

TECHNIKA

1
2025

lotnicza i ASTRONAUTYCZNA

AVIATION AND SPACE TECHNOLOGY



Drodzy Czytelnicy!

Czas szybko mija i za nami już połowa kolejnego roku. Redakcja „Techniki Lotniczej i Astronautycznej” nie próżnuje i przygotowuje dla Was kolejny zestaw ciekawych tekstów. W najnowszym numerze zagłębicie się w tematykę modelarstwa lotniczego i poznacie niejedną jego odsłonę. Przeczytacie tu o tym, w jaki sposób wykorzystuje się modele latające do badań nad nowymi konstrukcjami powietrznymi oraz dowiedziecie się o nowoczesnej technologii autonomicznych systemów lotniczych. Jeden z autorów zapozna Was z tematem paliw do silników turbinowych, analizując znaczenie ich jakości i rodzaju, inny zaś opowie o materiałach kompozytowych stosowanych w modelach swobodnie latających.

Bohaterami numeru będą szybowiec GOKO, śmigłowiec Sikorsky S-76 MATRIX™, makieta latająca samolotu Van's RV-7 oraz model na uwięzi samolotu Fairey Swordfish.

Czy to wszystko? Bynajmniej. Dzięki lekturze najnowszych publikacji zapoznacie się także z badaniami nad modelem latającym w tunelu aerodynamicznym, a nawet znajdziecie się na chwilę na czeskim rynku wydawniczym z modelarskim czasopismem „RC revue” w ręku. Na zakończenie mamy także coś dla najmłodszych, czyli informację o pewnym konkursie dla przedszkolaków.

Zachęcenie do lektury? Jeśli tak, to zapraszamy na kolejne strony.

Dobrego odbioru życzy Redakcja

dr Elżbieta Nazaruk

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

Samolot z okładki

Jarosław Pytka

Modele latające to dla jednych zabawki, dla innych narzędzie rywalizacji sportowej, a jeszcze inni traktują je jako przedmiot badań i pracy naukowej. W przeszłości model latający był traktowany jako wytwór pasji, przedmiot pięknego hobby, a wypuszczanie i pilotowanie modeli było dla wielu sposobem na kreatywne spędzanie wolnego czasu. Do niedawna istniała również bariera rozdzielająca świat modeli od „dorosłych” samolotów. Działo się tak aż do momentu, gdy tzw. bezpilotowce, stosowane do zadań profesjonalnych, zaczęły przybierać coraz mniejsze rozmiary. Owa bariera uległa zatarciu, gdy prosty model latający, dostępny komercyjnie, zaczął wypełniać poważne misje, np. poszukiwawcze czy fotogrametryczne. Prawdziwą rewolucję przyniosło pojawienie się czterowirnikowców. Zdolność pionowego startu i lądowania, a także sterowanie asymetrią ciągu znacznie ułatwiły pilotaż, przez co lawinowo wzrosła liczba pilotów, zwanych operatorami BSP. Nastąpił wielki boom – sprzedaż dronów, zarówno popularnych, jak i profesjonalnych, wystrzeliła. Owe czterowirnikowce diametralnie zmieniły teatr wojenny w Ukrainie.

Bieżący numer „Techniki Lotniczej i Astronautycznej” poświęcamy niemal w całości modelarstwu lotniczemu, przy czym zawartość dotyczy tradycyjnych modeli latających, nie dronów. Międzynarodowa Federacja Lotnicza (FAI) od roku 1905 traktuje modelarstwo lotnicze jako dyscyplinę sportów

lotniczych. Współzawodnictwo w modelarstwie opiera się na dwóch zasadniczych kryteriach: wynikach osiągniętych w locie oraz wierności odtworzenia samolotu – pierwowzoru. Mierzalne osiągi w locie, będące kryterium zawodów to najczęściej długotrwałość lotu, typowa dla modeli swobodnie latających, a także wysokość lotu, stanowiąca cel zawodów modeli rakiet. Szczególnie widowiskowe są zawody modeli akrobacyjnych, gdzie wypełnienie kryterium polega na jak najdokładniejszym wykonaniu przez model (sterowany radiowo lub na uwięzi) zadanej wiązanki figur akrobacji lotniczej. W tym przypadku wynik zawodów nie zależy od mierzalnego parametru lotu, a od subiektywnej oceny komisji sędziowskiej. Jeszcze ciekawiej wygląda rywalizacja w klasach modeli redukcyjnych, tzw. makiet latających. Tu o zwycięstwie decydują dwa wyniki: ocena za wierność odwzorowania pierwowzoru w skali oraz punkty za lot.

Przykładem redukcyjnego modelu latającego klasy F4H jest makieta samolotu RV-7 w wykonaniu młodego modelarza z Czech, Vladimira Rynesa. Dzięki uprzejmości redaktora naczelnego czasopisma „RC revue”, pana Jiříego Rumiška, publikujemy obszerny artykuł opisujący budowę tego ciekawego modelu. Warto przy tym dodać, że Vladimír Rynes, debiutując z makietą RV-7 na Mistrzostwach Świata w Rumunii w roku 2024, zdobył brązowy medal. Serdecznie gratulujemy i życzymy złota!

TECHNIKA lotnicza i ASTRONAUTYCZNA



POLITECHNIKA
LUBELSKA



WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI
LUBELSKIEJ

Wydawca:

Politechnika Lubelska

ISSN: 2720-4340

e-ISSN: 2957-1049

Adres redakcji:

ul. Nadbystrzycka 36, pok. 604, 20-618 Lublin

Nakład: 100 egz.

Redaguje zespół:

Martyna Bawolska,
Ernest Gnapowski,
Jan Laskowski,
Tomasz Murawski,
Michał Ombach,

Redaktor naczelny

Jarosław Pytka, j.pytka@pollub.pl

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej:

Elżbieta Nazaruk – redakcja i korekta językowa
Łukasz Maj – skład i łamanie

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 Gotowala
(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 Zając
(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.)

Zamieszczone w numerze niepodpisane grafiki i tabele stanowią
opracowanie własne Autora danego artykułu.

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 powinny być dołączone jako osobne pliki wysokiej rozdzielczości. Należy pamiętać o podpisach oraz opisach alternatywnych do materiałów graficznych. Rysunki bądź tabele zaczerpnięte ze źródeł nienależących do Autora mogą być publikowane jedynie za pisemną zgodą właściciela praw autorskich, jeśli nie są one dostępne na wolnej licencji.
3. TLiA publikuje następujące rodzaje artykułów:
 - a) podlegające recenzji artykuły naukowe, w tym. standardowe, skrócone (tzw. noty techniczne lub inżynierskie), artykuły przeglądowe,
 - b) artykuły metodyczne, dydaktyczne, stanowiące opis z komentarzem do materiału dydaktycznego; do artykułów metodycznych, dydaktycznych można dołączać materiał uzupełniający w postaci np. prezentacji, filmów,
 - c) relacje, np. z konferencji, wystaw, konkursów, zawodów,
 - d) rozszerzone streszczenia prac dyplomowych, inżynierskich, magisterskich i doktorskich,
 - e) artykuły o popularnonaukowej treści technicznej, publikowane na prawach rękopisu.
4. Przygotowane artykuły można przysyłać za pośrednictwem platformy wydawniczej Lublin University of Technology Publishing House (LUT PH): <https://ph.pollub.pl/index.php/tlia/about/submissions>

Informujemy potencjalnych Autorów, że LUT PH jest internetowym systemem redakcyjnym typu Open Journal System, który umożliwia dwustronną komunikację między redakcją a Autorem. Znajdują się tam również szczegółowe wytyczne dla Autorów.



Rysunek na okładce: Martyna Bawolska

Spis treści

Metoda modeli latających w badaniach nowych konstrukcji statków powietrznych	4
O trudnościach w rozwoju szybowca GOKO i nie tylko	14
Technologia autonomicznych systemów lotniczych na przykładzie śmigłowca Sikorsky S-76 MATRIX™	22
Znaczenie jakości i rodzaju paliw w silnikach turbinowych	28
Czeski miesięcznik modelarski „RC revue”	35
Makieta latająca klasy F4H samolotu Van’s RV-7	36
Model latający na uwięzi samolotu Fairey Swordfish	56
Materiały kompozytowe w budowie modeli swobodnie latających	60
Badania modelu latającego klasy F1B w tunelu aerodynamicznym	68
Jubileusz stulecia Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie	72
Lot marzeń	75

Metoda modeli latających w badaniach nowych konstrukcji statków powietrznych

Jan Pytka

Farada Group Sp. z o.o.

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę modeli latających zastosowaną do badań nad nowymi konstrukcjami statków powietrznych. Omówiono istotę badań z wykorzystaniem modeli prototypów samolotów, śmigłowców i innych statków powietrznych. Zwrócono uwagę na wyposażenie pomiarowo-badawcze instalowane w modelach latających. Zaprezentowano przykłady modeli wykorzystywanych do badań. W podsumowaniu podkreślono korzyści wynikające z metody modeli latających, a także jej ograniczenia.

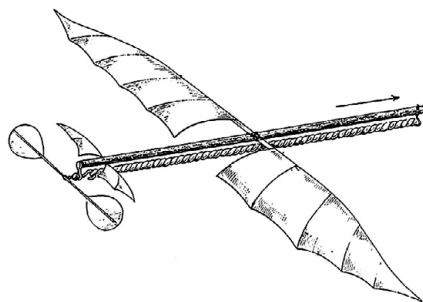
Słowa kluczowe: metoda modeli latających, statki powietrzne, badania i testy w locie

Krótką historia modelarstwa lotniczego

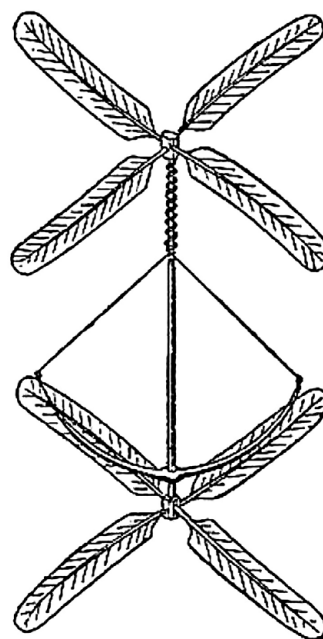
Chronologicznie modele latające znacznie wyprzedziły pełnowymiarowe statki powietrzne. Modelarstwo lotnicze istnieje od tysiącleci. W 425 r. p.n.e. Archytas z Tarentu, grecki matematyk i filozof, zbudował z drewna model latającego gołębia, napędzanego silnikiem odrzutowym na parę sprężoną (ryc. 1). Układ napędowy wyposażono w zbiornik na sprężony gaz, znajdujący się w „brzuchu” gołębia i dzięki temu był on w stanie przelecieć dystans ok. 200 m. Leonadro da Vinci eksperymentował z modelami maszyn latających własnej konstrukcji. W 1871 r. Francuz Alphonse Penaud zaprezentował w locie swój model z napędem gumowym, nazwany Planophore. Model Penauda wykonywał stabilny lot dzięki zakrzywionym końcówkom skrzydeł (zwichrzenie aerodynamiczne). Dodatkowo posiadał powierzchnię ustającą, co pozwalało na wykonanie ok. 60-metrowego lotu po prostej. Napęd stanowił sznur gumowy wraz ze śmigłem ciągnącym.

Zasada działania dzisiejszego śmigłowca także nie była nowa. Pierwszy model zdolny do pionowego startu i lotu skonstruowano w Chinach, ok. 400 r. p.n.e. Zbudowany był

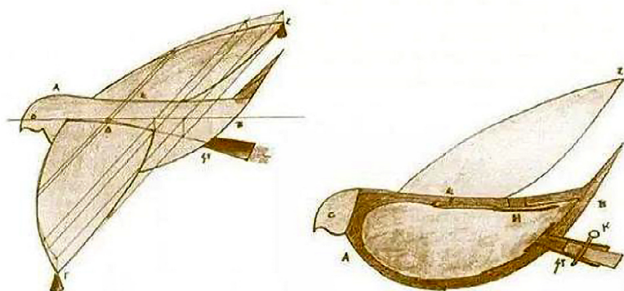
z piór przytwierdzonych do jednego końca drewnianej listewki, którą obracano między dłońmi w celu nadania prędkości obrotowej (energii kinetycznej). Następnie była ona wykorzystywana do wytworzenia siły nośnej obracającego się wirnika. W 1784 r. Francuzi Launoy i Bienvenu, przyrodnik i mechanik, zaprezentowali przed Francuską Akademią pierwszy napędzany mechanicznie model śmigłowca. Układ napędowy modelu składał się z dwóch współosiowych, przeciwbieżnych śmigieł, wprawianych w ruch obrotowy dzięki energii sprężystej, zgromadzonej w sprężynie prętowej [3].



Rys. 2. Planophore – model latający z napędem gumowym konstrukcji A. Penauda (źródło: FAI)



Ryc. 3 Model latający Launoya i Bienvenu demonstrujący zasadę lotu dzisiejszych śmigłowców [3]



Ryc. 1. Latający gołąb Archytasa z Tarentu (Źródło: FAI)

Szczególnie intensywny rozwój modelarstwa nastąpił na przełomie XIX i XX w. Budowano wtedy modele szybowców, a także modele z napędem gumowym oraz silnikowym. Głównym materiałem konstrukcyjnym były: drewno różnych gatunków, papier, bibułka oraz drut stalowy. Były to modele swobodnie latające. W roku 1927 w Wielkiej Brytanii Lord Wakefield ustanowił nagrodę przechodnią w formie pucharu (ryc. 4) jako nagrodę w dorocznych zawodach modeli z napędem gumowym. Tradycja przetrwała do dnia dzisiejszego, a obecnie wyczynowe modele z napędem gumowym startują w ramach klasy F1B FAI [1].



Ryc. 4. Puchar przechodni dla zwycięzcy zawodów modeli latających z napędem gumowym klasy F1B (źródło: FAI)

W latach 20. XX w. pojawiły się pierwsze modele latające z napędem na silnik spalinowy. Jako źródło napędu stosowano silniki jednocyldrowe z zapłonem iskrowym, ich pojemność skokowa wahała się w granicach kilkukilkunastu centymetrów sześciennych. Moc tych silniczków nie przekraczała 1 KM.



Rys. 5. Baby Cyclone C, typowy silniczek spalinowy do napędu modeli latających w latach 30. XX w. [12]

Po II wojnie światowej pojawiły się pierwsze radiowe aparaty do sterowania modeli w locie. Początkowo do budowy tych aparatów stosowano lampy elektronowe, co sprawiało, że urządzenia były ciężkie i o znacznych rozmiarach. Stanowiło to istotną wadę, szczególnie w przypadku wyposażenia pokładowego modeli (odbiornik, mechanizmy wykonawcze, źródła zasilania). Wraz z nadejściem tranzystorów, aparaty RC stawały się coraz lżejsze i mniejsze.

W latach powojennych następował dynamiczny rozwój silników spalinowych, przeznaczonych do napędu modeli latających. Wiele typów silników modelarskich produkowano przemysłowo w dużych seriach. Znacznie rozszerzył się zakres pojemności skokowych, od 0,16 do 20 cm³. Amerykańska firma Cox Engines zastąpiła z produkcji doskonałych i niezawodnych silniczków o pojemnościach od 0,16 do 2,5 cm³, które stanowiły napęd małych popularnych modeli, szczególnie przydatnych dla początkujących modelarzy [2].

W roku 1974 Fred Militky skonstruował pierwszy model latający z napędem elektrycznym. Model wyposażony był w miniaturowy silniczek elektryczny zasilany baterią akumulatorów NiCd.



Ryc. 6. Model latający z napędem elektrycznym Silentius [13]

Współczesne modelarstwo lotnicze

Modelarstwo lotnicze jest sportem lotniczym i jest podzielone na klasy modeli, zgodnie z regulaminem FAI. Wyróżniamy klasę modeli swobodnie latających, na uwięzi, zdalnie sterowanych, modeli makiet, modeli z napędem elektrycznym, akrobacyjnych przy muzyce czy kosmicznych. W ramach każdej z klas wyodrębniono podklasy, np. w klasie modeli swobodnie latających wyróżniamy modele szybowców F1A, modele z napędem gumowym F1B, z napędem silnikowym F1C, itd. Modele pozaklasowe są budowane w celach innych niż zawodnicze, a chodzi tu m.in. o szkolenia, hobby, rekreację. Występuje różnorodność napędów, przy czym wyraźna jest tendencja do zastępowania napędu spalinowego elektrycznym. Dynamiczny rozwój modeli zdalnie sterowanych nie byłby możliwy bez progresu w dziedzinie elektroniki i mechatroniki modelarskiej. Obecnie stosowane

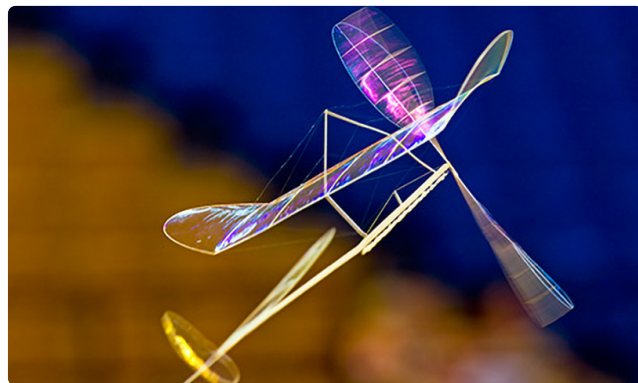
są najczęściej radiowe systemy wielokanałowe, działające w paśmie 2,4 GHz. Jeśli chodzi o materiały konstrukcyjne, mimo coraz większego udziału kompozytów, podstawowym budulcem modeli latających jest drewno balsowe oraz listwy sosnowe i sklejka brzoza. Natomiast w dziedzinie materiałów pokryciowych dokonał się przełom, gdyż tradycyjne papiery japońskie czy koreańskie zostały wyparte przez poliestrowe folie termokurczliwe. Zdecydowanie najbogatszy wybór materiałów konstrukcyjnych wykorzystywany jest do budowy makiet latających. W budowie tradycyjnych modeli latających stosowane są stosunkowo proste technologie obróbki drewna, a także klejenie jako technologia łączenia. Natomiast wykonanie modelu z kompozytów wymaga stosowania zaawansowanych technologii, w tym laminowania ciśnieniowego z użyciem promienników podczerwieni i innych.

Rozpatrując osiągi modeli latających w locie, należy przytoczyć kilka faktów. W sierpniu 2003 r. model latający TAM 5, Spirit of Butts' Farm, zbudowany przez amerykańskiego modelarza Manyarda Hilla, pokonał Ocean Atlantycki. Przelot o łącznej długości 3028 km, w czasie niemal 39 godzin rozpoczął się w Cape Spear na Nowej Funlandii, a zakończył w Irlandii, na plażach niedaleko Clifden. Jest absolutnym rekordem odległości w linii prostej dla modeli latających. Rekordowy model posiadał skrzydła o rozpiętości 1831 mm, ważył ok. 7,7 kg, z czego niemal 5 kg stanowiło masę paliwa, którym zasilany był czterosuwowy silnik spalinowy o pojemności skokowej 10 cm [8].



Ryc. 7. Rekordowy model latający TAM 5 Manyarda Hilla
(źródło: Wikipedia)

Typowy model halowy z napędem gumowym klasy F1D osiąga czas lotu rzędu pół godziny, przy masie całkowitej ok. 1 g. Warto dodać, że polscy modelarze Edward Ciapała i Ryszard Czechowski należeli do ścisłej światowej czołówki w klasie F1D, sięgając po tytuły mistrza świata. Szybowce zdalnie sterowane przystosowane do lotów na zboczu są najszybszymi bezsilnikowymi statkami powietrznymi. Podczas lotu na zboczu, wykorzystując efekt dynamiczny przyspieszania w wyniku oddziaływania wiatru, model szybowca rozpędza się do prędkości 800 km/h.



Ryc. 8. Model halowy z napędem gumowym klasy F1D [11]

Badanie nowych statków powietrznych z użyciem modelu latającego

Metoda polega na badaniu wybranych własności modelu latającego będącego zmniejszoną kopią projektowanego statku powietrznego. W Polsce pionierem tej metody w dziedzinie szybownictwa był artysta-malarz Czesław Tański. Zbudował szybowiec, którego koncepcję oparł o badania nad modelem latającym. Próby z modelem pozwoliły na udoskonalenie konstrukcji. Szybowiec Tańskiego wykonywał krótkie, ale udane loty ślizgowe [1]. Konstruktor eksperymentował również z modelami napędzanymi sznurem gumowym. Zbudował model dwusilnikowy, który wykonywał udane loty. Następnie przygotował model jednosilnikowy, będący pierwowzorem samolotu „Łątka”. O ile próby z modelem były udane, to pełnowymiarowa „Łątka” nigdy nie wzniosła się w powietrze, głównie ze względu na niewystarczającą moc silnika napędowego oraz zbyt dużą masę startową. Należy jednak odnotować, że w konstrukcji samolotu „Łątka” zastosowano kilka innowacyjnych rozwiązań, np. zmienny kąt zaklinowania skrzydeł, struktura skrzydeł wzorowana na skrzydłach ważki.

Współczesnym przykładem zastosowania metody modeli latających może być samolot Flaris, którego model został zbudowany w celu sprawdzenia koncepcji i zweryfikowania założeń aerodynamicznych (profil skrzydła, itd.) [4].

Dwupłatowy samolot akrobacyjny Harnaś został zaprojektowany przez Andrzeja Frydrychewicza. Opatentowany układ aerodynamiczny samolotu charakteryzuje się pionowymi powierzchniami łączącymi płat dolny z górnym. Skuteczność zastosowanego rozwiązania badano przy użyciu modelu latającego zbudowanego w skali 1 : 3. Model wykonywał lot nożowy z niewielkim wychyleniem steru kierunkowego i również niewielkim odchyleniem kadłuba w stosunku do kierunku lotu.

Metoda ta jest chętnie stosowana i daje dobre rezultaty [4].



Ryc. 9. Model samolotu Flaris (dzięki uprzejmości p. Andrzeja Mrocza)



Ryc. 10. Model samolotu akrobacyjnego Harnaś 3 (dzięki uprzejmości p. Andrzeja Mrocza)

Badania podzespołów statków powietrznych – studium przypadku modelu latającego z napędem PROPWING

Często występuje potrzeba testowania nowych podzespołów przewidzianych do zastosowania w statku powietrznym. W tym przypadku również możliwe jest użycie metody

modeli latających. Wówczas modelem do prób w locie nie musi być geometrycznie wierna kopia projektowanego samolotu, a jedynie uproszczony model, w którym zabudowany jest badany podzespół. Przykładem jest badanie innowacyjnego układu napędowego PROPWING [6]. W tym celu zbudowano model motoszybowca, oryginalnie napędzanego silnikiem elektrycznym ze śmigłem pchającym, umieszczonym

nad środkową częścią kadłuba. W skrzydłach modelu zainstalowano 4 pędniki PROPWING, składające się z silnika elektrycznego, śmigła i regulatora obrotów. Zestawiono układ zasilania, który umożliwił napęd modelu pojedynczym silnikiem albo pędnikami PROPWING. W ten sposób uzyskano możliwość bezpośredniego porównania obu napędów w jednym modelu. Pokazano go na rycinie 11.



