźwiękowym [1]. Są to systemy poprawiające stateczność (SAS – Stability Augmentation System) oraz poprawiające sterowność (CAS – Control Augmentation System). Opracowanie wykorzystane zostało w pracach projektowych OBR SK Mielec, niestety z powodów politycznych nie doszło w tym czasie do powstania konstrukcji będącej następcą odrzutowego samolotu szkolnego TS-11 Iskra.

Innym obszarem współpracy z WSK Mielec było opracowanie systemu sterowania i rejestracji wyników badań zmęczenia konstrukcji lotniczych. Projekt Zakładu Systemów Sterowania PRz pozwalał na znaczne skrócenie czasu badań i przetwarzania wyników poprzez sprzężenie tzw. klatki wytrzymałościowej z odpowiednio oprogramowanym komputerem.

Projektowanie i badanie właściwości samolotu wraz z zespołem napędowym oraz wyposażenia pokładowego wymaga prowadzenia badań w locie. Warunkiem efektywnej realizacji badań jest dysponowanie pokładowym systemem rejestracji danych pomiarowych oraz spraw-

nym systemem przetwarzania tych danych dla uzyskania dogodnych do interpretacji wyników prób w locie. Dobra merytoryczna współpraca zaowocowała kolejnym zleceniem ze strony OBR SK Mielec, tym razem na opracowanie systemu rejestracji i przetwarzania wyników badań w locie samolotów konstruowanych i produkowanych w WSK-Mielec. Zespół Zakładu Systemów Sterowania zaprojektował i zbudował prototyp pokładowego cyfrowego rejestratora sygnałów analogowych, cyfrowych i dyskretnych oraz opracował naziemną stację odczytu i przetwarzania danych opartą o komputer SM-1. Dotychczasowa żmudna metoda ręcznego przenoszenia wykresów z taśm oscylografów pętlicowych do tabel danych niezbędnych do dalszych obliczeń, zastąpiona została przez automatyczny odczyt danych z magnetycznej taśmy rejestratora, skalowanie pomiarów do wielkości fizycznych oraz przetwarzanie danych według zaplanowanych algorytmów.

Bardzo ważną właściwością rejestratora pokładowego PSR-03E było zastosowanie mikroprocesora w module pokładowym, a więc był to pierwszy w kraju cyfrowy przyrząd lotniczy. Zastosowany jedynie dostępny w tym czasie ośmiobitowy mikroprocesor Intel-8080 pozwalał zautomatyzować proces rejestracji oraz umożliwiał interakcyjną obsługę rejestratora podczas lotu [2]. Trzeba pamiętać, że elementy elektroniczne użyte do budowy rejestratora muszą pracować w ekstremalnych warunkach (temperatura od -40°C do $+70^{\circ}\text{C}$, obniżone ciśnienie, przeciążenia, wibracje, zakłócenia elektromagnetyczne, itp.), co nie było łatwe do osiągnięcia w latach 80-tych ubiegłego wieku.

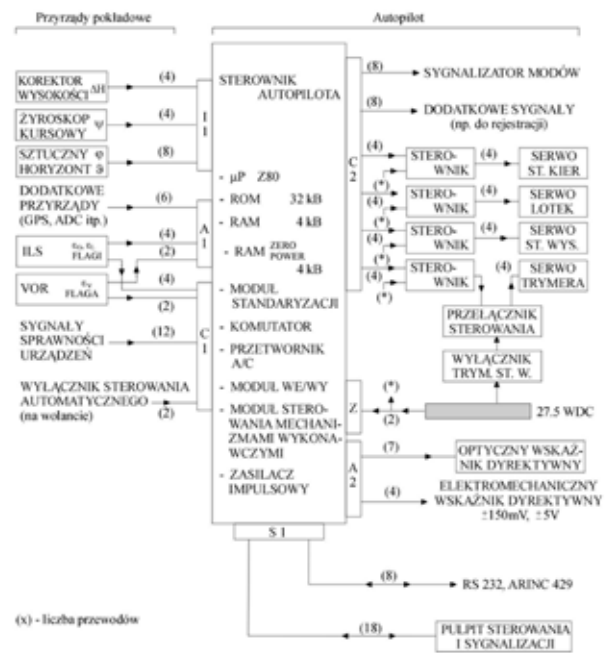
3. Systemy automatycznego sterowania

Doświadczenia z techniką cyfrową pozwoliły zespołowi Zakładu Systemów Sterowania podjąć się kolejnego wyzwania: opracowania i zbudowania autopilota, który miał zastąpić importowanego autopilota Altimatic IIIC stosowanego w samolocie PZL M-20 Mewa. W ciągu kilku miesięcy powstał projekt i pra-prototyp autopilota do badań laboratoryjnych i wstępnych prób w locie. W ówczesnym Ośrodku Szkolenia Personelu Lotniczego na lotnisku Jasionka używane były samoloty PZL M-20 Mewa do szkolenia studentów. Na jednym z nich zabudowany został pra-prototyp autopilota o oznaczeniu APC-1X. Wykonane loty próbne potwierdziły poprawność założeń konstrukcyjnych i można było przystąpić do właściwej fazy projektowania autopilota. Warto zwrócić uwagę, że była to pierwsza w Polsce próba zbudowania automatycznego systemu sterowania samolotem. Powstał ogólny projekt funkcjonalny i sprzętowy autopilota oraz schematy blokowe algorytmów sterowania, nadzoru i testowania modułów autopilota i urządzeń współpracujących. Zaprojektowano centralną jednostkę obliczeniową bazującą na 8-bitowym procesorze Z-80, sprzęgające moduły analogowe do współpracy z wyposażeniem pokładowym samolotu, natomiast pracownicy OBR SK Mielec przystosowali mechanizmy wykonawcze wychylające tryмеры samolotu An-2 do zadania wychylania lotek i steru wysokości samolotu PZL M-20 Mewa.

Merytorycznie istotnym elementem autopilota jest oprogramowanie jednostki sterującej, zapewniające poprawne i bezpieczne sterowanie orientacją przestrzenną samolotu oraz położeniem na zaplanowanej trajektorii. Obliczenia i symulacje komputerowe uwzględniające właściwości dynamiczne samolotu oraz właściwości i ograniczenia urządzeń pomiarowych i modułu sterującego pozwoliły na opracowanie algorytmów kodowanych w języku wewnętrznym procesora (assembler) [3, 4]. Zbudowane zostało również specjalistyczne stanowisko badawcze pozwalające na testowanie oprogramowania oraz modułów sprzętowych wg zasady „Hardware in the loop simulation” w czasie rzeczywistym, wykorzystano model właściwości dynamicznych samolotu PZL M-20 Mewa łącznie z symulacją wielkości momentów zawiasowych sterów, obciążających mechanizmy wykonawcze.

Autopilot jest złożonym i odpowiedzialnym systemem pokładowym, należało więc podjąć współpracę z potencjalnym producentem dysponującym odpowiednim zapleczem technicznym i kadrą wykonawców. Zadania tego podjęła się firma ATM Warszawa, specjalizująca się w projektowaniu i budowie rejestratorów pokładowych, stosowanych m.in. w samolotach PLL Lot. Współpraca z ATM Warszawa była bardzo udana, zbudowanych zostało 5 prototypów autopilota w wersji APC-1P według projektu przygotowanego w Politechnice Rzeszowskiej. Właściwości funkcjonalne autopilota oraz oprogramowanie procesora zostały opracowane całkowicie w Zakładzie Systemów Sterowania PRz.

Strukturę sprzętową autopilota przedstawia rys. 1 [3, 4]. Jako układy pomiarowe wykorzystano analogowe przyrządy pokładowe samolotu PZL M-20 Mewa. Pulpit operatora służy do wyboru odpowiedniej opcji sterowania: stabilizacji kąta pochylenia i przechylenia, stabilizacji

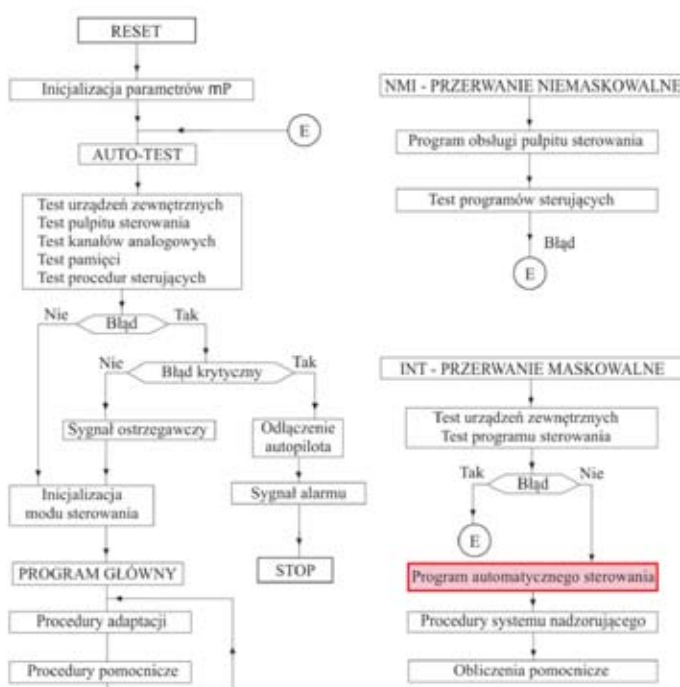


Rys. 1. Schemat blokowy autopilota APC-1P

kursu i/lub wysokości, prowadzenie samolotu po linii drogi wyznaczonej przez system nawigacyjny VOR lub system instrumentalnego podejścia do lądowania ILS. Komputer sterujący poprzez sterowniki uruchamia mechanizmy wykonawcze, aktywuje sygnalizację stanu pracy i przypadki wystąpienia zagrożeń, a także generuje wskazania na przyrządach dyrektywnych (nakazowych). Ponieważ sztuczny horyzont stosowany w samolocie M-20 nie był wyposażony we wskazówki nakazowe (Flight Director), zaproponowano oryginalny dyrektywny wskaźnik optyczny spełniający tę funkcję.

Jak obrazowo ilustruje to rys. 2 algorytmy sterujące zajmują jedynie 10-15% miejsca w pamięci procesora i tyle samo czasu obliczeniowego. Znacznie więcej uwagi poświęca się algorytmom testującym poprawność funkcjonowania poszczególnych modułów systemu sterowania oraz zapewniających rekonfigurację systemu w przypadku wykrycia niesprawności. Na przykład, każdy przypadek nieprawidłowego działania przyrządu pomiarowego jest sygnalizowany i autopilot zmienia mod pracy na aktualnie dostępny. Jeśli utracony zostanie np. sygnał odbiornika VOR (brak zasięgu, pomyłkowa zmiana częstotliwości lub wyłączenie urządzenia) załączona zostanie opcja stabilizacji aktualnego kursu i wyświetlona odpowiednia sygnalizacja aż do czasu zaakceptowania nowej sytuacji przez pilota. A więc bezpieczeństwo przede wszystkim.

Próby w locie pod nadzorem ówczesnego Głównego Inspektoratu Lotnictwa Cywilnego odbywały się na lotnisku w Rzeszowie i Mielcu [5]. Do rejestracji sygnałów przyrządów pokładowych oraz generowanych przez autopilota wykorzystano opracowany wcześniej cyfrowy rejestrator do prób w locie PSR-03E, co znakomicie przyspieszyło analizę danych i ułatwiło planowanie kolejnych eksperymentów.



Rys. 2. Schemat blokowy oprogramowania autopilota APC-1P



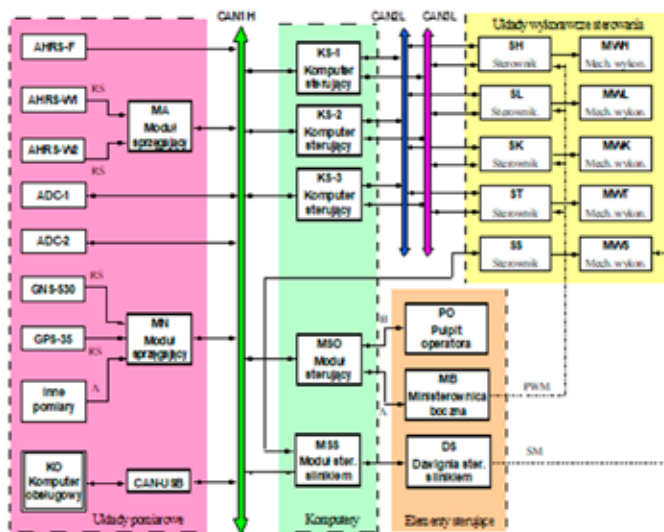
Rys. 3. Moduł główny autopilota APC-1P z pulpitem sterowania, mechanizm wykonawczy oraz dwa sterowniki ze wzmacniaczami mocy. Fot. M. Misiakiewicz, PRz.

Podczas lotów testowych istniała możliwość modyfikacji oprogramowania autopilota (np. możliwa była zmiana wartości współczynników wzmocnienia), a więc realizowania czynnego eksperymentu badawczego. Wykonano pełny zakres badań certyfikacyjnych i inspektorzy GILC dopuścili autopilota APC-1P do produkcji i eksploatacji. Niestety, w 1990 roku załamała się produkcja przemysłowa w kraju, zakłady OBR SK Mielec zrezygnowały z seryjnej produkcji samolotów PZL M-20 Mewa. Nie doszło więc do seryjnej produkcji autopilotów APC-1P; posiadane egzemplarze prezentowane były na międzynarodowych targach lotniczych (np. w Birmingham), gdzie wzbudzały zainteresowanie fachowców, a także jeden autopilot był zabudowany w używanym w OSPL PRz samolocie PZL M-20 Mewa. Był to pierwszy w Europie cyfrowy autopilot przeznaczony dla samolotów lekkich (rok 1990). Przygotowana została również wersja oprogramowania autopilota dostosowana do sterowania samolotem PZL M28 Skytruck. Dopiero kilka lat później pojawiły się na rynku podobne konstrukcje europejskich firm lotniczych. Doświadczenia zebrane w trakcie projektowania, budowy i badań autopilota pozwoliły na opracowanie dwóch monografií dotyczących projektowania pokładowych systemów sterowania samolotem [6, 7].

Kolejnym projektem był autonomiczny system sterowania i nawigacji bezpilotowym aparatem latającym APC-4, realizowany w latach 1995-99. Wykorzystując podstawowe rozwiązania autopilota APC-1P zaprojektowany został kompletny system nawigacji i autonomicznego sterowania samolotem PZL-110 Koliber, który był

reprezentantem bezpilotowych statków powietrznych średniej wielkości. Zbudowany został oryginalny układ pomiaru orientacji przestrzennej i kursu bazujący na światłowodowych żyroskopach laserowych (FOG - Fiber Optic Gyro), miniaturowa centrala aerometryczna, moduł sterowania zespołem napędowym, oryginalne mechanizmy wykonawcze oraz moduł nawigacji wg zadanej trasy lotu oparty o urządzenia nawigacji satelitarnej [8-10]. Powstała również naziemna stacja planowania i kontroli lotu bezzałogowego statku powietrznego. Z uwagi na wymagania przepisów loty próbne odbywały się z udziałem pilota na pokładzie samolotu, ale bez jego ingerencji w proces sterowania, poza fazą startu i lądowania, gdyż przepisy nie dopuszczały załączenia systemów automatycznego sterowania w pobliżu ziemi. Próby potwierdziły poprawność działania systemu sterowania i nawigacji, wykonano szereg lotów autonomicznych, w tym loty pokazowe dla decydentów cywilnych i wojskowych. Niestety, z powodów ekonomicznych nie został zbudowany płatowiec bezpilotowego statku powietrznego o parametrach planowanych przez OBR SK Mielec, zbliżonych do masy i rozmiarów samolotu PZL-110 Koliber. Podsumowaniem prac zespołu była pierwsza w kraju monografia dotycząca bezpilotowych aparatów latających [11].

Doświadczenie pozyskane podczas projektowania, budowy i prób autopilotów APC-1P oraz APC-4 ukształtowały specjalizację Zakładu Systemów Sterowania, który w 2000 roku przekształcony został w Katedrę Awioniki i Sterowania.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu pośredniego sterowania SPS-1A: AHRS – bezkardanowy układ odniesienia i kursu, ADC – centrala areometryczna, GNS – zintegrowany system nawigacyjny, GPS – odbiornik nawigacji satelitarnej, CAN – cyfrowa magistrala danych, PWM – sygnał z modulacją szerokości impulsu, SM – sprzężenie mechaniczne

4. Systemy pośredniego sterowania (FBW – Fly-by-Wire)

Klasykny układ sterowania automatycznego „wyręcza” pilota w ręcznym sterowaniu orientacją przestrzenną, prędkością, wysokością i kursem samolotu, a także prowadzi samolot po zaplanowanej trajektorii wg sygnałów przyrządów nawigacyjnych. Inne układy, jak np. wymienione wcześniej systemy CAS i SAS modyfikują właściwości pilotażowe samolotu wspomagając pilota podczas ręcznego sterowania. Kolejnym etapem rozwoju była integracja tych układów w system pośredniego sterowania (Fly-by-Wire) realizujący zasadę: „Pilot steruje komputerem, komputer steruje samolotem”. A więc zrezygnowano z bezpośredniego połączenia (mechanicznego, elektrycznego lub hydraulicznego) organów sterowania i aerodynamicznych płaszczyzn sterowych. Można w ten sposób zyskać pożądane właściwości pilotażowe samolotu, realne staje się ręczne pilotowanie samolotu niestatecznego, ale również można wprowadzić mechanizmy wykluczające możliwość przekroczenia ograniczeń eksploatacyjnych (np. krytycznego kąta natarcia), a więc rozwiązania podwyższające poziom bezpieczeństwa lotu. Początkowo takie rozwiązania stosowane były w lotnictwie wojskowym (F-16, 1974), następnie w samolotach pasażerskich (A-320, 1987). Rozwój technologii spowodował, że na początku XXI wieku początkowo bardzo drogie moduły awioniczne mogły być budowane z dostępnych handlowych elementów (układów) elektronicznych. W Katedrze Awioniki i Sterowania już wcześniej podjęto prace nad zaprojektowaniem systemu pośredniego sterowania dla samolotów ogólnego przeznaczenia, czyli samolotów lekkich [12].

W latach 2001-2003 zbudowano prototyp systemu pośredniego sterowania SPS-1, wykonano badania laboratoryjne i próby w locie, a następnie w latach 2004-2006 przeprowadzono kompleksowe badania właściwości sys-

temu pośredniego sterowania SPS-1A, będącego wersją rozwojową wcześniejszego rozwiązania. Badany system był pierwszym w Europie systemem pośredniego sterowania przeznaczonym dla samolotów lotnictwa ogólnego [13-15]. Obecnie producenci samolotów lekkich realizują programy badawcze mające na celu wdrożenie tego rodzaju rozwiązań układów sterowania w niedalekiej przyszłości. Niestety, krajowi producenci lekkich samolotów nie wykazali zainteresowania zastosowaniem nowatorskiego systemu sterowania. Wynika to z wielu powodów, a jednym z nich są wysokie koszty certyfikacji samolotu z systemem pośredniego sterowania. Kierunki rozwoju techniki lotniczej jednak wskazują, że zastosowanie systemów pośredniego sterowania w samolotach ogólnego przeznaczenia jest naturalnym etapem rozwoju tej klasy samolotów.

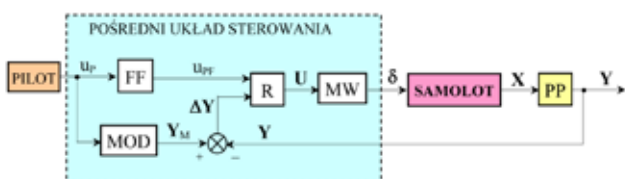
Jak wynika z powyższych uwag, zastosowanie systemu pośredniego sterowania jest aktualnie dominującym sposobem sterowania statkami powietrznymi. Istnieją różne sposoby syntezy właściwości systemu sterowania oraz jego realizacji technicznej. Schemat na rys. 4 ilustruje strukturę sprzętową systemu pośredniego sterowania SPS-1A, gdzie wyróżnić można zespół układów pomiarowych, trzy komputery sterujące, sterownice pilota (ministerownica boczna, dźwignia sterowania silnikiem, pulpit operatora) oraz sterowniki i mechanizmy wykonawcze wychylające aerodynamiczne płaszczyzny sterowe oraz sterujące zespołem napędowym. Dla zapewnienia akceptowalnego poziomu niezawodności działania systemu (prawdopodobieństwo krytycznego uszkodzenia nie może być większe niż 10^{-9} w czasie 1 godziny lotu) zastosowano redundancję sprzętową, czyli zwielokrotnienie układów pomiarowych, obliczeniowych i wykonawczych (rys. 4). Specyficznym problemem występującym w przypadku stosowania systemów pośredniego sterowania są oscylacje indukowane przez pilota (PIO – Pilot Induced Oscillations), będące efektem nieprawidłowej interakcji pomiędzy pilotem a dynamiką samolotu (APC – Aircraft-Pilot Coupling). Opracowane zostały metody wykrywania i minimalizacji prawdopodobieństwa powstania takich oscylacji [16] oraz prowadzono badania dotyczące współpracy człowieka (pilota) z lotniczymi systemami sterowania [17]. Uzyskanie wymaganej niezawodności działania systemu sterowania wymagało analizy przypadków wadliwego działania przyrządów pomiarowych i opracowanie awaryjnych (zastępczych) procedur sterowania [18].

System sterowania SPS-1 a następnie SPS-1A został zabudowany w samolocie PZL-110 Koliber, a w kabinie pilota umieszczono pulpit sterowania służący do wyboru modu sterowania oraz ministerownicę boczną (rys. 5). Właściwości systemu sterowania a poprzez nie właściwości dynamiczne sterowanego samolotu kształtowane są za pomocą algorytmów obliczeniowych realizowanych w czasie rzeczywistym przez procesor systemu sterowania pośredniego. Zasadniczym zadaniem systemu pośredniego sterowania jest kształtowanie pożądanych właściwości pilotażowych samolotu z punktu widzenia pilota. Jednym ze sposobów takiego kształtowania jest zastosowanie tzw. metody sterowania według modelu, prefe-



Rys. 5. Samolot PZL-110 Koliber oraz elementy systemu SPS-1A zabudowane w kabynie pilota (fot. A. Tomczyk, PRz)

rowanej w rozwiązaniach Katedry Awioniki i Sterowania, której ideę w bardzo uproszczony sposób przedstawia rys. 6 [19, 20]. Pilot wychylając organy sterowania (sygnał u_p) steruje jednocześnie rzeczywistym samolotem oraz modelem „idealnego” samolotu, o pożądanych charakterystykach pilotażowych. Różnica reakcji rzeczywistego samolotu (wektor stanu Y) oraz modelu (Y_M) wykorzystana jest do wygenerowania dodatkowych sygnałów sterujących wg algorytmów minimalizujących wspomnianą różnicę. W ten sposób z punktu widzenia pilota, rzeczywisty samolot wykazuje właściwości pilotażowe prawie identyczne jak „idealny” model. Pulpit operatora pozwala na wybór funkcji systemu jako układu wspomagającego sterowanie ręczne podczas różnych faz lotu, jak również podczas kołowania, startu oraz lądowania, lub jako układu automatycznego sterowania realizującego zadany stan lotu, np. lot po zadanej trasie. Zasadą jest, że jeśli pilot nie wychyla ministerownicy, samolot sterowany jest automatycznie, a każda interwencja pilota wprowadza odpowiednią korektę tego stanu, z zachowaniem zasad bezpiecznej eksploatacji samolotu. Można zatem uznać, że pośredni system sterowania jest rodzajem „inteligentnego” autopilota, współpracującego z pilotem, można nazwać go również „asystentem” pilota. Doświadczenia zgromadzone podczas badań systemu pośredniego sterowania przeznaczonego dla samolotów ogólnego przeznaczenia zawarto w monografii [21].



Rys. 6. Schemat sterowania według modelu kształtujący właściwości pilotażowe samolotu: MOD - model „idealnego” samolotu, FF - moduł bezpośredniego sterowania, R - komputer sterujący, MW - mechanizmy wykonawcze, PP - przyrządy pomiarowe

5. Sterowanie bezałogowymi statkami powietrznymi

Rozwój możliwości precyzyjnego automatycznego sterowania samolotem od startu do lądowania (dzisiaj powszechnie stosowane są autopiloty dopuszczone do automatycznego lądowania, jeśli spełnione są odpowiednie warunki dotyczące wyposażenia samolotu i lotniska) spowodował, że możliwe jest pełne zautomatyzowanie całego lotu. Powszechna jest wiedza o wojskowych bezpilotowych statkach powietrznych (dronach) wykonujących loty obserwacyjne oraz złożone misje bojowe. Z technicznego punktu widzenia można takie same rozwiązania zastosować w cywilnych samolotach pasażerskich. Pozostają do rozwiązania problemy prawne i organizacyjne związane z użytkowaniem przestrzeni powietrznej oraz psychologiczne uprzedzenia użytkowników, czyli pasażerów.

Pośrednią wersją na drodze do zbudowania całkowicie autonomicznego samolotu pasażerskiego jest samolot opcjonalnie sterowany przez pilota lub autonomiczny układ sterowania. Zrealizowany został projekt LOT (Lotniczy Obserwator Terenu), efektem którego było wyposażenie ultralekkiego samolotu MP-02 Czajka w autonomiczny system sterowania i nawigacji oraz zbudowanie wielofunkcyjnej naziemnej mobilnej stacji planowania i kierowania lotem bezpilotowych statków powietrznych, wyposażoną w specjalizowane systemy teletransmisji danych pomiarowych oraz obserwacyjnych [22, 23]. Samolot może być pilotowany ręcznie lub może realizować zaplanowaną misję bez udziału pilota, reagując na polecenia przesyłane ze stacji naziemnej. Można symbolicznie powiedzieć, że ultralekki samolot MP-02 ULM zmodyfikowany został do wersji samolotu opcjonalnie sterowanego MP-02A UAV. Rys. 8 przedstawia schemat blokowy wyposażenia pokładowego opracowanego w KAis i zintegrowanego ze strukturą samolotu. Głównym blokiem jest moduł nawigacji i sterowania (MNS), składający się z grupy układów pomiarowych, pulpitu operatora oraz komputerów sterujących, które aktywują mechanizmy wykonawcze steru wysoko-



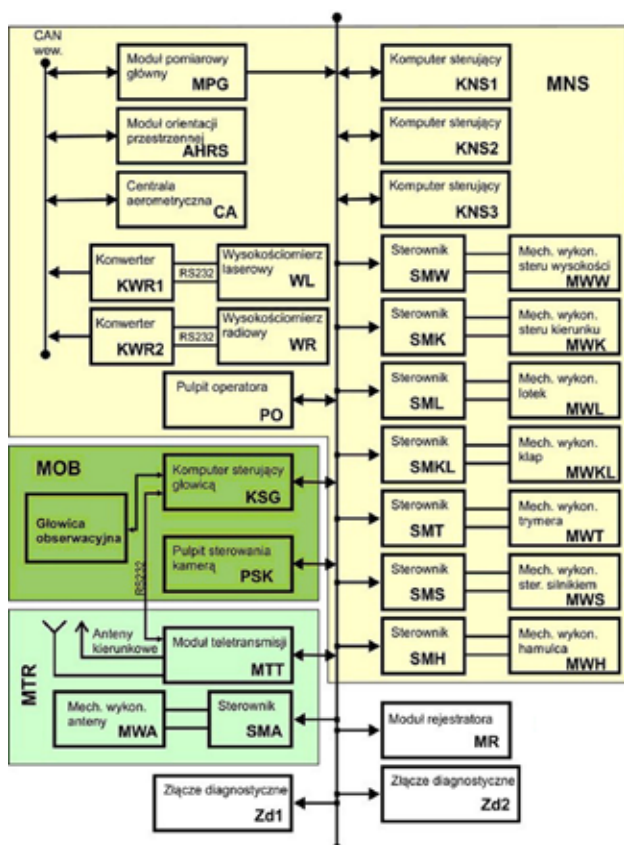
Rys. 7. Samolot MP-02 Czapka jako demonstrator opcjonalnie pilotowanego samolotu oraz mobilna stacja planowania i kierowania lotem w projekcie LOT. Fot. D. Kordos, PRz

ści, lotek, steru kierunku, klap, trymera, układu sterowania silnikiem oraz hamulców kół. Ponadto wyróżniony jest moduł obserwacyjny (MOB) oraz moduł transmisji danych i zdalnego sterowania (MTR). Wymiana informacji pomiędzy modułami odbywa się poprzez magistralę transmisji danych CAN z protokołem CANaerospace. Moduł rejestratora (MR) umożliwi zapis wszystkich sygnałów przesyłanych magistralą CAN, jak również ich obserwację w czasie rzeczywistym podczas lotu. Złącza diagnostyczne służą do przyłączenia zewnętrznego modułu (komputera), który pozwala na bieżącą obserwację wybranych sygnałów w formie tablic danych, wykresów lub wskazań imitatorów przyrządów pokładowych. Ponadto możliwa jest

modyfikacja oprogramowania komputerów sterujących, a więc kształtowanie właściwości systemu sterowania podczas lotu testowego.

Właściwości pilotażowe samolotu oraz sposób i jakość automatycznego sterowania oraz nawigowania definiowane są algorytmami zastosowanymi w komputerach sterujących. Otwarta struktura systemu sterowania pozwala na wprowadzanie modyfikacji sprzętowych i programowych, czyniąc z samolotu MP-1A Czapka latające laboratorium badawcze. Samolot ten wykorzystany był do realizacji badań w locie na potrzeby kolejnych projektów badawczych.

W wielu państwach prowadzone są zaawansowane prace nad systemami zapewniającymi bezpieczeństwo eksploatacji bezpilotowych statków powietrznych. Również w Katedrze Awioniki i Sterowania realizowane były i aktualnie są wykonywane projekty w tym obszarze. W projekcie MYSTERY opracowano metodykę projektowania układów sterowania odpornych na uszkodzenia oraz algorytmy adaptacyjnej rekonfiguracji systemu sterowania [24]. Badania laboratoryjne, a w szczególności badania w locie wymagają zastosowania zaawansowanych technik analizy danych, czego przykładem jest opisana w monografii [25] metoda analizy falkowej. Katedra współpracuje z przedsiębiorstwem Eurotech z Mielca w zakresie projektowania i budowy systemów sterowania bezałogowych samolotów używanych jako cele latające; powstały kolejne wersje miniaturowych autopilotów oraz opracowano projekt optycznego systemu antykolizyjnego [26]. Rozwiązania zastosowane w systemie sterowania samolotem MP-2A Czapka opracowane w ramach projektu LOT wykorzystane zostały w międzynarodowym projekcie ERA poświęconym metodom realizacji autonomicznych lotów bezałogowych statków powietrznych oraz automatycznego lądowania na lądowiskach nie wyposażonych w odpowiednią strukturę pomocy naziemnych [27]. Natomiast w projekcie COAST (Cost Optimized Avionics SysTem) programu Clean Sky 2 zespół Katedry poszukuje metod bezpiecznego sprowadzenia do lądowania samolotu z jednoosobową załogą, gdy pilot nie jest w stanie pilotować samolotu [28, 29]. Jak wynika z powyższego niepełnego przeglądu prac, tematyka automatycznego



Rys. 8. Schemat blokowy wyposażenia pokładowego samolotu MP-02A Czapka

sterowania statków powietrznych jest głównym obszarem zainteresowań zespołu Katedry Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej.

6. Podsumowanie

Zespół badawczy Katedry Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej rozwijał swoją działalność od pierwszych pokładowych urządzeń cyfrowych (rejestrator, 1987), poprzez cyfrowy autopilot dla samolotów lekkich (1989), autonomiczny system sterowania bezpilotowym statkiem powietrznym (1996), system pośredniego sterowania samolotem ogólnego przeznaczenia (2003-6) do złożonych systemów sterowania i nawigacji z automatycznym startem i lądowaniem włącznie (2010-2020). Zbudowano szereg specjalistycznych stanowisk badawczych wykorzystywanych również w procesie dydaktycznym, w tym większość to stanowiska symulacyjne w czasie rzeczywistym typu „Hardware in the loop simulation”, pozwalające na testowanie rzeczywistych bloków elektronicznych oraz ich oprogramowania. Równolegle powstawały nowoczesne urządzenia pokładowe jak układ odniesienia i kursu (AHRS – Attitude and Heading Reference System, 1995) oparty o światłowodowe żyroskopy optyczne, miniaturowa centrala aerometryczna (1997, 2003) oraz wiele specjalizowanych modułów cyfrowych. Teoretyczna i praktyczna wiedza członków zespołu Katedry Awioniki i Sterowania PRz prezentowana była w wielu publikacjach naukowych oraz jest przekazywana studentom specjalności lotniczych Politechniki Rzeszowskiej.

Nadrzędnym celem projektantów lotniczych systemów pokładowych jest bezpieczeństwo. Na szczęście lotnictwo jest bardzo konserwatywne, co wynika z wieloletnich doświadczeń eksploatacji sprzętu lotniczego. Zastosowanie nowych rozwiązań, materiałów konstrukcyjnych czy procedur operacyjnych poprzedzone jest żmudnym i drobiazgowym procesem badań, eksperymentów i próbnej eksploatacji. Gwarantuje to uzyskanie akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa. Dlatego zazwyczaj pełny cykl opracowania nowej konstrukcji lotniczej trwa 10-15 lat. Nie należy więc spodziewać się wprowadzania gwałtownych zmian, ale futurości przewidują, że za 5-10 lat pojawią się całkowicie autonomiczne bezpilotowe samoloty transportujące towary, a za kolejne 10-20 lat lotnictwo pasażerskie zdominowane zostanie przez samoloty bez pilotów. Już teraz część pociągów paryskiego metra porusza się bez obsługi, po drogach jeżdżą samochody Tesli nie wymagające udziału kierowcy w prowadzeniu pojazdu. A więc jeśli pokonamy psychologiczne opory, to wsiadając do samolotu pasażerskiego co najwyżej zapytamy stewardesę: „Przepraszam, czy z nami leci autopilot?”

Bibliografia

- [1] Tomczyk A.: *Kryteria oceny jakości działania urządzeń automatycznych, wspomagających ręczne sterowanie samolotu*. VIII Krajowa Konferencja Automatyki, Szczecin, 1980, tom II, 148-151
- [2] Grzybowski J., Tomczyk A.: *Pokładowy cyfrowy system rejestracji do prób w locie*. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 117, Warszawa, 1989, 70-80
- [3] Bociek S., Dołęga B., Grzybowski J., Tomczyk A.: *Cyfrowy autopilot do samolotów lekkich*. Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 117, Warszawa, 1989, 58-69
- [4] Bociek S., Dołęga B., Tomczyk A.: *Synthesis of the Microprocessor Digital Autopilot*. Systems Science, vol.18, No 4, Wrocław, 1992, 99-115
- [5] Tomczyk A., Dziedzic T.: *Some Results of the APC-1P Digital Autopilot Flight Tests*. Mechanika Teoretyczna i Stosowana, Nr 3(31)/93, Warszawa, 1993, 601-619
- [6] Bociek S., Gruszecki J.: *Układy sterowania automatycznego samolotem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1999
- [7] Tomczyk A.: *Pokładowe cyfrowe systemy sterowania samolotem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1999
- [8] Tomczyk A.: Gruszecki J.: *Preliminary Project of The Autonomus Landing System for Unmanned Aircraft*, AIAA-SAE Paper 99-01-5524
- [9] Pieniążek J., Rogalski T., Tomczyk A.: *Zastosowanie systemu GPS do automatycznej nawigacji bezpilotowego obiektu latającego*. II Krajowa Konferencja Zastosowania Satelitarnych Systemów Lokalizacyjnych GPS, GLONASS. Poznań, 1997, 32.1-32.16
- [10] Tomczyk A.: *In-flight tests of navigation and control system of unmanned aerial vehicle*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal. Vol. 75, No 6, pp. 581-587, 2003
- [11] Gruszecki J. (red.) i inni: *Bezpilotowe aparaty latające. Systemy sterowania i nawigacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2002
- [12] Tomczyk A.: *Concept for Simplified Control of General Aviation Aircraft*, SAE/AIAA Paper No 985551, SAE 1988 Transactions, Journal of Aerospace, 1999, ISSN 0096-736X
- [13] Tomczyk A.: *A proposal of handling qualities shaping for general aviation aircraft*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, An International Journal. Vol. 74, No 6, pp. 534-549, 2002
- [14] Tomczyk A.: *Wstępne badania w locie systemu pośredniego sterowania samolotem*. VI Konferencja „Metody i Technika Badań Statków Powietrznych w Locie”, Mrągowo, 15-18.06.2004, str. 431-436
- [15] Tomczyk A.: *Facilitated Airplane – project and preliminary in-flight experiments*. Aerospace Science and Technology, Elsevier, Vol. 8, No 6, 469-477, 2004
- [16] Rzucidło P.: *Oscylacje indukowane przez pilota w układzie pośredniego sterowania samolotem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007
- [17] Pieniążek J.: *Kształtowanie współpracy człowieka z lotniczymi systemami sterowania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2014
- [18] Kopecki G.: *Sterowanie samolotem w sytuacji niepełnej informacji pomiarowej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2010

- [19] Tomczyk A.: *Model-Following Method as a Useful Tool for Flight Indirect Control System Design*. International Symposium on Generalized Solutions in Control Problems, Ulan-Ude, Russia, 5-8.07.2006, 124-126
- [20] Tomczyk A.: *Shaping Indirect Flight Control System Properties for General Aviation Aircraft*. Journal of Aerospace Engineering, vol. 24, No 1, 2011, 59-71
- [21] Tomczyk A., Rzucidło P.: *Systemy pośredniego sterowania dla samolotów ogólnego przeznaczenia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2011
- [22] Gruszecki J., Tomczyk A., Dołęga B., Rogalski T., Rzucidło P.: *The possibilities of chosen applications of control and navigation systems in general aviation aircraft and unmanned air vehicles*. Scientific Journal Aviation, vol. 11, No 2, 2007, 23-30
- [23] Kopecki G., Pieniążek J., Rogalski T., Rzucidło P., Tomczyk A.: *Proposal for navigation and control system for small UAV*. Scientific Journal Aviation, vol. 14, No 3, 2010, 77-82
- [24] Kopecki G.: *Projektowanie lotniczych systemów sterowania uwzględniających sytuacje zwiększonego ryzyka*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2018
- [25] Rzucidło P.: *Zastosowanie metod analizy falkowej do detekcji wybranych zdarzeń w zapisach parametrów lotu lekkich statków powietrznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2018
- [26] Rzucidło, P.; Jaromi, G.; Kapuściński, T.; Kordos, D.; Rogalski, T.; Szczerba P.: *In-Flight Tests of Intruder Detection Vision System*. Sensors 2021, 21, 7360. <https://doi.org/10.3390/s21217360>
- [27] Oszust M., Kapuscinski T., Warchol D., Wysocki M., Rogalski T., Pieniążek J., Kopecki G. H., Ciecinski P., Rzucidło P., *A vision-based method for supporting autonomous aircraft landing*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 90 Issue: 6, 2018, pp.973-982. <https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2017-0250>
- [28] Grzybowski P., Szpakowska-Peas E.: *Flight reconfiguration system - an emergency system of the future*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, ISSN: 0002-2667, DOI:10.1108/aeat-03-2020-0052 Corpus ID: 219068378
- [29] Di Vito V., Grzybowski P., Rogalski T., Masłowski P.: *A concept for an Integrated Mission Management System for Small Air Transport vehicles in the COAST project*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1024 (2021) 012087, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/1024/1/012087

OBLOTY



Szybowiec szkolny Wrona w locie – replika zbudowana przez Jerzego Gruchalskiego ze Ślesina. Oblatany w w dniu 29 lipca 2022 r. w Kazimierzu Biskupim. Fot. Michał Ombach

FES – nowoczesny pomocniczy napęd elektryczny dla szybowców

TOMASZ MURAWSKI



Streszczenie

W artykule opisano innowacyjną metodę startu szybowca. Przedstawiona metoda wykorzystuje silnik elektryczny, umieszczony w dziobie szybowca oraz składane śmigło, które podczas lotu szybowego przylega do kadłuba. Zawarto opis konstrukcji przykładowego rozwiązania, w tym podzespołów wchodzących w skład systemu napędowego.

Słowa kluczowe: FES, napęd elektryczny, akumulatory, śmigła, elektronika szybowcowa

1. Wstęp

Szybowce z silnikami pomocniczymi, mogące też samodzielnie startować jak samoloty, na stałe wpisały się już w konstrukcje szybowcowe, z uwagi na wciąż malejący koszt układu akumulator-silnik-śmigło, jak też na dopracowane konstrukcje tychże napędów. Powstała nowa klasa statków powietrznych, jako: „szybowiec z pomocniczym napędem”.

Koncepcje połączenia szybowców i silników pojawiły się już przed wojną. Wyłowiły się potem nowe klasy statków powietrznych, jako motoszybowce, tudzież tak zwane samoloty słabosilnikowe. W Polsce najpopularniejszym i najbardziej udanym był słynny motoszybowiec Bąk Antoniego Kocjana z 1937 r. Był to zasadniczo wyczynowy szybowiec, z dodanym stałym podwoziem i silnikiem spalinowym z przodu kadłuba. Moc silnika Sarolea Albatros wynosiła około 32 KM, co pozwalało na samodzielny start,

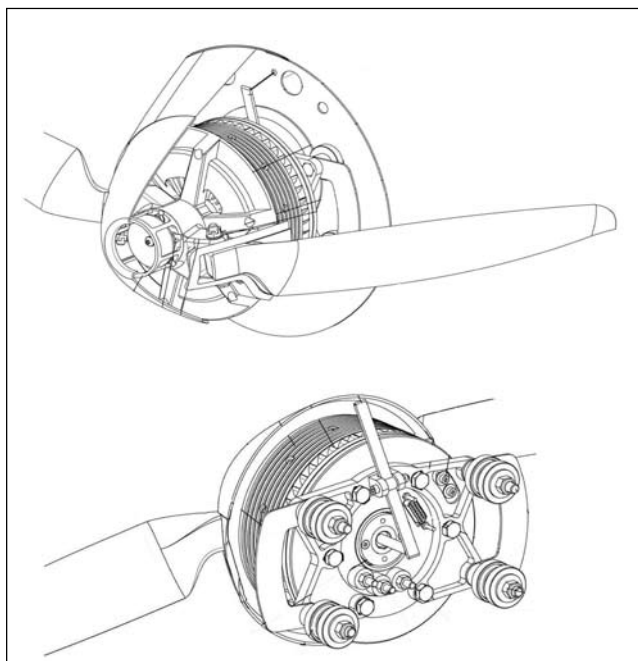
także z terenu przygodnego i wznoszenie rzędu 2,5 m/s. Bąk był rejestrowany jako motoszybowiec, jak też samolot słabosilnikowy.

2. Energia słoneczna

W latach 80-tych zainteresowano się energią słoneczną, panelami słonecznymi, które zasilają silniki elektryczne ze śmigłami, mogące służyć jako napęd samolotów. Powstały konstrukcje ultralekkie, np. motoszybowiec *Solar Challenger* Paula MacCready`ego, który w dniu 07.07.1981 r. wykonał samodzielny lot (start) z Francji do Anglii. Wkrótce modelarze na całym świecie zaczęli montować małe silniki elektryczne w swoich modelach latających, a także zaczęły być rozgrywane zawody modeli w tej klasie. Silniki były montowane z przodu kadłuba, jak też na specjalnych wieżyczkach na kadłubie. Po modelarzach, także i duże wytwórnie lotnicze zaczęły się tym tematem interesować. Wciąż jednak przeszkodą był duży koszt silników, akumulatorów je zasilających, jak też waga całego układu, a także mały czas użycia napędu z uwagi na szybko rozładowujące się akumulatory – duży pobór prądu podczas startu.

3. Napęd elektryczny

Elektryczny napęd rozwiązuje większość problemów związanych z użyciem i obsługą silnika spalinowego. Główne zalety napędu elektrycznego to:



Rys. 1. Silnik firmy LZ Design ze Słowenii widziany od przodu i od tyłu. Widoczne cztery śruby z amortyzatorami służącymi do mocowania silnika do kadłuba, składane do tyłu śmigielka.
Rys. LZ Design

- prosta budowa (brak amortyzatorów, chłodnicy, rozrusznika elektrycznego, układu wydechowego, zbiornika paliwa, pompy paliwa i inne w przypadku silników spalinowych),
- brak hałasu,
- brak wibracji,
- niskie koszty utrzymania,
- prostota obsługi,

- pewność, że silnik uruchomi się za każdym razem (choć w praktyce nie zawsze tak jest),
- ekologia.

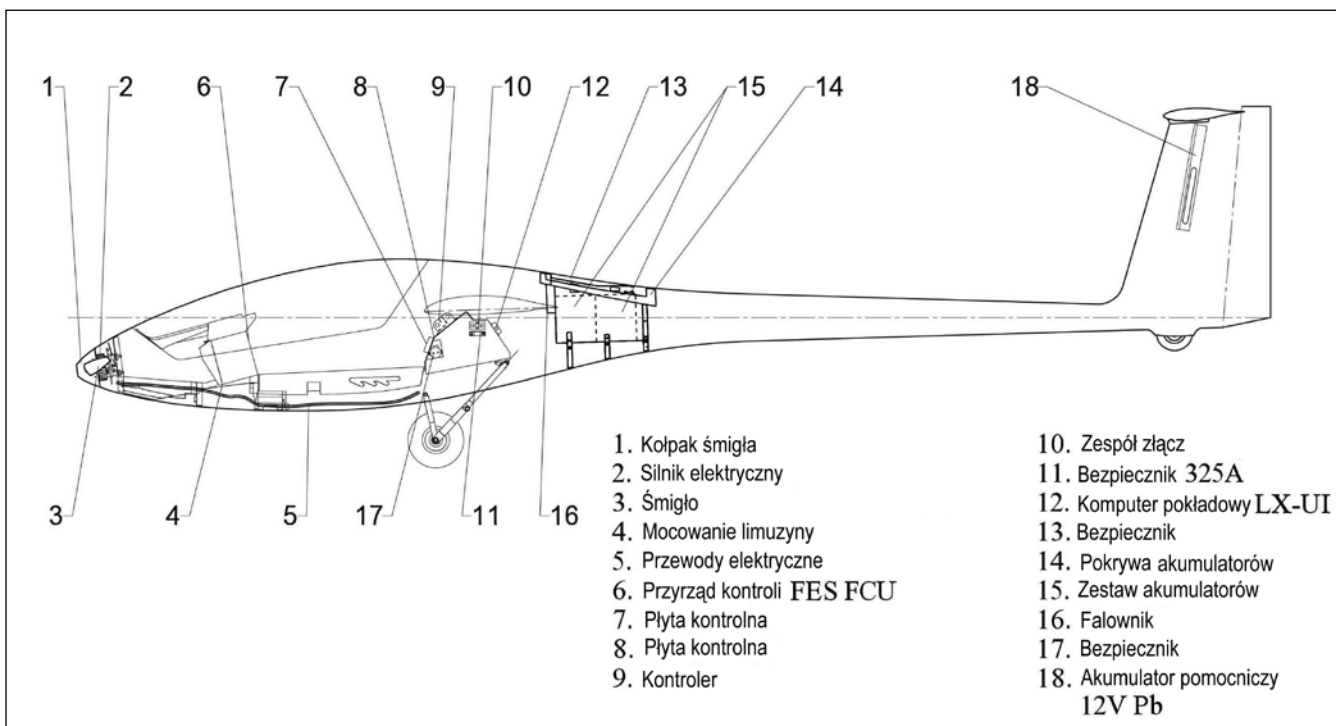
Oczywiście żadne rozwiązanie nie jest idealne, a elektryczny układ napędowy też ma też swoje wady:

- mały czas użycia napędu (niska wydajność akumulatorów, duży pobór prądu – mocy - w czasie startu),
- duże grzanie się silnika i akumulatorów (możliwość pożaru),
- niedostateczne chłodzenie (akumulatory i silnik ukryte są w środku konstrukcji),
- mniejszy zasięg lotu z włączonym silnikiem,
- wciąż duży koszt napędu (powyżej 10 000 euro dla np. zestawu z LZ Design).

Pierwszym szybowcem seryjnym, w którym zastosowano pomocniczy silnik elektryczny służący do startu, był niemiecki szybowiec Antares w 1999 r., pod jeszcze wtedy starą nazwą LF-20 E. Silnik elektryczny był umieszczony na specjalnej wieżyczce, która wysuwała się i chowała w środkowej części kadłuba. Wkrótce pojawiły się nowe konstrukcje: szybowce z zamontowanymi z przodu silnikami elektrycznymi, napędzające z przodu małe, składane śmigielka, z ang. *Front Electric Sustainer (FES)*. Taki układ napędowy nie generuje podczas startu dużego oporu, jak w przypadku silnika umieszczonego na wieżyczce – doskonałość wtedy wynosi około połowę normalnej doskonałości w locie - choć po wyłączeniu silnika śmigielka powodują stratę doskonałości w locie rzędu 2-5.