Ryc. 11. Model motoszybowca zbudowany do testowania układu napędowego PROPWING [5]

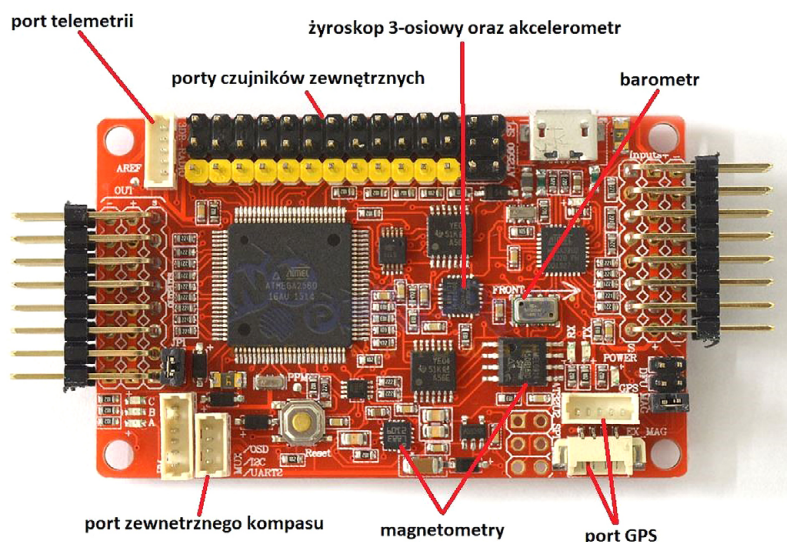
Pokładowe wyposażenie badawczo-pomiarowe

Aparatura pomiarowa w przedmiotowym modelu składa się z opisanego wcześniej systemu autopilota wspomagane go przez GPS, dzięki któremu SP wykonywał loty autonomiczne po zadanych wcześniej punktach trasy. Dane o poborze prądu oraz napięciu akumulatora głównego przekazywane są do autopilota poprzez czujnik prądu wpięty między akumulator a regulator prędkości obrotowej silnika. Za pomiar prędkości poziomej względem ziemi oraz prędkości pionowej (wznoszenia) odpowiada system GPS wspomagany barometrem. Barometr zainstalowany na płytce autopilota odpowiada także za wskazania wysokości względem punktu startu.

System autopilota zainstalowanego w modelu SP składa się z płytki elektronicznej Pixhawk. Kontrolery lotu tego typu wyposażone są w duże ilości sensorów. Wiele z nich znajduje się bezpośrednio na płycie elektronicznej jako układy w technologii MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*), są to np.: akcelerometry, żyroskopy oraz barometr. Dodatkowo podłączony został moduł odbiornika GPS z wbudowanym kompasem zewnętrznym, umożliwiające wykonywanie lotu autonomicznego po zadanych punktach na mapie, a także awaryjny powrót do miejsca startu w przypadku utraty kontroli nad modelem. Na poniższym schemacie przedstawione zostały główne sensory umieszczone na płytce autopilota (ryc. 12).

Autopilot został umieszczony w kadłubie modelu, w osi środka ciężkości na podłożu antywibracyjnym. Zasilanie urządzenia zapewnione jest poprzez regulator napięcia BEC 5V. Do autopilota podłączono nadajnik telemetryj działający na częstotliwości 433 MHz. Umożliwia on przesyłanie parametrów lotu oraz aktualnego położenia SP na mapie podczas wykonywania misji. Odbieranie danych telemetryjnych realizowane jest przez odbiornik telemetryj podłączony do komputera PC z odpowiednim oprogramowaniem, w tym przypadku jest to program o nazwie *Mission Planner* wspierający wszystkie autopiloty wyprodukowane na bazie platformy Arduino.

Pierwsze połączenie autopilota z komputerem polegało na odnalezieniu na stronie producenta odpowiedniego oprogramowania (w tym przypadku wspierającego BSP typu płytowiec), a następnie zainstalowaniu go w pamięci urządzenia. Reszta konfiguracji odbywa się także na komputerze z poziomu oprogramowania *Mission Planner*. Składają się na nią: konfiguracja akcelerometrów we wszystkich osiach, konfiguracja podłączonego odbiornika RC (kalibracja oraz przypisanie odpowiednich kanałów do poszczególnych funkcji tj. tryby lotów), kalibracja GPS, czujnika prądu oraz kompasu zewnętrznego. Kolejną ważną kwestią było zaprogramowanie systemu Failsafe umożliwiającego automatyczny powrót do miejsca startu w przypadku utraty kontroli nad sterowaniem.



Ryc. 12. Schemat płytki elektronicznej autopilota typu Pixhawk [5]

Dodatkowo konieczne okazało się obrócenie autopilota o 180° względem kierunku lotu, także w celu lepszego dostępu do urządzenia. Aby zapewnić prawidłowe działanie sprzętu, w parametrach zmieniona została orientacja położenia akcelerometrów o 180° w osi X.

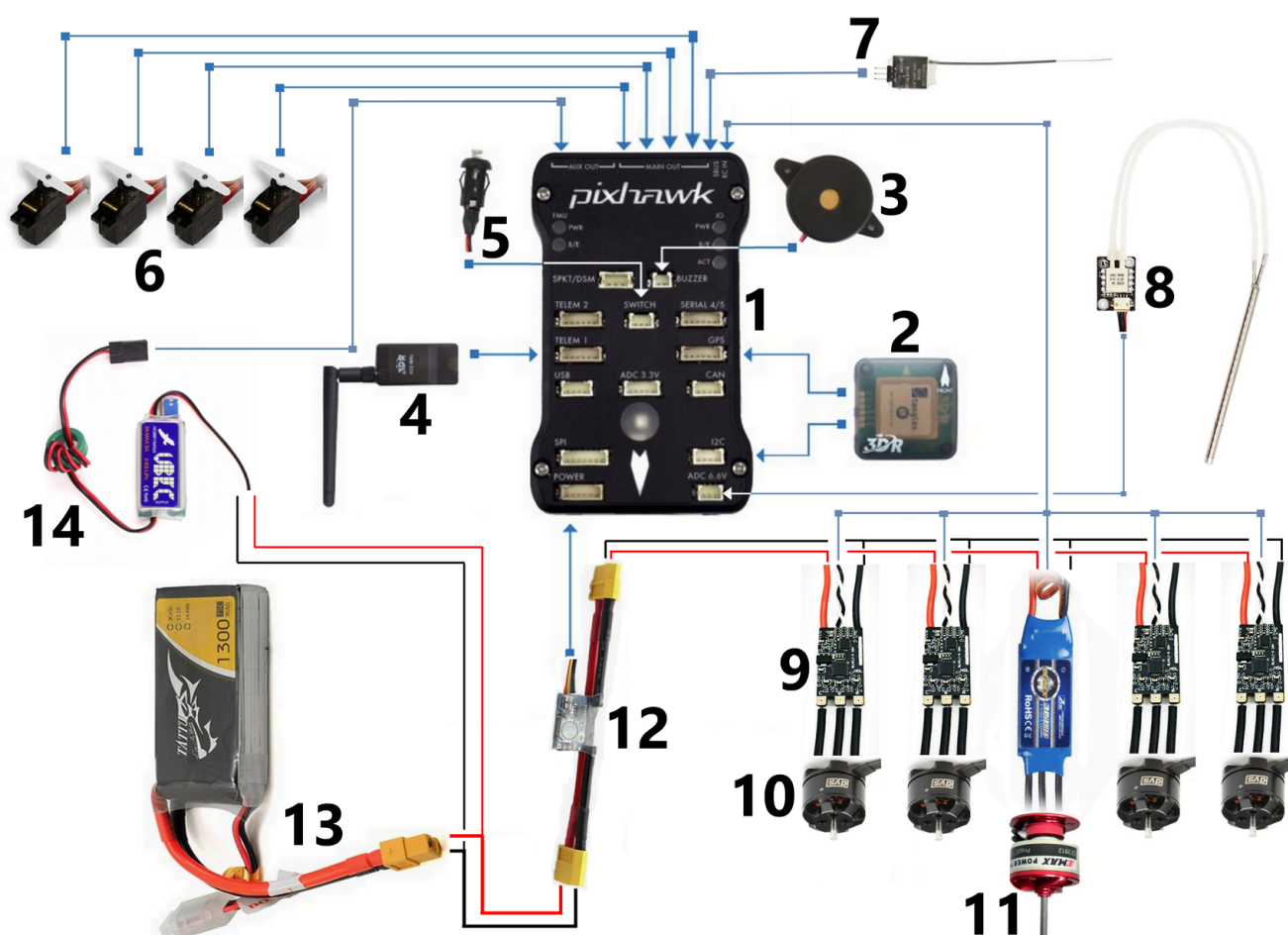
Porty wyjściowe serwomechanizmów zasilane są z zewnętrznego układu BEC 5V o maksymalnym obciążeniu prądowym 3A. Głównym źródłem zasilania jest akumulator litowo-polimerowy o napięciu nominalnym 11,1 V i pojemności całkowitej 1300 mAh. Po ukończeniu budowy modelu doświadczalnego jego ciężar całkowity wraz z akumulatorem głównym wynosił 764 g.

W celu zwiększenia dokładności pomiarów i uzyskania bardziej miarodajnych wyników na dziobie kadłuba zainstalowano odbiornik wraz z czujnikiem ciśnienia dynamicznego oraz statycznego (rurkę Prandtla). Po podłączeniu urządzenia do autopilota poprzez wyjście na czujniki zewnętrzne oraz po skalibrowaniu sensora uzyskano możliwość pomiaru

prędkości AS oraz ustaleniu stałej prędkości względem powietrza na czas trwania badania w locie. Dokładny schemat połączenia aparatury pomiarowej zainstalowanej na przedmiotowym modelu znajduje się na rycinie 13.

Próby w locie – przykładowe wyniki

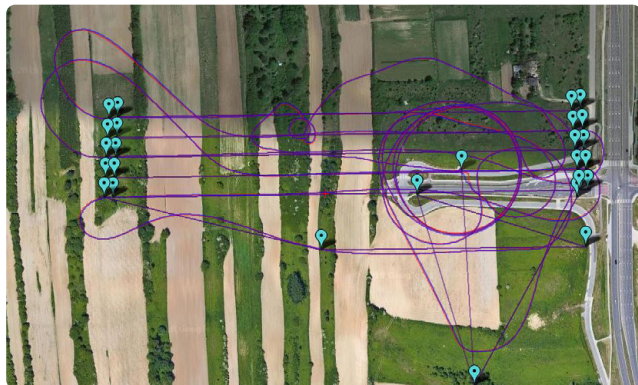
Podczas prób w locie obiekt badań wykonywał lot po zaprogramowanej trasie. Składała się ona z 5 przelotów nad bazą o długości 540 m na wysokości 100 m nad poziomem miejsca startu oraz z kilku kręgów wykonanych ze zwiększaniem wysokości do 150 m oraz ze zmniejszeniem wysokości do 50 m nad poziomem miejsca startu (ryc. 14). Podczas przelotu badane były parametry pracy układu napędowego, tj. pobór prądu przez silniki, aktualne napięcie akumulatora, a także parametry lotu: wysokość barometryczna, wysokość względem wskazań GPS, prędkość



Ryc. 13. Schemat aparatury pomiarowej.

Oznaczenia: 1 – autopilot Pixhawk; 2 – moduł GPS oraz kompasu zewnętrznego; 3 – brzęczyk informujący o stanie autopilota; 4 – moduł telemetry; 5 – przycisk bezpieczeństwa uzbrajający silniki; 6 – serwomechanizmy; 7 – odbiornik RC; 8 – czujnik prędkości powietrznej oraz rurka Prandtla; 9 – elektroniczne regulatory prędkości obrotowej silników w skrzydłach; 10 – silniki napędowe zainstalowane w skrzydłach; 11 – główny silnik napędowy wraz z regulatorem obrotów; 12 – czujnik napięcia i prądu; 13 – akumulator pokładowy LiPo 3S 1300 mAh 75C; 14 – moduł BEC 5V 3A do zasilania serwomechanizmów. [7]

wznoszenia podczas kręgów, prędkość AS oraz prędkość pozioma względem wskazań GPS. Zadanie, podobnie jak w przypadku pierwszego, zostało powtórzone dwukrotnie. Za pierwszym razem wykorzystano napęd tradycyjny, a za drugim silniki zainstalowane w skrzydłach.



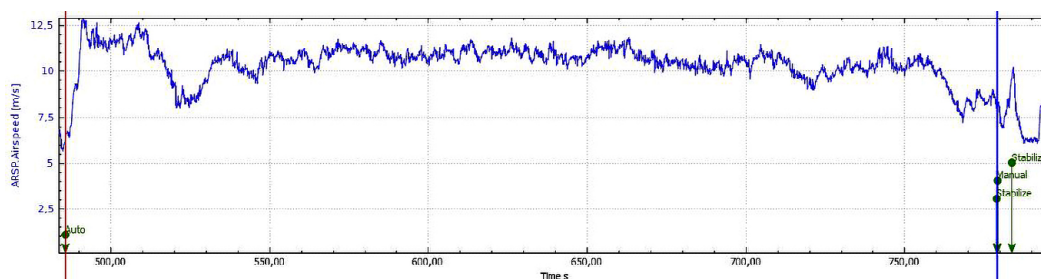
Ryc. 14. Przebieg lotu modelu z badanym układem napędowym PROPWING [5]

Na rycinach 15, 16 i 17 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów w locie. Rycina 15 zawiera wykres prędkości powietrznej AS. Analizując go, można zauważyć, że prędkość AS modelu badawczego podczas trwania badania oscylowała

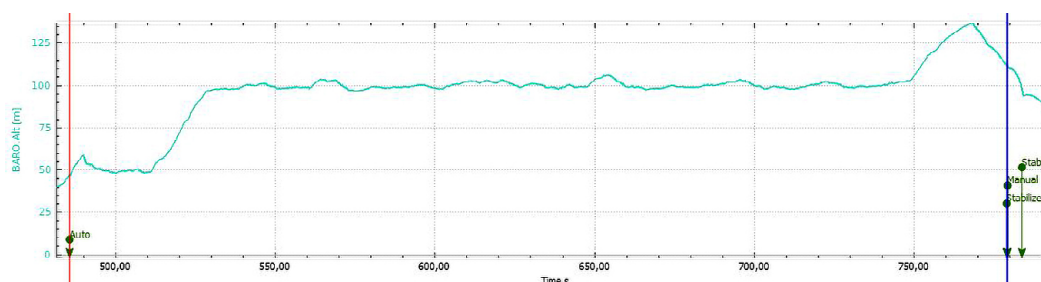
w granicy 10 m/s, tak jak było to zadane w parametrach misji przed lotem. Początkowy wzrost prędkości powstał w wyniku przelotu BSP z aktualnej pozycji do miejsca startu misji. Wówczas prędkość AS nie była jeszcze ustabilizowana przez autopilota.

Kolejnym parametrem lotu jest wysokość barometryczna, która była mierzona przy użyciu barometru zbudowanego w technologii MEMS. Mierzone było ciśnienie atmosferyczne, zredukowane do wysokości miejsca startu. Jak można zauważyć na wykresie (ryc. 16), podczas badania wysokość przez większość czasu wynosiła 100 m nad poziomem startu. W końcowej fazie nastąpiło przewyższenie do wysokości 137 m w celu pomiaru prędkości wznoszenia. Skupiając się na etapie zwiększania wysokości w sposób autonomiczny, można zauważyć, że model osiągnął przewyższenie o 35 m w czasie 20 s, co daje prędkość wznoszenia wynoszącą 1,75 m/s przy obecnej konfiguracji napędowej.

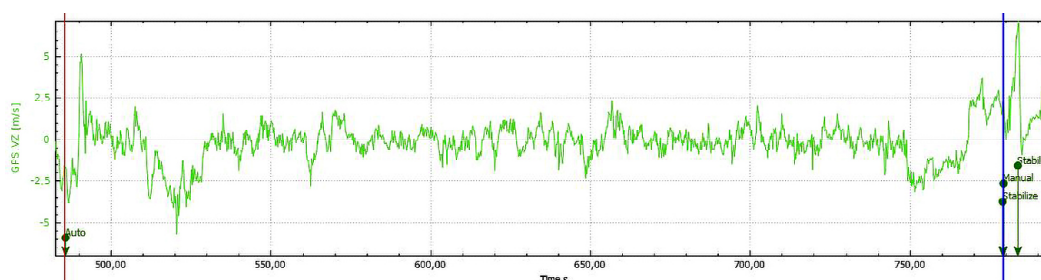
Finalnym parametrem lotu była prędkość pionowa (prędkość wznoszenia) wg wskazań GPS. Według danych zawartych na wykresie (ryc. 17), maksymalna prędkość V_z podczas lotu wynosiła 5,12 m/s, minimalna natomiast -5,67 m/s (maksymalne opadanie BSP). W większości parametr ten nie przekraczał wartości 2,5 m/s. Badając przedział czasu, w którym model wznosił się na wysokość 137 m zaobserwować można także przyrost prędkości V_z . Średnia wartość



Ryc. 15. Przebieg prędkości powietrznej zmierzonej podczas lotu próbnego [5]



Ryc. 16. Wykres obrazujący wysokość barometryczną lotu modelu badawczego [5]



Ryc. 17. Wykres obrazujący prędkość pionową względem wskazań GPS [5]

tego parametru w tym przedziale wynosi 1,63 m/s, co jest bliskie wartości 1,75 m/s zmierzonej przy pomocy barometru. Prędkość odświeżania zastosowanego typu odbiornika GPS wynosi 10 Hz.

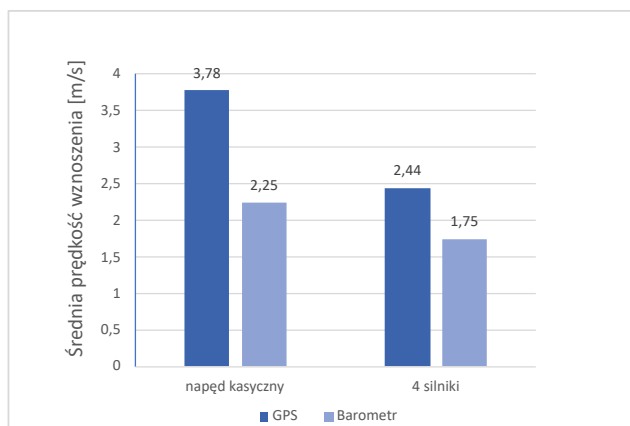
Przeprowadzone pomiary w locie pozwoliły na porównanie badanego innowacyjnego układu napędowego PROPWING z napędem klasycznym. Badania w locie z napędem klasycznym przebiegły w identyczny sposób jak w konfiguracji z 4 silnikami w skrzydłach. Trasa przelotu oraz czas badania były jednakowe. Zmierzone zostały te same parametry. Ich wartości porównano z poprzednimi wynikami i przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie ważniejszych parametrów dla dwóch konfiguracji napędu [5]

Parametr	Konfiguracja napędu	
	napęd klasyczny	PROPWING
średni pobór prądu [A]	4,3	11,87
maks. pobór prądu [A]	8,13	21
średnia prędkość AS [m/s]	10,53	10,49
średnia wysokość barom. [m]	96,1	96,6
średnia prędkość wznoszenia barom. [m/s]	2,25	1,75
średnia prędkość wznoszenia GPS [m/s]	3,78	2,44

Szczególną uwagę zwrócono na prędkość wznoszenia. Analizując odcinek lotu, w którym model wykonywał przewyższenie o 50 m obliczono średnią prędkość wznoszenia wyrażoną w m/s. Dane o aktualnej wysokości uzyskano dzięki pomiarom barometrycznym. Wyniki te zestawiono ze średnią prędkością wznoszenia wskazywaną przez GPS podczas nabierania wysokości, a następnie porównano je biorąc pod uwagę obie konfiguracje napędowe (ryc. 18) [5].

Prędkość wznoszenia obliczona ze wskazań barometru okazała się zbliżona w przypadku obu konfiguracji napędu. Wyniki na podstawie systemu GPS są natomiast nieco wyższe, co wynika z mniejszej dokładności pomiaru przyspieszenia w osi pionowej przez system GPS oraz przesunięcia fazowego (opóźnionej reakcji czujnika).

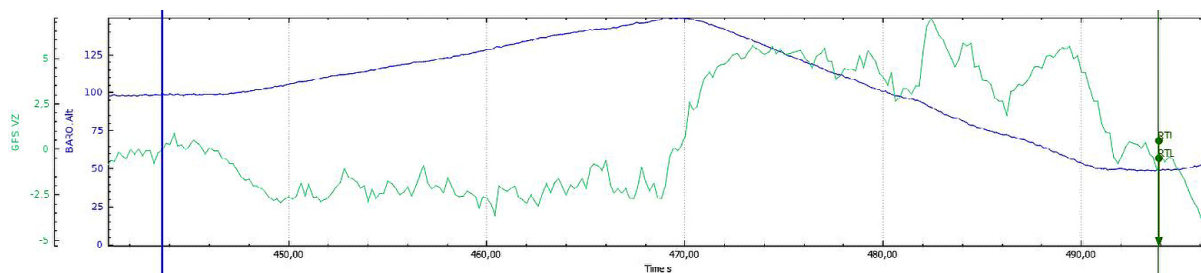


Ryc. 18. Średnia prędkość wznoszenia modelu podczas wykonywania przewyższenia dla obydwu konfiguracji napędowych [5]

Na rycinie 19 ciemniejszą linią oznaczono aktualną wysokość barometryczną w metrach, natomiast jaśniejszą – prędkość pionową według wskazań GPS w m/s. Widoczne jest opóźnienie we wskazaniu przyrostu prędkości wznoszenia w stosunku do zwiększania wysokości. Jest to fragment wykresu przedstawiający przebiegi dwóch parametrów w czasie zwiększania wysokości ze 100 m do 150 m nad poziomem miejsca startu.

Relacja pilota z lotów próbnych

Według relacji operatora modelu po przeprowadzonych próbach w locie stwierdzono mniejszą prędkość przelotową modelu w konfiguracji napędowej z 4 silnikami przy tym samym ustawieniu drążka sterującego prędkością obrotową silników w stosunku do lotu z klasycznym napędem. Napęd PROPWING wykazywał wystarczający ciąg, jednak, by utrzymać prędkość potrzebną do uzyskania zapasu siły nośnej, wymagał zwiększenia prędkości obrotowej silników napędowych. Model badawczy zachowywał właściwości stateczności podłużnej i poprzecznej w obydwu konfiguracjach napędowych. Podczas lotów z napędem zainstalowanym w skrzydłach nieznacznie mniejszą skuteczność wykazał ster kierunku oraz ster wysokości. Ważną kwestią był wysoki poziom hałasu o wysokiej częstotliwości generowany przez 4 silniki napędowe, który przy jednym silniku był znacznie niższy.



Ryc. 19. Porównanie wysokości barometrycznej (ciemny kolor) do prędkości pionowej względem GPS (jaśniejszy kolor) [5]

Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania modeli latających do badań nowych konstrukcji statków powietrznych. Omówiono rys historyczny rozwoju modeli latających z uwzględnieniem zastosowań w pracach badawczo-rozwojowych. Zaprezentowano praktyczne zastosowanie metody modeli latających na przykładzie badań układu napędowego PROPWING. Na podstawie przeprowadzonych badań w locie modelu z układem PROPWING stwierdzono, co następuje:

1. Model latający z napędem zainstalowanym w skrzydłach ma prawidłowe właściwości lotne, a otwory w skrzydłach nie wpływają znacząco na doskonałość lotu.
2. Napęd zainstalowany w skrzydłach składający się z 4 silników wykazał większe zapotrzebowanie na energię elektryczną, co odczytano z wykresów poboru prądu i spadku napięcia akumulatora zasilającego.
3. Osiągi w postaci prędkości wznoszenia modelu są nieco niższe w przypadku konfiguracji badanego napędu.
4. Na podstawie relacji operatora modelu stwierdzono niższą prędkość przelotową modelu przy tym samym ustawieniu przepustnicy w stosunku do klasycznego napędu oraz znacznie wyższy poziom hałasu generowany przez silniki zainstalowane w skrzydłach.

Okazuje się, że zaletą metody modeli latających jest dostępność i niski koszt urządzeń pomiarowych, jak i samego modelu. Metoda umożliwia pomiary w locie z wykorzystaniem układów telemetrii, będących wyposażeniem zaawansowanych aparatów do zdalnego sterowania. Ograniczeniem metody modeli latających jest niska prędkość lotu typowego modelu, co uniemożliwia osiągnięcie parametrów takich jak prędkość przepływu powietrza czy ciśnienie zewnętrzne panujących podczas lotu pełnoskalowego samolotu. Dodatkowo, nawet identyczny profil skrzydła w pomniejszonej skali ma inne charakterystyki aerodynamiczne niż skrzydło pełnoskalowe, co stanowi problem w sprawdzeniu konstrukcji pod względem osiągnięć czy oporów aerodynamicznych. Ponadto niewielki udźwieg modelu ogranicza zestaw pokładowego wyposażenia pomiarowego.