4. Silnik

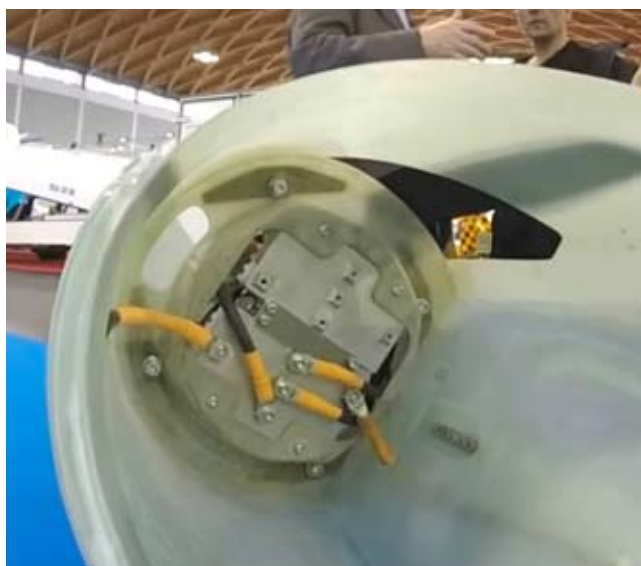
Jako napęd wykorzystuje się obecnie sprawdzony certyfikowany zestaw firmy LZ Design ze Słowenii. Stosowany on jest m.in. w szybowcach: LAK17, MiniLAK, Silent



Rys. 2. Główne części napędu FES - szybowiec Lak-17B mini. Rys. LZ Design



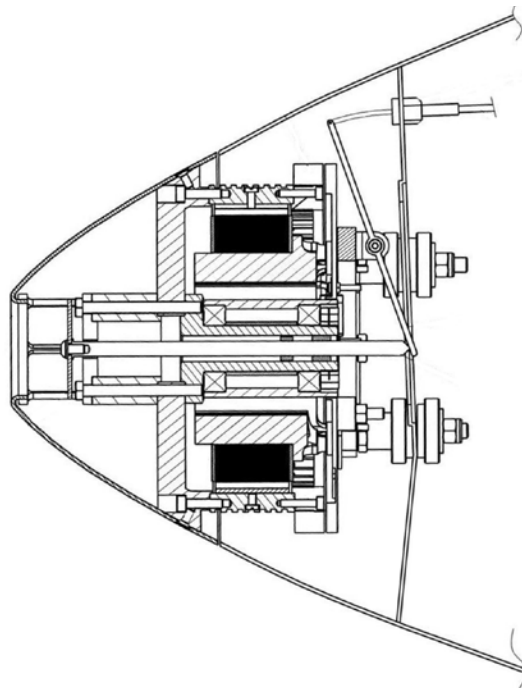
Rys. 3. Autorski silnik firmy Allstar PZL Gliders dla szybowca SZD-55. Fot. Allstar PZL Gliders



Rys. 4. Widoczne mocowanie silnika do przedniej małej wrgi w kadłubie szybowca SZD-55 widziane od tyłu. Fot. Allstar PZL Gliders



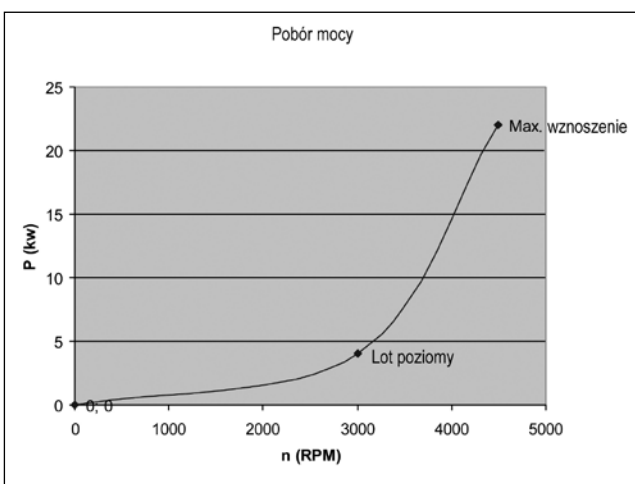
Rys.5. Silnik firmy Allstar PZL Gliders podczas prób na hamowni. Fot. Allstar PZL Gliders



Rys. 6. Przekrój przez silnik, widoczne elementy mocowania. Rys. LZ Design

2 Electro, HPH 304ES, AS 13,5 m, Discus-2c FES, Ventus-2cxa, Ventus 3F, a także w polskiej konstrukcji SZD-56-2 Diana 2 FES (w tym roku planowany jest Certyfikat Typu EASA). Waga całego napędu FES łącznie z akumulatorami, wynosi obecnie około 60 kg - dla jednomiejscowego szybowca wyczynowego. Oczywiście mamy do wyboru dużo innych silników, o różnej mocy, w zależności od potrzeb.

System LZ Design wykorzystuje bezszczotkowy silnik elektryczny prądu stałego, o mocy od 20 kW (moc minimalna) do 40 kW (moc maksymalna, chwilowa), który jest zamocowany na stałe w dziobie szybowca. Waga silnika 7,5 kg. Lżejsze szybowce są zdolne do samodzielnego startu z FES. Cięższe szybowce mogą używać go, jako systemu podtrzymującego, tj. wznosić się i lecieć wystarczająco wysoko i daleko, aby uniknąć np. przygodnego lądowania. Duża moc do lotu poziomego nie jest potrzebna,



Rys. 7. Pobór mocy - prądu - w zależności od liczby obrotów silnika

TYP SZYBOWCA	Waga całkowita w locie [kg]	Opór całkowity [N]	Prędkość [m/s]	Prędkość wznoszenia [m/s]	Potrzebna moc [kW]
AL-12	235	99.36	16.67	2	6.26
Silent Club	290	119.89	23.61	2	8.51
Silent 2 TARGA	350	112.01	22.78	2	9.41
PW-5 Smyk	350	124.75	20.28	2	9.39
SZD-51-1-JUNIOR	430	145.39	22.22	2	11.66
Swift S-1	440	188.45	29.72	1	9.91
304C WASP	500	166.50	32.22	1	10.27
LAK-17A	503	147.28	26.39	1	8.82
Diana 2	550	150.95	25.83	1	9.29
ASW 27B	550	151.35	27.78	1	9.59
DG-808C	575	177.77	32.22	1	11.36
ASW 28-18	575	164.28	27.78	1	10.20

Rys. 8. Przykładowe typy szybowców i zapotrzebowanie na moc silnika, przybliżone osiągi

wystarczy dla lekkiego szybowca 2,5 kW. Przy instalacji 4 kWh w akumulatorach, możemy liczyć na lot w czasie 1,5 godziny. Silnik daje przeważnie wznoszenie rzędu 2,5 m/s, czyli niedużo w porównaniu z tradycyjnym startem na holu za samolotem, no ale nie potrzebujemy już holownika.

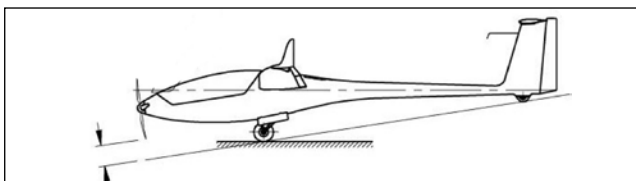
5. Śmigła

Śmigła są przeważnie o średnicy jednego metra, na co pozwala maksymalna wysokość kadłuba – dziobu szybowca – od powierzchni terenu. Są wykonane przeważnie z kompozytu węglowego. Śmigła składają się na nosie wzdłuż kadłuba, a otwierają za pomocą siły odśrodkowej, gdy tylko rozpoczyna się obrót. Śmigła są lekko wygięte, aby przybrać kształt przedniej powierzchni kadłuba każdego typu szybowca, do którego są przymocowane.



Rys. 9. Łopaty składanych śmigieł dla FES. Fot. LZ Design

Największym problemem jest w przypadku samodzielnego startu szybowca, jest mały przeswit między śmigłem a ziemią. Z tego powodu niektóre konstrukcje są projektowane z FES, który może być użyty tylko w locie – np. polski nowy szybowiec PW-X10. Zaletą jest większy ciąg silnika w locie. Inną przeszkodą jest wysoka prędkość obrotowa silnika elektrycznego, ale jest możliwość jej regulacji.



Rys. 10. Przeswit śmigła między szybowcem, a powierzchnią ziemi (konstrukcją) regulują odpowiednie przepisy budowy. Średnica śmigła definiuje też ciąg silnika.



Rys. 11. Złożone i rozłożone śmigła o średnicy 1,2 m w dziobie szybowca PW-X10. Fot. ZS Jeżów

6. Akumulatory (baterie)

Do zasilania silnika elektrycznego prądem służą akumulatory (baterie). Obecnie najpopularniejsze są wysoko wydajne akumulatory litowo-jonowe. Akumulatory przeważnie umieszcza się w środku kadłuba, tym samym jednocześnie leżą blisko środka ciężkości całego szybowca, co ułatwia jego prawidłowe wyważanie. Akumulatory łączy się zestawy. Np. akumulatory firmy Kokam mają wymiary 154 x 220 x 260 mm, wagę 15,7 kg. Akumulatory zawierają 28 ogniw litowo-polimerowych. Ogniwa są połączone szeregowo i pracują w zakresie napięć 90-116V (średnio



Rys. 12. Akumulatory - baterie firmy Kokam GEN2 14S z Południowej Korei. Fot. LZ Design

dają w sumie 112V). Dwa pakiety zawierają łącznie 4,2 kWh energii. Akumulatory można wyjąć szybko z szybowca, transportuje się je wtedy w specjalnych walizkach, w których można je też ładować.

7. Sterowanie

Do monitorowania stanu ładowania akumulatorów, jak też do sterowania mocą silnika elektrycznego, służy obecnie zaawansowana elektronika. W skład typowego układu wchodzi:

- włącznik prądu (MAIN SWITCH),
- kontroler FCU, z ciekłokrystalicznym wyświetlaczem LCD, umieszczony jak włącznik prądu na tablicy przyrządów, wraz z pokrętką sterowania mocą i innymi funkcjami,
- system przeciwpożarowy – monitorowanie ciepła za pomocą specjalnego przyrządu (z funkcją głosu, alarm i automatyczne wyłączenie silnika następuje przy przekroczeniu temperatury 88°C).

Cały czas trwa rozwój tego systemu, w tym najważniejsze, powstają coraz lepsze akumulatory, pozwalające na lepsze i bezpieczniejsze magazynowanie energii.



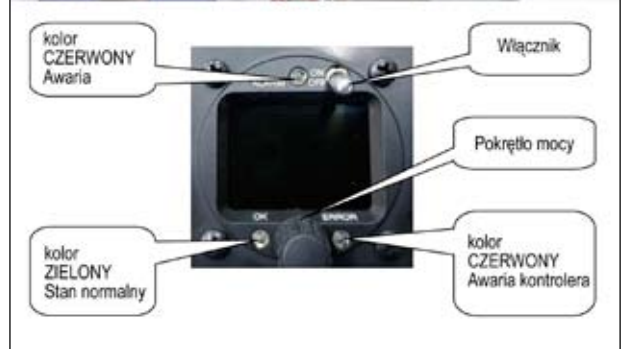
Rys. 15. Nowoczesny komputer pokładowy - w formie tabletu - monitorujący napęd FES. Fot LZ Design



Rys. 16. Akumulator w specjalnym opakowaniu transportowym. Fot. LZ Design



Rys.13. Akumulator - bateria firmy Kokam GEN2 14S w widoku z góry. Widoczne wiatraki chłodzące, złącza monitoringu i wejścia kabli. Fot. LZ Design



Rys. 14. Główny przyrząd sterujący i monitorujący napęd FES FCU produkcji firmy LXNAV Company, w przedniej kabine szybowca PW-X10. Fot. ZS Jeżów



Od błędu ludzkiego do zmienności wydajności – ewolucja paradygmatu zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie

dr inż. JAN LASKOWSKI
Politechnika Lubelska

Streszczenie

Obecnie lotnictwo jest bardzo skomplikowanym systemem społeczno-technologicznym, w którym zachodzą złożone interakcje i sprzężenia wpływające na bezpieczeństwo zachodzących tam procesów. Dlatego też wraz z rozwojem transportu lotniczego ewoluowały również metody i systemy zarządzania bezpieczeństwem. Dynamika tych zmian powoduje, że nie-ustannie zmienia się również samo podejście do kwestii bezpieczeństwa w lotnictwie.

Celem artykułu jest scharakteryzowanie zachodzących na przestrzeni czasu zmian w sposobie postrzegania paradygmatu bezpieczeństwa w lotnictwie. W artykule dokonano krytycznej analizy literatury i materiałów źródłowych, w wyniku czego wyodrębniono i zdefiniowano tradycyjny paradygmat bezpieczeństwa – Safety-I, będący jego rozszerzeniem, obowiązujący obecnie paradygmat Safety-II oraz formującą się dopiero, holistyczną koncepcję inżynierii odporności, gdzie bezpieczeństwo postrzegane jest jako jeden z czynników niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania złożonego systemu socjotechnicznego, jakim jest bez wątpienia współczesne lotnictwo.

Słowa kluczowe: zarządzania bezpieczeństwem, lotnictwo, czynnik ludzki, Safety-I, Safety-II, Inżynieria odporności

1. Wstęp

Dziś słowo „bezpieczeństwo” można znaleźć wszędzie, a troska o bezpieczeństwo – w sensie bycia wolnym od niebezpieczeństw, ryzyka lub obrażeń – jest wszechobecna. W hierarchii potrzeb Abrahama Masłowa bezpieczeństwo jest opisywane jako potrzeba podstawowa, ustępująca jedynie potrzebom fizjologicznym (jedzenie, woda, ciepło, odpoczynek), dlatego też poczucie bezpieczeństwa jest warunkiem nieodzownym do egzystencji każdego człowieka.

Podczas swej dość krótkiej, 120-letniej historii współczesne lotnictwo przeszło zdumiewającą ewolucję. W tym dość krótkim z punktu widzenia ewolucji czasie przeszliśmy od pierwszych, kilkuminutowych prób utrzymania się w powietrzu do wykonywania udanych, załogowych i bezzałogowych lotów kosmicznych. Obecnie lotnictwo jest bardzo skomplikowanym systemem społeczno-technologicznym, w którym zachodzą złożone interakcje i sprzężenia wpływające na bezpieczeństwo zachodzących tam procesów. Ze względu na dynamikę, wieloprzyczynowość i nieprzewidywalność tych oddziaływań i sprzężeń, działanie tego systemu jest zawsze obciążone dużym stopniem niepewności. Z drugiej strony, lotnictwo jako najbardziej zaawansowana technologicznie gałąź transportu musi

być systemem bezpiecznym i niezawodnym. Dlatego też wraz z rozwojem transportu lotniczego ewoluowały również metody i systemy zarządzania bezpieczeństwem. Dynamika tych zmian powoduje, że nieustannie zmienia się również samo podejście do kwestii bezpieczeństwa w lotnictwie. Myślenie o bezpieczeństwie nie może być statyczne, ale musi podlegać ciągłemu rozwojowi i rewizji, tak aby odpowiadało realiom obecnego świata.

Celem artykułu jest scharakteryzowanie zmian zachodzących w sposobie postrzegania paradygmatu bezpieczeństwa w lotnictwie.

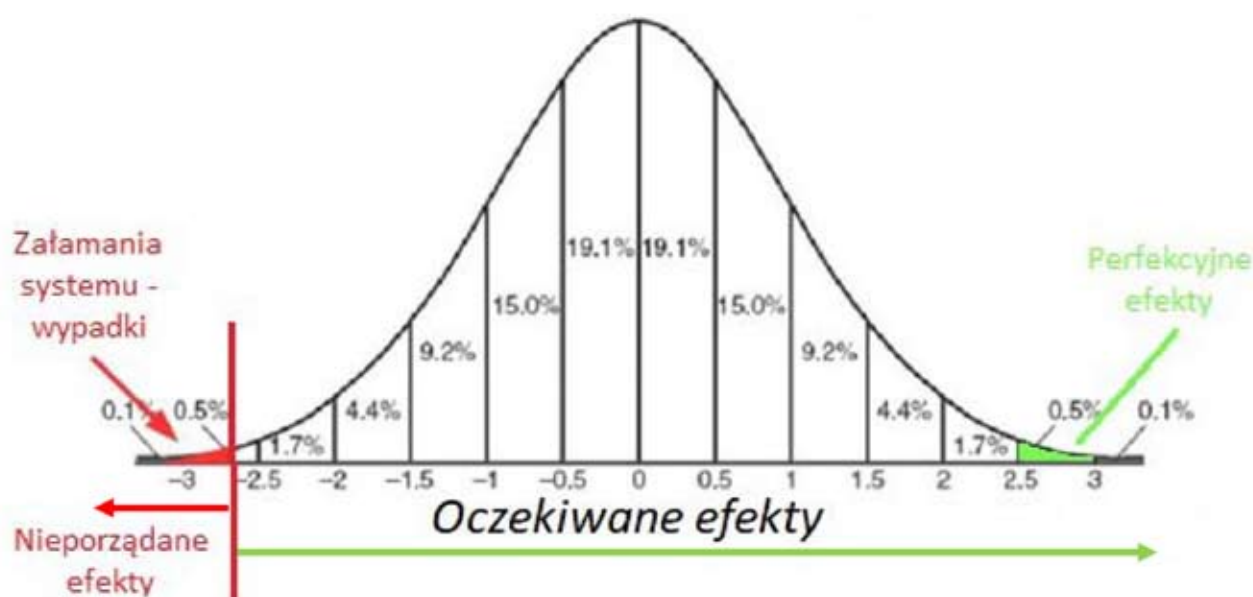
Ze względu na interdyscyplinarny charakter tematu, w badaniach wykorzystano mieszaną metodę badawczą, w skład której wchodzi systemowy przegląd pierwotnych materiałów źródłowych, jakościowa analiza treści, metoda porównawcza oraz metoda ekstrapolacji.

2. Tradycyjny paradygmat bezpieczeństwa – Safety-I

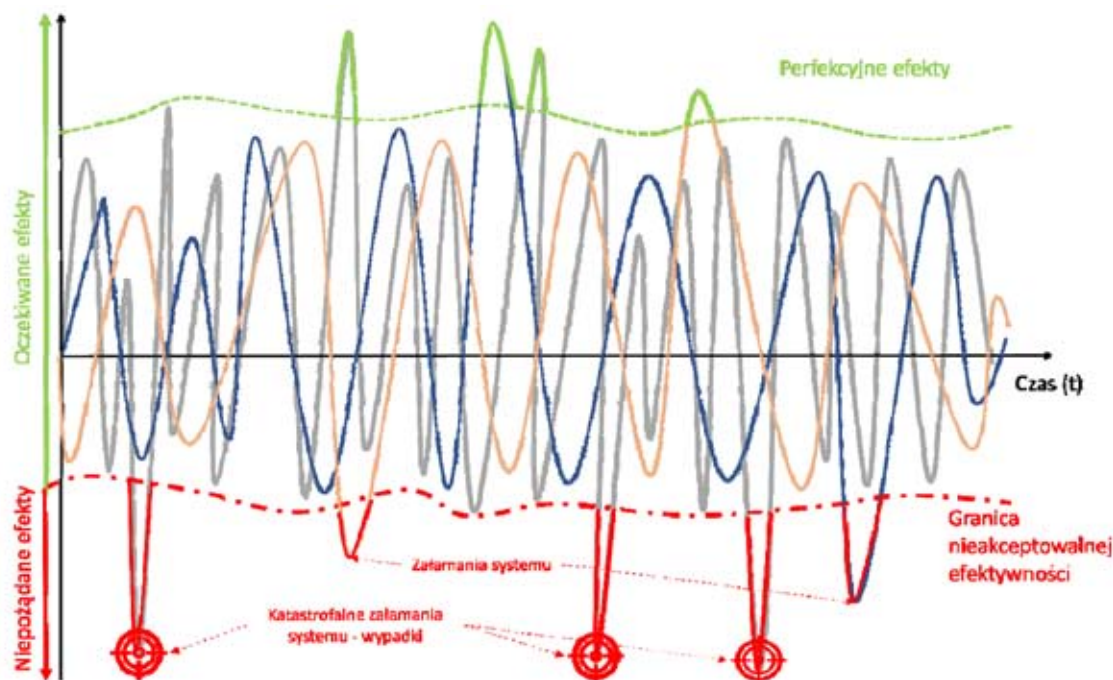
Preferowanie pojedynczych i prostych wyjaśnień wydaje się być powszechną cechą ludzkiego dążenia do zrozumienia istoty otaczającego go świata. Fakt ten znajduje potwierdzenie we wszystkich dziedzinach życia człowieka, w polityce, etyce, prawie, biologii, historii, finansach i oczywiście w bezpieczeństwie. Rozwiązania i wyjaśnienia dążące do uproszczonego i w miarę logicznego wyjaśnienia istoty zjawisk złożonych można nazwać wyjaśnieniami monolitycznymi, ponieważ stanowią one jednolitą, zwięzłą ideę czy koncepcję, która jest łatwo „przyswajalna” przez otoczenie społeczne. Wyjaśnienia monolityczne szczególnie jaskrawo uwidaczniają się podczas historycznej analizy ewolucji paradygmatu bezpieczeństwa w lotnictwie. Każdy z trzech dających się tam wyodrębnić okresów zdominowany był przez jeden rodzaj przyczyn powstawania wypadków – odpowiednio technikę, czynnik ludzki i kulturę organizacyjną. Czynniki

te przez czas trwania każdego z w/w okresów stanowiły najbardziej prawdopodobne wyjaśnienie wszelkich niebezpiecznych zdarzeń w lotnictwie. Innymi słowy, ludzie używali (i często nadal używają) jednego wyjaśnienia, jednej przyczyny lub jednego rozwiązania, aby wytłumaczyć wiele złożonych problemów bezpieczeństwa. Wyjaśnienia monolityczne w tym aspekcie używane są na dwa różne sposoby. Pierwszym z nich jest wyjaśnianie występowania niekorzystnych efektów (skutków, następstw) zaistnieniem jakiejś przyczyny źródłowej, drugim zaś jest uzasadnianie pojawienia się niekorzystnych efektów brakiem wystąpienia jakiejś przyczyny źródłowej. W każdym z tych przypadków owa przyczyna źródłowa jest postrzegana jako jedyny, a przynajmniej dominujący powód, dla którego coś się wydarzyło. Przykładami pierwszego użycia są „błędy ludzkie”, „obciążenie pracą”, „zmęczenie”, itp., które zilustrować można stwierdzeniami typu „wypadek był wynikiem błędu ludzkiego”. Przykładami drugiego zastosowania wyjaśnień monolitycznych jest „świadomość sytuacyjna” i „kultura bezpieczeństwa”, które z kolei zilustrować można stwierdzeniami typu „wypadek był spowodowany brakiem kultury bezpieczeństwa”.

Z drugiej strony, znalezienie przyczyny źródłowej powstania wypadku, obok wartości praktycznej którą jest możliwość jego zapobieżenia w przyszłości, ma również niekwestionowaną wartość psychologiczną, ponieważ pozwala ludziom uwolnić się od niepokoju, który zwykle towarzyszy rzeczom nieznanym. Zostało to dostrzeżone już ponad sto lat temu, kiedy niemiecki filozof Friedrich Nietzsche napisał, że „prześledzenie czegoś nieznanego wstecz i poznanie go jest jednocześnie ulgą, pocieszeniem i satysfakcją, a także daje poczucie siły. To, co nieznanne, wiąże się z niebezpieczeństwem, niepokojem i troską – podstawowym instynktem jest zatem pozbycie się tych bolesnych okoliczności. Pierwsza zasada – każde wyjaśnienie jest lepsze niż żadne.”



1. Obszary oddziaływania paradygmatów Safety-I i Safety-II (opracowanie własne)



2. Koncepcja odporności systemu (opracowanie własne)

Ewolucja paradygmatu bezpieczeństwa początkowo sprowadzała się do sukcesywnego definiowania coraz to nowych rodzajów przyczyn wypadków. Działo się to zazwyczaj w następstwie poważnego wypadku lub katastrofy, gdy „stare” wyjaśnienia okazywały się niewystarczające. Genealogia przyczyn ewoluowała na przestrzeni lat od „zrządzeń bożych”, awarii i usterek technicznych, „błędów ludzkich”, poprzez niepowodzenia organizacyjne i brak kultury bezpieczeństwa, kończąc na złożonych teoriach systemowych, które na razie stanowią szczyt myśli naukowej o bezpieczeństwie. Należy przy tym zauważyć, że częścią wspólną dla wszystkich tych teorii jest założenie liniowości relacji przyczynowo skutkowych, co można szerzej opisać następującymi twierdzeniami:

- Niekorzystne (niepożądane) efekty występują wtedy, gdy system (proces) nie funkcjonuje poprawnie (coś poszło nie tak)
- Niekorzystne efekty mają swoje konkretne przyczyny.
- Możliwe jest znalezienie i zdefiniowanie tych przyczyn, pod warunkiem zebrania wystarczającej ilości informacji
- Po znalezieniu przyczyn można je wyeliminować lub zminimalizować, wdrażając odpowiednie działania systemowe.

Teoria liniowości relacji przyczynowo skutkowych ma jedną niezaprzeczną zaletę - pozwala nam rozłożyć problemy na mniejsze części składowe (etapy, działania, komponenty), którymi można zająć się indywidualnie. Ta właśnie zasada legła u podstaw najbardziej rozpowszechnionemu, „tradycyjnemu” paradygmatowi bezpieczeństwa, zwanego Safety-I.

3. Safety-I

Kiedy myślimy o bezpieczeństwie, paradoksalnie zazwyczaj odnosimy się do jego przeciwieństwa, czyli braku bezpieczeństwa. Dzieje się tak dlatego, że tradycyjny pogląd na bezpieczeństwo, zwany Safety-I, został konsekwentnie zdefiniowany jako „brak wypadków i incydentów” lub jako „wolność od niedopuszczalnego ryzyka” (Londyn, 1964). Przykładem tradycyjnego podejścia do kwestii bezpieczeństwa jest również definicja zawarta w Podręczniku Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO, która mówi, że bezpieczeństwo to „stan, w którym możliwość wystąpienia szkody wśród osób lub mienia jest zminimalizowana i utrzymuje się w ramach ciągłego procesu identyfikacji zagrożeń i zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa na dopuszczalnym poziomie lub poniżej tego dopuszczalnego poziomu.” (ICAO, 2018). W rezultacie tego, dotychczasowe badania nad bezpieczeństwem i zarządzanie bezpieczeństwem skoncentrowane były (i zwykle nadal są) na wycinkowych analizach danych, gdy system nie funkcjonował prawidłowo. Zgodnie z przytoczoną powyżej wizją „zero wypadków”, nadrzędnym celem zarządzania bezpieczeństwem jest zatem zapewnienie, że zagrożenia nie zmaterializują się.

Podsumowując, bezpieczeństwo w tradycyjnym ujęciu (Safety-I) definiowane jest jako stan, w którym liczba niepożądanych skutków (wypadków/incydentów/sytuacji potencjalnie wypadkowych) jest jak najmniejsza. Jednakże ta zwodniczo prosta definicja jest dość problematyczna, ponieważ określa bezpieczeństwo poprzez swoje przeciwieństwo, czyli przez to, co się dzieje, kiedy go brakuje. Oznacza to również, że bezpieczeństwo mierzy się pośred-

nio, nie jako jakość samą w sobie, ale jako konsekwencje jego braku.