Bibliografia:

- [1] Elshtein, P. (1986). *Modelarstwo lotnicze w Polsce*. Seria: Biblioteczka Skrzydlatej Polski. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [2] Konieczny, J. R. (1976). *Na skrzydłach jak ptaki*. Seria: Miniatury lotnicze. Warszawa: Krajowa Agencja Wydawnicza.
- [3] Martinez, S. E. (2016). *Study and suppression of vibrations in rotary wing UAVs*. PhD Thesis, City University of London, School of mathematics, Computer Sciences and Engineering.
- [4] Mroczek, A. (2016). *Konstruktor. 26 rozmów z Andrzejem Frydrychewiczem*. Łódź: Wydawnictwo Galaktyka.
- [5] Pytko, J. (2020). *Doświadczalna weryfikacja układu napędowego statku powietrznego z silnikami elektrycznymi w skrzydłach*. Praca inżynierska. Dęblin: Lotnicza Akademia Wojskowa.
- [6] Pytko, J., Longwic, R., Gnapowski, E., Rypulak, A., Smolak, M., Bronisz, P., Kapszak, P., Pytko, J. (2019). *Skrzydło nośne z układem śmigło-silnikowym*, nr zgłoszenia P.424740, Biuletyn Urzędu Patentowego RP nr 19/2019, Warszawa.
- [7] Pytko, J. A., Gnapowski, E., Rypulak, A., Kasprzak, P., Pytko, J. D. (2018). *Sailplane wing integrated with a motor-propeller system*. Proc. XXXIV OSTIV Congress, Hosin, The Czech Republic.
- [8] Wierzbica, B. Wielki krok w małym lotnictwie. Modelem przez Atlanty. *Modelarz*, 4/2004.
- [9] <https://web.archive.org/web/20130911093946/http://www.modelaircraft.org/MAG/mhill/hillindex.htm> (dostęp: 24.06.2025 r.).
- [10] <https://www.fai.org/Penaud-Planophore-150-years-ago> (10.03.2025 r.).

Źródła fotografii:

- [11] <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2011/august/01/flying-skeletons-and-electric-hummingbirds>
- [12] <https://www.modelaviation.com/enginehistory>
- [13] https://outerzone.co.uk/plan_details.asp?ID=12381

Aktualne i archiwalne numery
TECHNIKI LOTNICZEJ I ASTRONAUTYCZNEJ
znajdziesz na platformie czasopism Wydawnictwa Politechniki Lubelskiej

TECHNIKA lotnicza i ASTRONAUTYCZNA

AVIATION AND SPACE TECHNOLOGY



zeskanuj i wejdź



O trudnościach w rozwoju szybowca GOKO i nie tylko

Michał Ombach

Członek Państwowej Komisji Badania Wypadków Lotniczych

Streszczenie

W artykule opisano szybowiec GOKO skonstruowany i zbudowany przez autora. Omówiono krótko historię powstania, szczegółowo przedstawiono wyniki prób w locie. Ponadto przedstawiono ogólną charakterystykę techniczną z zaznaczeniem najważniejszych szczegółów technologicznych. Podano szacunkowe koszty materiałów niezbędnych do zbudowania egzemplarza szybowca.

Słowa kluczowe: szybowiec GOKO, próby w locie

Wprowadzenie

Trudno jest połączyć ze sobą pasję latania oraz budowania szybowców. Niektórzy twierdzą, że to niemożliwe, a próba pogodzenia ze sobą tych aktywności źle się kończy: latamy mało i budujemy długo. Do tego dochodzą wydatki, które w przypadku prototypu przyprowadzają o ból głowy.

Przekonałem się o tym na własnej skórze. Jednak satysfakcja z lotu szybowcem, który powstał według własnego pomysłu, była i jest ogromna. Nawet jeżeli konstrukcja ma tak liche osiągi jak GOKO i nie wygląda „współcześnie”. Kłopot w tym, że gdy nasze dzieło lata, od razu chcemy więcej. Zaczynamy zmieniać, przerabiać, kombinować... Z szybowca, który fantastycznie sprawdziłby się jako szkolny – do nauki podstawowego pilotażu – próbujemy wycisnąć więcej. Czy to jest możliwe, a jeśli tak, to jakim kosztem?

Tak powstał drugi, mocno zmodyfikowany egzemplarz GOKO, bardzo podobny do poprzednika, ale jednocześnie o innych właściwościach pilotażowych i różniących się osiąгах. Drugie GOKO¹ zostało przygotowane również pod zabudowę silnika elektrycznego, bezpośrednio napędzającego trójtłopowe śmigło pchające. Samolot? Ani trochę. „Motoszybowiec” lub „szybowiec z napędem” brzmi lepiej.

Tymczasem, pomni osiągow pierwszego prototypu, zdecydowaliśmy się z kolegą, Mietkiem Krystą, na budowę zupełnie nowego skrzydła. Zależało nam w zasadzie tylko na jednym: zmniejszyć opadanie własne. I może odrobinę podnieść skuteczność sterowania lotkami. Pierwsze GOKO lata bowiem wspaniale, jest miłym, posłusznym, przewidywalnym i ewidentnie bezpiecznym szybowcem. Niestety, błędy popełnione na samym początku, polegające na doborze „mało nośnego” profilu skrzydła (dla ewidentnie większych liczb Reynoldsa



Ryc. 1. Oba prototypy na lotnisku w Łososinie Dolnej

niż w przypadku prędkości, z jakimi lata szybowiec o obciążeniu powierzchni 13 kg/m²), które dodatkowo wyposażyliśmy w kłapy, spowodowały znaczne opadanie. Zbyt duże, aby szybowiec „chciał wisieć” w termicie czy na żaglu.

Z tego też powodu w drugim egzemplarzu zastosowaliśmy gruby profil o bardzo dużym C_z przy możliwie niewielkich prędkościach lotu (niskich Re). Zwiększyliśmy wydłużenie skrzydła, wyklucziliśmy kłapy oraz bardzo starannie wyprowadziliśmy profil na kesonie. I, jak to bywa, przedobrzyliśmy... Prędkości lotu, i tak bardzo niewielkie dla szybowca „niebieskiego”, w przypadku „białego” jeszcze spadły – do wartości ekstremalnie małych. Szybowiec odrywa się bowiem już przy 32 km/h. Wielkie skrzydło „ssie” do góry nadzwyczajnie lekko! I to jest w porządku. Jednakże skuteczność sterowania poprzecznego nie jest optymalna, mimo stateczności szybowca przy wzlocie za samochodem (nawet przy zastosowaniu zerowego wzniosu skrzydła, co jest zmianą w porównaniu ze wzniosem 2,5° przy pierwszym prototypie). Obniżyła się ona nawet w stosunku do wyników pierwszego prototypu. Na szczęście można z łatwością holować o kilka km/h szybciej i wtedy efektywność lotek rośnie. Jest jednak wielką frajdą latać skrajnie powoli – to po prostu bardzo przyjemne. Tym bardziej, że GOKO ma taką samą charakterystykę pilotażową jak klasyczne szybowce.

Loty porównawcze, które realizowaliśmy w Łososinie w październiku 2024 r., ujawniły wiele rozbieżności pomiędzy oboma egzemplarzami. A przecież szybowce te wyglądają tak podobnie! Jak się okazuje, diabeł jednak tkwi w szczegółach. Ostatecznie, opadanie wyszło wyraźnie mniejsze (około 1,4 m/s dla pierwszego prototypu i 1,2 m/s dla drugiego), chociaż spadek prędkości dla maksymalnej doskonałości istotnie ogranicza obszar penetracji po wyczepieniu. Na przykład, w poszukiwaniu komina czy też w dolocie pod wiatr do lądowiska. Taki lot ma jednak swoje plusy, było to zresztą podstawowe założenie – szybowiec miał latać powoli i umożliwiać loty żaglowe przy słabym wietrze i z niewysokiego zbocza. To taki większy latawiec, jednak sterowany jak klasyczna aerodyna.

1 Stosowanie rodzaju nijakiego może wydawać się uchybiające, jednakże szybowiec plasuje się w kategorii urządzeń latających, dla tego takie właśnie miano – „ono” przyjęliśmy.

Wzloty za samochodem w warunkach ciszy w powietrzu (brak wiatru, brak termiki), przy zastosowaniu 160 m linki, pozwalały nam wznosić się do około 120 m AGL. To mizerna wysokość, z której w zasadzie można „planować się” jedynie do lądowania. Jednak GOKO wyróżnia się spośród innych szybowców tym, że został opracowany pod kątem lotów w tzw. trudnym terenie, głównie na zboczu. Manewrowanie nim prawie do samej ziemi nie jest ani trudne, ani niebezpieczne, jeżeli uwzględnimy czas potrzebny na podniesienie skrzydła z zakrętu. Prosty odbiornik GPS wraz z dokładną sondą barometryczną, pozwoliły nam zapisywać wiele parametrów lotu obu egzemplarzy. Zestawiliśmy ze sobą poszczególne wyniki, oceniając zgrubnie osiągi i, bardziej dokładnie, charakterystyki lotno-pilotażowe. Oto główne wyróżniki:

Prędkości w locie

Drugi egzemplarz charakteryzuje się wyraźnie mniejszymi prędkościami w locie: V_{min} , V_{ek} , V_{opt} , oraz zalecaną $V_{W/T}$ w stosunku do egzemplarza pierwszego.

Wartości prędkości obu szybowców

	Parametr	Prototyp 1	Prototyp 2
V_{min} [km/h]	Prędkość minimalna lotu	36÷38	32
V_{ek}	Prędkość najmniejszego opadania	40	36
V_{opt}	Prędkość maksymalnej doskonałości	44	42
$V_{W/T}$	Prędkość holowania za samochodem/wyciągarką (zalecana)	55÷60	50÷55
L/D	Doskonałość zmierzona (uśredniona)	>8	

Reakcje sterów i lot swobodny

Skuteczność lotek oraz steru wysokości w drugim egzemplarzu jest wyraźnie mniejsza niż w egzemplarzu pierwszym: reakcja na wychylenie jest wolniejsza, co sprawia, że czas powrotu do położenia równowagi (podniesienia skrzydła



Ryc. 2. Krótkie podejście do lądowania

do poziomu) jest wyczuwalnie dłuższy. Cechy te nie zakłócają sterowania szybowcem ani nie czynią tego sterowania utrudnionym – szybowiec jest jeszcze łagodniejszy w pilotowaniu niż poprzednik. Przyczyna takiego stanu rzeczy leży zapewne w większej powierzchni skrzydeł, nośnym i samostatecznym profilu oraz braku redukcji rozłożenia masy wzdłuż rozpiętości prostokątnego skrzydła (duże momenty bezwładności).

Lot na prędkości zbliżonej do optymalnej dla obu egzemplarzy nie wymaga ani oddawania, ani dociągania drążka. Ster wysokości przyjmuje neutralne położenie, szybowiec nie rozpędza się ani nie zwalnia. Utrzymanie lotu prostego jest możliwe bez udziału lotek i steru wysokości, wyłącznie przy sterowaniu kierunkowym (niewielkie wychylenia). Możliwe jest też wykonanie płaskiego zakrętu (o dużym promieniu) wyłącznie sterem kierunku, po puszczeniu drążka. Takie zachowanie testowaliśmy dla masy pilota (ze spadochronem) pomiędzy 80 a 100 kg. Szybowiec leci z prędkością optymalną i nie wykazuje tendencji do żadnych oscylacji podłużnych. Czas reakcji na „podniesienie” skrzydła wyłącznie wychyleniem steru kierunku jest dłuższy i wymaga przytrzymania steru (utrzymania wychylenia „nogi”) aż do wystąpienia reakcji.

Zakręty

W obu przypadkach, podczas zakrętów z przechyleniem powyżej 45°, aby podnieść skrzydło potrzebna jest duża siła na drążku, a czas powrotu do położenia równowagi wydaje się długi. Cecha ta nie pozwala na zdecydowane, ciasne manewrowanie w bezpośrednim pobliżu ziemi (np. na żaglu), a podchodząc do lądowania z zakrętu, nisko nad lądowiskiem, należy uwzględnić czas potrzebny do wypoziomowania skrzydeł przed przyziemieniem. Małe wydłużenie i wysoko zawieszone skrzydła właściwie wykluczają kontakt z lądowiskiem przy lądowaniu ze zwisem.

Szybowiec wykonuje prawidłowo i przy udziale wszystkich sterów zakręty z przechyleniem do 30. Wymagane jest niewielkie podciąganie sterem wysokości podczas fazy zakrętu ustalonego oraz delikatne podtrzymywanie przechylenia przeciwną lotką. Sterowanie jest klasyczne i typowe jak dla szybowców certyfikowanych. Skuteczność steru kierunkowego jest wyczuwalnie mniejsza od lotek oraz steru wysokości, jednak wystarczająco dobra do wykonywania w pełni skoordynowanych, płynnych i prawidłowych zakrętów.

Stateczność podłużna, wyważenie

Drugi egzemplarz jest ewidentnie mniej wrażliwy na znaczny załadunek w kabinie (ciężki pilot). Przy masie pilota do 90 kg warto więc stosować dodatkowy balast w postaci spadochronu (ok. 7 kg). Przy tej samej masie pilota środek ciężkości w locie dla nowego GOKO leży bardziej z tyłu niż w przypadku egzemplarza pierwszego. Wydaje się także, że środek parcia jest obecnie bardziej przesunięty do przodu. Mimo tego stateczność podłużna jest nie tylko zachowana, ale



Ryc. 3. Kabina, siedzisko wyposażone w pięciopunktowe pasy pilota

i wyższa niż dla pierwszego prototypu. W obu szybowcach celowo nie zabudowano trymera. Nie są potrzebne żadne korekty sił na sterownicy.

Oba szybowce testowaliśmy w szerokim zakresie kątów zaklinowania usterzenia poziomego wobec cięciwy skrzydła (cięciwy profili wzdłuż rozpiętości leżą w jednej płaszczyźnie): pomiędzy 2° a $5,5^\circ$. GOKO zachowywały się nienagannie, bez żadnej różnicy w sterowaniu. Moment pochylający w locie swobodnym jest wyraźny, ale bardzo delikatny. Zmieniały się jednak wyczuwalnie osiągi, w zależności od tego, na jakim kącie natarcia pracowało skrzydło. Ostatecznie zdecydowaliśmy się pozostawić kąt zaklinowania skrzydła do statecznika $5,5^\circ$ jako najbardziej optymalny dla uzyskania maksymalnego C_z , przy zachowaniu pełnego i typowego sterowania szybowcem.

Charakterystyka startu za samochodem i wyciągarką

Start za samochodem przypomina wzlot za wyciągarką, jednak jego przebieg jest dużo mniej dynamiczny. Szybowce GOKO nie mają tendencji do wyrwania startu, nawet w warunkach wietrznych. By być gotowym do startu za samochodem/wyciągarką, szybowiec powinien opierać się na płozie ogonowej. Eliminuje to występujący przy gwałtownym ruszaniu² moment siły, którego efektem bywa uderzanie płozą o nawierzchnię lotniska. Start jest intuicyjny i niebywale łatwy: przy drążku w neutrum szybowiec sam podnosi ogon i ustala jazdę na kole głównym. Utrzymanie równowagi poprzecznej nie sprawia żadnych trudności, pod warunkiem, że skrzydła do startu są ustawione poziomo. W zakresie bardzo małych przechyleń reakcja na wychylenie lotek jest natychmiastowa. Jeżeli jednak skrzydło opadnie na początku rozbiegu o kąt większy niż $25 \div 30^\circ$, podniesienie go wymaga wychylenia pełnej przeciwnej do przechylenia lotki i długiego odczekania na reakcję. GOKO odrywa się samo lub przy niewielkim udziale pilota (delikatne ściągnięcie drążka). W zależności od tego, jak przyspiesza samochód, rozbieg w warunkach bezwietrznych wynosi $60 \div 80$ m.

² Przy oparciu szybowca na kole przednim i gwałtownym naprężeniu liny przez wyciągarkę (lub przy szarpnięciu samochodem) szybowiec, ruszając, uderzy płozą ogonową o ziemię.



Ryc. 4. GOKO podczas próby lotu żaglowego nad Słonnem

Gdy startujemy za wyciągarką, szybowiec jest w powietrzu już po około 20 m. Przejście na łagodne i strome wznoszenie musi być zainicjowane płynnym, niewielkim ściągnięciem drążka sterowego na siebie.

GOKO posiada jeden zaczep do startu za samochodem, wyciągarką i ewentualnie samolotem UL. Ulokowanie zaczepu mniej więcej w połowie odległości pomiędzy środkiem ciężkości w locie a nosem szybowca przekłada się na brak trudności w utrzymaniu kierunku podczas rozbiegu i wzlotu oraz zapewnia optymalny kąt stromego wznoszenia.

Zachowanie równowagi podłużnej podczas startu za samochodem (za wyciągarką) jest tożsame dla obu szybowców. Podczas ustalonego stromego wznoszenia drążek sterowy pozostaje w pozycji neutralnej do „lekko, a następnie mocniej ściągniętej” w górnej fazie wzlotu (pojawia się wtedy moment pochylający od liny holującej, któremu należy przeciwdziałać).

Uzyskiwane wysokości i wyczepienie liny

Przy lince o długości 200 m i umiarkowanym wietrze możliwe jest osiągnięcie wysokości do 180 m AGL. Do holowania GOKO wykorzystujemy najzwyczajszą linkę propylenową $\varnothing 6$ mm, o wytrzymałości na rozciąganie około 400 daN, z rdzeniem z jedwabiu poliestrowo-polipropylenowego. Jest lekka, elastyczna i doskonale łagodzi szarpnięcia. Przy lince o długości 250 m, przy czołowym wietrze ok. 5 m/s, uzyskiwaliśmy wysokości wyczepienia powyżej 200 m AGL.

Wyczepienie następuje automatycznie lub po pociągnięciu uchwytu wyczepu, w najbardziej pożądanym punkcie wzlotu. Przy samowyczepie, kąt wyznaczony przez linkę w stosunku do płaszczyzny drogi startowej wynosi około 70° , a szybowiec musi być mocno „przytrzymywany” sterem wysokości „na siebie”. Jeżeli samochód nie przyspiesza, w warunkach bezwietrznych, szybowiec utrzymuje na hoku stałą wysokość i leci nad/za samochodem. Pozwala to obserwować holującego i wyczepić się w odpowiednim miejscu, chociażby po to, aby samochód mógł płynnie wyhamować przed końcem lotniska.

Wyczepieniu nie towarzyszy żadna tendencja do „wyrwania” dziobu ponad horyzont. Konieczna reakcja pilota na uchwycenie kąta szybowania do lotu swobodnego jest nieznacząca (nie ma potrzeby wyraźnego oddawania drążka w celu przejścia na podkrytyczne kąty szybowania).

Zniżanie i planowanie do lądowania

Oba szybowce nie posiadają hamulców aerodynamicznych. W przypadku nadmiaru wysokości do lądowania skuteczne okazuje się nurkowanie: szybowiec zdecydowanie zwiększa opadanie, jednak przyrost prędkości jest nieproporcjonalny i niewielki – rosną bowiem znacząco opory ruchu. Na prędkościach okołooptymalnych można stosować ślizgi o niewielkim odchyleniu kierunkowym. Przy wychyleniu dość mocno sterze kierunku i przeciwnej lotce (przechylenie powinno być niewielkie), szybowiec zwiększa opadanie i nie rozpędza się. Nie występuje zjawisko „wciągania sterów” ani ich trzepotanie (buffeting), utrzymanie kąta ślizgu jest łatwe. Pojawiają się za to zaburzenia wskazań prędkościomierza. Jednak ocena prędkości lotu jest intuicyjna i nie nastręcza trudności: pilot jest wystawiony przeciw na opływ powietrza, słyszy szum szybowca oraz czuje siły aerodynamiczne na sterach. Podniesienie skrzydła ze ślizgu odbywa się sprawniej niż z zakrętu, dlatego ślizg może być kontynuowany do niewielkiej wysokości nad ziemią (10÷5 m AGL).

Transport na ziemi, montaż i demontaż

Pomni pewnych ułomności pierwszego egzemplarza, staraliśmy się z kolegą poprawić ten drugi. Nie wszystko się udało, ale zanotowaliśmy pewne zmiany jako „dobre”. Demontaż po dniu lotnym to już dzisiaj standardowa praktyka, zatem szybowiec powinien być łatwy do składania i pakowania do przyczepy bądź w kąt hangaru. Skrzydła nowego GOKO ważą po 32 kg każde. Są wielkie i przez to niezbyt poręczne, jednak umiarkowana masa i sztywny keson pozwalają na ich swobodne przenoszenie i „manewrowanie”, w dwie osoby. Technika montażu i demontażu szybowca polega, najogólniej mówiąc, na ustawieniu kadłuba na podstawce, pasowaniu okuć skrzydła z centroptatem, założeniu dwóch sworzni i ich zabezpieczeniu, podpięciu zastrzału oraz podłączeniu napędu lotki. Montaż możliwy jest w dwie osoby, a na czas łączenia ze sobą okuć centroptata i skrzydła, końcówka skrzydła oparta jest o ziemię. Tak samo postępujemy z drugim skrzydłem, przy czym to już założone dalej może być podparte na końcówce na ziemi lub wypoziomowane na podstawce. Statecznik poziomy przychodzi wraz ze sterem i jest mocowany na tylnym pojedynczym okucie oraz przedniej śrubie, skręcającej okucie z belką kadłuba. Dodatkowo podpieramy go dwoma rurkowymi zastrzałami, a ster wysokości podłączamy ręcznie. Na koniec, głównie



Ryc. 5. GOKO w locie na holu za samolotem Tulak

ze względu na dość elastyczny ogon, cały szybowiec spinamy linkami sztormowymi, które utrzymują jego geometrię.

Regulacja linek ściągaczami jest zbędna, bowiem bardzo łatwo jest „ponaciągać” elementy składowe ręcznie (końcówka skrzydła „do przodu”, ogon na bok), aby zamocować linki. Szybowiec poskładamy i sprawdzimy w czasie do 30 minut. Natomiast składanie IS-3 „ABC”, wg ówczesnej instrukcji, trwało około 2 godzin! Sam montaż PW-2 „Gapa” to zaledwie 10 minut.

Na start ciągniemy GOKO na lince za samochodem, rowerem elektrycznym albo po prostu – za rury zastrzałów – w dwie osoby. Wyważenie nie jest dość szczęśliwe, bo szybowiec bez pilota stoi na kole głównym i opiera się płozą ogonową. Przednie kółko (rozbiegowe/dobiegowe) jest w górze. Jednak takie właśnie położenie koła głównego zapewnia najbardziej korzystny „balans” przy rozbiegu do startu – szybowiec sam „jedzie” na jednym kole, trzymając równe sobie prześwity pomiędzy kółkiem przednim a ziemią oraz płozą na ogonie a ziemią.

O tym, jak właściwie dobrane zostało położenie koła głównego, świadczy fakt, że przy średnio silnym wietrze, ćwicząc chwiejnicę, możemy śmiało podnosić sterem wysokości dziób, trenując nie tylko równowagę poprzeczną, ale także... podłużną!

Do transportu szybowca oraz jako hangaru używamy blaszanej przyczepy „domowej roboty”. Pomijając kwestie formalnej rejestracji, bazowaliśmy na konstrukcji kratownicowej (spawanej z zamkniętych profili stalowych) obłożonej cienką aluminiową blachą trapezową (nitowaną do profili). Zakładki blachy „na dachu” dodatkowo doszczelniliśmy samowulkанизującą się taśmą aluminiowo-gumową typu „aluband”.