4. Safety-II

Zupełnie inne, nowe podejście do problematyki bezpieczeństwa prezentuje paradygmat Safe-ty-II, który poleca skupienie się na tym, co idzie dobrze, a nie na tym, co się nie udaje. Z tej perspektywy nadrzędnym celem zarządzania bezpieczeństwem jest zapewnienie powodzenia codziennej pracy. Oczywiście nie da się tego zrobić, jeśli tylko przyjrzymy się, zareagujemy i wyciągniemy wnioski z tego, co poszło nie tak. Zarządzanie bezpieczeństwem musi być równie proaktywne. Wymaga to zrozumienia natury udanej pracy, rozwoju i zmian środowiska pracy oraz tego, w jaki sposób funkcje te mogą od siebie zależeć i na siebie wpływać. To zrozumienie wymaga szukania wzorców i relacji pomiędzy zdarzeniami, a nie samych przyczyn poszczególnych, wyizolowanych zdarzeń.

Uściślając, bezpieczeństwo w ujęciu Safety-II definiujemy jako stan, w którym liczba zamierzonych i akceptowalnych wyników (czyli efekt codziennej pracy) jest jak największa. Innymi słowy to zdolność systemu do prawidłowego działania (odniesienia sukcesu) w różnych warunkach. Aby to osiągnąć, zarządzanie bezpieczeństwem nie może być tylko reaktywne, musi być również proaktywne.

W odróżnieniu od paradygmatu Safety-I, który koncentruje się wyłącznie na zapobieganiu zdarzeniom o nieakceptowalnych skutkach, koncepcja Safety-II obejmuje swoim zasięgiem całość procesów zachodzących w systemie, niezależnie od tego, czy ich efekty (wyniki) są na akceptowalnym, czy też na nieakceptowalnym poziomie. Kluczem do prawidłowego zarządzania bezpieczeństwem według paradygmatu Safety-II jest zrozumienie istoty efektywności rutynowych, codziennych czynności, zadań i procesów zachodzących wewnątrz systemu.

Różnicę w obszarach oddziaływania paradygmatów Safety-I i Safety-II można przedstawić za pomocą grafiki (rys. 1). Jeśli założymy, że wyniki/efekty pracy systemu są zgodne z rozkładem normalnym, obszar, na którym koncentruje się Safety-I, czyli załamania systemu i wypadki obejmuje niespełna 0,5% całości zdarzeń będących rezultatem działania systemu, co jest tożsame (także 0,5%) z odsetkiem wyników „perfekcyjnych”, przewyższających oczekiwania. Pozostałe 99% wyników stanowi efekt zwykłej, „codziennej” aktywności systemu. Widać tutaj, że Safety-I analizuje efekty, które zdarzają się niezmiernie rzadko i są niedopuszczalne (zdarzenia z niepożądanymi skutkami lub rzeczy, które się nie udają). Safety-II natomiast analizuje wszystkie zdarzenia niezależnie od ich wyników, ale w szczególności zdarzenia, które występują często, które prowadzą do oczekiwanych wyników i które w związku z tym są postrzegane jako „normalne”.

Należy przy tym zauważyć, że patrząc przez pryzmat paradygmatu Safety-II samo pojęcie bezpieczeństwa ulega stopniowej erozji, przynajmniej w sensie, w jakim jest ono obecnie stosowane, czyli jako coś wyraźnie odmiennego

np. od jakości, produktywności, wydajności, efektywności itp. Jeśli finalnie dojdzie do zatarcia się tradycyjnej formuły bezpieczeństwa, co wydaje się być w obecnych czasach coraz bardziej prawdopodobne, jej miejsce zajmie inżynieria odporności – zupełnie nowa koncepcja, która łączy w sobie wszystkie wyżej wymienione cechy.

5. Inżynieria odporności (Resilience Engineering)

„Odporność” to termin używany od dawna i na kilka różnych sposobów. Po raz pierwszy użyto go do opisu właściwości drewna i wyjaśnienia, dlaczego niektóre rodzaje drewna były w stanie wytrzymać nagłe i silne obciążenia bez pękania. Prawie cztery dekady później termin ten zaczęto stosować również w dokumentacji okrętów, gdzie odnosił się do miary zwanej „modułem odporności”, która stosowana była do oceny zdolności materiałów do wytrzymywania surowych warunków.

Wiele lat później Holling (1973) odniósł się do odporności ekosystemu jako miary jego zdolności do przetrwania i absorbowania zmian. Następnie przeciwstawił odporność stabilności, definiowanej jako zdolność systemu do powrotu do stanu równowagi po chwilowym zakłóceniu. Na początku lat 70-tych w badaniach psychologicznych nad dziećmi termin „odporność” zaczął być używany jako synonim odporności na stres. Wiele lat później, w 2007 roku, termin „odporność” został zdefiniowany jako „zdolność do wytrzymania sytuacji traumatycznych i umiejętność wykorzystania traumy jako początku czegoś nowego”. Na początku XXI wieku „odporność” została podchwyciona przez środowisko biznesowe i użyta do opisu zdolności do dynamicznego wymyślania na nowo modeli i strategii biznesowych w miarę zmieniających się okoliczności.

Jednym z fundamentów koncepcji „inżynierii odporności” była hipoteza postawiona w 1983 roku przez E. Hollnagela, która mówi, że sukcesy i porażki to „dwie strony tego samego medalu”. Rozwijając tę myśl, autor stwierdza, że: „ponieważ błędy nie są zamierzone i ponieważ nie potrzebujemy konkretnej teorii błędów, nie ma sensu mówić o mechanizmach, które generują błędy”. Zamiast tego należy zająć się mechanizmami i procesami, które stoją za normalnym, niezaburzonym działaniem systemu (Hollnagel, 1983).

Jeżeli chodzi o nauki o bezpieczeństwie, pierwszej próby zdefiniowania terminu „odporność” dokonał E. Hollnagel w książce *Resilience Engineering: Concepts and Precepts* (2006). Mówi ona, że „istotą odporności jest nieodłączna zdolność organizacji (systemu) do utrzymania lub odzyskania dynamicznie stabilnego stanu, który pozwala jej kontynuować działalność po zaistnieniu poważnej usterki (błędu, zaburzenia) i/lub w warunkach ciągłego ich oddziaływania”. Definicja ta odzwierciedla kontekst historyczny poprzez zestawienie dwóch stanów – jednego o stabilnym funkcjonowaniu i drugiego, w którym system się załamał. Kilka lat później, E. Hollnagel dokonał modyfikacji tej definicji, która uzyskała następujące brzmienie: „odporność to wrodzona zdolność systemu do dostosowania swojego funkcjonowania przed, w trakcie lub

po zmianach i zakłóceniach, tak aby mógł on wykonywać wymagane operacje zarówno w oczekiwanych, jak i nieoczekiwanych warunkach” (Hollnagel, 2010).

W tej definicji nacisk na ryzyko i zagrożenia został zmniejszony, a zamiast tego odniesiono się do „spodziewanych i nieoczekiwanych warunków”. Zmieniono również punkt ciężkości z „utrzymania lub odzyskiwania dynamicznie stabilnego stanu” na zdolność „podtrzymywania wymaganych operacji”.

Podsumowując, można zatem stwierdzić, że system jest odporny, jeśli może on dynamicznie dostosowywać swoje działanie do występujących okoliczności - negatywnych, takich jak zmiany, zakłócenia, ale także pozytywnych, jak pojawienie się nowych możliwości, a tym samym efektywnie wykonywać wymagane operacje zarówno w oczekiwanych, jak i nieoczekiwanych warunkach (rys. 2).

6. Ewolucja koncepcji zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie

Metody stosowane do zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie zawsze ściśle odpowiadały sposobowi postrzegania samego zjawiska bezpieczeństwa. Analizując ewolucję paradygmatu zarządzania bezpieczeństwem – jeśli nie od początków historycznych zapisów, to przynajmniej od początku ery uprzemysłowionej – dominującym trendem był (i jest nadal) skokowy wzrost złożoności funkcjonujących w lotnictwie systemów, co powoduje że są one coraz trudniejsze do zrozumienia i kontrolowania. Dotyczy to zarówno systemów technicznych, systemów społeczno-technicznych, jak i organizacji.

Rozwój metod zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie można dokładnie scharakteryzować za pomocą „modeli powstawania wypadków”, na których podstawie stworzono systemy zarządzania bezpieczeństwem. Początkowo największą popularnością cieszyły się modele jednoczynnikowe, w których za główną przyczynę powstawania wypadków przyjmowano czynnik ludzki. Modele jednoczynnikowe bazowały np. na teorii „podatności niektórych ludzi na wypadki” lub po prostu na „teorii pechowca” (Greenwood i Woods, 1919; Schulzinger, 1956).

W późniejszym okresie zaczęto stosować proste (np. model Domino) i wieloczynnikowe modele liniowe (Heinrich, 1931), wieloczynnikowe modele złożone (Reason, 1990) i wreszcie skomplikowane modele hierarchiczne (Leveson, 2004; Svedung i Rasmussen, 2002). Należy tutaj zaznaczyć, że rozwój koncepcyjny metodologii związany jest w sposób zasadniczy ze zmianą postrzegania paradygmatu bezpieczeństwa.

Ponieważ systemy socjotechniczne, z możliwym wyjątkiem najbardziej trywialnych ich rodzajów, muszą być w stanie dostosować swoje działanie do zaistniałych warunków, obserwujemy dążenie do eliminacji modeli liniowych (przyczynowo skutkowych) powstawania wypadków w lotnictwie. Nieliniowe modele i metody są niezbędne do uwzględnienia nieliniowej charakterystyki otaczającego nas świata.

7. Podsumowanie

Reasumując, współczesny system zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie powinien uwzględniać interakcje pomiędzy zmiennością działania człowieka a ograniczeniami sytuacyjnymi. Można spojrzeć na proces lub sytuację w pracy z punktu widzenia bezpieczeństwa, z punktu widzenia jakości, z punktu widzenia produktywności itp., ale należy przy tym pamiętać, że każda z tych perspektyw ujawnia tylko niewielką część tego, co się tam naprawdę dzieje. Dlatego też niezmiernie ważne jest zrozumienie istoty funkcjonowania systemu i całościowe podejście do kwestii zarządzania zachodzącymi tam procesami. W praktyce oznacza to, że złożone systemy socjotechniczne powinny być zarządzane z uwzględnieniem wszystkich istotnych aspektów i kryteriów, a nie tylko przez pryzmat jednego lub kilku z nich.

Bibliografia

- [1] A dictionary of social sciences, London (1964), s. 629
- [2] Cook, R. I., Woods, D. D. & Miller, C. (1998). A Tale of Two Stories: Contrasting Views of Patient Safety. Report from a Workshop on Assembling the Scientific Basis for Progress on Patient Safety. National Patient Safety Foundation at the AMA.
- [3] Greenwood, M. and Woods, H. M. (1919). A report on the incidence of industrial accidents with special reference to multiple accidents. (Industrial Fatigue Research Board Report No.4) London: HMSO.
- [4] Heinrich, H. W. (1931). Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach. New York: McGraw-Hill.
- [5] Holling, CS (1973). Odporność i stabilność systemów ekologicznych. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.
- [6] Hollnagel, E. (1983). Position paper on human error. Responses to Queries from the Program Committee. NATO Conference on Human Error, Bellagio, Italy, September 5-9.
- [7] Hollnagel, E. (1983). Position paper on human error. Responses to Queries from the Program Committee. NATO Conference on Human Error, Bellagio, Italy, September 5-9.
- [8] Hollnagel, E., Woods, D. D. and Leveson, N. C. (2006). Resilience engineering: Concepts and precepts. Alder shot, UK: Ashgate.
- [9] Leveson, N. G. (2004). A new accident model for engineering safer systems. Safety Science, 42(4), 237-270.
- [10] Mach, E. (1905). Knowledge and error (New edition, 1976). Springer.
- [11] Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press.
- [12] Safety Management Manual, Doc. 9859, ICAO. (2018)
- [13] Schulzinger, M. S. (1956). The Accident Syndrome. Springfield, IL.: Charles E. Thomas.
- [14] Svedung, I. and Rasmussen, J. (2002). Graphic Representation of Accident Scenarios: Mapping System Structure and the Causation of Accidents. Safety Science, 40, 397-417

Symulator do szkolenia pilotów samolotu AIRBUS A320

Dr inż. ANDRZEJ FARIAN
EXIN Sp. z o.o.



1. Wprowadzenie

Od czasu kiedy w 1903 roku bracia Wilbur i Orville Wright wzbili się po raz pierwszy skonstruowanym przez siebie i napędzonym silnikiem spalinowym statkiem powietrznym, rozpoczęła się nowa era przemieszczenia się ludzi między kontynentami. Spowodowało to bardzo szybki rozwój lotnictwa a co za tym szło, pojawiły się pierwsze poważne wypadki lotnicze. W celu ich maksymalnego ograniczenia rozpoczęto szkolenia lotnicze wykorzystując do tego symulatory lotu. Pierwsze symulatory lotu nie przypominały niczym obecnych urządzeń symulujących realny lot w powietrzu. W 1928 roku Edwin Albert stworzył pierwszy symulator lotniczy „Link Trainer” zwany „Blue Box”. Był to symulator wyposażony w podstawowe urządzenia: wolant, pedały i skromną tablicę z przyrządami. Rozwój techniki, nauki i szybko postępująca komputeryzacja przemysłu doprowadziła do powstania nowoczesnych i bardzo skomplikowanych symulatorów lotu, które prawie w stu procentach pozwalają odtworzyć realne warunki lotu. Obecnie w czasach komputerów i technologii cyfrowej, symulatory pełnią bardzo ważną rolę w szkoleniu pilotów i personelu latającego.

2. Symulator samolotu A320

W symulatorze lotu, który został zaprojektowany w Firmie Exin w Świdniku i wykonany przy współpracy z Firmą FS Cockpit z Zielonej Góry, można praktycznie nauczyć się

latać na konkretnym typie samolotu, w naszym przypadku jest to samolot Airbus A320. Można w nim symulować wszystkie sytuacje w powietrzu takie, jak turbulencje, złe warunki atmosferyczne, wszelkiego typu awarie, jednym słowem wszystko, co może się wydarzyć w realnym locie. Całość jest widoczna na przyrządach w skali 1:1 tak, jak w realnej kabine A320 a obraz wyświetlany jest przez trzy monitory na zakrzywionym ekranie.

Symulator EXIN to pełnowymiarowa replika samolotu A320. Składa się z następujących systemów i zespołów:

- elektroniczne moduły w pełni odzwierciedlające awionikę A320
- pełnowymiarowa replika kabiny
- stery dla dwóch pilotów
- fotele pilotów
- podwójnie zakrzywiony ekran wizualizacji
- oddzielne systemy nagłaśniające (dźwięk zewnętrzny i wewnętrzny)
- 3 projektory HD zapewniające widoczność 180 stopni (opcjonalnie 240 stopni)
- komputery sterujące
- oprogramowanie do symulacji awioniki, zarządzania samolotem oraz stanowisko instruktora/obserwatora.

3. Kabina

Kompletna kabina posiada 24 elektroniczne moduły symulujące systemy awioniki A320 w tym górny panel systemów, główny panel nawigacyjny oraz panel radiowo



Rys. 1. Moduły elektroniki symulatora

- komunikacyjny. Każdy moduł posiada podłączenie złączem USB pozwalające na łatwą i bezproblemową instalację oraz ustawienia. Rdzenie wszystkich modułów zostały zbudowane z wykorzystaniem obwodów elektroniki, zaprojektowanych specjalnie na użytek w prezentowanym symulatorze (Rys. 1). Większość przycisków posiada podwójne mikroprzełączniki dla zapewnienia niezawodności w trakcie eksploatacji. Frontowe panele wykonane są z podwójnego Plexiglas (z wyjątkiem MCDU) a tył wszystkich modułów z metalowych ram aby zabezpieczyć wszystkie elektroniczne komponenty.

Kopuła kabiny zbudowana jest na podstawie wymiarów rzeczywistego samolotu. Tylna część za linią okien jest celowo wyższa i szersza aby umożliwić lepszy dostęp dla widzów z miejsca za fotelami pilotów. Kopuła jest zbudowana z żywicy i włókien szklanych. Konstrukcja jest lekka i wytrzymała.

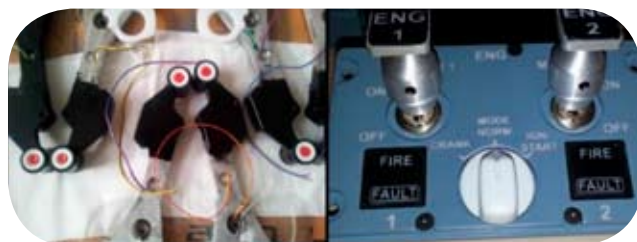


Rys. 2. Fotele pilotów

Repliki foteli pilotów są realnymi kopiami foteli A320 w zakresie regulacji i pozycji. Fotele posiadają elektryczne sterowanie wysokością (+/- 15 cm) oraz regulacją w poziomie (+/- 25 cm). W najbardziej odsuniętej tylnej pozycji siedzenie odsuwa się bocznie o 8 cm. Siedzenia wyposażone są w podłokietniki z identyczną regulacją jak w oryginalne (Rys. 2).

4. System sterowania

Do budowy dźwigni mocy (Rys. 3) wykorzystano aluminiowe płyty laserowo cięte z wykorzystaniem obrabiarek CNC. Koła trymera są napędzane, przełączniki uruchamiania silników w systemie „pociągnij aby przełączyć” tak aby odwzorować faktyczny poziom bezpieczeństwa jak w prawdziwym samolocie. FIRE/FAULT wskaźniki są w pełni funkcjonalne. Mechanizm sterów, widoczny na rysunku 4, zaprojektowano tak aby odwzorować pracę jego oryginalnej wersji. Budowa mechanizmu jest mocna i trwała. Wszystkie części wykonano na obrabiarce CNC. Wszystkie wychylenia i siły są dokładnie takie same jak w oryginale.



Rys. 3. Dźwignie mocy

Panel kontroli audio (ACP) jest w pełni funkcjonalny realistycznie odwzorowujący system komunikacji. Górny panel systemów jest w pełni funkcjonalny, moduł ADIRS pracuje tak samo jak w prawdziwym samolocie (Rys. 5). Dwunastoczęściowy panel bezpieczników jest w pełni sprawny (wymagany do certyfikacji) z pełnym oświetleniem punktowym oraz oświetleniem strumieniowym dla panelu pedału pomiędzy fotelami pilotów. Obydwa panele górne posiadają podświetlanie przycisków.



Rys. 4. Mechanizm sterów



Rys. 5. Górny panel kabiny symulatora



Rys. 6. Pedaty sterów kierunku

Pedały steru kierunku wykonane są ze stali i aluminium. Rozwiązanie pokazano na rysunku 6. Przyłącze USB pracuje bezpośrednio z oprogramowaniem Windows bez dodatkowego sterownika. Pedały steru kierunku kontrolują pięć zakresów funkcji: ster kierunku, lewy i prawy hamulec po stronie kapitana oraz lewy i prawy hamulec po stronie drugiego pilota. Pozycja pedałów jest regulowana. Pedały steru kierunku są połączone za pomocą aluminiowej belki z tyłu mechanizmu.

Ekran zewnętrzny zbudowany jest z 5 segmentów (36 stopni każdy). Dodatkowa opcja to dwa segmenty w kształcie litery U pozwalające na uzyskanie widoczności 270 stopni. Ekran wykonany jest z żywicy i włókien szklanych. Wymiary ekranu to 4 m szerokości i 2,5 wysokości. Każdy segment ekranu waży ok 12 kg. Ekran pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Ekran zewnętrzny systemu wizualizacji

5. Zastosowanie symulatora

Na rysunkach 8, 9 i 10 pokazano pulpit wraz z ekranami i wskaźnikami przyrządów pokładowych. Symulator jest wykorzystywany do szkolenia załóg samolotu Airbus A320 w zakresie treningu przed każdym okresowym sprawdzianem umiejętności postępowania w sytuacjach awaryjnych, w różnych warunkach pogodowych. Pilotom-kandydatom ubiegającym się o przyjęcie do linii lotniczych, trening na symulatorze pozwala zaznajomić i oswoić się z kokpitem oraz systemami wyposażenia, trenować procedury lotnicze, starty, lądowania itp.

Ponadto, wszystkim chętnym, którzy nie posiadają licencji pilota, symulator umożliwi zapoznanie się z zagadnieniami pilotowania samolotu pasażerskiego i daje niepowtarzalną szansę pocucia się jak prawdziwy pilot.



Rys. 8. Fragment panelu, widoczne ekrany i wskaźniki przyrządów pokładowych



Rys. 9. Widok na okna przednie i panel w kabine symulatora



Rys. 10. Kabina symulatora, widoczne fotele załogi

Kabina pasażerska samolotu na przestrzeni lat

IGOR HERDZINA
Politechnika Rzeszowska



Airbus a330-200 należący do Qantas. Źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Qatarairways_A330_economy.jpg

Streszczenie

W artykule omówiono ewolucję kabiny pasażerskiej na przestrzeni lat. Praca obejmuje treścią początki przewozów pasażerski, historię wzrostu zainteresowania podróżami lotniczymi, komercyjny rozwój lotnictwa oraz nadchodzące trendy. Wraz ze zwiększającą się liczbą podróży lotniczych, producenci oraz przewoźnicy dążą do optymalizacji zagospodarowania kabiny przy jednoczesnym zachowaniu wszelkich standardów bezpieczeństwa i wygody podczas lotu. Podjęto dyskusję, w jaki sposób dynamika lotniczych przewozów pasażerskich wpłynęła na rozwój kabiny pasażerskiej.

1. Początki przewozów pasażerskich

Historia komercyjnych podróży lotniczych zaczyna się w 1914 roku, kiedy to pierwszy na świecie rozkładowy rejs pasażerski wystartował pomiędzy Tampą a Sankt Petersburgiem na Florydzie. Pilotowany był przez Tony'ego Jannusa. Chociaż lotnictwo komercyjne nie wystartowało szybko, w latach dwudziestych coraz więcej linii lotniczych oraz firm przewozowych próbowało rozwijać ten biznes z różnym powodzeniem.

Podróż na pokładzie samolotu z lat 20. XX wieku bardzo różniła się od współczesnych przewozów lotniczych. Loty były ekskluzywną formą podróży zarezerwowaną tylko dla najbogatszych. Pasażerom oferowano bogaty wachlarz udogodnień, takich jak wyszukane dania oraz drogie napoje alkoholowe. Jednak sam lot nie był tak wygodny [5]. Samoloty latały na znacznie niższych wysokościach, więc pasażerowie byli narażeni na duży hałas, turbulencje i długi czas podróży. Pierwsze wnętrza samolotów odwzorowywały przedziały pociągów, jak pokazano na rysunku 1, nie tylko z miejscami do spania, ale także do siedzenia przy stole, aby cieszyć się towarzystwem innych pasażerów. Przestrzeń na pokładzie nie była w pełni wykorzystana.

W latach 30. XX wieku, komercyjne linie lotnicze zrobiły wszystko, co w ich mocy, aby pasażerowie czuli się komfortowo. Oprócz wprowadzenia wyszkolonego personelu pokładowego, pasażerowie w latach trzydziestych cieszyli się luksusowymi kabinami samolotów dalece odbiegającymi od tych, które obecnie możemy zobaczyć i doświadczyć na pokładach. Ówczesna myśl techniczna nie dbała tak bardzo o bezpieczeństwo na pokładzie, dlatego też montowane wykończenia wnętrza często były łatwopalne, posiadające dużą masę oraz pokaźne gabaryty.

Pasy bezpieczeństwa również nie należały do popularnych elementów wyposażenia kabiny pasażerskiej. Pokazana na rysunku 2 kabina samolotu linii lotniczych Imperial Airways, uchwycona około 1935 roku, miała wygodne obicia siedzeń, stylowe, klasyczne ściany i zastony z ozdobnym wykończeniem. Ten konkretny samolot był powszechnie używany na trasie Paryż–Londyn przez całą dekadę [1].

2. Rozwój technologii na pokładzie oraz nowe udogodnienia

Do lat 60. XX wieku, definicja rozrywki na pokładzie samolotu miała zupełnie inny wymiar niż ta jaką można doświadczyć obecnie. Pasażerowie podczas przelotu, poza oferowanym posiłkiem oraz towarzystwem współpasażerów raczyć mogli się głównie prasą lub zabranymi na pokład lekturami. Technologia jednak szła naprzód a producenci testowali nowe rozwiązania. Ograniczenia w konstrukcji samolotu jak i pokaźne rozmiary samych odbiorników/projektorów nie pozwalały początkowo na spopularyzowanie rozrywki pokładowej w postaci projekcji filmów czy odsłuchiwanie transmisji radiowych. Na rysunku 3 pokazany jest pierwszy w historii wyświetlany w przestworzach film. Zdjęcie zostało wykonane podczas wystawy „Parade of Progress” w Chicago w roku 1921.

Pomimo wcześniej wspomnianych udogodnień, lot sam w sobie nie należał do najprzyjemniejszych. Pasażerowie często narażeni byli na spore turbulencje, ciągłe wibracje oraz huk dobiegający z silników. Hermetyzacja kabiny pasażerskiej pojawiła się dopiero w 1936 roku, a prekursorem został Boeing 307 Stratoliner.

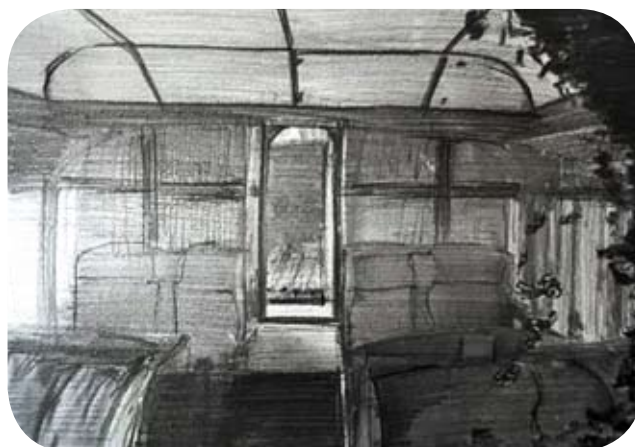
Amerykański przewoźnik lotniczy - linie lotnicze Pan Am rozpoczęły eksploatację floty samolotów typu Boeing 307 w latach czterdziestych XX wieku. Wprowadzenie na rynek maszyny charakteryzującej się hermetyzacją oznaczało, że pasażerowie mogli cieszyć się wygodnym lotem na wysokości około 20000 stóp, który tym samym znacząco skrócił czas podróży. Model ten był również wykorzystywany przez Trans World Airines. Lata czterdzieste były ostatecznie dekadą poprzedzającą tzw. „golden age of travel” – złoty wiek podróżowania. Na rysunku 4 pokazano wnętrze pierwszej hermetyzowanej kabiny w Samolocie Boeing 307 Stratoliner.

3. Wzrost popularności podróży powietrznych

Z czasem przewozy pasażerskie zaczęły przyciągać coraz większe zainteresowanie, na rynku pojawiało się wiele nowych firm, a ciągły rozwój technologiczny pozwolił na wprowadzenie coraz to nowszych rozwiązań. Linie lotnicze chcąc zwiększyć swoje przychody zaczęły inwestować w samoloty mogące pomieścić większą ilość pasażerów. Po raz pierwszy na rynku usług lotów rejsowych wprowadzono trzy klasy ekonomiczna, pierwsza oraz biznes. W 1949 roku amerykańskie linie lotnicze Delta wprowadziły usługę klasy ekonomicznej, oferującą znacznie tańsze bilety w zamian za mniejsze udogodnie-



Rys. 1. Pierwotne wnętrze kabiny pasażerskiej w samolocie firmy Boeing. Źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interior_passenger_seating_area_of_a_Boeing_247_airplane_\(4670451768\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interior_passenger_seating_area_of_a_Boeing_247_airplane_(4670451768).jpg)



Rys. 2. Kabina Imperial Airways, rok około 1935. Źródło: <https://www.loc.gov/pictures/item/2019700285/>



Rys. 3. Pierwszy film wyświetlany podczas lotu, wystawa „Parade of Progress” w Chicago w 1921 roku. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/In-flight_entertainment#/media/File:First-In-Flight-Film-1921.jpg



Rys. 4. Pasażerowie na pokładzie samolotu Pan Am - Boeing 307 około 1945 roku. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_307_Stratoliner#/media/File:Passengers_on_a_Pan_Am_Boeing_307.jpg

nia na pokładzie tj. węższe fotele z mniejszą przestrzenią na nogi, brak posiłków oraz mniejsze zainteresowanie ze strony obsługi pokładowej [2]. Co ciekawe, początkowo loty, gdzie oferowana była klasa ekonomiczna wykonywane były na trasie Chicago do Miami, a operacje wykonywane były nocą.

Jednym z najbardziej imponujących ówczesnych samolotów był Boeing Stratocruiser, wzorowany na B-29 Bomber. Był on wyposażony w najnowszą technologię lotniczą. W kabinie znajdowało się miejsce dla około 100 pasażerów w zależności od konfiguracji. Posiadał on także dwa pokłady, główny z fotelami dla pasażerów oraz dolny, do którego prowadziły kręcone schody, gdzie znajdowała się strefa salonowa z barem. Latał on między 1947, a 1950 rokiem.

Lata 60. XX wieku były okresem niesamowitego rozkwitu lotnictwa. Stało się ono bardziej przystępne, a zarazem nadal bardzo luksusowe. Duża konkurencja na rynku lotniczym zmuszała przewoźników do wprowadzania nadto wygórowanych udogodnień. Palenie papierosów na pokładzie nie było niczym dziwnym. Obecnie jest surowo wzbronione, lecz w latach 60. kabiny samolotów wypełnione były dymem papierosowym [4].

Zagęszczenie kabiny pasażerskiej znacznie wzrosło, w każdej klasie podróży pojawiły się sekcje dla palących

oraz niepalących. W praktyce nie miało żadnego znaczenia ponieważ dym roznosił się po całej kabinie. W późniejszych latach, z powodu licznych incydentów oraz katastrofy spowodowanej pojawieniem się dymu w kabinie, zaczęto wprowadzać zakazy palenia, a następnie na mocy uchwalonego prawa karać pasażerów, którzy nie stosowali się do nowych zakazów. Nieszczęśliwy wypadek, spowodowany niedołączonym papierosem, wydarzył się 11 lipca 1973 roku pod Paryżem. Samolot należący do brazylijskich linii lotniczych Varig runął na pole kukurydzy znajdujące się 4 kilometry od lotniska. W wyniku katastrofy życie straciły 123 osoby, 11 ocalało.

W latach sześćdziesiątych XX wieku w lotnictwie na szeroką skalę pojawiła się rozrywka pokładowa, a do lat siedemdziesiątych XX wieku zaoferowano pasażerom specjalne słuchawki pneumatyczne. Słuchawki te przez długie lata zapewniały wybór muzyki, zanim popularne stały się wbudowane w oparcia foteli indywidualne ekrany, będące do dzisiaj głównym udogodnieniem w lotnictwie komercyjnym.

Nie tylko lektura czy film mogły urozmaicić podróż. W wielu liniach lotniczych górny pokład Boeinga 747, służył jako salon pokładowy. Mieścił on bar oraz strefę wypoczynkową dla pasażerów klasy pierwszej oraz business [2].

Przełom lat 60. i 70. dał nadzieję na wygodniejsze oraz dwukrotnie szybsze podróże. W 1969 roku swój oblot przeszedł pierwszy prototyp naddźwiękowego samolotu - Concorde [3]. Samolot mieszczący na pokładzie od 92 do 128

osób w układzie 2-2 był w stanie pokonać najbardziej prestiżową trasę Londyn—Nowy Jork w zaledwie 3,5 godziny. Kabina samolotu była niezwykle zaawansowana technicznie z racji osiągnięć przelotowych maszyny, co również wiązało się z ograniczeniami w jej wymiarach. Długość kabiny wynosiła 39,30 [m], zaś szerokość zaledwie 2,62 m. Największym mankamentem była natomiast wysokość kabiny wynosząca jedynie 1,96 m, przez co sprawiała wrażenie klaustrofobicznej. Dla porównania, kabina Embraer'a 170 ma szerokość 2,74 m oraz wysokość 2 m.

4. Współczesne kabiny pasażerskie

Najlepszym łącznikiem „złotej ery” w lotnictwie z obecnymi czasami jest samolot typu Boeing 747 — maszyna produkowana od 1969 roku aż po dziś dzień. Jest to statek powietrzny mogący pomieścić na swoim pokładzie od 360 aż do 660 pasażerów w zależności od swojej konfiguracji.

Od samego początku ten model cieszył się ogromnym zainteresowaniem ze względu na swoje znakomite osiągnięcia, jak i wszechstronne możliwości zagospodarowania kabiny. Przewoźnicy, decydując się na eksploatację Boeinga 747, otrzymywali możliwość zaoferowania największego komfortu, jaki kiedykolwiek pojawił się w przestwo-

rzach. Dwa pokłady, duże kuchnie oraz szeroki pokład mierzący 5,90 m pozwoliły na wprowadzenie do lotnictwa innowacyjnych rozwiązań. Początkowo mniejsze wersje -100, -200 czy -SP mieściły na górnym pokładzie strefy relaksu dla pasażerów z wyższych klas. Z czasem, kiedy na rynku pojawiały się nowsze wersje tego modelu, zdecydowano się na przeniesienie tam kabin z fotelami pasażerskimi. Do dzisiaj na niebie możemy spotkać Boeinga 747, lecz sytuacja pandemiczna w 2020 roku zmusiła większość przewoźników do przyspieszenia procesu wycofywania tej kultowej maszyny.

Obecnie na całym świecie zauważyć można dwa główne nurty w przewozie pasażerskim – linie tradycje oraz niskokosztowe. Wypełniają one rynki światowe, zapewniając dogodnie połączenia w każdym zakątku świata. Czym więc różni się kabina samolotu należącego do przewoźnika tradycyjnego od tej należącego do niskokosztowego? Otóż wszystko zależy od regionu świata, trasy oraz upodobań samego przewoźnika. Dla porównania, na rys. 5 oraz na rysunku tytułowym pokazano A330-900 neo należącego do tradycyjnego i taniego przewoźnika.

Rysunek 5 prezentuje kabinę samolotu typu Airbus A330-200 należącego do tradycyjnego przewoźnika. Przedział klasy ekonomicznej wyposażony jest w wygodne fotele posiadające układ 2-4-2 oraz wbudowany system rozrywki multimedialnej. Łącznie na pokład wchodzi 298 pasażerów. Ta sama maszyna należąca do innego przewoźnika wyposażona jest w ultracienkie fotele oraz zagęszczoną konfigurację 3-3-3, a na pokład wchodzi 377 pasażerów. Nie zamontowano również systemu rozrywki pokładowej. Warto zaznaczyć, że oba samoloty operują na podobnych trasach, gdzie loty trwają niekiedy ponad 10 godzin, takich jak Lizbona–Buenos Aires czy Kuala Lumpur–Sydney.

Powyższy przykład w dobry sposób obrazuje współczesne zróżnicowanie na pokładach samolotów. Każdy z przewoźników, w zależności od swojego profilu biznesowego, projektuje i wykańcza kabiny tak, aby w jak najlepszy sposób spełniły ich oczekiwania.

5. Podsumowanie

Pierwszy lot pasażerski odbył się ponad 100 lat temu. Od tego czasu jesteśmy świadkami nieustannego wzrostu popularności podróży lotniczych. Lotnictwo pasażerskie pozwoliło ludziom podróżować i poznawać świat. Niezbędnym aspektem rozwoju konstrukcji samolotów pasażerskich było i jest dążenie do poprawy komfortu



Rys. 5. Airbus A330 neo należący do AirAsia. Źródło: <https://samchui.com/2019/08/12/airasia-receives-first-airbus-a330neo/>

podróżowania, co między innymi, manifestuje się w konstrukcjach kabin pasażerskich. Przedstawione w artykule przykłady rozwiązań w zakresie projektowania, konstrukcji, technologii oraz materiałoznawstwa kabin pasażerskich obrazują dynamiczny postęp w omawianym zakresie. Sytuacja pandemii koronawirusa nieodwracalnie nadała nowy bieg trendom w lotnictwie i z pewnością spowodowała rozwój oraz wprowadzenie na rynek nowych technologii. Z drugiej jednak strony, wyzwoliła nowe możliwości, szczególnie w zakresie ochrony przed zakażeniem, poprawy warunków higienicznych, co zapewne zaowocuje nowymi rozwiązaniami. Ponadto, przyszłościowym trendem na pokładach samolotów są jak najłżejsze materiały dające jednocześnie jak największy komfort podróży, przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu bezpieczeństwa biernego. Producenci samolotów, oprócz obniżenia masy, zwiększają bezpieczeństwo pasażerów przez stosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz stosowanie nowych materiałów, niepalnych lub samogasnących.

Bibliografia

- [1] Peter Vink: Aircraft Interior Comfort and Design; August 2011
- [2] B Spicer: Introduction to Aircraft Interiors; June 2009 „Celebrating 100 Years of Flying with Pride.” British Airways Heritage Collection, www.britishairways.com/100. [Dostęp 12 Kwietnia 2021]
- [3] Aviation Safety: Evolution of Airplane Interiors. https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011_q4/2/ [Dostęp 12 Kwietnia 2021]
- [4] A Brief History of Airline Passenger Seats. Air & Space Magazine. 2021. <<https://www.airspacemag.com/history-of-flight/aamps-interview-john-hill-97173767/?page=1> [Dostęp 12 Kwietnia 2021]

Człowiek w procesie sterowania statkiem powietrznym

ALEKSANDRA KIEREŚ
Politechnika Rzeszowska



Źródło: ViktorCap by iStock

Streszczenie

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie roli pilota w układzie pilot-samolot, analizę działań pilota podczas lotu samolotem, a także zaprezentowanie zmiany roli człowieka w procesie sterowania w zależności od stopnia automatyzacji samolotu. Ponadto, w referacie znajduje się wprowadzenie do koncepcji automatyzacji dostosowanej do człowieka.

Słowa kluczowe: układ sterowania, czynnik ludzki, automatyzacja sterowania samolotem

1. Evolucja współpracy pomiędzy człowiekiem a technologią

W pierwszych etapach rozwoju lotnictwa człowiek był traktowany jedynie jako członek utrzymujący parametry lotu, a wszystkie zadania wykonywane były manualnie przez pilota. Szybko jednak zauważono potrzebę, jak i możliwość odciążenia pilota. Pierwszy autopilot został skonstruowany przez Sperry Corporation w 1912 roku, a więc zaledwie kilka lat od wykonania pierwszego lotu samolotem braci Wright [7]. Konieczność wspomaga-

nia pierwszych adeptów lotnictwa wynikała z tego, że historyczne samoloty często charakteryzowały się małą statecznością i sterownością. Ponadto, szybki rozwój lotnictwa cywilnego oznaczał coraz dalsze loty, a więc czas pracy pilota wydłużał się co w połączeniu z trudnymi w sterowaniu statkami powietrznymi skutkowało szybkim męczeniem się pilota i w konsekwencji spadkiem bezpieczeństwa wykonywanych operacji lotniczych.

Dzisiaj, większość samolotów pasażerskich można zaliczyć do grupy statków powietrznych o zaawansowanym stopniu automatyzacji, a także w samolotach lotnictwa ogólnego pojawiają się rozwiązania automatyczne, które mają na celu wspomaganie pilota. Większe zautomatyzowanie samolotów znacząco wpływa na zadania wykonywane przez pilota podczas lotu, część z nich eliminuje, część ułatwia, ale również stwarza nowe obowiązki. W związku z tym zmienia ulega rola pilota w procesie sterowania statkiem powietrznym.

Dużym krokiem w zmianie postrzegania roli człowieka w procesie sterowania było wykorzystanie koncepcji zamkniętej pętli oddziaływania z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Odkrycie, że wiele zadań wykonywanych przez pilota podczas lotu ma strukturę zamkniętej pętli,

czyli tego, że działanie sterujące pilota powstaje w wyniku porównania wartości zadanej z aktualnie występującą wartością parametru, pozwoliło na stwierdzenie że człowiek pełni rolę regulatora w tym procesie sterowania, a jego działania służą eliminacji uchybu [6].

Człowiek i technologia muszą współdziałać, aby technologia spełniała swoje zadanie jakim jest ułatwienie życia człowiekowi. Podejście do współpracy człowieka z technologią wysuwające pilota na pierwszy plan, a nie traktujące go tylko jak narzędzie do sterowania maszyną, sprawiło że rozwinęły się badania nad psychologią lotniczą, a także powstały modele behawioralne pilota, które pozwalają na optymalizację jego współpracy ze statkiem powietrznym [3].

2. Analiza działań pilota podczas lotu

Czynności, które pilot wykonuje podczas lotu można podzielić na kategorie. W każdej z poniższych kategorii działań można wyodrębnić podział ze względu na rodzaj zadań jakie wykonuje członek załogi. Kategorie te to „akcja” (np. włączenie i konfiguracja urządzeń), „komunikacja” (raportowanie, prośba, ogłoszenie, potwierdzanie informacji), „poznawanie” (porównywanie, ocena, obliczenia) i „obserwacja” (monitorowanie, przeglądanie, identyfikacja) [5]. Ten podział jest ważny ze względów dzielenia zadań pomiędzy członków załogi – na pilota lecącego oraz pilota monitorującego, ale także gdy rozpatruje się które czynności muszą być wykonywane przez człowieka, a które może zastąpić system automatyczny.

2.1. Zadania ciągłe/nieciągłe

Jest to podział względem czasu trwania zadania. Dużą część tej kategorii zajmują zadania przyporządkowane do podkategorii obserwacji, z tego względu że piloci muszą cały czas monitorować działanie systemów, kontrolują czy lecą z dobrym kursem, na dobrej wysokości. Do tej kategorii można zaliczyć także zerkanie na wskaźniki przyrządów pokładowych. Mimo że pilot nie wpatruje się w nie cały czas, to jednak podczas lotu wielokrotnie „skanuje” wzrokiem wskazania w ramach kontroli.

Do zadań nieciągłych zalicza się wszystkie działania krótkotrwałe, które wykonuje się raz lub kilka razy podczas lotu, np. schowanie czy wysunięcie podwozia.

2.2. Zadania zarządzania misją

Do tej kategorii należą zadania które głównie można podzielić według znanego wszystkim pilotom schematu „*aviate, navigate, communicate*” (leć, nawiguj, komunikuj). Do pierwszego czyli *aviate* zalicza się wszystkie działania mające na celu utrzymanie samolotu w powietrzu, a więc będą to głównie zadania przynależące do grupy akcji, np. przesuwanie dźwigni sterujących zespołem napędowym czy wychyłanie sterów za pomocą drążka lub wolantu.

W grupie *navigate* znajdują się czynności obserwacji – np. prowadzenie nawigacji na podstawie charakterystycznych obiektów czy poznawania np. przeliczanie kursu lub poprawki na wiatr. W ostatniej grupie – *communicate* znajdują się wszystkie działania z grupy komunikacji – podawanie meldunków pozycyjnych, prośby o wlot w daną przestrzeń powietrzną czy prośba o zgodę na lądowanie.

2.3. Zadania heads up / down

Zadania określane jako *heads up tasks* dotyczą zadań, które wymagają od pilota obserwacji otoczenia samolotu, podczas lotu jak i na ziemi, która ma na celu zachowania nieprzerwanej świadomości sytuacyjnej. Do zadań *heads up* zalicza się monitorowanie PFD (*primary flight display*) czy ND (*navigational display*). Natomiast zadania *heads down* dotyczą wszystkich zadań, które wymagają od pilota przerwania obserwacji i zajęcia się np. programowanie FMS (*flight management system*), ustawianie częstotliwości radia, czy zapisywanie informacji przekazanych przez służby kontroli ruchu lotniczego. W załogach wieloosobowych zadania *heads down* wykonuje tylko pilot monitorujący.

Oprócz czynności które pilot wykonuje podczas lotu, jako działania podejmowane przez pilota można potraktować także jego decyzje. Decyzje pilota mają kluczowe znaczenie jeśli chodzi o bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych. Człowiek decyduje o podjęciu lub niepodjęciu lotu na podstawie analizy warunków pogodowych, stanu technicznego samolotu czy oceny swojej psychofizycznej kondycji. Później, podczas lotu pilot podejmuje szereg decyzji, które wpływają na jakość danej operacji lotniczej, przykładowe z nich to decyzja o przerwaniu startu, decyzja o wyborze trasy, wysokości przelotowej, decyzje podczas podejścia do lądowania – kiedy zacząć zniżanie, jak bardzo i kiedy zmniejszyć prędkość, decyzja czy lądować na podstawie analizy warunków na lotnisku docelowym. Podejmowanie decyzji, to jedno z niewielu zadań, w których człowiek ma przewagę nad systemami automatycznymi.

2.4. Analiza roli człowieka w procesie sterowania samolotem w zależności od stopnia automatyzacji statku powietrznego

W tabeli 1. został przedstawiony podział na kategorie zarządzania statkiem powietrznym ze względu na stopień zaawansowania systemów automatycznego sterowania. Wyróżniono 7 poziomów, względem których zostały opisane role człowieka i systemów automatycznych. Im wyższy jest poziom systemów automatycznego sterowania, tym pilot bardziej monitoruje działania automatu, a mniej zajmuje się pilotowaniem samolotu w tradycyjnym znaczeniu tego słowa.

Kontrola współdzielona jest wykorzystywana między innymi w samolocie Airbus A320, gdzie ręczne sterowanie samolotem jest ograniczone do kontroli steru kie-

	Kategoria zarządzania	Rola automatyki	Rola człowieka	
Poziom	Operacja autonomiczna	Operacja w pełni autonomiczna, system automatyczny może ale nie musi mieć możliwości rozłączenia.	Pilot nie pełni żadnej kluczowej funkcji w takim układzie, monitorowanie jest ograniczone do wykrywania awarii, w normalnych warunkach nie ma potrzeby by pilot ingerował w proces sterowania.	Poziom zaangażowania pilota
	Zarządzanie na zasadzie wyjątku	Operacja w zasadzie autonomiczna, automatyczna rekonfiguracja, system informuje pilota i monitoruje odpowiedzi od niego.	Pilot jest informowany przez system o jego zamiarach, musi wyrazić zgodę przy istotnych decyzjach, może interweniować przechodząc na niższy poziom zarządzania.	
	Zarządzanie przez zgodę	Pełna automatyzacja operacji, system informuje pilota o zamiarach, zapewniona jest diagnostyka oraz doradztwo (<i>prompting functions</i>).	Pilot musi wyrazić zgodę na zmiany stanu lotu, wykonywanie checklist, rozwiązywanie sytuacji anormalnych, pilot ręcznie wykonuje krytyczne manewry.	
Bardzo wysoki	Zarządzanie przez delegację	Kontrola parametrów lotu za pomocą autopilota i przepustnicy automatycznej ,automatyczna komunikacja oraz nawigacja	Pilot zadaje heading, wysokość, prędkość lotu, dowodzi systemami, zarządza checklistami i komunikatami	Bardzo niski
	Kontrola współdzielona	Wzmocniona kontrola i wskazówki, inteligentne systemy doradcze, wyświetlany potencjalny tor lotu i inne predykcje.	Pilot ma kontrolę nad sterowaniem, ale istnieje system, który chroni samolot obwiednią obciążen, może używać systemów doradczych (advisory system), ręcznie zarządza systemami.	
	Wspomagana kontrola manualna	Opiera się na urządzeniach takich jak flight director, FMS, moduły nawigacyjne, monitorowanie parametrów lotu oraz systemów statku powietrznego.	Bezpośrednia kontrola nad wszystkimi systemami, ręczne sterowanie wspomagane przez flight director, pilot ma do dyspozycji FMS, dostaje informacje o trendach poszczególnych parametrów	
	Bezpośrednia kontrola manualna	Ostrzeżenia i alerty, rutynowe komunikaty ACARS wykonywane automatycznie.	Bezpośrednia kontrola nad wszystkimi systemami, ręczne sterowanie z wykorzystaniem surowych danych, niewspomagane podejmowanie decyzji	

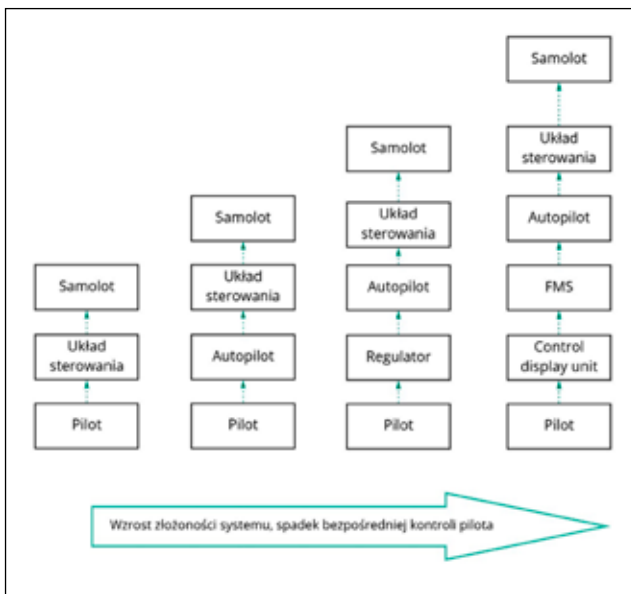
Tabela 1. Podział na role pilota i systemów automatycznych w zależności od stopnia zautomatyzowania systemów samolotu [1].

runku oraz trymowania steru wysokości tylko w momencie kiedy systemy automatyczne są rozłączone. W takiej kategorii pracy ruchy sterownicami wykonywane pilota są odczytywane i znacząco modyfikowane przez komputery pokładowe, ponadto systemy są ograniczone względem obwiedni obciążeń danego modelu samolotu w taki sposób, żeby pilot nie przekroczył krytycznych parametrów samolotu. W przypadku kontroli współdzielonej, automatyzacja samolotu jest odpowiedzialna w większości za wewnętrzną pętlę sterowania, jednak prawa sterowania są zaprojektowane w taki sposób, aby wydawały się naturalne dla pilota.

W przypadku zarządzania przez delegację pilot ma kontrolę nad tym jak działa autopilot. Pilot zadaje kąty pochylenia, przechylenia i odchylenia, może wyznaczyć heading, wysokość i prędkość lotu, a także może oddelegować autopilota aby przechwylił i trzymał się trasy nawigacyjnej – zarówno w poziomie jak i w pionie. Najważniejszą cechą tej kategorii jest to, że samolot wykonuje szereg operacji, które zostały zadane przez pilota i nie zmieni zadanych parametrów, chyba że nie jest w stanie ich wykonać.