Technologia, materiały, budowa

Szybowiec wykonany jest w technologii mieszanej. Konstrukcję kadłuba i skrzydła tworzą łączone ze sobą zamknięte profile aluminiowe (głównie rury). Kształt skrzydła tworzą żebra oraz – w przypadku drugiego egzemplarza – zamknięty keson o konstrukcji przekładkowej cały w technologii laminatów szklano-epoksydowych. Skrzydła podparte są podwójnymi zastrzałami z rur aluminiowych i dodatkowo usztywnione na wyboczenie, w połowie długości. Płaskie usterzenie poziome oraz ster kierunku zrobiony został z rurek stopu PA. Całość konstrukcji obłożona jest syntetyczną, termokurczliwą tkaniną Oracover (niestety kosztownie drogą i tracącą swoje napięcie w niskich temperaturach oraz przy wysokiej wilgotności powietrza). Takie pokrycie jest jednak bardzo wytrzymałe, odporne na deszcz i czynniki chemiczne oraz łatwe w ewentualnej naprawie.

Kadłub i centroptat oparte są na stalowej, spawanej konstrukcji siedziska pilota, dodatkowo obłożonej grubym laminatem. Jest to wszystko mocne i niepotrzebnie tak ciężkie, ale idea użytkowania szybowca w trudnym terenie (górki modelarskie, nierówne lądowiska) zaważyła na wyborze takich właśnie struktur.

Napędy sterów stanowi kombinacja popychaczy rurkowych, dźwigni kątowych oraz – w przypadku lotek – także

linek. Ster kierunku napędzany jest linkami prowadzonymi w poliamidowych Bowdenach.



Ryc. 6. GOKO w locie nad łosińskimi sadami

Prace przy każdym egzemplarzu pochłonięty setki godzin. Nie byliśmy z kolegą w stanie tego precyzyjnie policzyć, ale sama budowa nowego skrzydła do drugiego szybowca trwała około pół roku. Wykorzystywaliśmy maszynę CNC do wycinania żeber, ale także do wytworzenia form na keson, końcówki skrzydeł i elementy kompozytowe struktury wewnętrznej. To typowe dla prototypów – zawsze są one horrendalnie drogie i bardzo, ale to bardzo pracochłonne. Oczywiście, gdy mamy przygotowane formy i opanowaną technologię, budowa kolejnego GOKO będzie o wiele krótsza.

Ceny materiałów surowych, takich jak tkaniny szklane, pianka typu Herex, żywica i wypełniacze, są bardzo wysokie. To wydatek około 13 000 PLN na jeden szybowiec. Laminowanie przekładek (sandwicha) na żebra i keson wymagać będzie dysponowania układem podciśnienia – aby odsysać nadmiar żywicy i zapewnić dobre, równomierne przyleganie tkaniny do pianki. Pompa podciśnienia to wydatek rzędu kilku tysięcy złotych. To w zasadzie jedyne urządzenie specjalistyczne. Resztę stanowi może typowe wyposażenie warsztatu-modelarni, przy czym bardzo przydatny okaże się kompresor napędzający narzędzia pneumatyczne.

Rury aluminiowe i profile stalowe nie wymagają atestów. Kosztują stosunkowo niewiele – około 4 000 PLN. Prace ślusarskie pochłoną jednak sporą liczbę roboczogodzin, nad samym metalem spędzimy bowiem w warsztacie około 300 h. Niektóre elementy, jak dźwignie i okucia, można wyciąć z aluminium/stali laserem lub wodą, w oparciu o pliki CAD (koszt wycięcia od kilkuset PLN w górę). Do wielu elementów potrzebujemy tokarki lub musimy zamówić te części. Dużo czasu zajmie także montaż zespołów, choć jest on intuicyjny, a dokumentacja kompleksowa i czytelna. Do złożenia szybowca potrzebować będziemy sporo normalek: śrub, wkrętów, nitów, nitonakrętek (koszt to kilkaset złotych). Bardzo poważny wydatek to tkanina pokryciowa wraz z osprzętem i niezbędną chemią – ponad 12 000 PLN. Za pasy, zaczep i podstawowe przyrządy pokładowe (prędkościomierz, wysokościomierz, wariometr, chyłomierz poprzeczny) zapłacimy około 10 000 PLN. Całość, tj. materiał plus prace, gdyby budować kolejny egzemplarz, należy szacować na około 50÷55 000 PLN brutto. Kwota ta nie uwzględnia jednak wydatków związanych z wynajmem i/lub utrzymaniem warsztatu. Sporą kwotę pochłonią oświetlenie i ogrzewanie, bowiem temperatura i wilgotność

to kluczowe parametry, które muszą być utrzymane przy pracy z żywicą.

Cały koszt wydaje się dość duży jak na szybowiec tej klasy, tym bardziej, że w zbliżonej cenie jesteśmy w stanie kupić na rynku wtórnym gotowe do lotu, sprawne fizycznie i formalnie, najtańsze szybowce certyfikowane.

Wnioski, nie zawsze pozytywne

Przyzwyczajiliśmy się do tego, że gdy ktoś opisuje swój produkt, własne dokonania, często koloryzuje. Zwłaszcza gdy stoi za tym potencjalny biznes. Niczego takiego nie ma w przypadku GOKO. Zbyt długo funkcjonuję w lotnictwie, aby naciągać rzeczywistość i nie mam w tym żadnego interesu. Faktem jednak pozostaje, że jest to szybowiec złożony, a nawet skomplikowany i konstrukcyjnie, i technologicznie. Wynika to w dużej mierze z pierwotnego zamierzenia, które formułowałem mniej więcej tak: „korzystamy ze sprawdzonych, typowych dla szybowców rozwiązań, eliminujemy praktyki i rozwiązania «garażowe», jakie zawierał amerykański Goat M. Sandlina”. Projekt został zapoczątkowany w Allstar PZL Glider jako SZD-60. Po wycofaniu się APG pierwszy egzemplarz budowaliśmy i uczylimy latać prywatnie z kolegą. A potem wielokrotnie modyfikowaliśmy GOKO.



Ryc. 7. Szczegóły podwozia oraz przeniesienia napędu lotek

Drugie GOKO powstało w ramach projektu dofinansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP). Pomimo zachowania ogólnej koncepcji i kształtu, jest to już zupełnie inny szybowiec. Także w opcji z napędem.

Pewne jest to, że proces uczenia się tego, co i jak poprawiać w nowej konstrukcji trwa bardzo długo. Czasami bez odpowiedzi pozostaje pytanie: „jak to zmieniać i dla czego akurat w ten sposób”? Zmiany wiążą się z fizycznymi

przeróbkami, gdzie konieczne jest transportowanie szybowca do i z warsztatu. Jest to po prostu uciążliwe.



Ryc. 8. Holowanie na start

Przestaliśmy przejmować się środowiskiem, w którym zdarzali się nieprzychylni wobec tego, co robimy. Cóż, zazwyczaj najczęściej do powiedzenia mają ci, którzy nigdy nie budowali nawet papierowych modeli. Krytyka przychodzi łatwo, ale do tej pory nie wychwyciłem w niej mądrych przesłań. Piszę to po to, aby przestrzec potencjalnych adeptów konstruowania i budowania także przed tym aspektem.

To wszystko nie jest takie proste. Angażuje, wymaga wielu wyrzeczeń i nakładu pieniędzy czy też ogromnego wkładu pracy przy sumiennym rozliczaniu dotacji. Trudności sprawiają przede wszystkim niekończące się działania administracyjne, a nie samo budowanie, próby czy loty szybowcem.

Z drugiej strony budowanie bywa bardzo satysfakcjonujące! W Polsce właściwie nie ma aktualnie inicjatyw budowy szybowców. Pomijam tu pasjonata Jerzego Gruchalskiego ze Ślesina, dla którego odtwarzanie replik to misja życiowa. Mimo że to zajęcie dalekie od konstruowania, jest to piękna i wartościowa, służąca innym praca. Jednak potrzebujemy szybowców tu i teraz, na lotniskach, a nie tylko eksponatów do oglądania w Muzeum Lotnictwa Polskiego.

Tymczasem żadna z kilku polskich firm nie pokusiła się od lat o cokolwiek nowego. Ośrodki, politechniki, sieci badawcze? Mimo że jest ich dużo, oferują bardzo niewiele. To niedobrze, bo, przynajmniej teoretycznie, te firmy i instytucje mają potencjał, aby pojawiały się nowe konstrukcje. Jeżeli któraś cokolwiek tworzy, to są to jednostkowe modyfikacje projektów sprzed kilkadziesiąt lat. I prace te trwają latami. Mam wątpliwości, czy służy to komukolwiek bądź czemukolwiek poza doraźnym celem konsumowania dotacji przez wąskie środowisko. Ale, jak nadmieniałem, już samo rozliczanie projektu to wymagający i uciążliwy projekt.

Mimo wszystkich niedogodności, serdecznie zachęcam do podejmowania inicjatyw. Choćby na papierze, w postaci szkiców, obliczeń, modeli cyfrowych czy fizycznych modeli RC w skali. To mądre, rozwijające zajęcie.

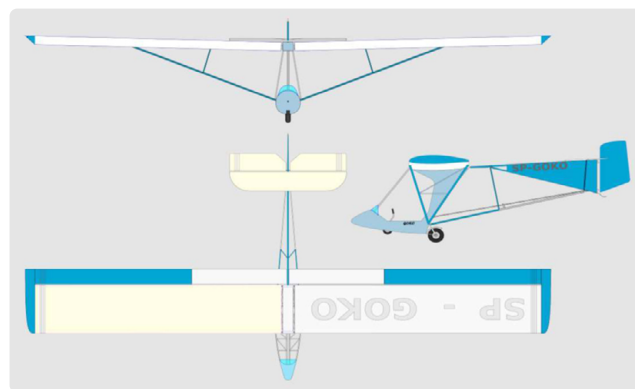
Nie bądźmy krytykami wszystkiego wokół. Mamy marzenia, przygotowaliśmy koncepcję lekkiego, zgrabnego, w pełni kompozytowego szybowca. „Ale to już było!” – zaoponują niektórzy. Tak, 30 lat temu był projekt PW-2 „Gapa”. I co? Otóż, nie wykorzystano zupełnie potencjału tej konstrukcji. Nie wykorzystano również wiedzy, talentu i pasji warszawskiego zespołu. Japończycy do dzisiaj zachwycają się „Gapką”, bezpiecznie skuteczniają krótkie loty, w których biorą udział także dzieci. Przykre, że ten – w moim pełnym przekonaniu – udany, fantastyczny wręcz szybowiec znalazł

uznanie wszędzie tylko nie u nas. Jedyna latająca w kraju „Gapa” znajduje się w rękach kolegi z Mielca. Ile radości daje lot tym szybowcem, wiedzą ci, którym Paweł go udostępnił. Ja wiem, bo też czasem korzystam.

Podsumowanie

Latajcie na szybowcach, projektujcie, a może i budujcie. Pracujcie wspólnie, bo inicjatywy samodzielne mają marne szanse powodzenia. Przepisy dotyczące urządzeń latających dają pewne możliwości obejścia nadzoru lotniczego, który na pewno nie pomoże Wam w projektowaniu i budowie, ale nie będzie też przeszkodą.

Na razie wygląda na to, że pierwszym konstruktorem będzie firma Blanik Aircraft z Czech ze swoim, jakże zgrabnym szybowcem UL 120, opisanym w kwietniu 2024 r. niemieckim miesięczniku „Aerokurier”³.

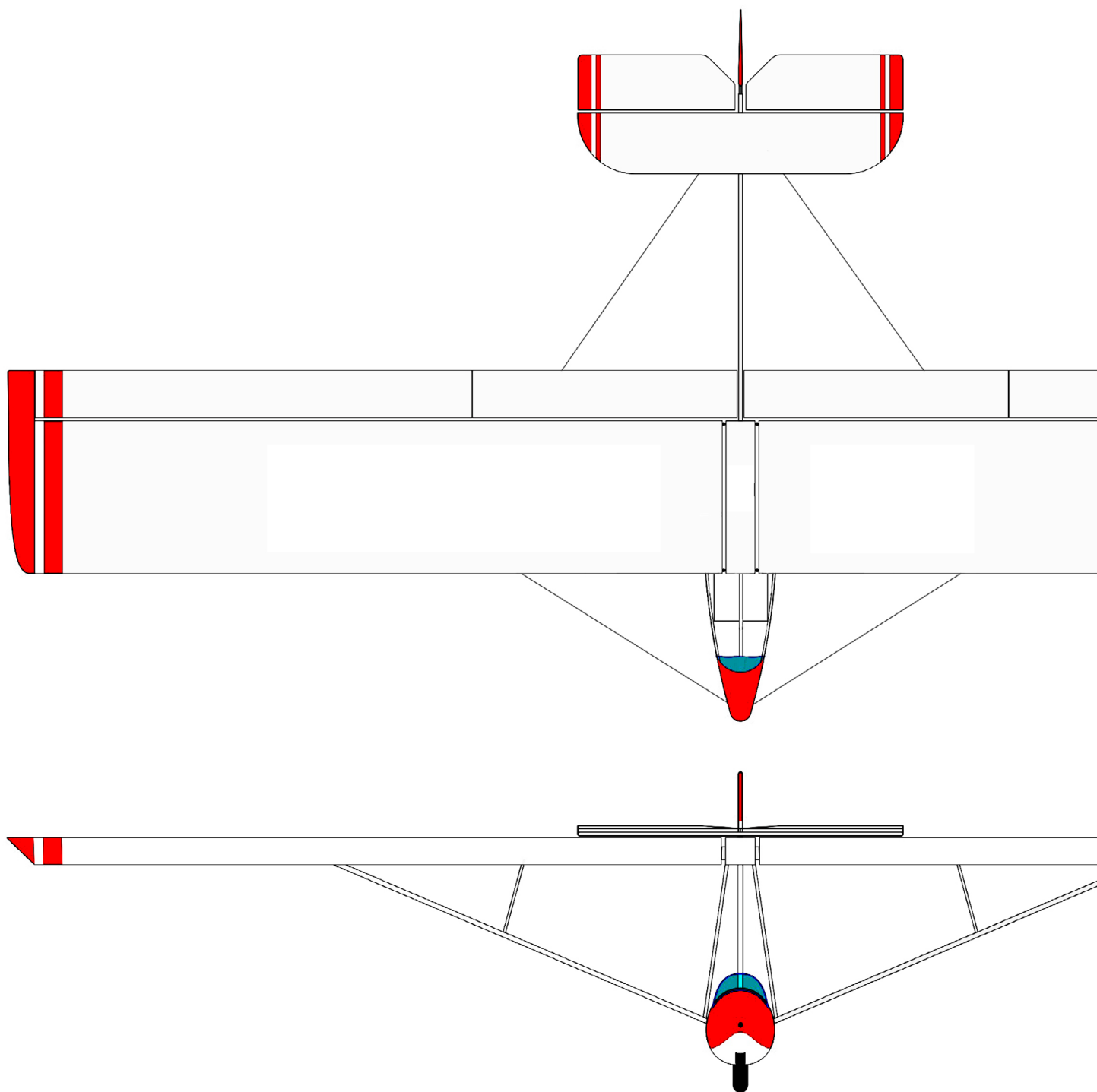


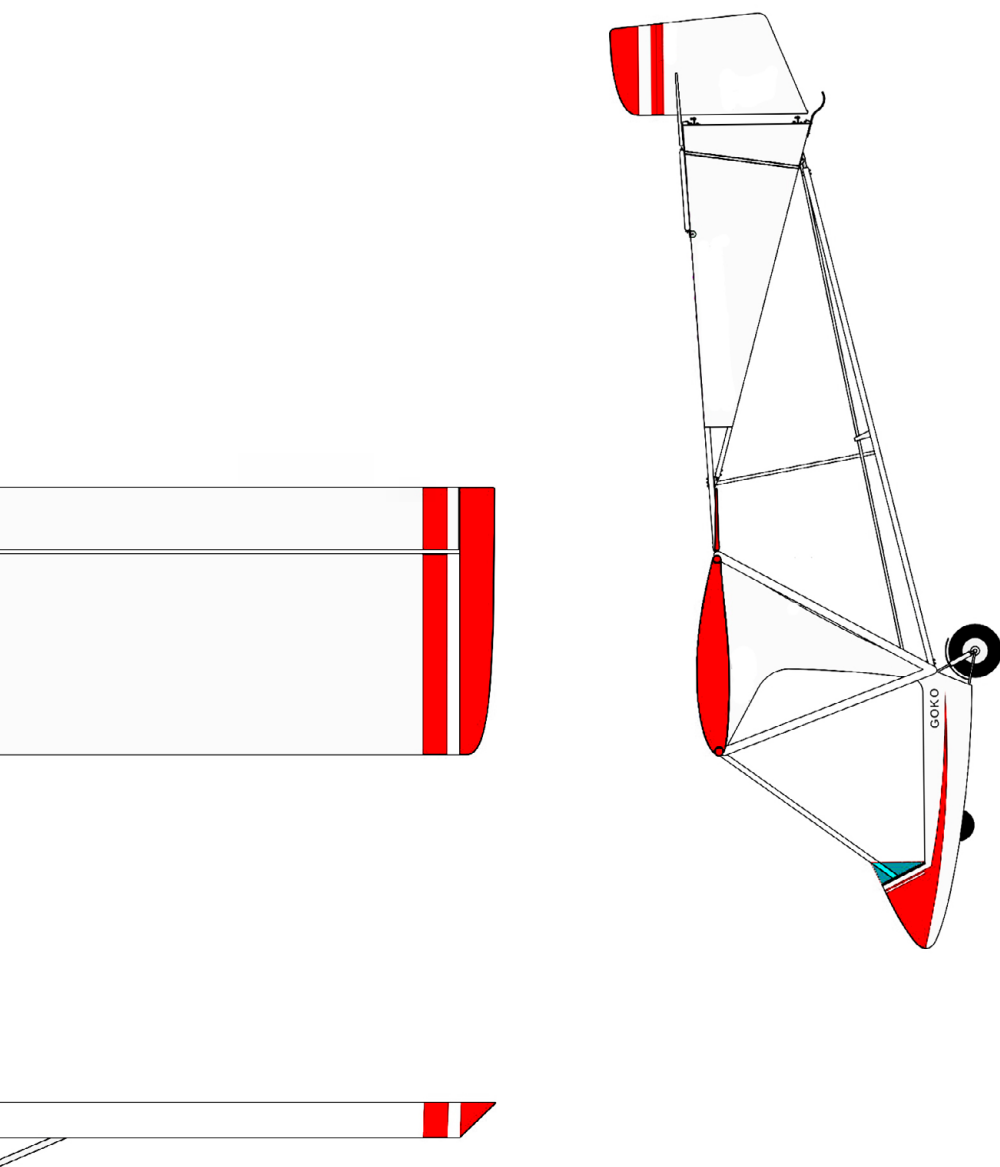
Ryc. 9. GOKO – pierwszy prototyp w szkicu Romana Kiełpikowskiego

Podstawowe dane techniczne pierwszego prototypu GOKO

Parametry	Wartości
Rozpiętość	11,20 [m]
Długość	5,20 [m]
Wysokość	2,20 [m]
Profil skrzydeł	M&M Sailplanes
Ciężka skrzydła	1,5 [m]
Powierzchnia nośna	16,5 [m ²]
Maksymalne obciążenie powierzchni	13,2 [kg/m ²]
Wydłużenie	7,3
Masa szybowca pustego	114,5 [kg]
Maksymalna masa w locie	220 [kg]
Wznios skrzydeł	2,5°
Kąt zaklinowania statecznika poziomego wobec ciężkości aerodynamicznej skrzydła	5,5°

3 <https://www.aerokurier.de/ultraleicht/weller-rebell-jetzt-als-schnellbausatz/>





Rysunek szybowca GOKO. [Rysował Roman Kiełpikowski]

Technologia autonomicznych systemów lotniczych na przykładzie śmigłowca Sikorsky S-76 MATRIX™

Kacper Sachs, Mateusz Kowalczyk

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie

Streszczenie

W artykule omówiono rozwój technologii autonomicznych w lotnictwie, koncentrując się na systemie MATRIX™ opracowanym przez Sikorsky Aircraft Corporation. Przedstawiono ewolucję tej technologii, od eksperymentalnego systemu na śmigłowcu UH-60 Black Hawk aż po gotowe rozwiązanie do zastosowań operacyjnych. W artykule poruszane są zagadnienia związane z zaletami autonomii, takimi jak zwiększenie bezpieczeństwa, precyzji operacji oraz zmniejszenie obciążenia załóg. Jest także mowa o wyzwaniach dotyczących lęku pilotów przed utratą pracy. W artykule rozważono również przyszłość autonomicznych systemów w lotnictwie, w tym ich potencjał w sektorze transportu towarów i pasażerów oraz rolę, jaką piloci będą pełnić w tym nowym krajobrazie lotniczym.

Słowa kluczowe: autonomia w lotnictwie, Sikorsky MATRIX™, SARA

1. Ewolucja technologii MATRIX™: od demonstratora ALIAS do wdrożeń operacyjnych

Technologia MATRIX™, opracowana przez Sikorsky Aircraft Corporation, przeszła długą drogę od swojego początkowego rozwoju w ramach programu DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) aż do gotowości do zastosowań operacyjnych w różnych typach statków powietrznych. Pierwszym krokiem w tym procesie było stworzenie zmodyfikowanego śmigłowca UH-60 Black Hawk (ryc. 1), który wyposażony w technologię ALIAS (Aircrew Labor In-Cockpit Automation System) stał się kluczowym narzędziem w testowaniu i doskonaleniu systemu

autonomicznego sterowania lotem. Dzięki wyposażeniu śmigłowca w zaawansowane komputery, serwomechanizmy elektryczne i liczne czujniki, inżynierowie mogli przeprowadzać realistyczne testy autonomicznych operacji w różnych warunkach.

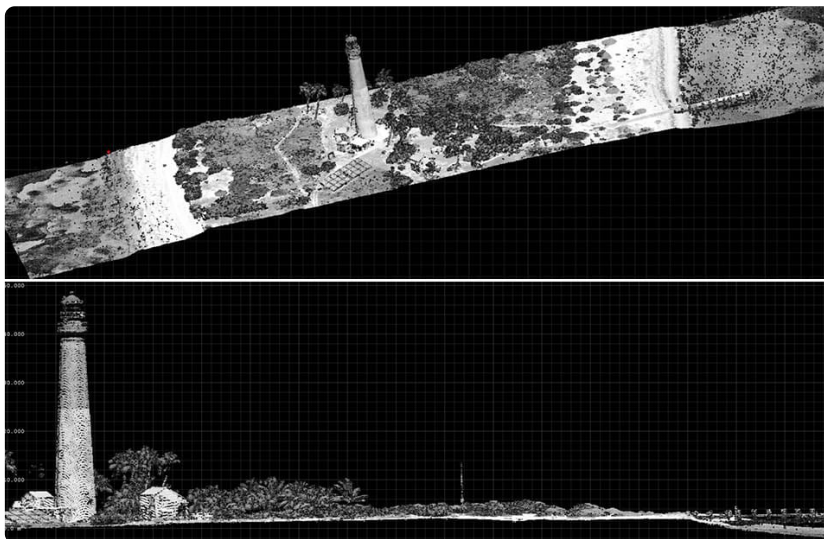
Z biegiem lat system MATRIX™ zyskał na precyzji, niezawodności i wszechstronności, a jego potencjał zaczął wykraczać poza eksperymentalne testy na śmigłowcach Black Hawk. Dzięki doświadczeniu zdobytemu podczas testów technologia zaczęła być integrowana z kolejnymi śmigłowcami takimi jak S-76 SARA (Sikorsky Autonomy Research Aircraft) (ryc. 4) oraz rozpoczęto prace nad jej certyfikacją cywilną. To, co zaczęło się jako eksperymentalny system, ma stać się kluczowym elementem przyszłych operacji lotniczych zarówno w wojsku, jak i w sektorze cywilnym.