Kolejną kategorią jest zarządzanie przez zgodę. Opisuje ona taki model, w którym systemy automatyczne działają w sposób umożliwiający osiągnięcie zadanego celu, wykonując działania automatycznie, jednak wymagając zgody od pilota przed rozpoczęciem danej procedury bądź zmianą stanu lotu. Pilot w takim układzie pełni rolę nadzorującego. Zaletą tego układu jest to, że pilot pozostaje zaangażowany w proces sterowania samolotem, jest świadomy co dzieje się w danym momencie lotu, jak działają systemy automatyczne, oraz ma szansę na podjęcie natychmiastowego działania jeśli stwierdzi że, zamierzone przez automatyzację działania są niewłaściwie w danym momencie. Przedstawione rozwiązanie zostało zastosowane m.in. w Boeingu 757 i 767, a zastosowanie takiego układu sprawia, że te samoloty nie złączą np. zaprogramowanego wcześniej zniżania bez zatwierdzenia tej procedury przez pilota. Zarządzanie przez zgodę może być przydatne w przypadku gdy systemy automatyczne będą stawały się coraz bardziej inteligentne, ponieważ przynajmniej będą wymagały ciągłego nadzoru ze względów bezpieczeństwa. Jednak autoryzacja wyrażana przez pilota musi być świadoma. Co za tym idzie, istotne są badania na temat czynnika ludzkiego w lotnictwie, aby taka zgoda nie była pobieżna czy nie wynikała z przyzwyczajenia.

Zarządzanie na zasadzie wyjątku, jest kategorią w której jeszcze większą rolę ma automatyzacja. W takim przypadku automatyczne systemy sterowania samolotem mają możliwość na wykonywanie wszystkich działań koniecznych do wykonania misji, chyba że pilot przerwie ich realizację. FMS może wykonywać misję na podstawie wcześniej zaprogramowanych instrukcji, chyba że nastąpi zmiana celów lub sposobu realizacji misji, i zostanie ona



Rys. 1. Wpływ złożoności systemów w samolotach na stopień kontroli pilota [1].

wprowadzona do systemu przez pilota. Zmiana taka może dotyczyć np. konieczności polecenia inną trasą ze względu na zmianę zgody kontroli ruchu lotniczego [1].

Kategorie opisywane wyżej łączy to, że skupiają się na współpracy człowieka z systemem automatycznym. Człowiek, automatyka i ich odpowiednie połączenie są niezbędne aby operacja lotnicza mogła zakończyć się powodzeniem. Im wyższy poziom zaawansowania systemów automatycznych tym bardziej zadania pilota sprowadzają się jedynie do potwierdzania tego, że dalej jest on obecny w kokpicie. Mimo wysokiego stopnia zautomatyzowania projektanci systemów automatycznych narzucają na pilotów zadania związane z lotem aby utrzymać ich uwagę na wykonywanej misji, żeby nie czuli się beзуżyteczni w kokpicie, aby uniknąć ich znużenia, które mogłyby prowadzić do zaniedbań i obniżenia skuteczności pilotów, a w konsekwencji do katastrofy lotniczej.

Wraz ze wzrostem stopnia zaawansowania automatycznych systemów statku powietrznego rola człowieka w procesie sterowania zmienia się, pilot traci znaczenie jako regulator, jego rola zmienia się w managera, co zostało schematycznie przedstawione na rys. 1.

3. Znaczenie człowieka w procesie sterowania

System sterowania składa się z trzech głównych elementów. Pierwszym z nich jest obiekt sterowany przez człowieka, czyli w tym wypadku samolot. W skład tego elementu wchodzi procesy dynamiczne odwierciedlające zachowanie samolotu, systemy automatycznego sterowania, a także układy pomiarowe, które informują człowieka o stanie obiektu sterowanego. Drugim elementem systemu sterowania są składniki sterowania, czyli procesy recepcji, percepcji i formowania właściwych sygnałów sterujących, a także efekторы i wewnętrzne pętle sterowania nimi. Trzecim elementem są interfejsy. Dzięki interfejsom

informacyjnym informacja jest przekazywana od obiektu sterowanego do człowieka, natomiast interfejsy sterujące służą człowiekowi do oddziaływania na obiekt sterowany [4].

Duane T. McRuer, w latach 70. XX wieku, opracował wzór, który obecnie jest określany jako podstawowy model dynamiczny pilota. [3]

$$F(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K \frac{(T_3s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)e^{-\tau s}} \quad (1)$$

gdzie:

K – wzmacnienie, które reprezentuje nawyki pilota w sterowaniu samolotem. Jeżeli pilot charakteryzuje się zbyt długim czasem reakcji, bądź nastąpi niespodziewana zmiana we wzmacnianiu sygnału istnieje ryzyko, że układ stanie się niestabilny.

T1 – stała czasowa związana z wdrożeniem wyuczonych schematów oraz rutyny. Pilot powtarzając pewne czynności wiele razy, lub często spotykając się z określoną sytuacją, która wymaga podjęcia określonego działania staje się niewrażliwy na niektóre bodźce, zmniejsza się aktywność jego mózgu.

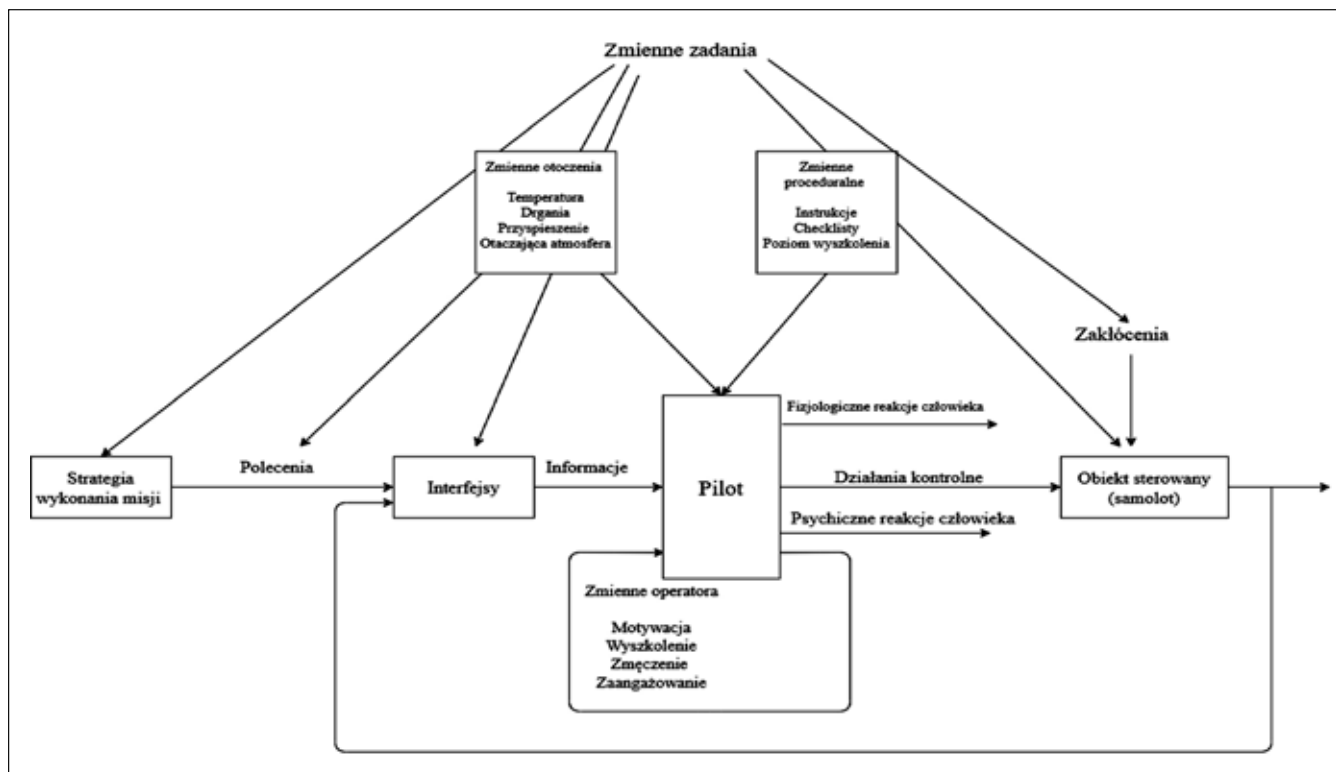
T2 – stała czasowa związana z układem nerwowo-mięśniowym człowieka. Reprezentuje opóźnienie reakcji pilota związane z działaniem ludzkich mięśni oraz narządów zmysłów – określa czas jaki zajmuje u danego człowieka przekazanie bodźca z narządu zmysłu do mózgu oraz przekazanie informacji z mózgu do mięśni.

T3 – stała czasowa związana z doświadczeniem pilota. Na podstawie swojego doświadczenia oraz treningu pilot zdobywa umiejętność przewidywania skutków swoich działań, zdobywa świadomość sytuacyjną.

τ – stała czasowa opisująca opóźnienie pomiędzy percepcją wzrokową a odpowiedzią mózgu pilota. Zależy ona od aktualnego stanu psychofizycznego pilota, np. zmęczenie może znacząco zwiększyć wartość tej stałej, co może prowadzić do destabilizacji całego układu.

Wzór (1) jest bardzo uproszczoną formą opisu modelu człowieka. Niestety, doświadczenie pokazuje nieprzydatność tak uproszczonego modelu zachowania pilota. Z matematycznego punktu widzenia istnieje możliwość rozszerzenia modelu o stałe czasowe T4 oraz T5 w celu zwiększenia dokładności modelu przez zwiększenie rzędu transmitancji. Aby to zrobić potrzebne są bardziej dokładne analizy ludzkiego ciała oraz umysłu, które nie są w tym momencie dostępne [4].

Działania pilota są uzależnione od zmiennych występujących podczas lotu, co zostało przedstawione na diagramie (rys. 2). W zależności od rodzaju misji oraz informacji na temat stanu samolotu czy też jego otoczenia pilot będzie podejmował decyzje oraz wykonywał działania zgodnie ze swoją wiedzą, doświadczeniem i procedurami. Przy podejmowaniu działania na pilota oddziałują czynniki zewnętrzne takie jak temperatura powietrza czy odczuwane przeciążenia, jak i czynniki wewnętrzne czyli jego aktualne samopoczucie czy poziom koncentracji. Oprócz obiektu sterującego oraz obiektu sterowanego, w układach



Rys. 2. Diagram przedstawiający zmienne wpływające na działania człowieka w procesie sterowania

sterowania istnieje jeszcze jeden bardzo istotny element – interfejsy, czyli łącznik pomiędzy człowiekiem a samolotem. Jednym z rodzajów interfejsów są interfejsy sterujące, czyli organa sterowe. W mniej zaawansowanych lub mniejszych samolotach organami sterowymi są drążek lub wolant, orczyk i dźwignie do sterowania zespołem napędowym. Zwykle organa sterowe są dźwigniami, kołami sterowymi bądź popychaczami, które są bezpośrednio połączone z płaszczyznami sterowymi i wymagają użycia siły, a ich reakcja na działanie pilota dostarcza mu ważnych informacji o działaniu poszczególnych elementów oraz o stanie lotu.

W bardziej zaawansowanych samolotach występują układy sterowania pośredniego – Fly by Wire (FBW) czyli układy w postaci wiązek przewodów elektrycznych w miejsce mechanicznych połączeń między powierzchniami sterowymi a sterownicami. Pilot wychylając sterownice generuje sygnały nakazu, które przekazywane są do komputera sterującego, następnie są przetwarzane i sterowanie realizowane jest przez układ FBW. Analogiczne sterowanie występuje w przypadku kontroli samolotu przez układ autopilota, z taką różnicą że sygnał nakazu jest zadawany przez pilota automatycznego. Dzięki cyfrowemu przetwarzaniu systemów sterujących według zadanego algorytmu możliwe jest aktywne sterowanie statkiem powietrznym. Sterowanie typu ACT (*Active-Control-Technology*) polega na automatycznym sterowaniu zmieniającym dynamiczne właściwości samolotu równoległe ze sterowaniem wykonywanym przez pilota. Poprzez aktywne sterowanie mogą być również realizowane inne funkcje, takie jak tłumienie wpływu zakłóceń atmosferycznych na lot statku powietrznego.

Oprócz interfejsów sterujących w układzie sterowania występują również interfejsy informacyjne, których zada-

niem jest przekazywanie informacji o działaniu systemów do pilota. Zaliczają się do nich wskaźniki przyrządów pokładowych, różnego rodzaju kontrolki, wskaźniki zintegrowane, przeziernie oraz sygnały dźwiękowe. Te elementy istotnie wpływają na jakość wykonywanych działań, ponieważ to na ich podstawie pilot może w odpowiedni sposób zadziałać na statek powietrzny. Zbyt duża ilość informacji lub chaotyczny sposób ich przekazu może spowodować przeładowanie pilota informacjami, a co za tym idzie dezorientację i skupienie na nieodpowiednich aspektach operacji lotniczej. Z kolei, wysoki poziom zautomatyzowania, a przy tym zbyt mała ilość informacji może powodować, że działanie systemów automatycznych nie będzie dla pilota zrozumiałe lub może on wykazywać nadmierne zaufanie do systemów automatycznych, a co za tym idzie może skutkować utratą świadomości sytuacyjnej.

4. Systemy automatyczne dostosowane do człowieka

Automatyzacja dostosowana do człowieka (*human-centered automation*) opiera się na założeniu, że drogą do sukcesu automatycznego sterowania jest właściwa współpraca człowieka z maszyną. Kluczem w takim podejściu jest to, aby pilot miał poczucie kontroli nad procesem sterowania, a uruchomienie autopilota nie może spowodować zmniejszenia aktywności pilota, ani stworzyć okazji do rozproszenia uwagi pilota. To pilot odpowiada za powodzenie misji oraz bezpieczeństwo na pokładzie statku powietrznego, a więc cały czas to on musi utrzymywać dowodzenie. Systemy automatyczne w tym podejściu są traktowane jako narzędzia, które asystują człowiekowi w wykonaniu

operacji lotniczej. Najważniejszymi cechami automatyzacji skoncentrowanej na człowieku jest to, że pilot musi aktywnie uczestniczyć w procesie sterowania, w tym celu musi być odpowiednio poinformowany o działaniach systemu w danym momencie, ale również musi posiadać wiedzę o tym jakie możliwości ma dany element systemu oraz jak jaki będzie efekt poprawnego działania tego elementu. Co za tym idzie, system automatyczny powinien cechować się przewidywalnym zachowaniem, pilot powinien mieć możliwość monitorowania systemów automatycznych, ale również systemy automatyczne powinny monitorować działania człowieka. Przy wykorzystaniu zaawansowanych technicznie systemów, które są zastosowane w dzisiejszych statkach powietrznych istotne jest również ustalenie, które informacje należy przekazać załodze, by nie dopuścić do dezorientacji spowodowanej nadmiarem informacji.

Zastosowanie zaawansowanych systemów automatycznych znacząco zmniejsza obciążenie załogi, czego dobrym przykładem jest układ FBW, który zaprojektowany jest w sposób uniemożliwiający przekroczenie ograniczeń konstrukcyjnych samolotu, a także dzięki któremu sterowanie samolotem jest fizycznie łatwiejsze dla człowieka. Mniejsze obciążenie załogi w założeniu powinno prowadzić do zwiększenia bezpieczeństwa. W rzeczywistości, zbyt duży stopień automatyzacji może prowadzić do zepchnięcia załogi na drugi plan, a więc do zmniejszenia zaangażowania pilotów w misję i utraty czujności. I właśnie w rozwiązaniu tego problemu pomaga projektowanie systemów automatycznych jako skoncentrowanych na człowieku. Dzięki uwzględnieniu ludzkich cech systemy te są lepiej dostosowane do pilota, co znacząco ułatwia współpracę człowieka z maszyną.

5. Podsumowanie

Dzięki postępowi technicznemu statki powietrzne są coraz bardziej zaawansowane oraz mają coraz więcej systemów wspomagających pracę pilota. Nie oznacza to, że nieprzeszkolony człowiek będzie w stanie bezpiecznie poprowadzić samolot pasażerski. Automatyka z pewnością wspomaga fizyczne zadania pilota, np. wychylenie powierzchni sterowych w samolotach z układami FBW nie wymaga tak dużo siły jak w przypadku samolotów z mechanicznymi układami wykonawczymi. Zadania nawigacyjne także są znacząco uproszczone przez zastosowanie wspomagających systemów automatycznych, gdyż dzięki nim świadomość sytuacyjna pilota jest większa, załoga wie dokładnie gdzie się znajduje, a dzięki dostępnym bazom danych, np. o lotniskach, może w sytuacji naglącej szybko podjąć decyzję o lądowaniu na lotnisku innym niż docelowe.

Wprowadzenie zautomatyzowanych układów nie zmniejszyło liczby zadań, które pilot musi wykonywać podczas lotu, ale znacznie zmieniło ich charakter. Pilot wykonuje zdecydowanie mniej czynności manualnych (jeśli chodzi o sterowanie statkiem powietrznym), ale musi wykonywać o wiele więcej zadań związanych z monitorowaniem, obserwacją oraz wprowadzaniem danych wej-

ściowych do systemów. Pilot nadzoruje zautomatyzowane systemy, dlatego kluczowym jest żeby posiadał wiedzę na temat ich działania. Załoga musi w każdym momencie lotu być świadoma, czy i który system automatyczny działa w danej chwili. Ponadto umieć ocenić czy działa poprawnie, a jeśli nie działa poprawnie to jak go odłączyć by móc kontynuować bezpieczny lot.

Czynnikiem istotnym przy wprowadzaniu automatyki wspomagającej pracę pilota jest stopień jej złożoności, a co za tym idzie stopień zaangażowania pilota w operację lotniczą. Zbyt mały, w stosunku do właściwości pilotażowych samolotu, stopień zautomatyzowania sprawia, że pilot musi wykonywać więcej czynności samodzielnie, co prowadzi do większego zmęczenia, w konsekwencji którego czujność i refleks pilota może maleć. Z drugiej strony, zbyt duży stopień prowadzi do małego zaangażowania pilota w lot, co skutkuje obniżeniem czujności i skuteczności w przypadku sytuacji awaryjnej.

Zaufanie do systemów automatycznych i poleganie na nich przez pilotów również jest ważnym elementem kształtowania współpracy pomiędzy człowiekiem a technologią, gdyż pilot który nie ufa automatyce może błędnie oceniać jej działanie i wykonywać czynności w sprzeczności z nią co może prowadzić w najlepszym przypadku do niewykorzystywania w pełni możliwości samolotu, a w najgorszym do katastrofy. Z kolei nadmierne poleganie człowieka na automatycznym wspomaganie może prowadzić do rozluźnienia i rozproszenia członków załogi w kokpicie, lekceważenia sygnałów alarmowych czy do przeświadczenia o nieomyślności automatyki, co również być katastrofalne w skutkach. Stąd istotne jest, by projektowanie systemów automatycznych odbywało się z myślą o ich użytkowniku, jak również to by piloci oraz operatorzy zwracali uwagę na odpowiednie wykształcenie oraz zrozumienie automatycznego wspomaganie. W ten sposób automatyka faktycznie ułatwi pracę pilotowi.

Bibliografia

- [1] Billings C. E. – Human-centered aviation automation, NASA, 1996
- [2] Jirgl M., Jalovecky R., Bradac Z. - Models of Pilot Behavior and Their Use to Evaluate the State of Pilot Training, 2016
- [3] McRuer D. T. – Mathematical models of human pilot behavior, Advisory Group for Aerospace Research and Development, 1974
- [4] Pieniążek J. – Kształtowanie współpracy człowieka z lotniczymi systemami sterowania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2019
- [5] Schutte P. – Task analysis of two crew operations in the flight deck: investigating the feasibility of using single pilot
- [6] Morawski J. – Człowiek i technologia, 2005
- [7] Scheck W. – „The Development of the Autopilot” Aviation History Magazine, 2010
- [8] Żugaj M. – Układy automatycznego sterowania lotem, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2011

Dubai Airshow 2021

KAMILA SZŁAPCZYŃSKA, JAKUB ZBOCH, RADOŚLAW MŁYNNARCYK

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie



Zespół w składzie Kamila Szłapczyńska, Jakub Zboch i Radosław Młynarczyk na Dubai Airshow 2021

Studenci Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie ze specjalności Aviation Management w listopadzie 2021 roku uczestniczyli w międzynarodowych targach biznesowo-lotniczych Dubai Airshow 2021. Zespół reprezentujący uczelnianą grupę „School of Leaders” miał możliwość zobaczenia z bliska najnowszych maszyn lotnictwa cywilnego, samolotów transportowych, wojskowych, różnego typu śmigłowców oraz prywatnych odrzutowców. Pokazy lotnicze połączone były z kilkudniową konferencją i wystawami Startup-Vista. Dubai Airshow skupiało się na promocji wykorzystania nowych technologii, w tym sztucznej inteligencji, cyberbezpieczeństwa, robotyki i automatyki w lotnictwie. Prezentowane były nowości oraz innowacyjne rozwiązania w sektorze lotnictwa biznesowego, projektowania i optymalizacji wnętrza samolotów, bezpieczeństwa podróży lotniczej i zarządzania przestrzenią powietrzną. W czasie pokazów lotniczych można było podziwiać akrobacje powietrzne wybitnych pilotów.

Szczególne uwagę przyciągnął nowy szerokokadłubowy Boeing 777-9X wyposażony w charakterystyczne składane końcówki skrzydeł. Za sprawą tego rozwiązania samolot ten może zmniejszyć swoją rozpiętość skrzydeł z 71,75 m do 64,85 m na czas poruszania się na ziemi [1]. Dzięki temu maszyna jest dostosowana do standardów panujących na lotniskach obsługujących poprzedni model - Boeinga 777. Ten wysoko wydajny samolot zaprezentował swoje możliwości, wykonując bardzo wymagające manewry, m. in. praktycznie pionowy start i lot w skrajnym przechyleniu.

„Jestem zachwycony! Jako pasjonat lotnictwa byłem podekscytowany tym, że mogłem podejść i zobaczyć z bliska m. in. Airbusa A350, Boeinga 787-10 i Airbusa A380 linii lotniczych Emirates. Pracując na co dzień na jednym z polskich lotnisk, rzadko zdarza mi się widzieć największe maszyny świata. W Dubaju mieliśmy możliwość zwiedzenia wnętrza Airbusa A380, czy też zobaczenia premierowego pokazu Boeinga 777X, co było niezapomnianym doświadczeniem. Dodatkowym atutem wydarzenia była prezentacja szkół pilotażowych takich jak CAE czy Emirates Flight Training Academy, co ze względu na mój wymarzony zawód pilota dało mi możliwość poznania dostępnych oferty szkoleniowych. Air show na najwyższym poziomie!” – opowiada Radosław Młynarczyk – jeden z reprezentantów Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie zapytany o wrażenia z pobytu na targach.

„Udział w wydarzeniu tego typu to niezapomniane doświadczenie, o którym marzyłem od wielu lat. W mojej opinii zdecydowana większość wystaw i konferencji podczas Dubai Airshow była warta zobaczenia lub wysłuchania. Na panelach tematycznych można było dowiedzieć się wielu interesujących faktów i zaznajomić się z najbardziej aktualnymi problemami w branży lotniczej oraz sposobami na ich rozwiązanie. Szczególnie zainteresowały mnie tematy poruszane na panelu o zrównoważonym rozwoju oraz wykorzystaniu wodoru w lotnictwie. Okazuje się, że pierwiastek ten może stać się powszechnie wykorzystywany do napędzania statków powietrznych już w niedalekiej przyszłości” – oznajmił lider zespołu – Jakub Zboch.



Rys. 1. Pokazy akrobacyjne brytyjskiego zespołu Red Arrows w ramach Dubai Airshow 2021. Źródło: <https://www.facebook.com/DubaiAirshow/photos/pcb.4945070318851053/4945069725517779>



Rys. 2. Pokazy akrobacyjne reprezentacyjnego zespołu akrobacyjnego Królewskich Saudyjskich Sił Powietrznych Saudi Hawks w ramach Dubai Airshow 2021. Źródło: <https://www.facebook.com/DubaiAirshow/photos/pcb.4945070318851053/4945069742184444>

„Mieliśmy możliwość posłuchania, co eksperci z branży lotniczej mają ciekawego do powiedzenia. Stanowiska różnego typu firm takich jak: Lufthansa Technik AG, Airbus, Boeing i Emirates umożliwiły nam nawiązanie kontaktu z przedstawicielami firmy i dowiedzenia się czegoś ciekawego. Byłam bardzo szczęśliwa, że miałam możliwość porozmawiania na tematy „od kuchni” z załogą pokładową arabskich linii lotniczych, do których chciałabym kiedyś należeć” – powiedziała Kamila Szłapczyńska.

Udział w Dubai Airshow 2021 nie byłby możliwy, gdyby nie wsparcie finansowe Uczelni i sponsora projektu. „Bardzo cieszymy się, że Wyższa Szkoła Informatyki

i Zarządzania w Rzeszowie, której jesteśmy studentami, zgodziła się wesprzeć naszą inicjatywę. Ponadto serdecznie dziękujemy Panu Waldemarowi Lussie, prezesowi firmy Seacom S.A., za dofinansowanie wyjazdu oraz Pani mgr Małgorzacie Sokół (koordynatorce programu School of Leaders), za wsparcie i pomoc przy organizacji projektu. Udział w Dubai Airshow 2021 był dla nas bardzo rozwijającym doświadczeniem.” – podkreśla cały zespół.

Bibliografia

[1] <https://www.boeing.com/commercial/777x/>



Rys. 3. Pokazy lotnicze Boeinga 787-10 w towarzystwie siedmiu odrzutowców Aermacchi MB-339NAT należących do zespołu demonstracyjnego akrobacji Sił Powietrznych Zjednoczonych Emiratów Arabskich Al Fursan w ramach Dubai Airshow 2021. Źródło: <https://www.facebook.com/DubaiAirshow/photos/4921946337830118>



Rys. 4. Hala wystawowa Dubai Airshow 2021. Źródło: <https://www.dubaiairshow.aero/photo-gallery>



Rys. 5. Prezentacja Boeinga 777X na tle statecznika pionowego Airbusa A380. Źródło: <https://www.facebook.com/DubaiAirshow/photos/4912340762124009/>



Rys. 6. Zespół w składzie Jakub Zboch, Kamila Sztafczyńska i Radosław Młynarczyk w hali wystawowej Dubai Airshow 2021.
Fot. Jakub Zboch



Rys. 7. Interaktywny pawilon w hali start-up Dubai Airshow 2021. Fot. Jakub Zboch



Rys. 9. Pod Airbusem A380 linii lotniczej Emirates.
Fot. Jakub Zboch



Rys. 8. Przed silnikiem Rolls-Royce Trent XWB-97 Airbusa A350-1000 linii lotniczej Etihad Airways.
Fot. Radosław Młynarczyk



Puchacz nie zabija - korkociąg i spirala

ZDZISŁAW BYLOK

Pilot doświadczalny Doświadczalnego Zakładu Szybowcowego SZD w Bielsko-Białej

Fot. 1. Puchacz SP-3256 w locie. Fot. Michał Ombach

Komentarz Michała Ombacha:

Ten tekst napisał śp. Zdzisław Bylok – wieloletni pilot doświadczalny w Szybowcowych Zakładach Doświadczalnych w Bielsku-Białej. Pozwoliłem sobie poddać korekcie ten niezwykle wartościowy tekst, napisany przez Autora na emigracji w Kanadzie, który stanowił ewidentnie przejaw troski o pilotów-użytkowników „Puchaczy”, ale także o dobre imię tego polskiego szybowca – w obliczu licznych zdarzeń (katastrof) z udziałem SZD-50-3.

Celem dość szerokiej erraty, której dokonałem, było przekazanie Czytelnikowi, w sposób możliwie uporządkowany, wiedzy i przemyśleń Autora. Temat ten jest ciągle ważny i niestety „na czasie”.

Mimo wszystko, jedyną pełnoprawną instrukcją użytkowania szybowca SZD-50-3 „Puchacz”, powinna być właściwa Instrukcja Użytkowania w Locie. Tekst niniejszy nie powinien stanowić podręcznika nauki pilotażu. Może jednak (i powinien) być impulsem do przemyśleń i rzeczowej dyskusji jak latać „Puchaczami” (i nie tylko) bezpiecznie.

Szybowce „Puchacz”, użytkowane powszechnie w polskich aeroklubach w szerokim zakresie programów szkoleń, trafiały także na obie półkule globu. Wyprodukowano 335 egzemplarzy, z czego aż 240 sztuk trafiło na eksport. Lubiane w kraju, budziły i nadal budzą wiele kontrowersji za granicą. Opinie od bardzo dobrych po negatywne, podszyte strachem przed „charakterystykami korkociągowymi”, niejednokrotnie prowadziły do burzliwych dyskusji. Te trwają do dzisiaj. Więcej o Puchaczu można przeczytać w monografii Tomasza Murawskiego, pt. „Szybowiec dwumiejscowy SZD-50 Puchacz”. Serdecznie polecam!

OOO

Pracowałem w Szybowcowych Zakładach Doświadczalnych (SZD) w Bielsku-Białej od 1968 do 1980 roku. Wykonywałem loty doświadczalne na wszystkich prototypach z tego okresu. Na szybowcu SZD-50-3 „Puchacz” program oblotów kierował Adam Zientek. Moim zadaniem były loty próbne, zwłaszcza przy tylnych położeniach środka ciężkości (TSC) i wykonywanie wszystkich związanych z tym pomiarów. Próby przebiegały normalnie, z wyjątkiem korkociągów i ślizgów.

Korkociąg przy TSC na Puchaczu jest niestabilny: występują trwające dwie zvitki wahania podłużne szybowca, a następnie przejście z pozycji dość stromej do płaskiej. Wyprowadzanie jest trochę nietypowe, co zostało opisane w pierwszym wydaniu Instrukcji Użytkowania w Locie. Przepisy traktują o opóźnieniu przy wyprowadzeniu szybowca w każdym punkcie korkociągu, w ciągu nie więcej niż jednej dodatkowej zvitki.

Jeżeli wyprowadzamy w czasie przechodzenia z pozycji płaskiej do stromej, opóźnienie wynosi do 1/4 zvitki. Technika manewru wymaga zatrzymania rotacji poprzez przeciwne do obrotu wychylenie steru kierunku, a następnie – po zatrzymaniu – lekkie oddanie drążka. Jeżeli wyprowadzamy metodą ogólnie przyjętą, tj. „w ślad za nogą oddajemy drążek”, to opóźnienie może być nieco większe, nie przekracza jednak jednej zvitki.

Jednak w przypadku, jeżeli wyprowadzanie odbywa się w fazie korkociągu gdy następuje zmniejszanie kąta pochylenia (wyfłaszczanie), wtedy opóźnienie jest większe i może przekroczyć dwie zvitki! Aby je minimalizować należy odczekać z reakcją steru wysokości: po wychyleniu steru kierunku musi nastąpić wyraźne zatrzymanie rotacji, a dopiero potem należy oddać drążek. Jeżeli wykonamy wyprowadzenie wedle przywołanej już powszechnej



Fot. 2. SZD-50 Puchacz podczas prób korkociągowych. Pierwszy z lewej pilot doświadczalny SZD Zdzisław Bylok, obok pilot Kazimierz Duc. Z tyłu kadłuba widoczny zamocowany worek ze śrutem. Fot. CAF

metody („w ślad za nogą odpuścimy drążek”), nie oczekujemy natychmiastowej reakcji - szybowiec dalej będzie wykonywał obrót, nastąpi wypłaszczenie korkociągu (stan ten przypomina korkociąg płaski), a obrót zostanie zatrzymany dopiero, gdy nastąpi pogłębienie, czyli przejście do stromego korkociągu. Szybowiec pozwoli się wyprowadzić z opóźnieniem dwuzwinkowym.

Podczas prób doświadczyłem wielu problemów z wychodzeniem z tej wypłaszczonej fazy korkociągu, a w celu przerwania rotacji zrzuciłem balast ogonowy. Mimo pozbycia się balastu szybowiec dokręcał nawet do 10 zwitek! Takie przypadki występowały przy 1.5% przesunięciu środka ciężkości poza dopuszczalne Instrukcją Użytkowania w Locie tylne położenie. Dowodziło to krytycznego przebiegu korkociągu przy TSC.

Po wielu próbach jak wyżej, uzgodniliśmy z IKCSP (Inspektoratem Kontroli Cywilnych Statków Powietrznych) metodę nieco odbiegającą od standardu „jak wyprowadzać z korkociągu”. Instrukcja podaje: „po wychyleniu steru kierunku odczekać jedną sekundę i dopiero wtedy oddać drążek”. Jest to niezwykle istotne dla bezpiecznego wyprowadzania, gdy środek ciężkości szybowca znajduje się w okolicy skrajnego tylnego położenia. Ta jedna sekunda zapewnia wyprowadzenie z korkociągu z opóźnieniem jednej zwitki, nawet wtedy, kiedy wyprowadzenie następuje przy fazie wypłaszczania. Nieprzestrzeganie tej zasady (zasady „jednej sekundy”), gdy szybowiec wypłaszcza korkociąg, generuje opóźnienie do 2 zwitek. Może także budzić panikę u pilota, który będzie w międzyczasie wykonywał zupełnie niepotrzebne ruchy sterami, takie jak oddawanie czy ściągnięcie drążka.

Korkociąg na „Puchaczu” przy około-neutralnym położeniu SC jest typowy: szybowiec przerywa rotację przy lekkim odpuśczeniu drążka, następującym tuż po wychyleniu steru kierunku. Ważna jest jednak zasada „najpierw noga, a potem drążek”.

Jeżeli wychylimy ster wysokości przed zatrzymaniem obrotu, szybowiec przejdzie do stromej spirali. Tej metody wyprowadzania powinniśmy przestrzegać także w zało-

dze jednoosobowej. Już przy pilocie o wadze 100 kg mogą wystąpić komplikacje, charakterystyczne dla załogi dwuosobowej.

Korkociąg przy przednim położeniu środka ciężkości (PST) w załodze dwuosobowej wymaga zupełnie innego sposobu wprowadzania i wyprowadzania. Inne własności pilotażowe przy jednej a inne przy dwóch osobach wynikają z różnych momentów masowych szybowca. Przy PST „Puchacz” niechętnie wchodzi do ustalonego korkociągu: aby nastąpiło pełne przeciągnięcie i korkociąg przebiegał prawidłowo, należy przy wprowadzaniu

ściągnąć drążek do zderzaka (do oporu), wychylić pełny ster kierunku i utrzymywać oba stery w takim położeniu w czasie autorotacji. Jeżeli nawet lekko odpuścimy drążek będąc w korkociągu, „Puchacz” może przejść w stromą spiralę.

Najbardziej niebezpiecznym przypadkiem pozostaje jednak niezamierzone wejście w korkociąg. Przy przeciągnięciu symetrycznym szybowiec przepada symetrycznie, bez tendencji korkociągowej. Ale już w przypadku przeciągnięcia niesymetrycznego, „Puchacz” przepada na skrzydło i ma tendencję do korkociągu, nawet nie będąc w fazie pełnego przeciągnięcia. W tym przypadku, bardzo istotna jest właściwa reakcja pilota. Jeżeli przy przepadaniu na skrzydło nie podtrzyma go lotką przeciwną (utrzyma lotki w neutrum lub da lotkę zgodną z przechyleniem), to „Puchacz” będzie przepadał opuszczając to skrzydło coraz bardziej. Jeśli przeciągnięcie nie było „pełne”, nastąpi przyklejenie strug na skrzydle, oderwane zniknie i szybowiec przejdzie w stromą spiralę. Reagując na taki stan rzeczy tak, jak przy wyprowadzaniu z korkociągu (tj. sprowadzając lotki do neutrum, wychylając przeciwną do obrotu nogę i oddając drążek), możemy doprowadzić, od samego początku, do stromej spirali na łeb, którą często piloci myślą z korkociągiem. Wyprowadzanie przywołaną metodą tylko pogarsza przebieg spirali.

Należy rozróżnić trzy przypadki wejścia w stromą spiralę:

- W czasie wykonywania zamierzonego korkociągu pilot nie utrzymał w pełni ściągniętego drążka: przy lekkim odpuśczeniu steru wysokości i bez reakcji przeciwną nogą, szybowiec przejdzie w spiralę;
- W przypadku wyprowadzania z zamierzonego korkociągu, kiedy pilot wychylając ster kierunku jednocześnie oddał drążek;
- Przypadek najbardziej niebezpieczny: przy niezamierzonym przepadnięciu (np. przypadkowym) nastąpiło niesymetryczne przepadanie i pilot reagował tak jak przy wyprowadzeniu z korkociągu, uznając że szybowiec znalazł się w fazie wejścia w korkociąg –

- w tym przypadku szybowiec od samego początku wchodzi w spiralę.

Doświadczeni piloci odróżniają stromą spiralę od korkociągu, ale tylko wtedy gdy posiadają duże doświadczenie w korkociągach. Dla przeciętnego pilota różnica między korkociągiem a stromą spiralą jest niezauważalna, co oznacza, że piloci zawsze będą z takiej fazy lotu wyprowadzać metodą jak z korkociągu.

Wyprowadzanie ze spirali metodą korkociągu prowadzi do katastrofy!

Wyprowadzanie ze stromej spirali (na łeb), która przypomina korkociąg, musi odbywać się tą samą metodą co wyprowadzanie ze spirali w pozycji horyzontalnej, czyli spirali wykonywanej w sposób zamierzony. Nie ma żadnej różnicy w wyprowadzaniu ze spirali w konfiguracji „stromej, na łeb” (czyli w chwili przechodzenia z korkociągu do spirali) od wyprowadzania ze spirali zainicjowanej przez pilota przechyleniem powyżej 45 stopni. Na skrzydło szybowca w spirali horyzontalnej jak i stromej działa przeciw siła aerodynamiczna, zatem przechylenie (podniesienie skrzydła) może nastąpić wyłącznie przez wychylenie lotki. W spirali następuje też zamiana sterów, co oznacza że wyprowadzanie metodą „jak z korkociągu” pogarsza sytuację - zacieśnia spiralę i powoduje przyrost prędkości.

Wiele publikacji lotniczych podkreśla różnice między stromą spiralą a korkociągiem. Jako sposób na ich rozróżnienie, podawany jest przyrost prędkości i przeciążenia w spirali - czego nie ma w korkociągu, gdzie prędkość jest stała, a przeciążenie nie występuje. Taka różnica może być jednak niezauważalna dla przeciętnego pilota, a szczególnie, jeżeli spirala następuje po przeciągnięciu z nieprawidłową reakcją pilota w celu wyjścia z niej. Przy PSC wejście

w spiralę na małych wysokościach, zainicjowane przepadnięciem i następującą nieprawidłową reakcją pilota, nie daje mu możliwości odczucia przyrostu prędkości. Pierwsza i dodatkowo zła reakcja pilota, przekonanego że „wpadł w korkociąg”, może skończyć się tragicznie. Jedyną różnicą, którą pilot może odczuć i rozróżnić, czy znajduje się w korkociągu czy w spirali, jest siła na lotkach. Wejście w spiralę daje usztywnienie lotek, przekładające się na odczuwanie na drążku sterowym sił lotkowych - w przeciwieństwie do korkociągu, gdzie siły te nie występują.

Zatem wychylenie lotki przeciwnej, od razu zatrzyma dalsze przepadanie na skrzydło, zaś w przypadku przepadnięcia i wejścia w spiralę, zatrzyma obrót.

Opisane własności „Puchacza” są nietypowe - inne jak dla większości szybowców. Szybowiec „klasyczny”, jeżeli nie posiada znaczących tendencji korkociągowych, po przeciągnięciu nawet ze zwisem, wychodzi z takiego stanu po lekkim odpuszczeniu drążka i korekcji lotką.

„Puchacz” jest szybowcem trudnym do wprowadzenia w korkociąg przy PSC, za to cechuje się dużą tendencją (łatwością) do wchodzenia w stromą spiralę, od początku niesymetrycznego przeciągnięcia. Aby to uniemożliwić, musimy zareagować lotkami.

W Instrukcji Użytkowania w Locie zaznaczono, że przy wykonywaniu zamierzonego korkociągu należy utrzymać drążek ściągnięty do zderzaka. Pozwala to uniknąć przechodzenia w spiralę. Opisano również wyraźnie, jak wyprowadzać z korkociągu. Przy prawidłowym wyprowadzeniu „Puchacz” nie przejdzie w stromą spiralę.

Podobnie, w sposób prawidłowy, opisano przeciągnięcie. Pominięto jednak opis wyprowadzania z niezamierzonego przeciągnięcia z jednoczesnym przepadaniem na skrzydło! Wydaje się, że reakcja nawet początkującego pilota powinna być - także w tym przypadku - prawi-



Fot. 3. Szybowiec SZD-50-3 Puchacz w locie. Fot. Michał Ombach



Fot. 4. Puchacz w locie na Bielsko-Białą. Fot. Michał Ombach

dłowa. Jeśli wystąpiło niezamierzone, niesymetryczne przeciągnięcie, gdzie szybowiec zaczął przechylać się na skrzydło, to należy reagować przede wszystkim lotką przeciwną, aby uniemożliwić jego dalsze przechylenie. I jednocześnie lekko odpuszczać drążek.

W czasie niesymetrycznego przeciągnięcia i przepadania, niedozwolona jest reakcja jak przy wyprowadzaniu z korkociągu, bowiem przepadanie nie jest korkociągiem (choć może do niego prowadzić). Potrzebna jest odmienna reakcja: doprowadzenie skrzydeł do poziomu lotkami.

Niestety, w wielu przypadkach piloci postępują nieprawidłowo: dopuszczają do przepadnięcia na skrzydło i nie podnoszą go lotką (pełną). Po przepadnięciu następuje przyklejenie się strug do skrzydła i szybowiec przechodzi w spiralę, zaś pilot zaczyna wyprowadzać jak z korkociągu.

Jest to główna przyczyna katastrof na „Puchaczach”, określanych jako wypadki w korkociągu. Mamy do czynienia z błędem pilota w technice wyprowadzania.

Paradoksalnym byłoby stwierdzenie, że w zasadzie pilot wyprowadzał z korkociągu prawidłowo, gdyby nie fakt, że szybowiec znajdował się w stromej spirali...

Ciekawie wygląda opis austriackiego pilota, który przeżył spiralę myśląc, że znajduje się w korkociągu. Lot był wykonywany w załodze dwuosobowej, jako lot kontrolny z zaplanowanym korkociągiem: na wysokości ok. 1000 m pilot wprowadził w korkociąg, po dwóch zwiłkach zaczął wyprowadzać, ale „Puchacz” nie reagował. Pilot nie zauważył, że znajduje się w spirali. Do wysokości ok. 100 m nad terenem usiłował przerwać spiralę metodą wyprowadzania z korkociągu! Nie potrafił także wyjaśnić dlaczego

nad samą ziemią wychylił wreszcie przeciwną lotkę: szybowiec zatrzymał obrót i pozwolił się wyprowadzić zaledwie na 50 m. Wszystko to stanowiło dla lotnika zagadkę – dlaczego szybowiec przerwał obrót? Takie rozumowanie wskazuje, że pilot, do samej ziemi, a pewnie i po locie, nie zorientował się, że pozostawał w spirali.

Będąc pilotem doświadczalnym i jednocześnie instruktorem opracowywałem instrukcje użytkownika w locie dla kilka typów szybowców. Przygotowując te materiały, zakładałem pewne sytuacje w locie jako oczywiste i pominąłem opisy szczegółowe. W przypadku „Puchacza” sprawa korkociągu i spirali okazała się bardziej skomplikowana, niż wydawało nam się przy oblotach. Należy wziąć pod uwagę, że przypadkowe wejście w korkociąg może powodować stres u pilota i, w konsekwencji, jego nieprawidłową reakcję. Znajdując się na małej wysokości trudno jest odróżnić korkociąg od stromej spirali – pilot wpada wtedy w panikę, zwłaszcza gdy po próbach wyprowadzania (jak z korkociągu) szybowiec nie reaguje. Pilot będzie wtedy powtarzał sekwencję czynności wyprowadzania z korkociągu do chwili zderzenia z ziemią. Nie spróbuje jednak metody ze spirali, bo przecież jest szkolony, iż szybowiec wykonując obrót musi znajdować się w korkociągu!

Zachowanie „Puchacza” jest nietypowe, inne niż dla pozostałych szybowców. Z polskich konstrukcji podobnie było z SZD-21-2B Kobuz 3, w całym zakresie środków ciężkości. Ta sama charakterystyka dotyczyła SZD-30 Pirat, ale tylko przy wprowadzaniu do korkociągu z lotką wychyloną zgodnie z kierunkiem obrotu (wchodził w spiralę). We wprowadzeniu „bez lotki” (klasycznym), w pełnym zakresie S.C. oraz przy wyprowadzaniu (nawet nieprawidłowym), zachowania szybowca były typowe.

Zdzisław Byłok, Toronto 4 grudnia 2010 r.

Samolot towarzyszący R. XIII Lublin jako wsparcie z powietrza dla wojsk lądowych

BARTOSZ STARĘGOWSKI

Archiwum Państwowe w Lublinie



Pokaz oddziałów łączności podczas rewii wojskowej na Polu Mokotowskim. Samolot wojskowy Lublin R.XIII zabiera meldunek przyczepiony na rozpiętych drutach. Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe

Streszczenie

W kilka lat po odzyskaniu przez Polskę niepodległości rozpoczęto prace nad gruntowną modernizacją polskich sił powietrznych. Do trzech rodzajów lotnictwa wojskowego wprowadzono czwarty – lotnictwo towarzyszące. W swoich założeniach samoloty tego rodzaju miały stanowić wsparcie dla wojsk lądowych. Oprócz wsparcia bojowego miały również służyć jako jednostki zwiadowcze, ułatwiające komunikację i koordynację między wojskami walczącymi na ziemi. Produkcję wstępną zlecono trzem podmiotom, z których najlepszy produkt dostarczyły zakłady produkcyjne z Lublina – Plage i Laśkiewicz. Samolot ten oznaczony literą R. i nazwą miasta, z którego pochodził, czyli Lublin, zszedł z linii produkcyjnej w 1930 r. i został przetestowany przez Władysława Szulczewskiego. W kolejnych latach pojawiały się różne wersje i modyfikacje samolotu ale jego klasyczną wersją była R. XIII. Samolot ten służył polskim pilotom w walkach podczas II wojny światowej, ale z uwagi na zmieniające się prawa pola walki i dominację lotnictwa myśliwskiego oraz niszczącego, samoloty towarzyszące okazały się mało przydatne.

Słowa kluczowe: lotnictwo towarzyszące, samolot Lublin R. XIII

1. Lotnictwo towarzyszące w polskiej doktrynie lotniczej

Druga połowa lat dwudziestych XX w., to dla polskich sił powietrznych okres kilku istotnych przemian. Do trzech dotychczasowych typów lotnictwa wojskowego, czyli myśliwskiego, liniowego i niszczycielskiego nocnego, doszedł czwarty zwany potocznie towarzyszącym. W swoich założeniach miał on stanowić wsparcie dla wojsk lądowych i ściśle z nimi współpracować. Francja była pierwszym krajem, w którym podjęto próby wprowadzenia tego typu samolotu ale ostatecznie wersje prototypowe nie wyszły nawet poza fazę eksperymentalną.

W Polsce, która była pod znacznym wpływem francuskiej doktryny lotniczej, zdecydowano o kontynuacji prac nad samolotami towarzyszącymi. Nazwa „lotnictwo towarzyszące” pochodziła od rodzaju zadań, które samoloty miały spełniać czyli wsparcia wojsk lądowych w zakresie wykonywania przez nich zadań polowych. Należało do nich przede wszystkim utrzymywanie łączności, obserwacja pola walki i koordynacja działań pomiędzy poszczególnymi rodzajami wojsk lądowych (piechotą, artylerią i kawalerią). Wykonywanie tych zadań w dużej mierze warunkowało przyszłą pracę projektantów i konstruktorów.

rów. Samolot towarzyszący musiał mieć lekką konstrukcję, być odpowiednio zwrotny i gotowy do błyskawicznego startu w dowolnych, nawet trudnych warunkach. Ponadto jego konstrukcja powinna umożliwiać prosty montaż i demontaż, szybki transport i naprawę a wyposażenie samolotu pozwalać na właściwe wykonywanie zadań w postaci zapewniania łączności oraz spełniać podstawowe zadania bojowe. W związku z tym na pokładzie znajdował się aparat fotograficzny, odpowiedniej klasy środki łączności oraz wyposażenie bojowe na wypadek walki powietrznej. W tablicy na rysunku 1 przedstawiono sylwetki samolotów użytkowanych w lotnictwie wojskowym wybranych krajów.

2. Przetarg na samolot

Chcąc otrzymać produkt możliwie najlepszej jakości, Departament Aeronautyki Ministerstwa Spraw Wojskowych, zlecił w 1927 r. produkcję trzem zakładom: Podlaskiej Wytwórni Samolotów, Państwowym Zakładom Lotniczym i Zakładom Mechanicznym Plage i Laśkiewicz w Lublinie. Proces produkcyjny trwał w latach 1928-1929 i w końcu z taśmy montażowej zeszyły trzy typy samolotów: PWS-5t2 (PWS), Ł-2 (PZL) oraz R. X (ZM P. i L.). Produkt Podlaskiej Wytwórni Samolotów okazał się wyjątkowo nieudany, zatem w rozgrywce uczestniczył jedynie Ł-2 i lubelski R. X. Latem 1929 r. po serii testów to ten produkowany przez Zakłady Mechaniczne z Lublina zdołał pozyskać sympatię dowództwa wojsk powietrznych. Wstępnie nadano mu numer R. X i zdecydowano o jego dalszym rozwoju oraz budowie pierwszych egzemplarzy. Inżynierem prowadzącym projekt był Jerzy Rudlicki, który natychmiast po zaakceptowaniu projektu, rozpoczął budowę samolotów.

3. Pierwsze wersje maszyny R. X

Rudlicki wraz ze swoim zespołem, z werwą przystąpił do budowy pierwszych maszyn. W początkowych założeniach miały być produkowane dwa modele: szkoleniowo-akrobacyjny R. XIV i łącznikowo-obserwacyjny R. XV. Różnica między nimi polegała głównie na drobnych zmianach wyposażenia. R. XV posiadał uzbrojenie, radiostację, metalowe śmigło i inne hamulce kół. Jak można zauważyć, inżynier unikał nadania numeru XIII (który potem nierozzerwalnie związał się z samolotem), uważając go za pechowy. Departament Aeronautyki wstępnie zamówił 15 egzemplarzy modelu R. XIV.

Pierwszy lot jedną z wczesnych wersji odbył się 5 VI 1930 r. na lotnisku fabrycznym Zakładów Mechanicznych. Za sterami maszyny usiadł Władysław Szulczewski. Następnie po pierwszym oblocie, maszyna trafiła do Warszawy, gdzie poddano ją serii prób, by wyeliminować ewentualne usterki i mankamenty,

a następnie rozpoczęto produkcję pierwszych partii. Kilka egzemplarzy R. XIV, wojsko otrzymało już 1 VII 1930 r. a kolejne w pierwszych dniach sierpnia. Dowództwo poprosiło również o jedną wersję R. XIV przystosowaną do celów bojowych, wyposażoną w stanowisko karabinu maszynowego, radiostację oraz narzędzie do przechwytywania ładunków z ziemi. Wyprodukowano zatem dwa egzemplarze, nieznacznie różniące się od siebie. Oblotu treningowego jednego z nich dokonał płk Jerzy Kossowski, któremu po dokonaniu kilku efektownych zwodów powietrznych, uszkodził się drążek sterowy, co zmusiło go do katapultowania się. Najciekawsze było jednak, że samolot pozbawiony pilota wcale nie roztrzaskał się, a miękko wylądował na ziemi. Przyczyną awarii było ścięcie sworzni przytrzymującego drążek. Wypadek ten dał do myślenia inżynierowi Rudlickiemu, który zauważył, że to numery R.XIV i R.XV są pechowe, w związku z czym następne egzemplarze miały już numer R. XIII.