W szczególności technologie autonomicznego sterowania MATRIX™ mają ogromny potencjał w zmniejszeniu obciążenia załóg, umożliwiając im skupienie się na bardziej strategicznych zadaniach zamiast na manualnym sterowaniu maszyną. System oferuje elastyczność w obsłudze, umożliwiając zarówno ręczne sterowanie przez pilota, jak i całkowicie autonomiczne loty w zależności od sytuacji i potrzeb misji. Dodatkowo, dzięki integracji z różnymi czujnikami, takimi jak LIDAR, radar i kamery, MATRIX™ pozwala na wykrywanie przeszkód w czasie rzeczywistym, co zwiększa bezpieczeństwo w skomplikowanych warunkach, np. słabe oświetlenie, złe warunki pogodowe czy zatłoczone strefy powietrzne.

Z perspektywy przyszłości technologia MATRIX™ odgrywa istotną rolę w rozwoju autonomicznych operacji lotniczych, także w obszarze transportu towarów i osób.



Ryc. 1. Śmigłowiec UH-60 Black Hawk wyposażony w technologię ALIAS. Źródło: [1]



Ryc. 2. Dane lidarowe zebrane przy użyciu samolotów badawczych NOAA ukazują widok z góry oraz z boku latarni morskiej Loggerhead Key w Dry Tortugas na Florydzie. Źródło: [5]

Możliwość wdrożenia jej w różnych platformach – od śmigłowców wojskowych po maszyny cywilne – pozwala na szerokie zastosowanie tej technologii w różnych dziedzinach lotnictwa, a także stanowi fundament dla rozwoju bezzałogowych samolotów pasażerskich [1][3].

2. Śmigłowiec Sikorsky S-76

Sikorsky S-76 to średni dwusilnikowy śmigłowiec wielozadaniowy zaprojektowany przez Sikorsky Aircraft (Lockheed Martin). Wykorzystywany jest przez podmioty cywilne, korporacje oraz służby ratownicze. Jego konstrukcja opiera się na czterołopatowym wirniku głównym oraz dwułopatowym wirniku ogonowym, zapewniając stabilność i wydajność lotu. Kadłub wykonano głównie z aluminium. W różnych wersjach S-76 montowano silniki turbinowe Rolls-Royce (pierwotnie Allison) 250-C30S lub Pratt & Whitney Canada PT6B-36A. Zapewniają one moc w zakresie około 650–1 000 kW, w zależności od modelu. Śmigłowiec osiąga prędkość maksymalną około 287 km/h, a jego zasięg wynosi około 760 km. Może operować na wysokości do 4 500 m, przy maksymalnej masie startowej około 5306 kg. W nowszych wariantach S-76 zastosowano zaawansowane systemy awioniki, w tym system Sikorsky MATRIX™, który umożliwia autonomiczny lot i zwiększa świadomość sytuacyjną pilota. Dzięki temu model ten stał się jednym z pionierów w dziedzinie automatyzacji lotów w segmencie śmigłowców cywilnych [4].

3. Technologia LIDAR

LIDAR (*Light Detection and Ranging*) to technologia, która wykorzystuje impulsy laserowe do pomiaru odległości i umożliwia tworzenie precyzyjnych map i modeli 3D powierzchni Ziemi (ryc. 2) oraz dna morskiego. System składa

się z lasera, skanera i odbiornika GPS. Najczęściej montowany jest na samolotach lub helikopterach w celu badania rozległych obszarów. Emitowane impulsy światła odbijają się od powierzchni, a czas ich powrotu pozwala na obliczenie odległości. Wyróżnia się LIADAR topograficzny, używający podczerwieni do mapowania lądu, oraz batymetryczny, który dzięki światłu zielonemu penetruje wodę w celu pomiaru głębokości. Technologia ta znajduje zastosowanie w tworzeniu modeli terenu, mapowaniu linii brzegowych, ocenie zagrożeń środowiskowych, analizie ryzyka powodziowego oraz we wsparciu akcji ratunkowych [5].

4. Autonomia w lotnictwie: przełom czy zagrożenie dla pilotów?

Technologia autonomicznych systemów lotniczych, taka jak Sikorsky MATRIX™, uważana jest za jeden z najważniejszych tematów współczesnego lotnictwa. Jej rozwój ma potencjał, aby całkowicie zrewolucjonizować sposób, w jaki wykonywane są misje lotnicze. Z jednej strony może to stanowić ogromny postęp, przynosząc korzyści w postaci redukcji liczby osób na pokładzie, większej precyzji w wykonaniu zadań oraz redukcji ryzyka błędów ludzkich. Z drugiej strony pojawia się pytanie: czy takie innowacje stanowią zagrożenie dla tradycyjnych załóg i stanowisk pilotażowych? To zagadnienie budzi kontrowersje wśród pilotów, ekspertów lotniczych i decydentów.

Korzyści autonomii dla lotnictwa

Przełom, który niesie ze sobą autonomia ma ogromny potencjał w kontekście bezpieczeństwa i efektywności operacji lotniczych. Zmniejszenie liczby członków załogi oznacza mniejsze ryzyko błędów, które mogą wynikać ze zmęczenia, stresu czy braku koncentracji. Autonomiczne systemy lotnicze mogą monitorować wszystkie aspekty lotu, a ich



Ryc. 3. Symulator SARA pozwalający na monitorowanie oraz zdalne sterowanie śmigłowcem. Źródło: [2]

algorytmy są w stanie błyskawicznie analizować ogromne ilości danych, co pozwala na szybsze podejmowanie decyzji w sytuacjach kryzysowych, np. w przypadku awarii systemu lub zmieniających się warunków atmosferycznych.

Wprowadzenie autonomii oznacza także większą elastyczność operacyjną. Zamiast obecności minimum dwóch członków załogi pojazdy mogą być obsługiwane przez jednego pilota lub nawet bez pilota na pokładzie. To otwiera drzwi do nowych modeli operacyjnych takich jak maszyny transportowe działające w rejonach, gdzie trudno dotrzeć tradycyjnymi metodami. Pojazdy autonomiczne mogą wykonywać zadania w niebezpiecznych warunkach, np. transportować towary do obszarów objętych katastrofą bez ryzyka dla życia ludzkiego.

Obawy i wątpliwości ze strony pilotów

Z drugiej strony rozwój technologii autonomicznych budzi obawy wśród wielu profesjonalnych pilotów, którzy boją się, że automatyzacja doprowadzi do marginalizacji ich roli w lotnictwie. Wiele osób postrzega wprowadzenie autonomii jako zagrożenie dla stanowisk pracy, zwłaszcza w kontekście większego nacisku na obniżenie kosztów operacyjnych. Współczesne lotnictwo staje w obliczu rosnącego zapotrzebowania na bardziej opłacalne rozwiązania, w tym zmniejszenie liczby załogi na pokładzie. Choć technologia MATRIX™ może pomóc w zwiększeniu efektywności lotów, wiele osób wciąż nie jest przekonanych, że systemy autonomiczne są w stanie w pełni zastąpić ludzki instynkt,

umiejętności oraz zdolność reagowania w sytuacjach kryzysowych, które mogą wystąpić w trakcie lotu.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa, chociaż technologia autonomiczna jest w stanie wykonać większość czynności pilotażowych, takich jak kontrolowanie trajektorii lotu, unikanie przeszkód i zarządzanie parametrami lotu, nie można zapominać o tzw. *human touch* – zdolności pilota do szybkiej oceny sytuacji w przypadkach nieprzewidzianych. Nawet najnowsze systemy autonomiczne jak MATRIX™ muszą opierać się na algorytmach, które mogą mieć ograniczenia w niestandardowych lub bardzo dynamicznych sytuacjach. W takich momentach obecność wykwalifikowanego pilota może być nieoceniona.

Współlistnienie autonomii i załóg

Choć autonomiczne systemy z pewnością przejmą część odpowiedzialności za rutynowe zadania, nie oznacza to, że piloci zostaną całkowicie zastąpieni. Technologia ta ma raczej na celu wspomaganie ich pracy, co pozwala na zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa operacji lotniczych. W przyszłości piloci mogą skoncentrować się na bardziej złożonych zadaniach, takich jak strategiczne podejmowanie decyzji, komunikacja z kontrolą ruchu lotniczego czy zarządzanie kryzysowe, podczas gdy systemy autonomiczne przejmą część zadań operacyjnych.

Kiedy technologia autonomiczna stanie się powszechna, rolą pilota będzie bardziej nadzorowanie systemu i interweniowanie w przypadku, gdy pojawią się trudności, których system nie będzie w stanie rozwiązać samodzielnie.



Ryc. 4. Śmigłowiec S-76B wyposażony w technologię SARA. Źródło: [2]

W takim scenariuszu piloci nie znikną z kokpitów – ich rola się po prostu zmieni, stając się bardziej nadzorczą, a nie operacyjną. Systemy autonomiczne takie jak MATRIX™ nie będą więc zastępować pilotów, ale raczej wspomagać ich w codziennych zadaniach, umożliwiając im skoncentrowanie się na bardziej skomplikowanych aspektach lotu [2].

5. Bezpieczeństwo i niezawodność w trudnych warunkach

Bezpieczeństwo jest jednym z kluczowych elementów w rozwoju technologii autonomicznych, zwłaszcza w lotnictwie, gdzie warunki atmosferyczne i terenowe mogą być niezwykle trudne. Zaawansowane systemy autonomiczne opracowane przez Sikorsky zapewniają niezawodność dzięki zastosowaniu technologii, takich jak LIDAR, radar, kamery oraz inne sensory. Dzięki nim możliwe jest precyzyjne nawigowanie w ograniczonej widoczności, jak w przypadku mgły, opadów atmosferycznych czy silnych wiatrów. System analizuje dane w czasie rzeczywistym i dostosowuje trajektorię lotu, aby unikać przeszkód.

Nowoczesna technologia pozwala także na precyzyjne lądowanie w trudnych warunkach, np. na platformach wiertniczych czy statkach. Dzięki zastosowanym czujnikom system jest w stanie kalkulować optymalną trajektorię lądowania nawet w pełnej ciemności, co sprawia, że autonomiczne lądowanie staje się możliwe w miejscach, gdzie ludzki pilot miałby trudności. Z kolei radar i LIDAR pomagają w poruszaniu się po górzystym terenie, gdzie tradycyjne systemy nawigacyjne mogą mieć problemy z wykrywaniem przeszkód.

System autonomiczny radzi sobie również w sytuacjach kryzysowych takich jak utrata mocy silników, wykonuje wówczas manewry awaryjne, w tym autorotacje. Dzięki temu zapewnia załodze bezpieczeństwo w najtrudniejszych momentach. W razie potrzeby pilot może w każdej chwili przejąć kontrolę nad maszyną, co pozwala na szybszą reakcję w sytuacjach kryzysowych, kiedy technologia musi ustąpić miejsca ludzkiej intuicji [2].

Dodatkowo technologia ta umożliwia zdalne sterowanie śmigłowcem (ryc. 3), co oznacza, że pilot może operować maszyną z bezpiecznej odległości. W sytuacji zagrożenia katastrofą możliwość kontroli na odległość znacząco zwiększa szanse na uniknięcie ofiar wśród załogi, ponieważ pilot nie musi znajdować się na pokładzie podczas wykonywania niebezpiecznych misji lub awaryjnych manewrów.

6. Przyszłość roli pilota w lotnictwie autonomicznym

W miarę jak technologie autonomiczne zyskują na znaczeniu w lotnictwie, stają się kluczowym elementem zarówno w operacjach wojskowych, jak i cywilnych. Systemy takie jak te opracowane przez Sikorsky Aircraft Corporation, w tym technologia autonomiczna MATRIX™, oferują znaczące korzyści w zakresie zmniejszenia obciążenia załogi i poprawy efektywności. W przypadku autonomicznych helikopterów takich jak SARA systemy te pozwalają na pełną kontrolę lotu, a jednocześnie umożliwiają łatwą interwencję pilota, co stanowi duży krok w kierunku zminimalizowania ryzyka ludzkiego błędu, a także ułatwienia przeprowadzania skomplikowanych misji.

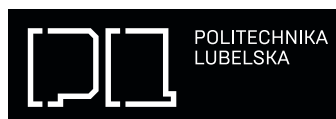
Z perspektywy bezpieczeństwa i niezawodności autonomiczne systemy wykazują się imponującą odpornością na trudne warunki, np. lądowanie w niestandardowych miejscach czy złą pogodę. Dzięki zaawansowanym algorytmom i czujnikom systemy autonomiczne potrafią nie tylko unikać przeszkód, ale również przeprowadzać skomplikowane manewry jak autorotacje czy lądowania na platformach morskich w trudnych warunkach. Wszystko to znacząco podnosi bezpieczeństwo i niezawodność lotów w krytycznych sytuacjach.

W kontekście przyszłości lotnictwa w technologiach autonomicznych widać potencjał rewolucyjny. Dotyczy to zwłaszcza sektora cargo, gdzie dzięki ich zastosowaniu można zredukować liczbę pilotów i obniżyć koszty operacyjne. Choć pełna automatyzacja w lotach pasażerskich

wyduje się wciąż odległa, rozwój technologii autonomicznych z pewnością wpłynie na zmiany w roli pilota, który przejdzie na stanowisko nadzorcy systemów autonomicznych, monitorując i interweniując w razie potrzeby, co otworzy nowe możliwości operacyjne w lotnictwie cywilnym i wojskowym [2].

Bibliografia:

- [1] *Safe, Reliable, and Uninhabited: First Autonomous BLACK HAWK® Helicopter Flight* (2022, 08 February). Lockheed Martin. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/safe-reliable-and-uninhabited-first-autonomous-black-hawk-flight.html> (dostęp: 20.05.2025 r.).
- [2] Adams, E. (2019, 30 April). *What is it like to fly a helicopter with a tablet?* <https://verticalmag.com/features/remote-control-the-sikorsky-autonomy-research-aircraft/> (dostęp: 20.05.2025 r.).
- [3] Jeffrey, C. (2016, 03 June). *Autonomous 30-mile flight for Sikorsky S-76 commercial helicopter* <https://newatlas.com/sikorsky-s-76-helicopter-autonomous-flight/43650/> (dostęp: 20.05. 2025 r.).
- [4] Kłosiński, P. (1993). Śmigłowiec wielozadaniowy S-76 Spirit/H-76 Eagle. *Nowa Technika Wojskowa*, nr 5.
- [5] *What is LIDAR?* (2024, 06 June) NOAA <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (dostęp: 20.05.2025 r.).



DOŁĄCZ DO

MEVA Aerospace!

Wspólnie z Politechniką Lubelską rozwijamy
hybrydowy pojazd typu VTOL.
Szukamy ambitnych osób do pracy
naukowej i rozwoju technologii przyszłości.



info@meva.aero
+ 48 607 120 242

Znaczenie jakości i rodzaju paliw w silnikach turbinowych

Jan Kozieł, Dominik Nowakowski

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie

Streszczenie

Praca jest analizą wpływu parametrów paliwa na wydajność, sprawność oraz eksploatację silników turbinowych. Omówiono kluczowe właściwości paliw lotniczych, takie jak skład chemiczny, wartość opałowa i odporność na zmiany temperatury. Przedstawiono również porównanie różnych typów paliw, w tym tradycyjnych naftowych oraz alternatywnych biopaliw i paliw syntetycznych. Zwrócono uwagę na znaczenie jakości paliwa w kontekście bezpieczeństwa lotów, emisji spalin oraz kosztów eksploatacji. W pracy zawarto również analizę przyszłościowych rozwiązań, które mogą wpłynąć na rozwój bardziej ekologicznych i efektywnych technologii napędowych w lotnictwie.

Słowa kluczowe: paliwa lotnicze, bezpieczeństwo, normy, jakość, rozwój

Wprowadzenie

Paliwa odgrywają kluczową rolę w funkcjonowaniu silników turbinowych, które znajdują zastosowanie zarówno w lotnictwie, jak i w energetyce. Ich jakość i rodzaj mają bezpośredni wpływ na wydajność, trwałość oraz bezpieczeństwo eksploatacji tych zaawansowanych jednostek napędowych. W obliczu rosnących wymagań dotyczących efektywności i zrównoważonego rozwoju zrozumienie znaczenia paliw staje się kluczowe zarówno dla inżynierów, jak i dla całej branży lotniczej.

W niniejszej pracy zostaną omówione podstawowe rodzaje paliw stosowanych w silnikach turbinowych, ich właściwości oraz wpływ jakości na pracę silników. Zostaną również poruszone zagadnienia związane z bezpieczeństwem, a także przedstawione alternatywne paliwa, których można użyć w silnikach turbinowych.

Charakterystyka paliw do silników turbinowych

Silniki turbinowe są podstawowym napędem większości współczesnych samolotów. Paliwa stosowane w tych silnikach, zwane paliwami lotniczymi, muszą spełniać rygorystyczne wymagania, takie jak odpowiednia lotność, stabilność chemiczna, właściwości reologiczne w niskich temperaturach oraz neutralność chemiczna wobec materiałów używanych w układach zasilania i dystrybucji. Kluczowym aspektem jest zapewnienie pełnego spalania, minimalizującego osady i wpływ na środowisko.

Zgodnie z normami międzynarodowymi takimi jak standardy ICAO czy ISO współcześnie wszystkie paliwa lotnicze muszą przejść szczegółowe badania, zanim zostaną

dopuszczone do użytku. Proces kwalifikacji obejmuje testy laboratoryjne, aplikacyjne i praktyczne, zapewniające zgodność paliwa z wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa, wydajności oraz ochrony środowiska.

Rozwój globalnych standardów w obszarze jakości paliw lotniczych przyczynił się do eliminacji wcześniejszych różnic regionalnych. Obecnie obowiązujące normy, takie jak ASTM D1655 dla Jet A i Jet A-1, stanowią podstawę oceny i kontroli jakości paliw. W coraz większym stopniu uwzględniane są również kwestie zrównoważonego rozwoju, a rozwój biopaliw oraz paliw syntetycznych (SAF – Sustainable Aviation Fuel) odgrywa kluczową rolę w zmniejszaniu emisji gazów cieplarnianych w lotnictwie.

Kluczowe właściwości paliw turbinowych

Paliwa turbinowe muszą spełniać rygorystyczne wymagania techniczne, aby zapewnić bezpieczną i efektywną pracę silników w różnicowanych warunkach. Poniżej omówione są najważniejsze właściwości paliw, które wpływają na ich przydatność w lotnictwie i innych zastosowaniach turbinowych.

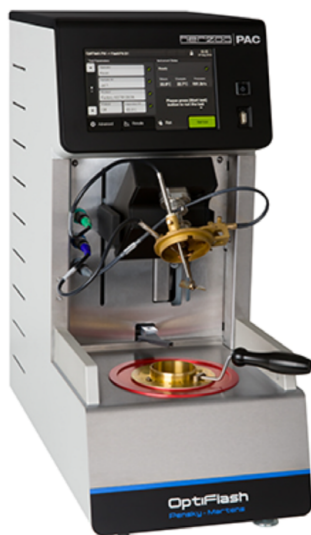
1. Temperatura zapłonu – to najniższa temperatura, przy której para paliwa może ulec zapłonowi w obecności źródła ognia. Wysoka temperatura zapłonu zwiększa bezpieczeństwo podczas obsługi naziemnej i transportu paliwa, zapewniając ochronę przed samozapłonem w warunkach ekstremalnych, takich jak przegrzanie w instalacji paliwowej.

Do wyznaczania temperatury zapłonu stosuje się specjalistyczne urządzenia, takie jak automatyczny aparat OptiFlash, działający zgodnie z metodą Pensky–Martensa (ryc. 1). Aparat ten umożliwia precyzyjne i powtarzalne oznaczenie temperatury zapłonu poprzez analizę zachowania par substancji palnej w zamkniętym naczyniu.

Zasady działania aparatu OptiFlash i etapy procedury pomiarowej opisano poniżej:

- podgrzewanie próbki – ciecz umieszczona w zamkniętym tyglu jest podgrzewana w sposób kontrolowany;
- mieszanie – w trakcie podgrzewania próbka jest mieszana, co zapewnia równomierne rozprowadzenie par wewnątrz tygla;
- okresowe zapłonowanie – w regularnych odstępach czasu do tygla wprowadza się źródło zapłonu (np. płomień lub iskrę), przerywając jednocześnie mieszanie;
- wykrywanie zapłonu – jeśli stężenie par jest wystarczające, następuje zapłon, a aparat rejestruje temperaturę, w której do niego doszło;

- powtarzanie pomiaru – procedura jest powtarzana do momentu uzyskania stabilnych, powtarzalnych wyników;
- wynik końcowy – uzyskana wartość temperatury zapłonu stanowiąca wynik pomiaru.



Ryc. 1. Automatyczny aparat OptiFlash do oznaczania temperatury zapłonu metodą Pensky'ego-Martensa

Dzięki automatyzacji procesu i zastosowaniu nowoczesnych czujników, urządzenie zapewnia wysoką dokładność i bezpieczeństwo pomiarów, zgodnie z obowiązującymi normami laboratoryjnymi.

2. Temperatura zamarzania – to najniższa temperatura, przy której paliwo pozostaje w stanie płynnym bez wytrącania się kryształków lodu. Jest to kluczowa właściwość w lotnictwie, gdzie samoloty operują na dużych wysokościach, przy temperaturach spadających często poniżej -50°C . Niska temperatura zamarzania, jak w przypadku paliwa Jet A-1 (-47°C), zapobiega blokadzie filtrów i przewodów paliwowych przez zamarznięte składniki. W przypadku paliw wojskowych takich jak JP-8 dodatkowo stosuje się specjalne substancje zapobiegające tworzeniu się lodu w układzie paliwowym. Do precyzyjnego pomiaru temperatury zamarzania paliwa lotniczego wykorzystywany jest automatyczny tester HZBD-5972, zaprojektowany zgodnie z normami SH/T 0770 i ASTM D5972 (ryc. 2). Urządzenie to umożliwia szybkie i dokładne wyznaczenie temperatury, w której w paliwie zaczynają krystalizować się węglowodory w stanie stałym.

Działanie testera HZBD-5972 w ramach procedury pomiarowej składa się z następujących etapów:

- chłodzenie próbki – urządzenie stopniowo obniża temperaturę próbki paliwa do poziomu, w którym może nastąpić zamarzanie;
- wykrywanie krystalizacji – specjalny czujnik monitoruje zmiany strukturalne w próbce i identyfikuje moment tworzenia się pierwszych kryształów;
- pomiar temperatury – w chwili pojawienia się krystalizacji, tester automatycznie rejestruje aktualną temperaturę;

- odczyt wyniku – zarejestrowana temperatura jest wyświetlana cyfrowo, co umożliwia dokładny i jednoznaczny odczyt.

Tester HZBD-5972, dzięki automatyzacji procesu i wysokiej czułości pomiaru, stanowi niezastąpione narzędzie w laboratoriach paliwowych oraz przemyśle lotniczym, gdzie niezawodność paliwa w niskich temperaturach jest kwestią krytyczną dla bezpieczeństwa operacji lotniczych.



Ryc. 2. HZBD-5972 – automatyczny tester temperatury zamarzania

3. Stabilność termiczna i chemiczna:

- a) stabilność termiczna – odporność paliwa na rozkład pod wpływem wysokich temperatur w systemie paliwowym. Zapobiega tworzeniu się osadów w dyszach paliwowych, które mogą zakłócać przepływ paliwa i pogorszyć wydajność silnika;
- b) stabilność chemiczna – odpowiedzialna za długoterminową przydatność paliwa do użycia. Zanieczyszczenia chemiczne, takie jak woda lub siarka, mogą powodować korozję elementów silnika i układów paliwowych.

4. Gęstość energetyczna – ilość energii, jaką można uzyskać z jednostki masy lub objętości paliwa. Im wyższa gęstość energetyczna, tym więcej energii można uzyskać z tej samej ilości paliwa, co przekłada się na zasięg samolotu i efektywność paliwową. Paliwa naftowe, takie jak Jet A i JP-8, mają wysoką gęstość energetyczną, co czyni je odpowiednimi do długodystansowych lotów. Biopaliwa i paliwa syntetyczne często mają nieco niższą gęstość energetyczną, co wymaga modyfikacji w systemach napędowych.

5. Zawartość siarki i zanieczyszczeń – niska zawartość siarki w paliwie lotniczym ma kluczowe znaczenie dla ochrony środowiska i trwałości silników. Zmniejszenie emisji tlenków siarki zapobiega (SO_x) powstawaniu kwaśnych deszczy i zanieczyszczeniu atmosfery, a także korozji elementów układu napędowego. Obecność wody w paliwie może prowadzić do tworzenia się lodu w instalacji paliwowej, natomiast cząstki stałe stanowią zagrożenie dla pomp i filtrów, mogą powodować ich uszkodzenie lub całkowitą awarię.

Dlatego wysokiej jakości paliwa lotnicze, takie jak Jet A-1 i JP-8, są rygorystycznie oczyszczane i badane pod kątem zawartości siarki oraz innych zanieczyszczeń. Jednym z nowoczesnych urządzeń stosowanych do tego celu jest analizator zawartości siarki ANTEK MultiTek (ryc. 3).

Pomiar zawartości siarki w paliwie przy użyciu analizatora ANTEK MultiTek przebiega w następujących etapach:

- przygotowanie próbki – próbka paliwa jest dostarczana do analizatora, gdzie zostaje precyzyjnie dozowana i przygotowana do analizy;
- spalanie – paliwo jest całkowicie spalane w piecu o wysokiej temperaturze w obecności tlenu, co powoduje uwolnienie związków siarki w postaci dwutlenku siarki (SO_2);
- konwersja chemiczna – powstały SO_2 jest przekształcany chemicznie w odpowiednią formę wykrywalną przez układ pomiarowy, często poprzez konwersję do związków reagujących z chemiluminescencyjnymi wskaźnikami;
- detekcja – analizator wykorzystuje metodę chemiluminescencji lub detekcji UV do ilościowego oznaczenia zawartości siarki w badanej próbce;
- odczyt wyniku – wynik analizy jest prezentowany w formie cyfrowej i może być archiwizowany w systemie zarządzania danymi.

ANTEK MultiTek to wszechstronny analizator, który może jednocześnie mierzyć zawartość siarki, azotu i halogenów w różnych próbkach węglowodorowych. Dzięki wysokiej czułości i precyzji pomiaru urządzenie to znajduje zastosowanie w kontroli jakości paliw lotniczych, gdzie nawet śladowe ilości zanieczyszczeń mogą mieć krytyczne znaczenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych.



Ryc. 3. Analizator zawartości siarki ANTEK MultiTek, PAC

6. Dodawane substancje (aditiva):

- środki przeciwutleniające: zapobiegają utlenianiu paliwa, co wydłuża jego trwałość;
- substancje przeciwkorozyjne: chronią elementy metalowe w systemie paliwowym przed rdzą;
- dodatki przeciwdziałające tworzeniu się lodu: zmniejszają ryzyko krystalizacji w niskich temperaturach;

- środki poprawiające smarność: zmniejszają tarcie i chronią pompy paliwowe przed zużyciem.

Najczęściej stosowane gatunki paliw

1. Jet A i Jet A-1

Paliwa Jet A i Jet A-1 należą do najczęściej stosowanych paliw lotniczych w silnikach turbinowych. Są to paliwa typu nafta, charakteryzujące się wysoką jakością i spełniające rygorystyczne normy przemysłowe.

1.1 Charakterystyka Jet A

Jet A jest standardowym paliwem używanym w Stanach Zjednoczonych, w szczególności w lotnictwie cywilnym. Jego podstawowe cechy to:

- temperatura zapłonu: ok. $38-43^{\circ}\text{C}$, co zapewnia bezpieczne użytkowanie w warunkach naziemnych i podczas operacji lotniczych,
- temperatura zamarzania: -40°C , co czyni je mniej odpornymi na bardzo niskie temperatury w porównaniu z Jet A-1.

Zastosowanie: loty krajowe i regionalne w warunkach umiarkowanego klimatu.

1.2 Charakterystyka Jet A-1

Jet A-1 jest standardowym paliwem używanym na całym świecie, szczególnie w lotnictwie cywilnym międzynarodowym. Jego kluczowe cechy obejmują:

- temperatura zapłonu: zbliżona do Jet A,
- temperatura zamarzania: -47°C , dzięki czemu lepiej nadaje się do operacji w ekstremalnych warunkach pogodowych, np. na dużych wysokościach lub w obszarach polarnych.

Dodatki chemiczne: zawiera substancje zapobiegające tworzeniu się lodu w układzie paliwowym oraz poprawiające stabilność chemiczną.

Zastosowanie: międzynarodowe loty komercyjne oraz operacje wojskowe w klimacie arktycznym i umiarkowanym.

1.3 Porównanie Jet A i Jet A-1

Tabela 1. Porównanie paliwa Jet A i Jet A-1

Właściwość	Jet A	Jet A-1
Temperatura zapłonu	$\sim 38-43^{\circ}\text{C}$	$\sim 38-43^{\circ}\text{C}$
Temperatura zamarzania	-40°C	-47°C
Obszar zastosowań	USA, klimat umiarkowany	świat, klimat ekstremalny

2. Paliwo lotnicze Jet B Jet B to specjalistyczne paliwo lotnicze naftowe o wysokiej lotności, należące do grupy paliw szeroko frakcyjnych. Jest mieszkanką benzyny naftowej (około 30%) i nafty (około 70%). Zostało zaprojektowane, aby działać w ekstremalnie niskich

temperaturach, co czyni je idealnym do zastosowań w regionach arktycznych i zimnym klimacie.

Właściwości:

- punkt zapłonu: bardzo niski (około -20°C),
- temperatura krzepnięcia: około -60°C , co umożliwia użytkowanie w ekstremalnych warunkach,
- gęstość: lżejsze od Jet A lub Jet A-1.

3. Paliwa wojskowe: JP-5 i JP-8

Paliwa wojskowe, takie jak JP-5 i JP-8, zostały zaprojektowane specjalnie do zastosowań militarnych, gdzie wymagana jest wyjątkowa niezawodność i odporność na trudne warunki środowiskowe oraz operacyjne.

3.1 JP-5

JP-5 jest paliwem stosowanym głównie w operacjach morskich, np. w lotnictwie marynarki wojennej. Kluczowe właściwości JP-5:

- wysoka temperatura zapłonu: minimum 60°C , co znacznie zmniejsza ryzyko pożaru na lotniskowcach i w magazynach paliw,
 - odporność na korozję: dzięki specjalnym dodatkom JP-5 jest bardziej odporny na działanie soli morskiej i wilgoci.
- Zastosowanie: lotnictwo marynarki wojennej, w tym samoloty i śmigłowce operujące z pokładów statków.

3.2 JP-8

JP-8 to paliwo uniwersalne stosowane w siłach zbrojnych NATO. Jego charakterystyka obejmuje:

- odporność na warunki środowiskowe: paliwo jest przystosowane do pracy w ekstremalnie niskich temperaturach, dzięki czemu może być używane w arktycznych operacjach wojskowych.
- Dodatki funkcjonalne:
- środki przeciwutleniające i antykorozyjne, które chronią układy paliwowe,
 - substancje zapobiegające tworzeniu się lodu w instalacji paliwowej.

Zastosowanie: samoloty wojskowe, czołgi, generatory polowe i inne urządzenia, co czyni JP-8 paliwem uniwersalnym w działaniach zbrojnych.

3.3 Porównanie JP-5 i JP-8

Tabela 2. Porównanie paliwa JP5 i JP-8

Właściwość	JP-5	JP-8
Temp. zapłonu	min. 60°C	$\sim 38-43^{\circ}\text{C}$
Dodatki antykorozyjne	Tak	Tak
Zastosowanie	Lotnictwo morskie	Wojsko lądowe i lotnicze

Oba paliwa odgrywają kluczową rolę w działaniach wojskowych, jednak ich zastosowanie zależy od specyfiki operacji i wymagań związanych z bezpieczeństwem.

Niesprawności lotniczych silników turbinowych związane z jakością paliw

Współczesne lotnicze silniki turbinowe i stosowane paliwa spełniają rygorystyczne normy wynikające z wieloletniego doświadczenia konstruktorów oraz użytkowników. Postęp technologiczny powoduje, że wymagania w zakresie jakości paliw stale się zmieniają, a odpowiednie tolerancje muszą uwzględniać zmienność parametrów eksploatacyjnych.

Kluczowym wyzwaniem jest zapewnienie odpowiedniego doboru paliwa. W praktyce wybór nie zawsze jest idealny, co może prowadzić do awarii. Proces wyboru optymalnego paliwa obejmuje testy stacjonarne i w trakcie eksploatacji, jednak ich liczba jest ograniczona przez koszty i dostępne zasoby. W przypadku wykrycia nieprawidłowości, możliwe jest dostosowanie paliwa lub wymagań technicznych, co stanowi część ciągłego procesu doskonalenia.

W przeszłości jednym z najpoważniejszych problemów była obecność wody w paliwie, która mogła powodować oblodzenie układu paliwowego. Współczesne dodatki zapobiegają takim problemom, znacząco poprawiając bezpieczeństwo i niezawodność eksploatacji.

Obecnie jednym z głównych priorytetów pozostaje kontrola jakości paliw, minimalizacja ryzyka wynikającego z niedopasowania ich parametrów do wymagań silników oraz eliminacja potencjalnych wad materiałowych. Dbałość o te aspekty stanowi fundament nowoczesnego lotnictwa.

Tabela 3. Niesprawności turbinowych silników lotniczych związane z jakością paliwa

Obserwowana niesprawność silnika	Przyczyna niesprawności	Właściwości paliwa będące przyczyną niesprawności
Brak możliwości rozruchu silnika, rozruch niestabilny lub przewlekły	Niewłaściwe rozpylanie paliwa (zniekształcenie stożka rozpylania, niedostateczna jakość rozpylania) przez wtryskiwacze rozruchowe lub niezadawalająca praca świec zapłonowych. Zawieszenie tłoczka zaworu automatu rozruchowego, smoka lub zaworu automatu przyspieszenia silnika lub zawieszenie tłoczka zaworu stałego ciśnienia czy tłoczka zaworu zrzutowego. Za mały kąt rozpylania paliwa nieobejmujący zasięgiem rozpylonego paliwa strefy iskry świec zapłonowych	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna lub niedostateczne właściwości smarne i przeciwzuzyciowe paliwa, lub zwiększona skłonność do nagarowania. Niedostosowanie kąta rozpylania paliwa do zmienionych właściwości paliwa: gęstości, lepkości, napięcia powierzchniowego, lotności

Obserwowana niesprawność silnika	Przyczyna niesprawności	Właściwości paliwa będące przyczyną niesprawności
Zmniejszenie prędkości obrotowej silnika na zakresie startowym	Zawisanie zaworu ogranicznika maksymalnej prędkości obrotowej pompy nurnikowej. Zawisanie jednego lub kilku nurników pompy paliwowej	Niedostateczne właściwości smarne i przeciwzużyciowe paliwa, obecność zanieczyszczeń mechanicznych lub wolnej wody w paliwie. Osady na powierzchniach cylindrycznych nurników
Zmniejszenie maksymalnej prędkości obrotowej silnika bez możliwości regulacji	Zwiększone zużycie części regulatora i wirnika pompy	Niedostateczne właściwości smarne i przeciwzużyciowe paliwa, skłonność paliwa do wywoływania korozji części lub powstawania kawern kavitacyjnych
Wahania maksymalnych obrotów silnika w granicach do 1000 obr/min w cyklu dwusekundowym	Obecność pęcherzy gazowych w instalacji paliwowej w granicach do 1000. Ograniczenie ruchliwości suwaków w układzie automatycznej regulacji pompy nurnikowej	Wysoka prężność par paliwa. Niedostateczna stabilność termooksydacyjna lub właściwości smarne i przeciwzużyciowe
Niemożliwość osiągnięcia większej prędkości obrotowej silnika niż prędkość biegu jałowego (50–70% prędkości obrotowej maksymalnej)	Brak hermetyczności kołnierza tłoczka zawirowywacza wskutek zużycia lub zesterzenia gumy kołnierzy, lub przedostania się produktów zużycia części. Zawieszenie zaworka kulkowego przepustu paliwa	Zanieczyszczenia mechaniczne w paliwie lub zwiększona zawartość żywic. Oddziaływanie paliwa na gumę. niedostateczne właściwości smarne i przeciwzużyciowe paliwa, skłonność paliwa do wywoływania korozji
Brak możliwości osiągania prędkości obrotowej silnika powyżej 93–95% obrotów maksymalnych	Zużycie powierzchni czołowych nurników lub bieżni łożyska oporowego pompy lub zużycie ciężarków odśrodkowego regulatora obrotów. Zużycie powierzchni separatora pompy nurnikowej. Ograniczenie ruchliwości nurników	Niedostateczne właściwości smarne i przeciwzużyciowe paliwa. Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa, zwiększona zawartość żywic w paliwie
Zwiększenie czasu przyspieszania silnika lub niestateczna praca (pompaż)	Zawisanie tłoczka zaworu stałego ciśnienia lub zaworu rozruchowego. Zanieczyszczenie dyszki opóźniania i pakietów dławiących ogranicznika maksymalnej prędkości obrotowej	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa lub obecność zanieczyszczeń mechanicznych w paliwie
Gaśnięcie silnika na ziemi lub w czasie lotu (samoczynnie lub przy przesunięciu dźwigni dławienia)	Zawieszenie zaworu stałego spadku ciśnienia. Przemieszczenie tulei suwaka sprzężenia zaworowego względem kadłuba regulatora. Zwiększone nagarowanie na powierzchniach czołowych wtryskiwaczy roboczych	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna lub właściwości smarne i przeciwzużyciowe paliwa, obecność zanieczyszczeń mechanicznych w paliwie, skłonność paliwa do wywoływania korozji. Zwiększona skłonność paliwa do nagarowania. Zmiana czoła spalania w komorze wskutek zmiany jakości paliwa (gęstość, wartość opałowa, lepkość, napięcie powierzchniowe)
Przepalanie rur żarowych komór spalania oraz łopatek kierownic turbiny	Pogorszenie warunków powstawania mieszaniny par paliwa i powietrza. Naruszenie rozkładu pola temperatur. Zacinanie się zaworów drenażowych komory spalania	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa lub zwiększona skłonność do nagarowania. Skłonność paliwa do wywoływania gazowej korozji
Ubytki w materiale rur żarowych komór spalania łopatek kierownic turbiny i łopatek roboczych turbiny	Wypalanie lub wypadanie (wyplukiwanie) materiału: rur żarowych komór spalania, łopatek kierownic, łopatek roboczych turbin. Rozwarstwianie się materiału łopatek roboczych turbiny, zwłaszcza na krawędziach natarcia	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa lub zwiększona skłonność do nagarowania. Zjawisko związane z jakością paliwa, lecz jego mechanizm nie jest ostatecznie wyjaśniony. Zwiększona agresywność korozyjna paliwa w strefie gazowej silnika prawdopodobnie związana z obecnością w nim mikroelementów V, Co, Mo, Ni. Ci Zwiększona zawartość siarki w paliwie
Niewłączenie dopalacza, brak ciśnienia w układzie paliwowym dopalacza, nie kontrolowane wyłączenie dopalacza, niezwłocznie dopalacza	Zacięcie stycznika elektrycznego. Brak hermetyczności zaworów elektromagnetycznych przekaźnika dopalacza i barostatu. Zanieczyszczenie otworów komory zapłonowej dopalacza	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa lub właściwości smarne i przeciwzużyciowe lub obecność zanieczyszczeń mechanicznych w paliwie
Niedostateczna siła ciągu przy pracy silnika z dopalaczem	Zanieczyszczenie wtryskiwaczy paliwowych układu paliwowego dopalacza	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa

Obserwowana niesprawność silnika	Przyczyna niesprawności	Właściwości paliwa będące przyczyną niesprawności
Spadek ciśnienia paliwa przed pompami wysokiego ciśnienia, przepływ paliwa bocznikiem z pominięciem filtra paliwa. Gaśnięcie silnika skutek obniżonego ciśnienia paliwa	Zanieczyszczenie wkładu filtracyjnego i w następstwie otwarcie zaworu bocznikowego. Obłodzenie filtra w układzie niskiego ciśnienia paliwa na wejściu do silnika	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa lub skłonność paliwa do wywoływania korozji. Obecność w paliwie zanieczyszczeń mechanicznych. Zawartość wolnej wody w paliwie. Brak dodatków zapobiegających wytrącaniu się kryształków lodu
Długotrwałe dymienie (20–30 min.) z wlotu powietrza i wylotu gazów spalinowych po zatrzymaniu silnika. Spadek ciągu silnika i zwiększenie jednostkowego zużycia paliwa	Dopalanie pozostałości paliwa. Zanieczyszczenie sprężarki spalinami i zakłócenia w procesie spalania wywołane nagarem. Powstawanie skupisk nagaru na elementach rury żarowej	Zwiększona skłonność paliwa do hangarowania: zwiększona zawartość węglowodorów aromatycznych jedno lub dwupierścieniowych. Niewłaściwy skład frakcyjny paliwa. Podwyższona zawartość żywic w paliwie
Zawisanie prędkości obrotowej silnika w czasie płynnej zmiany obrotów lub przyspieszania	Zacinanie się elementów sterujących spadkami ciśnień w automatycznym systemie sterowania lub przyspieszania silnika wskutek osadzania się produktów żywicznych	Niedostateczna stabilność termooksydacyjna paliwa. Podwyższona zawartość żywic w paliwie

Paliwa alternatywne

Paliwa alternatywne do silników turbinowych to substancje zastępujące tradycyjne paliwa lotnicze, takie jak Jet A i Jet A-1. Ich użycie ma na celu zmniejszenie emisji szkodliwych gazów oraz ograniczenie zależności od paliw kopalnych.

1. Biopaliwa lotnicze (SAF – *Sustainable Aviation Fuels*) to nowoczesne paliwa produkowane z surowców odnawialnych, takich jak oleje roślinne, tłuszcze zwierzęce czy odpady leśne. Charakteryzują się możliwością redukcji emisji CO₂ nawet o 80%, co czyni je jedną z najbardziej ekologicznych alternatyw dla tradycyjnych paliw lotniczych. Przykładem biopaliwa jest HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*), które stosują linie lotnicze KLM i Lufthansa.
2. Paliwa syntetyczne (e-paliwa) wytwarzane są w procesie łączenia wodoru i dwutlenku węgla przy użyciu energii odnawialnej. Ich największą zaletą jest neutralność węglowa oraz brak emisji siarki podczas spalania, co czyni je ekologicznym rozwiązaniem dla przemysłu lotniczego. Przykładem takiego paliwa jest e-fuel produkowany przez firmę Synhelion, wspierany przez Lufthansę.
3. Wodór jako paliwo lotnicze powstaje dzięki elektrolizie wody z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Jego spalanie nie generuje emisji dwutlenku węgla, a jedynie parę wodną, co sprawia, że jest idealnym rozwiązaniem w dążeniu do zerowej emisji. Przykładem innowacji w tej dziedzinie jest silnik wodorowy opracowywany przez firmę ZeroAvia.
4. Gaz ziemny (LNG – *Liquefied Natural Gas*) to skroplona forma gazu ziemnego, która oferuje niższe emisje CO₂ i NO_x w porównaniu do paliw tradycyjnych. Dzięki temu LNG może być stosowane jako paliwo przejściowe w procesie transformacji energetycznej lotnictwa. Przykładem są silniki GE Aviation, które można przystosować do zasilania LNG.
5. Diesel lotniczy to wysokiej jakości olej napędowy wykorzystywany w lekkich samolotach. Jego zaletami są szeroka dostępność oraz wysoka wydajność energetyczna,

co czyni go praktycznym rozwiązaniem w przypadku mniejszych maszyn lotniczych. Przykładem zastosowania jest silnik RED A03, używany w lekkich samolotach, oraz turbośmigłowy Pratt & Whitney Canada PW150.

Każde z tych paliw wymaga adaptacji technologii silników lub infrastruktury, ale obiecują one znaczne korzyści środowiskowe.

Ciekawostka o paliwach syntetycznych

Lockheed Martin, producent myśliwców F-35 (ryc. 4.) zażądał możliwości wykorzystania do 50% syntetycznego paliwa lotniczego (SATF) w tych nowoczesnych samolotach. Decyzję poprzedziły szczegółowe testy, które wykazały, że paliwo to spełnia wszystkie normy bezpieczeństwa i wydajności wymagane w lotnictwie wojskowym.



Ryc. 4. Wielozadaniowy samolot myśliwski piątej generacji Lockheed Martin F-35

Norwegia jako pierwszy kraj przeprowadziła testowe loty F-35 z wykorzystaniem mieszanki SATF, podkreślając swoje zaangażowanie w redukcję emisji i uniezależnienie od tradycyjnych źródeł paliwa. Chociaż myśliwce nadal emitują spaliny, nowa technologia pozwala ograniczyć ich ślad węglowy, a jednocześnie zwiększa bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Syntetyczne paliwa lotnicze powstają m.in. w procesie Fischera-Tropscha, który przekształca tlenek węgla i wodór w ciekłe węglowodory. Surowcami mogą być gaz ziemny,

biomasa czy nawet odpady przemysłowe, co czyni tę metodę bardziej zrównoważoną. Niestety, wysokie koszty produkcji oraz brak odpowiedniej infrastruktury sprawiają, że SATF wciąż jest rzadko stosowane na szeroką skalę.

Mimo to testy F-35 pokazują, że połączenie nowoczesnych technologii militarnych z ekologicznymi rozwiązaniami jest możliwe. W miarę rozwoju paliw syntetycznych mogą one odegrać kluczową rolę nie tylko w lotnictwie wojskowym, ale także cywilnym, przyczyniając się do bardziej zrównoważonego rozwoju w przyszłości.

Podsumowanie

Silniki turbinowe, wykorzystywane w lotnictwie i energetyce, wymagają paliw o wysokiej jakości, które zapewniają optymalną wydajność, bezpieczeństwo i trwałość ich pracy. Kluczowe parametry paliw, takie jak wartość opałowa, stabilność termiczna, właściwości smarne oraz odporność na zamarzanie, mają bezpośredni wpływ na funkcjonowanie tych jednostek napędowych. Zanieczyszczenia czy nieodpowiednia specyfikacja paliwa mogą prowadzić do problemów eksploatacyjnych, takich jak korozja, odkładanie się osadów czy zwiększone zużycie podzespołów.

W obliczu rosnących wymagań ekologicznych oraz wyczerpywania się paliw kopalnych coraz większe znaczenie zyskują paliwa alternatywne. Biopaliwa, paliwa syntetyczne oraz wodór oferują potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych i zmniejszenia zależności od ropy naftowej. Jednak ich zastosowanie wymaga rozwoju technologii silników, dostosowania infrastruktury oraz rozwiązania problemów

związanych z produkcją i dystrybucją. Przykładowo, biopaliwa drugiej generacji produkowane z odpadów rolniczych stanowią bardziej zrównoważoną alternatywę, ale wciąż mierzą się z ograniczeniami produkcyjnymi.

Podsumowując, jakość i rodzaj paliwa są kluczowe dla efektywnego działania silników turbinowych. Wdrożenie paliw alternatywnych wymaga dalszych badań, inwestycji i współpracy między przemysłem, nauką oraz rządami państw, co pozwoli sprostać wyzwaniom technologicznym, ekologicznym i ekonomicznym współczesnego świata.