4. Produkcja R. XIII

Właściwa produkcja samolotu R-XIII rozpoczęła się w lecie 1931 r., kiedy to Departament Aeronautyki, dnia 21 VII zamówił 50 egzemplarzy, przystosowanych do silnika Wright 220 KM. Umowę podpisali płk inżynier Henryk Abczyński i maj. Mieczysław Konarski z przedstawicielem ZM Plage i Laśkiewicz inżynierem Zygmuntem Zakrzewskim. Kwota do zapłaty za 50 egzemplarzy wynosiła 2 301 850 zł. Cena jednej sztuki wyniosła zatem 46 037 zł. Termin dostawy rozłożono na osiem miesięcy w 1932 r., kiedy to każdorazowo pierwszego dnia miesiąca miało być dostarczane sześć sztuk za wyjątkiem pierwszej dostawy, która miała się odbyć 15 III 1932 r. i wówczas powinno



Rys. 4. Samolot R. XIII z tablicy sylwetek samolotów.
Źródło: APL, Zbiór afiszów i druków ulotnych, sygn. 714.



Rys. 5. Samolot Lublin R-XVI. Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe

zostać dostarczonych osiem egzemplarzy. Umowa składała się z 20 paragrafów przewidujących m.in. warunki montażu silnika Wright 220 KM oraz jego ubezpieczenie, warunki techniczne, transport i odbiór, gwarancje i kaucje, kontrolę poprodukcyjną, formy wypłaty zaliczki oraz wysokość kar za niedotrzymanie umowy. W ramach aneksu do umowy, ZM P. i L. zobowiązały się do dostarczenia pełnej dokumentacji technicznej. W wrześniu 1931 r. przystąpiono do budowy. Pierwsze 30 egzemplarzy serii dostało oznaczenie R. XIII A, a następne 20 R. XIII B. Te dwie partie odróżniał jedynie rodzaj stanowiska karabinu maszynowego. Całość produkcji pierwszego zamówienia zakończono z dniem 11 III 1933 r. W międzyczasie, we wrześniu 1932 r. złożono kolejne duże zamówienie tym razem aż na 170 sztuk. Kolejne partie uzyskiwały tym samym numery dodatkowe C, D, E i F.

Na rysunkach 2 i 3 zamieszczono skany oryginalnych dokumentów dotyczących zamówienia i produkcji samolotów Lublin R.XIII, natomiast rysunek 4 przedstawia rzuty oraz widok samolotu Lublin R.XIII.

5. Konstrukcja samolotu Lublin R. XIII

Pomimo pewnych różnic pomiędzy poszczególnymi wersjami A, B, C, D, E i F konstrukcja samolotu była podobna. Posiadał on eliptyczne, drewniane skrzydła typu Hamilton z okutą krawędzią prującą, kadłub o konstrukcji kratownicowej ze zbiornikiem paliwa o pojemności 200 l, dziewięć-cylindrowy silnik Wright Whirlwind 220 KM o mocy nominalnej 162 kW (220 km) z rozrusznikiem Eclipse, dwukołowe podwozie (koła 750x125) wykonane z rur stalowych, amortyzację olejowo-powietrzną, pompę AM, stanowisko karabinu maszynowego Vickers K lub

Levis kaliber 7,7 mm, uchwyt do raketnicy Perkun, radio-stację RKL/D, narzędzie do przechwytywania meldunków z ziemi, którym był metalowy hak, specjalne narty to do lądowania w śniegu, mogące zastępować kółka oraz urządzenia do pomiaru ciśnienia, obrotu, wysokości, przechyłu oraz ciepła wykonane przez firmę „Gerlach”. Na rysunku 5 pokazano egzemplarz samolotu Lublin R.XIII.

R. XIII razem z osprzętem ważył 1290 kg (bez osprzętu 801 kg) a rozpiętość jego skrzydeł wynosiła ok. 13 m. Długość wynosiła 8,2 m, wysokość 2,76 m, powierzchnia nośna 24,5 m², możliwe obciążenie powierzchni 52,60 kg/m² i mocy 5,86 kg/km. Samolot osiągał prędkość 177 km/h a maksymalnie mógł osiągnąć pułap 4,1 km. Według wykazu części do płatowca typu „Lublin R. XIII” sporządzonego w dniu 2 X 1936 r. konstrukcja samolotu składała się z 243 różnych typów części, na które składały się uszczelki, blaszki, kątowniki, osłonki, nasadki, śruby i korytka. Jedynie dwa elementy z wyposażenia pokładowego wykonywano w Zakładach Mechanicznych Plage i Laśkiewicz a były to: Benzynowskasz rurkowy do 200 l. typ R. XIII i umocowanie do czasomierza wg. projektu PWS. Pozostałe wykonywały podmioty zewnętrzne w postaci wspomnianej przed momentem firmy „Gerlach” a także innych w postaci fabryk „Badin”, „Zurn-Kolberg” czy „Scintilla”.

6. Nietypowe wersje samolotu Lublin R. XIII

W latach 1932-1935 nieustannie pracowano nad poprawianiem, modernizowaniem i ulepszaniem modelu R. XIII. Zaowocowało to powstaniem kilku nietypowych egzemplarzy, w tym paru bardzo oryginalnych. Jednym z nich była wodna wersja R-XIII, gdzie podwozie kołowe

zastąpiono drewnianymi płaskodennymi pływakami, okutymi w stal nierdzewną oraz metalowe śmigła pokryte specjalnym antykorozyjnym lakierem (rys. 6). W tej wersji zmieniono również silnik. Whirlwind 220 KM zastąpiły dwa Pegzausy L2/644 KM. Wodnopłatowiec był wyższy od swojego klasycznego odpowiednika ponieważ mierzył 5 m oraz cięższy ponieważ jego waga wynosiła prawie 2,5 tony. W związku z większym ciężarem, zamontowano w nim dodatkowe zbiorniki paliwa, pozwalające na dodatkowe 3 godziny lotu. Wersja wodna posiadała także wyrzutnik torped 680 kg wg wzoru Kierownictwa Marynarki Wojennej, z możliwością zastąpienia go przez wyrzutnik 600 kg. Wyrzutnik znajdował się w specjalnej osłonie, która chroniła mechanizm przed zamoczeniem. Na swoim wyposażeniu wersja hydroplanowi posiadała dodatkowo: żyroskop „Directional Gyro”, sztuczny horyzont „Sperry Horizon”, oraz 2 gaśnice automatyczne bro-moetylowe „Levy”.

Innym przykładem ciekawego modelu był R. XIII Dr „Błękitny Ptak”. Literki Dr oznaczały daleki rajd, a powstał on z inicjatywy kpt Stanisława Karpińskiego popieranego i wspieranego przez Ligę Morską i Kolonialną. Jego celem było odbyte długodystansowe kursy do Australii. Powstał on na bazie wersji R. XIII B, ale z uwagi na przeznaczenie, czyli pokonywanie ogromnych dystansów różnił się od niego długością kadłuba, w którym zamontowano dodatkowe zbiorniki paliwa o pojemności 900 L

i pozwalające na 20 godzin lotu (rys. 7). Samolot podczas kilku prób uległ poważnym uszkodzeniom, jednak został odremontowany i przygotowany do lotu kpt S. Karpińskiego. Niestety nie udało mu się go ukończyć. Przy starcie z zalanego wodą lotniska w Preczuabie (Syjam), samolot spadł i rozbił się. Załoga nie ucierpiała ale lot trzeba było przerwać. Po przewiezieniu wraku do Warszawy samolot ostatecznie skasowano.

Do nauki latania stworzono model R. XIII t. Cechał się on wyższą przednią częścią kadłuba, która umożliwiała zamontowanie większego zbiornika paliwa, co pozwalało na przelot do 1200 km oraz zamontowanie specjalnie przystosowanej dla ucznia kabiny. Kabina i fotel instruktora znajdowały się wyżej. Na maszynach tych trenowała polska ekipa challenge’owa w Dęblinie. Następnie trafił do innych jednostek lotniczych.

Około 1932 r. inżynier Rudlicki wypuścił jeszcze jeden model – R. XIX. Cechał się on mniejszą i lżejszą konstrukcją, co umożliwiało wykonywanie na nim rozmaitych akrobacji. Ostatecznie jednak po kilku lotach akrobatycznych płk J. Kossowski, model skasowano. Co istotne brak statecznika pionowego, dawał większe pole do ostrzału z karabinu maszynowego. Jednak to nie wpłynęło w żaden sposób na negatywną ocenę powyższego modelu.

W latach 1933-1935 wypuszczono jeszcze dwa nietypowe modele R. XIII: doświadczalny i łącznikowy. Ten



Rys. 1. Tablica sylwetek samolotów występujących w lotnictwie różnych krajów europejskich z samolotem R. XIII Lublin. Źródło: Archiwum Państwowe w Lublinie (APL), Zbiór afiszów i druków ulotnych, sygn. 714

pierwszy miał służyć głównie do celów bojowych poprzez zastosowanie w nim usterzeń pionowych dla zwiększenia pola obserwacji prowadzącemu ogień z karabinu maszynowego. Mimo uzyskania niezbędnych patentów oraz licencji na jego rozpowszechnianie, nie wszedł on do masowej produkcji. R. XIII łącznikowy miał postać jedynie jako model reprezentacyjny podczas rewizyty polskich lotników do Moskwy w 1933 r. Rewizyta miała być rewanżem na odwiedziny radzieckich lotników na wiosnę tegoż roku. Niestety szczególnie trudne warunki pogodowe uniemożliwiły delegacji dotarcie do stolicy ZSRR i po przymusowym lądowaniu w Mińsku, resztę drogi pokonano pociągiem. Następnie modele te trafiły do aeroklubów na terenie całej Polski i były wykorzystywane po przeróbkach jako samoloty rajdowe lub holowniki dla szybowców.

7. Doświadczenie bojowe samolotu towarzyszącego

W okresie od 1933 r. do 1939 r. samoloty towarzyszące były podstawowym sprzętem w eskadrach obserwacyjnych i rozpoznawczych. Cenili go lotnicy za jego zwrotność i zdolności manewrowe, nazywając pieszczotliwie „pasikonikiem”. Bardzo szybko startował i równie szybko lądował oraz posiadał świetne możliwości pilotażowe. Płk Kazimierz Sławiński powiedział o nim: „... jako samolot towarzyszący dobrze spełniał nałożone na niego zadania, był bardzo dobry w pilotażu i zwrotny... Prosty w obsłudze i konstrukcji...”. Do jego wad płk zaliczył słabe uzbrojenie i to, że „... był z reguły bez szans w walce powietrznej...”. Na rysunkach 8 i 9 pokazano samoloty Lublin R.XIII wykorzystywane w lotnictwie wojskowym.



Rys. 9. Podchorążowie ładują magazynki do lotniczych karabinów maszynowych Vickers F zamontowanych w obrotniku samolotu Lublin R-XIII. Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe



Rys. 7. Samolot Lublin R-XIII Dr „Niebieski Ptak”, na którym załoga w składzie Stanisław Karpiński i Wiktor Rogalski miała odbyć lot na trasie Warszawa-Melbourne. Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe

Samoloty R-XIII brały udział w II wojnie światowej, gdzie służyły do celów zwiadowczych i łącznikowych. Sterowanie nimi wymagało od pilotów wielu umiejętności oraz doświadczenia i odwagi. Ich konstrukcja, w przeciwieństwie do samolotów myśliwskich, nie była przystosowana do prowadzenia długich walk w powietrzu. Problematyczna była nawet ucieczka przed myśliwcami. Mimo to w czasie działań zbrojnych podczas kampanii wrześniowej Niemcom udało się zestrzelić zaledwie kilka sztuk tych samolotów, co dowodzi niezwykłych umiejętności pilotów, którzy zasiadali za sterami R-XIII.

8. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zarys historii powstania i produkcji oraz konstrukcję, wyposażenie i zastosowanie samolotu Lublin R.XIII. Produkowany w zakładach Plage i Laśkiewicz samolot R. XIII charakteryzował się dobrą, nowatorską konstrukcją. Wyposażony w nowoczesny jak na ówczesne czasy sprzęt doskonale realizował swoje zadania zgodne z pierwotnym założeniem, czyli wspieraniem wojsk lądowych. Jednakże zmieniające się zasady wykorzystywania sprzętu wojskowego sprawiły, że jego udział w II wojnie światowej był sporadyczny. Nie dorównywał on w zwrotności myśliwcom ani nie mógł przenosić większych ładunków bojowych jak bombowce. Owszem, polscy lotnicy wykorzystywali samoloty Lublin R.XIII do zastosowań bojowych. Ostatecznie został on zapamiętany jako bardzo uniwersalny samolot, wykorzystywany do różnych celów, również pozawojskowych oraz jako wizytówka zakładów Plage i Laśkiewicz.

Bibliografia

- [1] Archiwum Państwowe w Lublinie, Zbiór afiszów i druków ulotnych, sygn. 714.
- [2] Archiwum Państwowe w Lublinie, Zakłady Mechaniczne E. Plage i T. Laśkiewicz, sygn. 17, 18, 23.
- [3] W. Bączkowski, Samolot towarzyszący Lublin R-XIII, Warszawa 1980



Repliki szybowców z Rosji

TOMASZ MURAWSKI

Gotowy do lotu szybowiec szkolny SG-38. Fot. Remir Karimov

Od 2016 r. rosyjski konstruktor z Nowosybirska Remir-Karimov buduje na zlecenie repliki niemieckiego szybowca szkolnego SG-38 Schulgleiter. Dotychczas zbudował 9 sztuk. Cena gotowego szybowca, wraz z transportem na Litwę, to około 7000 USD. Do tej pory zbudował też, w dwa lata, 20 sztuk jednomiejscowego, drewnianego szybowca szkolnego BRO-11M. Jest to unowocześniona wersja litewskiej konstrukcji z 1954 r. W tej chwili buduje dalsze 30 egzemplarzy tego szybowca, między innymi dla Młodzieżowej Szkoły Szybowcowej działającej przy Syberyjskim Instytucie Naukowo-Badawczym Lotnictwa (SibNIA). W Instytucie tym pracują, w niepełnym wymiarze, również studenci, a także odbywają się praktyki lotnicze. W młodzieżowej Szkole Szybowcowej angażowane są też dzieci od 14 roku życia. Loty na BRO-11M – szkolenia – odbywają się również pod Moskwą. W latach 1954-2021 zbudowano ponad 2000 sztuk tego szybowca.



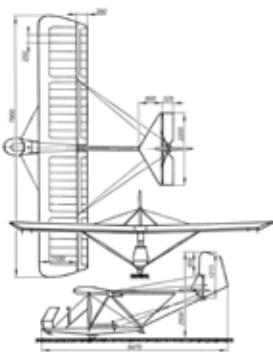
Montaż szybowca BRO-11M. Fot. Remir Karimov



Szybowiec BRO-11M w locie. Fot. Technika młodzieży

Dane techniczne szybowca szkolnego BRO-11M:

- Rozpiętość – 7,8 m
- Długość – 5,16 m
- Wysokość – 2,5 m
- Powierzchnia skrzydła – 11,8 m²
- Masa własna – 92 kg
- Doskonałość maks. – 12
- Prędkość optymalna – 40 km/h
- Opadanie minimalne – 1 m/s
- Prędkość minimalna – 30 km/h



Szybowiec BRO-11M w trzech rzutach



Złożona replika szybowca SG-38. Fot. Remir Karimov

Idealny szybowiec ultralekki na dzisiaj

MICHAŁ OMBACH



Rys. 1. Wrona Jerzego Gruchalskiego. Fot. Michał Ombach

Wyłączenie zastosowania wybranych przepisów ustawy Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenie warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (według Obwieszczenia Ministra Infrastruktury z lipca 2019 r.), najogólniej rzecz ujmując, sprowadza się do wprowadzenia nowej kategorii statków powietrznych, tzw. urządzeń latających.

Szczególnie interesująca wydaje się kategoria niekwalifikowana, gdzie – jeśli zmieścimy się z masą „aparatu latającego” pustego w 70 kg, a w przypadku zabudowy napędu w 115 kg, będziemy mogli nim polecieć bez jakichkolwiek konsultacji czy zgód ze strony Nadzoru (ULC). Jest to duże uproszczenie tematu, jednak na upartego – można tak to potraktować.

Czy jest w ogóle możliwe pozyskanie takiego szybowca, który spełni wymóg wagowy, a jednocześnie będzie wystarczająco bezpieczny i komfortowy w użytkowaniu? Odpowiedź może być twierdząca, pod warunkiem że nasze oczekiwania względem osiągnięć oraz zakresu użytkowania konstrukcji nie będą wygórowane.

Sytuacja byłaby bardziej komfortowa, gdybyśmy wybrali kategorię kwalifikowaną, gdzie wiążącego nas limitu masowego w zasadzie nie ma. To by pozwoliło rozwinąć konstrukcję, a zatem uzyskać lepsze osiągi i podnieść ergonomię. W tym jednak przypadku obowiązywałoby nas wykazanie szeregu własności fizycznych (w tym lotnych) konstrukcji oraz opracowanie dla ULC związanej z projektem obszernej dokumentacji. Ponadto, musielibyśmy jako użytkownik posiadać świadectwo kwalifikacji. Tematyka kategorii kwalifikowanej jest więc bardziej złożona, także dlatego, iż przepisy nie są do końca spójne i kompleksowe. Pojawia się ponadto możliwość ich różnej interpretacji, bynajmniej nie przez budującego czy nabywcę, ale przez drugą stronę czyli Nadzór. Pozostaniemy zatem, na razie, przy kategorii UL 70 / UL 115.

Spoglądając wstecz, w odległe o blisko 100 lat pionierskie czasy lotnictwa, znajdziemy konstrukcje spełniające wymogi wagowe. Przykładem będzie Wrona Antoniego Kocjana, opracowana i oblatana w 1932 r., jako szybowiec powszechnego szkolenia podstawowego metodą jednostrową. Temat jest o tyle na czasie, że w lipcu tego roku wzbiła

się w powietrze wierna replika przedwojennej Wrony. Chyląc czoło przed inicjatorami tego przedsięwzięcia, w tym przed budowniczym Jerzym Gruchalskim, który w najdrobniejszych szczegółach wspaniale odtworzył pierwszą, niemodyfikowaną wersję szybowca, można zadać pytanie: czy jest to szybowiec na dzisiejsze czasy? Erę projektowania komputerowego, maszyn numerycznych, futurystycznych konstrukcji kompozytowych i wiekowych doświadczeń w awiacji? Odpowiedź brzmi: nie. Do tego dochodzi jeszcze jeden aspekt, o którym nie powinniśmy zapominać – drewno: brak dostępności odpowiednio wyselekcjonowanego materiału i powszechny brak wiedzy o tym, jak to drewno obrabiać.

Wrona powstała jako szybowiec szkolny do nauki podstawowego pilotażu: startu, lotu po prostej, zakrętów o niewielkim przechyleniu i lądowania. Charakteryzowała się dobrym „czuciem sterów”, wybaczała błędy i wytrzymała wiele. Jednak loty na zboczu czy w termicie nie wchodziły w rachubę (choć były nieliczne wyjątki, jak ponad 4 godzinny lot Wroną-bis Piotra Mynarskiego na Żarze, jesienią 1936 r.). Spore opadanie własne oraz niewielka doskonałość aerodynamiczna czyniły Wronę dobrym materiałem do rozpoczynania przygody z lotnictwem, ale już nie do jej rozwijania. Bardzo mała masa własna, nawet poniżej 70 kg, ułatwiała wciąganie bądź nawet wnoszenie szybowca pod górkę startową, nawet przy pomocy rąk kursantów.



Rys. 2. Czajka II. Fot. NAC

Czajka II (1931 r.), też konstrukcji Kocjana, zachwycała osiągnięciami, jeśli zestawimy ją z Wroną. Charakteryzowała się większą o blisko 2,5 m rozpiętością skrzydeł (Czajka 11,28 m, Wrona 8,8 m), przy masie własnej 94 kg. To na niej pobito rekord długości lotu, wynoszący aż 5 godz. 56 min. I przy okazji rekord wysokości – całe 470 m nad startowisko! Pilot zasiadał komfortowo, w obudowanej (tekturą) kabine, a choć dalej nie posiadał żadnych przyrządów pilotażowych, to jednak wygodą lotu była nieporównywalna z kurzą grzędą Wrony.

Rewolucję przyniosła jednak Salamandra, szybowiec treningowy o oznaczeniu WWS-1 (1936), tym razem projektu Wacława Czerwińskiego. Produkowana w unowocześnionych wersjach także po wojnie, była powszechnie użytkowana w polskich aeroklubach aż do lat 60-tych. Salamandra, już jako szybowiec przejściowy (przed wycynowym Komarem), doskonale nadawała się do długotrwałych lotów na zboczu oraz w termicie. Posiadała przyrządy pilotażowe, w tym wariometr, zdecydowanie ułatwiający utrzymanie się w kominie. Była jednak sporo cięższa (masa



Rys. 3. Replika Salamandry 53, zbudowana w Zakładzie Szybowcowym w Jeżowie Sudeckim. Fot. Michał Ombach



Rys. 4. Wizualizacja komputerowa szybowca Axel. Fot. www.axelsailplanes.com

szybowca pustego ok. 140 kg) i – w odróżnieniu od Wrony i Czajki – nie mogłaby się dzisiaj wpisać w kategorię niekwalifikowaną.

Na przełomie wieku (współcześnie, ok. roku 2000) uzdolniony konstruktor i budowniczy z Rzeszowa, Zenon Pietruszka, stworzył prototyp ultralekkiego szybowca kompozytowego o bardzo małej masie. Szybowcem tym, także w wersji z napędem startowym, wykonywał udane i bezpieczne loty. Pracował nad wersjami rozwojowymi, wykorzystując swoją szeroką wiedzę i możliwości jakie wniósł w technikę lotniczą kompozyty. Projekt próbuje obecnie kontynuować firma Axel Sailplanes z Mielca, prezentując (na razie w wersji cyfrowej) bardzo zgrabny, superlekki szybowiec o przyzwoitych osiągnięciach.

O ile nowoczesny Axel może zamieszać na rynku i pobudzić apetyty tych, którzy – z różnych względów – nie mogą realizować swoich pasji przy wykorzystaniu sprzętu certyfikowanego, to jednak droga do wdrożenia tego produktu może okazać się długa: technologia budowy nie odbiega bowiem od technologii szybowców z certyfikatem typu, a zatem jest to proces wymagający i kosztowny.



Rys. 5. Szybowiec GOKO. Fot. Michał Ombach

Ostatnim punktem na liście jest GOKO, inspirowana amerykańskim Goatem hybryda, nawiązująca do tradycyjnych szybowców zboczowych, przed i powojennych (z częściowo otwartą kabiną pilota), zbudowana przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii i współczesnych materiałów. Szybowiec został zaprojektowany na trudne warunki terenowe i przystosowany do różnych rodzajów startu – od grawitacyjnego, przez liny gumowe, start za samochodem, wyciągarką a nawet samolotem i powinien mieścić się w kategorii UL 70, względnie – po zabudowie napędu – w kategorii UL 115. Prace nad projektem trwają,

nierozwiązana pozostaje kwestia osiągnięć, które – pomimo wyjątkowo poprawnej charakterystyki pilotażowej – okazały się słabsze od zakładanych. W planie jest budowa drugiego prototypu ze zmodyfikowanym skrzydłem, które diametralnie zmniejszy opadanie własne, czyniąc ze współczesnej Wrony, mix Czajki z Salamandrą.

Lista szybowców ultralekkich, które pojawiły się w Polsce w ostatnich dziesięcioleciach, wydaje się być wyczerpana. Przemysł szybowcowy, tak mocno rozwinięty do późnych lat 80-tych ubiegłego wieku, był ukierunkowany na produkty certyfikowane – szybowce zarówno szkolne jak i wyczynowe, nie wpisujące się w żaden sposób w kategorię UL, która zresztą w tamtych czasach nie istniała. W natłoku różnorodnych konstrukcji, nierzadko wspaniałych i konkurencyjnych do zagranicznych (wymienić warto SZD-24 Fokę, S-1 Swifta, SZD-55), tylko raz pojawił się rodzynek z rodziny ultralekkiej: to ULS-PW zespołu DWLKK Poli-



Rys. 6. PW-2 Gapa. Fot. Michał Ombach

techniki Warszawskiej, z roku 1981 (o masie własnej zaledwie 57 kg!). Fantastyczny i ponadczasowy, niestety pozostał jedynie w fazie (bardzo zresztą obiecujących) prób prototypu. Późniejsza, wzorowana na ULS, PW-2 „Gapa” (o masie własnej ok. 115 kg), atrakcyjna ze względu na otwartą kabinę, cechowała się zbyt dużym opadaniem własnym, zbyt wysokimi prędkościami lotu oraz niewielką skutecznością wysuniętych poza obris skrzydła lotek – zwłaszcza w locie żaglowym. Niestety, zarówno przepisy eksploatacji jak też specyfika zamkniętego wciąż rynku zachodniego (czasy żelaznej kurtyny), nie pozwoliły na spopularyzowanie tego wyjątkowego szybowca. Niewielka ich ilość trafiła po pewnym czasie za granicę, gdzie Gapy – w odróżnieniu od naszego kraju – cieszyły się sympatią szybowników.



Ogón samolotu LUBLIN R.XIII F. Fot. NAC