Bibliografia:

- [1] Górka, K., Górski, W. (1986). *Materiały pędne i smary*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [2] Janeba-Bartoszewicz, E. (2019). Analiza właściwości paliw stosowanych współcześnie w silnikach statków powietrznych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 20(1–2), s. 251–254. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-af49730e-0643-4069-b931-d430c6f818be> [dostęp: 25.06.2025].
- [3] Łysoń, M. (2025, 19 stycznia). *Historyczna misja norweskich F-35. Świat patrzy z niedowierzaniem* <https://www.chip.pl/2025/01/wojskowy-samolot-mysliwski-f-35-paliwo-satf> [dostęp: 25.06.2025].
- [4] Placha-Hetman, K. (2017, 14 listopada). *O paliwach lotniczych dla osób ciekawych* <https://polot.net/pl/paliwa-lotnicze-2017r-556> [dostęp: 25.06.2025].

Czeski miesięcznik modelarski „RC revue”

Jarosław Pytka

Na rynku czasopism jest wiele tytułów poświęconych modelarstwu. Jednym z nich jest pochodzący z Czech „RC revue”. Miesięcznik ten wyróżnia się przede wszystkim wysoką jakością merytoryczną publikowanych artykułów oraz doskonałą szatą graficzną. Czytelnicy prasy modelarskiej być może pamiętają miesięcznik „Modelar”, dostępny także w naszym kraju, chętnie czytany głównie dzięki wartościowej zawartości – interesującym artykułom metodycznym czy wysokiej jakości planom modeli. „Modelar” jest nadal wydawany, jednak zmianie uległ profil czasopisma: z ogólnomodelarskiego na bardziej specjalistyczny, skupiony na problematyce modeli redukcyjnych, głównie plastikowych. Natomiast schedę po miesięczniku „Modelar” w tematyce modeli funkcjonalnych przejęło właśnie „RC revue”, wydawane od 2000 r. Redaktorem naczelnym pisma jest Jiří Rumíšek, zaś Redakcja mieści się w Pradze. „RC revue” dostępny jest także w Polsce.

Czasopismo poświęcone jest głównie modelom latającym, przeważnie zdalnie sterowanym. Na stronach miesięcznika możemy przeczytać zarówno opisy modeli „z pudełka” (czy to w formie zestawów do montażu, tzw. ARF, czy też gotowych do lotu), jak i plany oraz rysunki wykonawcze modeli do samodzielnego złożenia. Dominują tu modele latające z napędem elektrycznym i jest to przejaw ogólnoswiatowego trendu. Co ciekawe, nie ma w piśmie mowy o wpływach organizacji proekologicznych, po prostu napęd elektryczny sprawdza się najlepiej – jest cichy, czysty, bardzo prosty w obsłudze i oczywiście nie emituje substancji toksycznych. Modelarze sami dokonali tego wyboru. Owszem, znajdziemy w „RC revue” plany czy opisy modeli z napędem na silnik spalinowy, jednak jest ich zdecydowanie mniej, są to raczej modele duże, makiety zawodnicze klas F4C lub F4H. W czasopiśmie pojawiają się również liczne fotograficzne relacje z zawodów modelarskich, a także fotoreportaże z takich imprez.

Sz szczególnie wartościowe są artykuły metodyczne poruszające wybrane zagadnienia dotyczące budowy modeli, tzw. tajemnice warsztatowe. Teksty te, uzupełniane szkicami lub schematami, są tym cenniejsze, że obecnie obserwuje się regres klasycznego modelarstwa rozumianego jako budowanie modeli od podstaw lub na podstawie planów. Przegrywa ono z gotowymi modelami, które można kupić. Na łamach „RC revue” często pojawiają się rysunki modeli zawodniczych czy wyczynowych oraz plany i opisy budowy prostych modeli dla początkujących.

Obok artykułów o modelach latających zdalnie sterowanych, w „RC revue” znajdziemy też publikacje na temat innych modeli: swobodnie latających, rakiet, a także modeli pływających czy kołowych (tych ostatnich jest stosunkowo niewiele).

W każdym numerze znajdziemy krótki przegląd rynku, w ramach którego prezentowane są nowości pojawiające się w sprzedaży: modele, silniki, elektronika modelarska.

Obowiązkową pozycją w każdym numerze jest monografia wybranego samolotu. W jej skład wchodzi dość obszerny opis historii rozwoju, szczegółowy opis konstrukcji, charakterystyka techniczna, a także rysunek danego samolotu wraz z przekrojami kadłuba, profilami skrzydła, a nierzadko również rysunki wybranych podzespołów oraz fotografie.

Osobliwością jest dział „Retro”, w którym autorzy – modelarze z długoletnim stażem – przypominają początki rozwoju techniki modelarskiej, prezentując np. silniki napędowe czy urządzenia radiosterujące sprzed kilkudziesięciu lat. Publikowane są również opisy i plany modeli retro.

Czasopismo posiada własną, stale uaktualnianą stronę internetową. Dla zwolenników e-czasopism dostępna jest oferta wydań w formacie PDF.

Redakcja publikuje także plany modeli. Część katalogu planów to reedycja serii planów wydawanych dawniej jako dodatek do wspomnianego czasopisma „Modelar”. Ukazują się tu także nowe plany modeli różnych wielkości, klas i przeznaczenia. Plany wydawane są w formie drukowanej, na arkuszach A1 lub A0, w skali 1 : 1 i zawierają dokładne rysunki modeli wraz z szablonami żeber skrzydła, wręg kadłuba, itd. Uzupełnieniem każdego planu jest opis budowy modelu.

Ponieważ czeski, należący do rodziny języków słowiańskich, nie stanowi dla większości Polaków istotnej bariery, miesięcznik „RC revue” może stać się pożyteczną i wartościową lekturą, a także źródłem cennych wiadomości o budowie modeli, ich oblatywaniu czy o startach zawodniczych.



Makieta latająca klasy F4H samolotu Van's RV-7

Vladimir Rynes (młodszy)
Czechy



Autor artykułu z modelem samolotu RV-7

Streszczenie

W artykule przedstawiono konstrukcję i technologię wykonania modelu latającego klasy F4H na przykładzie makiety samolotu RV-7. Opisano poszczególne etapy projektowania oraz konstruowania modelu. Przedstawiono technologię i materiały konstrukcyjne użyte do budowy. Szczegółowo opisano wykonanie wybranych elementów i podzespołów modelu.

Słowa kluczowe: makieta samolotu, materiały konstrukcyjne, model klasy F4H

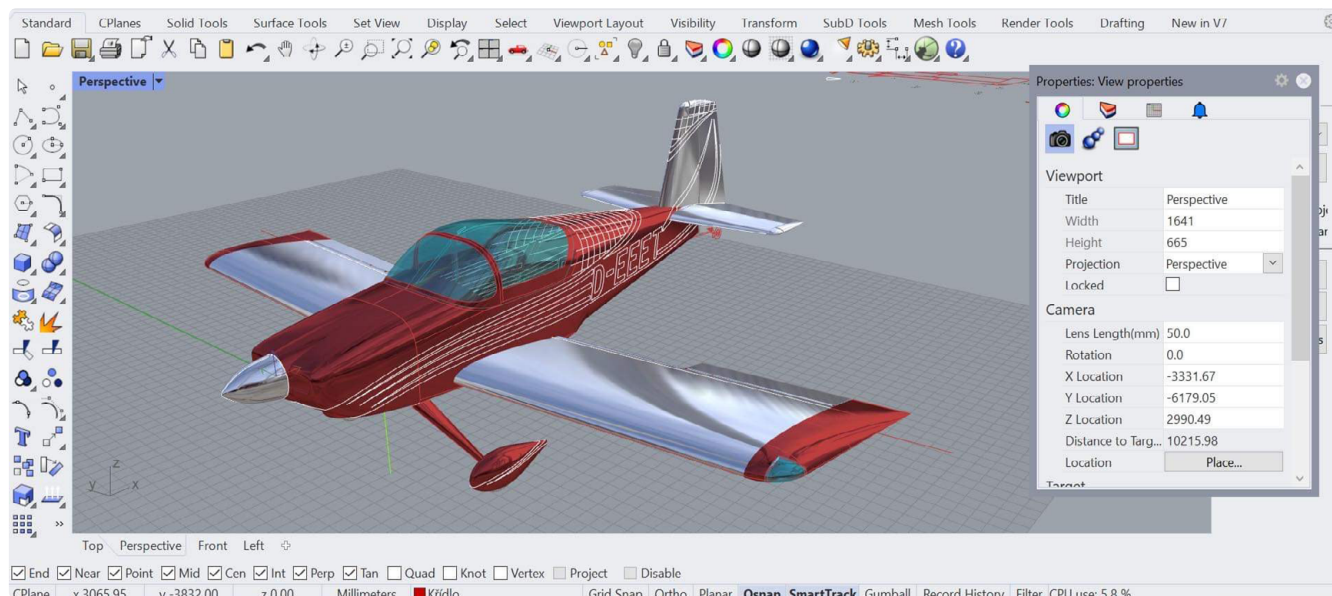
Wprowadzenie

Modele redukcyjne samolotów, czyli makiety latające lubiłem już jako mały chłopiec. Zawsze pochłaniałem artykuły w magazynach ze wszystkich mistrzostw i zawodów. Makiety

samolotów były dla mnie swego rodzaju świętym Graalem modelarstwa. Gdy budowałem własne modele, zawsze starałem się o zgodność z oryginałem, choć startowałem jeszcze wtedy wyłącznie na poziomie krajowym. Mojego Van'sa RV-4 zbudowałem już tak, aby pasował do kategorii F4H. Jednak ambicje konkursowe zawsze przegrywały w zderzeniu z letnią sesją egzaminacyjną, która zbiegała się z zawodami modeli.

Dopiero w 2022 r. udało mi się wcześniej zdać wszystkie egzaminy, a pierwsze zawody pucharowe były na szczęście dość blisko – w Třebíču. Od tego więc wszystko się zaczęło. Fascynowały mnie konkursy makiet latających. Okazało się, że mój model samolotu RV-4 jest dość konkurencyjny, pomimo kompaktowych wymiarów.

Wybierając pierwowzór, wiedziałem, że nowy model, ze względu na dążenie do realizmu dźwięku, będzie napędzany silnikiem spalinowym. Powinien też maksymalnie wykorzystywać dopuszczalną masę 15 kg ze względu na możliwości



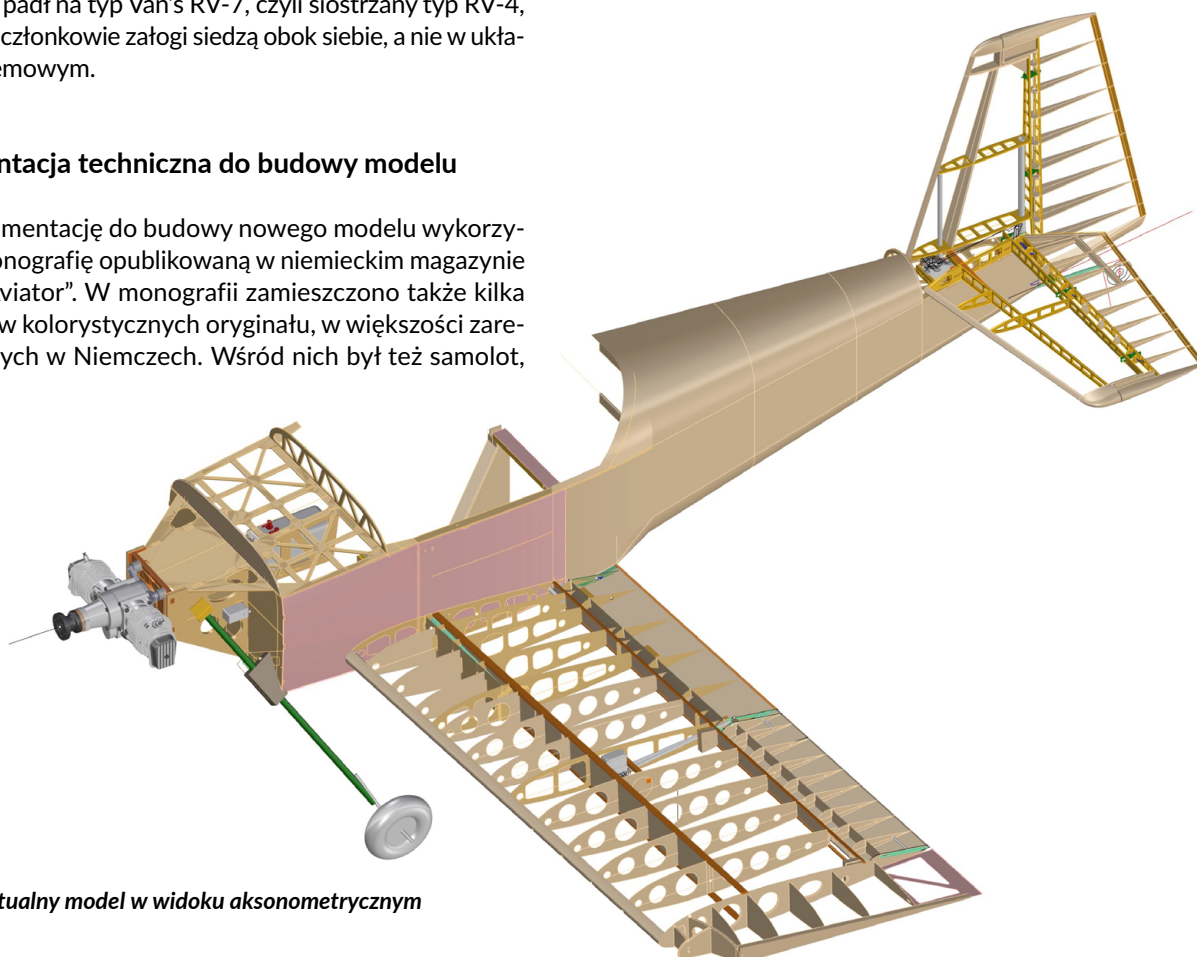
Ryc. 1. Projekt modelu samolotu RV-7 w programie CAD

lotu w gorszych warunkach oraz powinien być przystosowany do akrobacji. Byłem tak zadowolony z osiągnięć modelu RV-4, że przez długi czas rozważałem wykonanie go w powiększonej wersji. Ostatecznie jednak zrezygnowałem, głównie ze względu na jakość posiadanej dokumentacji samolotu, która jest niezbędnym elementem sukcesu w zawodach. Bez wysokiej jakości materiałów zwycięstwo nie jest możliwe. Dlatego też wybór padł na typ Van's RV-7, czyli siostrzany typ RV-4, gdzie obaj członkowie załogi siedzą obok siebie, a nie w układzie tandemowym.

Dokumentacja techniczna do budowy modelu

Jako dokumentację do budowy nowego modelu wykorzystałem monografię opublikowaną w niemieckim magazynie „Modell Aviator”. W monografii zamieszczono także kilka schematów kolorystycznych oryginału, w większości zarejestrowanych w Niemczech. Wśród nich był też samolot,

który naprawdę wpadł mi w oko, a w dodatku stacjonował w Tannheim w Niemczech, czyli jakieś 4 godziny jazdy od domu. Po tym, jak udało mi się skontaktować z właścicielem i ten zgodził się na dokładne sfotografowanie samolotu, zapadła ostateczna decyzja. Umówiliśmy się, pojechałem i zrobiłem około 1200 zdjęć RV-7 z Tannheim.



Ryc. 2. Wirtualny model w widoku aksonometrycznym

Projekt modelu samolotu

Nastąpiło kilka tygodni pracy z programem CAD. Najpierw zamodelowałem cały samolot w 3D (ryc. 1), następnie zacząłem rysować konstrukcję w kształtach zewnętrznych (ryc. 2). Pozwoliło mi to zastosować dość szeroką gamę nowoczesnych metod, od frezarki CNC po drukarkę 3D. Im więcej czasu spędzałem przy komputerze, tym rzadziej przebywałem w warsztacie. Poza tym mogłem rysować model na zajęciach w ramach studiów.

Ze względu na dość majestatyczne wymiary – rozpiętość 2,82 m, długość 2,3 m i wybraną skalę 1 / 2,7 zrobiłem wstępny model z tektury i próbowałem zmieścić go w samochodzie rodziców, który stanowi środek transportu dla modeli na lotnisko. Model z tektury zmieścił się z dokładnością do milimetrów. Całą konstrukcję konsultowałem z ojcem, starszym projektantem i mentorem w jednej osobie. Doradził mi również, jak obliczyć rozkład siły nośnej na skrzydle i wynikające z tego wymiarowanie dźwigara i rurki łączącej skrzydła. Po kilku konsultacjach zgodziliśmy się na zachowanie oryginalnych profili powierzchni nośnych i regulację samolotu. Konkretnie, skrzydło posiada profil NACA 23013. Jak się później okazało, był to dobry wybór. Dziękuję tato!

Budowa skrzydła

Budowę rozpocząłem w lutym 2023 r. od wykonania skrzydła modelu. Ze względu na klasyczną konstrukcję (ryc. 3) sięgnąłem po moją ulubioną technologię, gdzie całe skrzydło buduję na 2 rurach montażowych (ryc. 4). Na rury nawlekane są żebra ze sklejkii topolowej 3 mm i balsy, ułożyłem je w odpowiednim miejscu i przykleiłem świerkowe dźwigary oraz laminowaną obudowę rury łączącej płaty. Następnie przykleiłem balsowe wypełnienia pasów dźwigara i zawiasy lotek wykonane z laminatu.

Pokrycie skrzydła stanowi duży arkusz lekkiej balsy o grubości 2 mm. W płycie dolnej w miejscu zawiasów kłapy przyklejone są wcześniej przygotowane obudowy ze sklejkii, mocowane na zawiasy. Po wyjęciu skrzydła z rurek montażowych uzupełniłem lamele łuku końcowego (ryc. 5) i załami nowałem powierzchnię skrzydła balsą. Następnie ponownie przeszlifowałem całe skrzydło. Rycina 4 przedstawia skrzydło w trakcie budowy opisaną technologią.

Lotki i kłapy również są konstrukcjami klasycznymi z żebrami z balsy lub sklejkii (ryc. 6), dźwigarami z balsy i są również pokryte balsą 2 mm. Zawiasy lotek wykonane są z laminatu w sposób zbliżony do oryginału. Zawiasy kłap



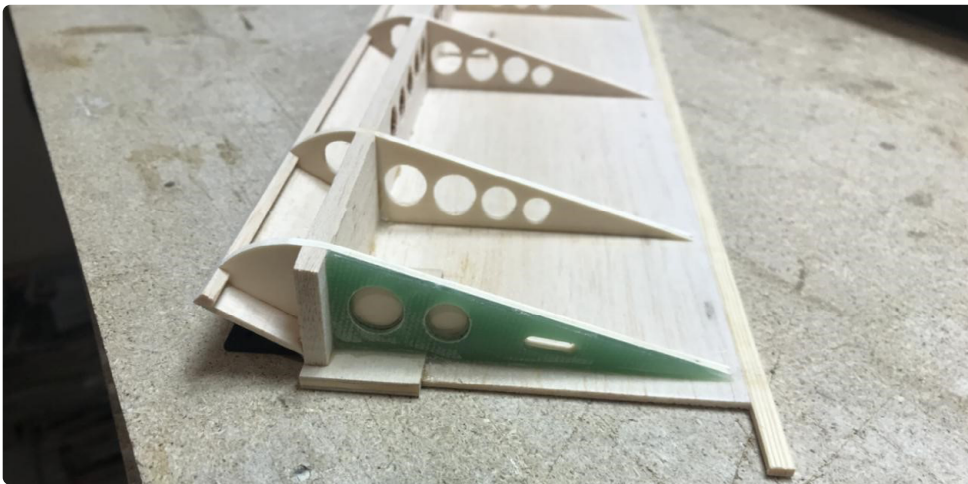
Ryc. 3. Wyfrezowane części gotowe do budowy skrzydeł



Ryc. 4. Skrzydła zbudowane są na dwóch rurach prowadzących. Już na etapie budowy przygotowałem w skrzydle papierowe rurki do przeciągnięcia kabli



Ryc. 5. Łuk końcowy skrzydła jest laminowany paskami balsy, a następnie szlifowany do odpowiedniego kształtu



Ryc. 6. Żebro nasady kłapy wzmocnione jest laminatowym podkładem pod napęd kłapy

są klasyczne, płaskie, firmy MPJet. Ze względów bezpieczeństwa chciałem rozwiązać problem napędu kłap jednym wspólnym serwem. Wybrałem więc tę samą metodę, którą mamy już w kilku naszych modelach. Serwo umieszczone jest w kadłubie, a napęd skrętny przez niego przechodzi. Na zewnątrz kadłuba są dwa druty zagięte w literę L (przyklejone do rury skrętnej). Trzpień ten następnie wpasowuje się w laminowaną obudowę ze szczeliną w żębrze nasady kłapy. Przy składaniu modelu wystarczy dosunąć skrzydła do kadłuba, wtedy drut wchodzi w rowek prowadzący i gotowe. System działa sprawnie i niezawodnie.

Usterzenie

Kontynuowałem budowę steru wysokości. Biorąc pod uwagę wielkość usterzenia, było jasne, że konstrukcja musi umożliwiać składanie zespołu. Postanowiłem zbudować ster wysokości jako całość i zabezpieczyć 4 śrubami poliamidowymi. Podstawowa konstrukcja, pokazana na rycinie 7, odpowiada dokładnie oryginałowi i wykonana jest z nieco jaśniejszej sklejki topolowej. Poszycie, ze względu na wagę, wykonane jest z balsy o grubości 1,5 mm. W centralnej części statecznika poziomego znajduje się łożo dla dwóch



Ryc. 7. Konstrukcja wewnętrzna statecznika poziomego jak w oryginale

serwomechanizmów steru wysokości. Ze względów bezpieczeństwa zdecydowałem się sterować każdą połówką steru za pomocą osobnego serwa. Do połówek steru przykleiłem drut o średnicy 6 mm, na który następnie za pomocą kleju Locktite przykleiłem duraluminiowe dźwignie i zabezpieczyłem je mechanicznie. Zawiasy steru wysokości zostały zalaminowane, a w stery wkleiłem druty 2 mm, które pasowały do zawiasu statecznika. Dzięki temu ster można w razie potrzeby łatwo zdemontować.

Następnie przystąpiłem do budowy usterzenia pionowego. Długo zastanawiałem się, czy wykonać je jako demontowalne oraz rozważałem, jak to zrealizować, aby nie było zbyt widoczne (w oryginale statecznik pionowy jest na stałe przymocowany do kadłuba). Ostatecznie zdecydowałem się na wersję składaną, głównie ze względu na transport i przechowywanie modelu. Demontaż steru kierunku rozwiązałem za pomocą rurek węglowych. W kadłubie umieszczone zostały tuleje, w które włożyłem rurki węglowe wklejone w trzonek steru. Przymocowałem go małą śrubką poliamidową, którą włożyłem do rurki prowadzącej od spodu kadłuba i wkręciłem w rufę.

Podstawowa konstrukcja steru kierunku odpowiada dokładnie oryginałowi (ryc. 9). Poszycie wykonane jest z lekkiej balsy o grubości 1,5 mm, podobnie jak w przypadku steru wysokości. Końcowe łuki usterzenia pionowego są szlifowane z bloków superlekkiej balsy. Już podczas budowy, a zwłaszcza końcowego szlifowania steru kierunku, kilkakrotnie przykleiłem taśmą papierową szachownicę. Ona „nie wybaczy” żadnego błędu w kształcie...



Ryc. 8. Kompletne usterzenie poziome przed wykończeniem

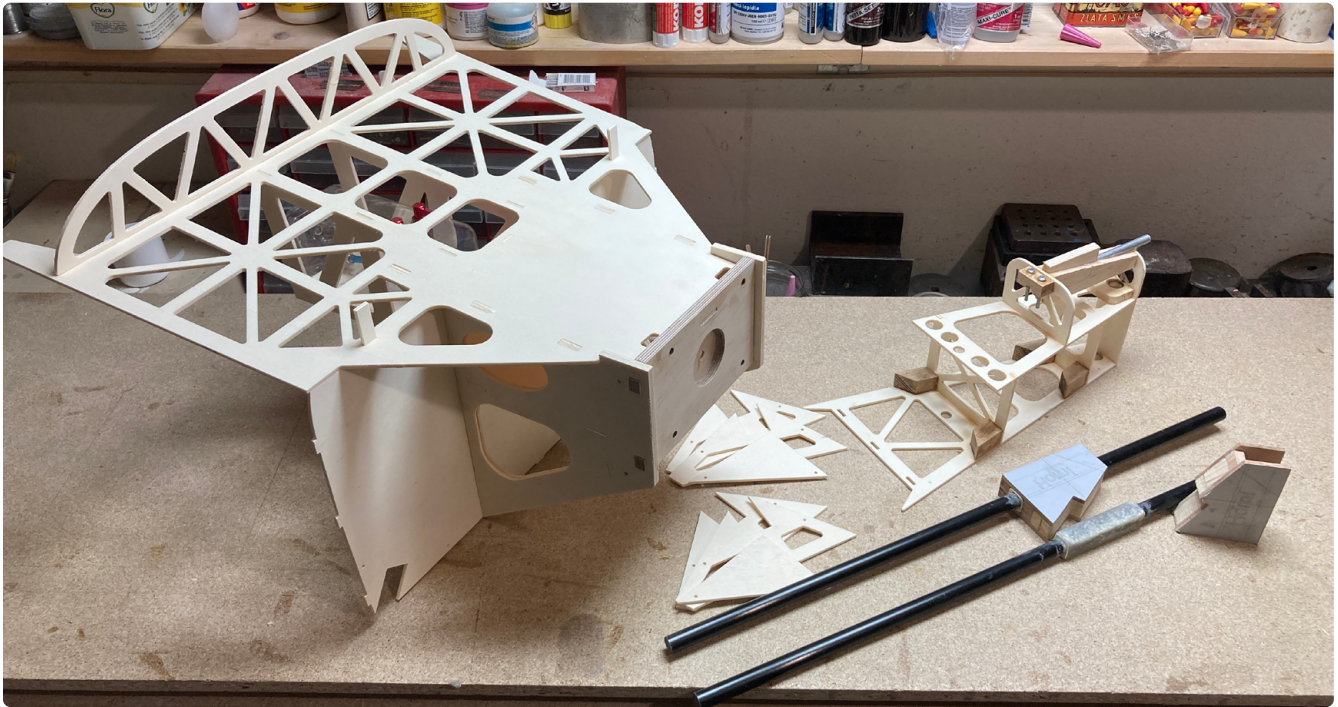


Ryc. 9. Konstrukcja statecznika pionowego

Kadłub modelu

Do wykonania pozostał kadłub modelu. Zacząłem od budowy grodzi silnika z brzozonej sklejki lotniczej, następnie przygotowałem węzeł zespołu ogonowego i boki łoża silnika (ryc. 10). Te ostatnie wykonane są z dwóch warstw topoli o grubości 3 mm, pomiędzy które, dla pewności, włożyłem tkaninę szklaną. Właściwie aż do tylnej krawędzi kokpitu

kadłub wykonany jest ze sklejki. W większości elementy konstrukcyjne kadłuba są zrobione z topoli, na boki i podłogę użyłem drewna kapokowego (Ceiba) grubości 2 mm. Dzięki temu kadłub jest sztywny, burty – jak na makietę – cienkie, z wzorową liczbą przegród, a masa całości nie jest zbyt duża. Konstrukcję wewnętrzną kadłuba pokazano na rycinach 11, 12 i 13.



Ryc. 10. Podzespoły konstrukcyjne przedniej części kadłuba



Ryc. 11. Kadłub w trakcie montażu



Ryc. 12. Konstrukcja tylnej części kadłuba



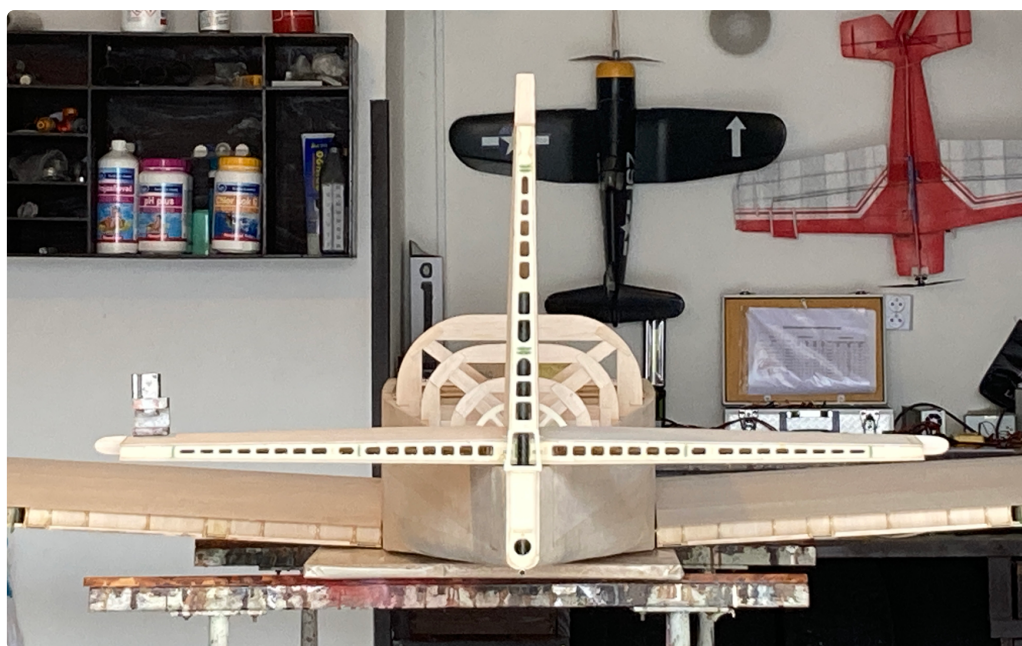
Ryc. 13. Klejenie poszycia kadłuba

Za kokpitem przymocowane są boczne panele z balsy. Połączyłem je ze sklejką pod kątem, od wewnątrz okleiłem sklejką 0,4 mm, a od zewnątrz zaalaminowałem. Grodzie w tylnej części kadłuba to balsa konstrukcyjna, węzeł wytrzymałościowy w ogonie, gdzie montowane są usterzenia i ostroga wykonany jest ze sklejki topolowej. Ponieważ kadłub montowany był klasycznie „ku górze”, na płaskiej desce konstrukcyjnej, konstrukcję zamknęto podłogą, a przejścia na burty zaalaminowano. Mój tata słusznie zauważył, że po obróceniu kadłuba model bardziej przypomina kajak niż samolot. Wyglądał tak

zarówno pod względem kształtu, jak i rozmiaru. Potem jednak nastąpiło przyklejenie przegródek z tyłu i nadszedł ten zachwycający, dla mnie wręcz magiczny moment pierwszego montażu powstającego modelu (ryc. 14). Następnie sprawdziłem poprawność geometrii całego samolotu za pomocą oka i miernika laserowego i zamknąłem kadłub tylną ścianką (ryc. 15). Był lipiec, cieszyłem się wakacjami i zakończyłem prace konstrukcyjne. Zaalaminowałem cały model jedną warstwą tkaniny o gramaturze 23 g/dm², a ze względu na oszczędność masy usterzenia zaalaminowałem tkaniną 17 g/dm² (ryc. 16).



Ryc. 14. Model samolotu czy kajak? Pierwszy montaż surowych podzespołów modelu



Ryc. 15. Sprawdzenie prawidłowości montażu usterzeń

Ponieważ cały model miałem przygotowany w CAD, intensywnie korzystałem z druku 3D. Wydrukowałem całą pokrywę silnika jako pozytyw (ryc. 17), dopasowałem do samolotu i usunąłem wady i niedokładności. Następnie spryskałem go uszczelniaczem w sprayu i zabrałem na zawody makiet w Suché, aby pochwalić się znajomym. No cóż, nie powinienem się przechwalać, a tym bardziej zostawiać wydrukowaną pokrywę za szybą samochodu w drodze do domu... Okładka zwinęła się fantazyjnie i obwisła, więc musiałem ją ponownie dopasować i przykleić. Kontynuowałem pracę przy budowie form okapotowania silnika. Ponieważ nigdy nie robiłem formy negatywowej, poprosiłem o radę bardziej doświadczonego kolegę. Zgodnie z instrukcją wykonałem płaszczyzny podziału, pokryłem kopyta separatorem, którym był воск pszczeli rozpuszczony w benzynie (genialne rozwiązanie!), nałożyłem żywicę formierską i tkaninę szklaną. O dziwo, udało się za pierwszym razem (ryc. 18). Kolejne laminowanie było już dużo prostsze. Jednak na wszelki wypadek zrobiłem zapasowe okapotowanie.

Długo myślałem, jak zabezpieczyć osłonę silnika. W oryginale jest ona zabezpieczona drutem włożonym w zawias fortepianowy, którego połowa jest przynitowana do ściany ogniowej w kadłubie, a druga przyklejona do nadburcia. Ostatecznie rozwiązałem problem zabezpieczenia za pomocą 6 śrub, które wkręciłem w pokrywę silnika, przewierciłem ściankę przeciwpożarową i wkręciłem nakrętki samozabezpieczające od wewnątrz kadłuba. Zdejmowanie osłony jest trochę pracochłonne, ale jest ona sztywna i lekka, więc po pewnym czasie, zwłaszcza po tuningu silnika, można to zrobić z łatwością. Następnym krokiem było wykonanie oprofilowania przejścia steru kierunku i steru wysokości. Podstawę kształtu wyrzeźbiłem z ekstrudowanego polistyrenu, stworzyłem delikatne przejścia z modeliny. Załaminowałem przejście do formy pozytywowej, rozebrałem i zagruntowałem. Konstruowanie oprofilowania pokazano na rycinie 19.



Ryc. 16. Laminowanie kadłuba tkaniną szklaną przesyconą żywicą epoksydową



Ryc. 17. Budowa formy pozytywowej osłony silnika



Ryc. 18. Surowa forma negatywowa osłony silnika po zdjęciu z kopyta



Ryc. 19. Wykonanie oprofilowania przejścia między sterem wysokości i kierunku

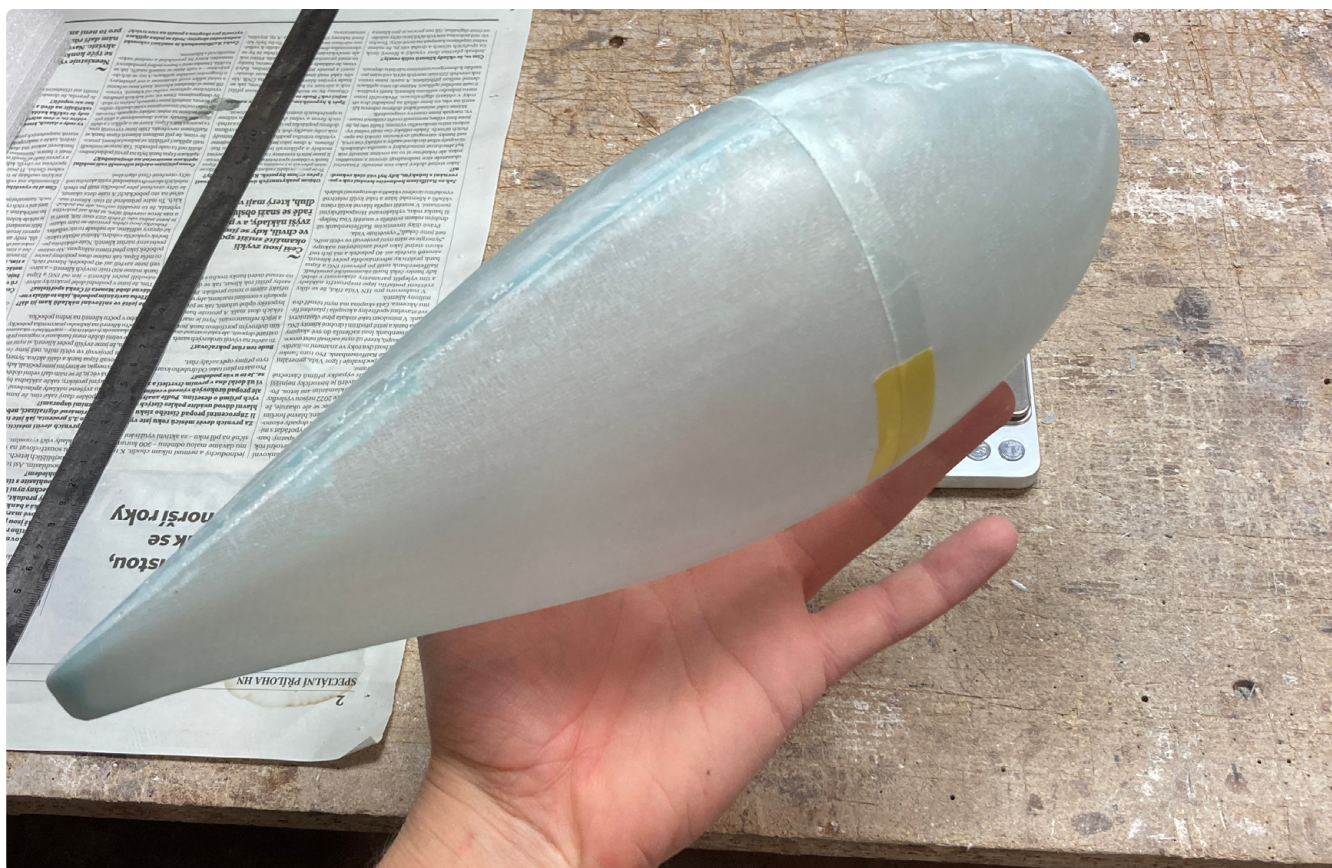
Podwozie

Od początku wiedziałem, że golenie podwozia będą wykonane zgodnie z tą samą koncepcją jak w poprzednim, małym modelu RV-4. Zostały one więc zrobione z prętów laminowanych, które przy odpowiednim rozmiarze skutecznie sprężynują i dzięki nim każde przyziemienie to błahostka. Jedyne, o czym myślałem przez dłuższy czas, to sposób zabezpieczenia. Szukałem rozwiązania, które pozwoliłoby mi je łatwo zdemontować, najlepiej bez użycia narzędzi. Mój główny projektant w końcu wymyślił rozwiązanie. Zrobiłem pudełko na listwach z laminatu, do którego wlałem żywicę Epoxy 1200 wraz z wypełniaczem. Następnie przeszlifowałem pudełko ze sklejki. W ten sposób na rurze laminowanej pozostał kwadrat, który wsuwa się w przyklejoną do ściany ogniowej obudowę ze sklejki lotniczej. Ten kształt połączenia zapobiega obracaniu się goleni podwozia (ryc. 20). Zabezpieczenie przed wyrzutem jest bardzo proste. Przewierciłem cały węzeł i od wewnętrznej strony kadłuba wprowadziłem drut o średnicy 1,5 mm. Następnie górny koniec pręta laminowanego włożyłem do ślepego otworu na łożu silnika. Oś koła wykonana jest z drutu ze stali nierdzewnej. Przylutowałem do niego srebrnym lutem okucia utrzymujące aerodynamiczne kołpaki, tak jak jest w oryginale. Drut został przyklejony do pręta żywicą epoksydową 1200 i dodatkowo owinięty rovingiem szklanym.

Aerodynamiczne osłony kół podwozia (ryc. 21) załaminowałem do formy negatywowej wydrukowanej na drukarce 3D. Są dwuczęściowe, tak jak na oryginale. Rękawy goleni



Ryc. 20. Konstrukcja zabezpieczenia goleni podwozia w przedniej części kadłuba



Ryc. 21. Osłona koła podwozia



Ryc. 22. Wykonanie opprofilowania przejścia między rękawem goleni podwozia a kadłubem



Ryc. 23. Wykonanie opprofilowania przejścia między rękawem goleni podwozia a osłoną koła

podwozia również zostały zalaminowane do drukowanej formy negatywowej. Wyzwaniem było przejście między golenią podwozia a kadłubem oraz między golenią a osłoną koła (ryc. 22 i 23). Nie jestem wystarczająco dobry w modelowaniu 3D, aby rozwiązać te skomplikowane kształty na komputerze. W końcu zastosowałam metodę, którą obserwowałam jako dziecko w Magicznym Przedszkolu. Nakładałam na siebie kolejne warstwy taśmy samoprzylepnej aż do uzyskania pożądanego kształtu, co następnie ponownie zalaminowałam. Metoda mało estetyczna, ale funkcjonalna.

Ostrogę tylną wykonano z pręta węglowego, gdyż lami nat okazał się za miękki. Trochę martwiłem się zagrożeniem

uszkodzenia modelu w czasie transportu, więc chciałem, aby ostroga była również łatwa w demontażu. Przykleiłem więc do kadłuba aluminiową tuleję rurową, spłaszczyłem pręt ostrogowy na końcu i wkleiłem do kadłuba dwie śruby. Po włożeniu ostrogi zabezpieczyłem ją duraluminiową obejmą, którą dokręciłem do spłaszczenia pręta za pomocą wspomnianych wcześniej śrub i dwóch nakrętek samohamownych. Okucie koła ogonowego wykonane zostało ze stali nierdzewnej, lutowanej srebrem (ryc. 24). Na koniec wkleja się do niego wspomniany wcześniej pręt węglowy. Nietypowe koło ogonowe ma felgę wydrukowaną z PET i gumowy bieżnik, również wydrukowany (ryc. 25).



Ryc. 25. Koło ogonowe z okuciem

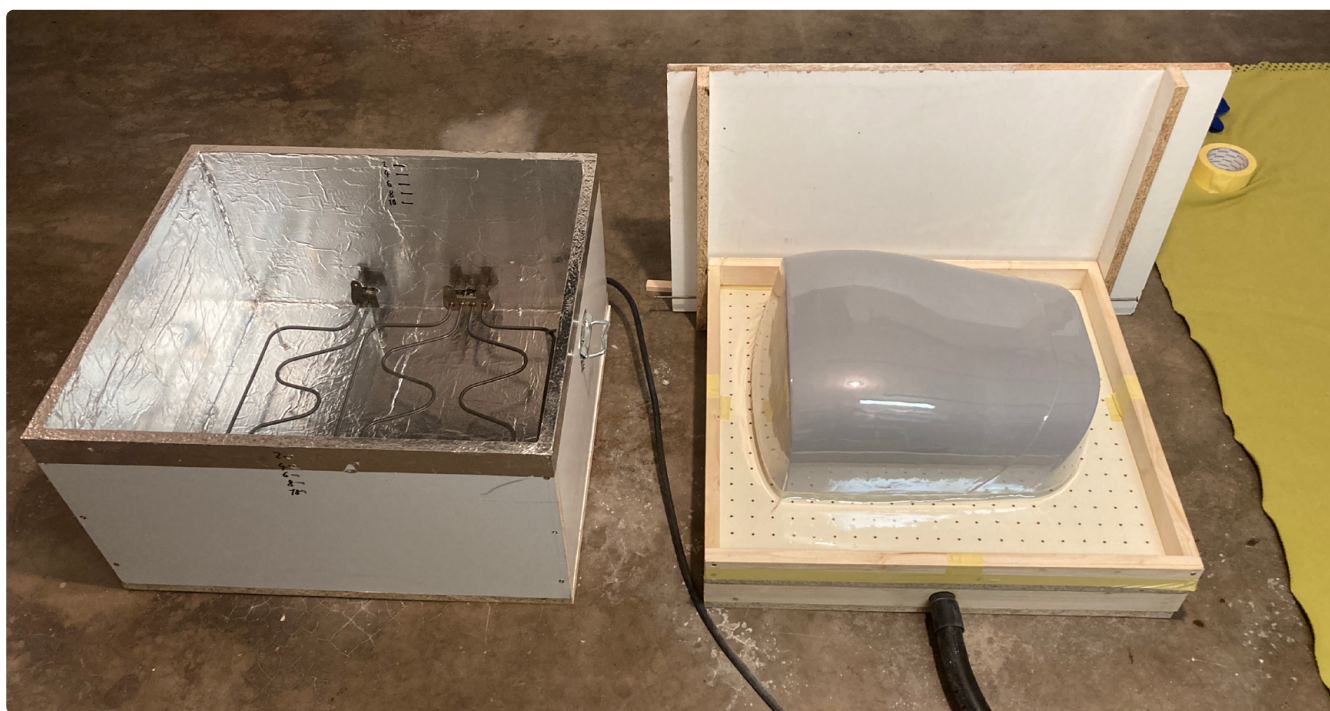


Ryc. 24. Okucie koła ogonowego wraz z ostrogą

Ostona kabiny

Chyba największym wyzwaniem całej konstrukcji modelu było zbudowanie ogromnej kabiny o wymiarach 630×405 mm. Dodatkowo zdecydowałem, że ze względu na płynne przejście tyłu bagażnika przed kabiną w ramę, w przedniej części będzie on częścią listwy kabiny. Wynikowe wymiary listwy powinny zatem wynosić 760×405 mm. Było więc jasne, że kabina będzie się składała z dwóch części, podobnie jak oryginał. W związku z tym chciałem, żeby druga część była odsuwana. Zacząłem od zrobienia kopyt. Ponownie skorzystałem z druku 3D. Wydrukowałem i oszpachlowałem oba kopyta, dodałem

do nich występy imitujące ramę, bo nawet oryginał miał całkowicie gładkie, prawie niezauważalne przejście między szybą a ramą i zacząłem szukać potencjalnego wykonawcy wytłoczki ostony kabiny. Ale, albo system próżniowy był za mały, albo firma nie chciała wyprodukować 2–3 sztuk wyprasek. Skończyła się moja cierpliwość, zamówiłem więc 2 spirale grzewcze z pieca Eta, kupiłem ścinki laminatu w Bauhaus, znalazłem w domu stary włącznik i zacząłem tworzyć własną skrzynkę próżniową (ryc. 26). Następnie zakupiłem dwa arkusze tworzywa Vivak o grubości 1 mm. Miałem zatem materiał na 6 wyprasek z każdej części. Końcowym efektem moich wysiłków były 2 prawidłowe wypraski każdej części kabiny (ryc. 27).



Ryc. 26. Skrzynia próżniowa do wykonania ostony kabiny – konstrukcja własna



Ryc. 27. Surowa wypraska przedniej części ostony kabiny

Ramę kabiny zalaminowałem cienkim fornirem i przeszlirowałem (ryc. 28). Dzięki temu rama jest stosunkowo lekka, ale jednocześnie bardzo sztywna. Do drukowanej formy zalaminowałem jedynie tylny łuk ramy, który przylega do tylnej części kadłuba. Aby łatwo dostać się do instalacji paliwowej i zapłonowej, zrobiłem zdejmowaną przednią część kabiny. Jej drewniana rama została przymocowana do kadłuba za pomocą 6 śrub (ryc. 29). Prowadnice oraz ramę ślizgową wykonałem z profili aluminiowych. Z dwóch pasków blachy wykonałem tylną szynę T mocowaną z tyłu kadłuba. Podobnie jak jest w oryginalnym samolocie, dodałem kołki, mocowane do ramy przesuwnej, które zabezpieczają tylne narożniki kabiny w pozycji zamkniętej. Potem nastąpił długotrwały montaż poszczególnych części, tak aby

wszystko działało bez zarzutu. Zajęło mi to całe Świąta Bożego Narodzenia, ale udało się. Listwy kabiny przykleiłem do ram za pomocą kleju „Canopy Glue”. Połączenie okazało się zadowalające, a po utwardzeniu klej stał się przezroczysty. Pierwotnie chciałem zabezpieczyćabinę w górnej części zamkiem (ryc. 30). Okazało się jednak, że wibracje od silnika po jakimś czasie z pewnością ją otworzą. Ostatecznie do zabezpieczenia użyłem dwóch konwencjonalnych zamków kabinowych firmy MP Jet. Przechodzą one przez szynę ślizgową i zabezpieczają tylną część w pozycji zamkniętej. Do ich otwierania użyłem śrub spustowych zbiornika znajdujących się na spodzie samolotu. Połączyłem je z zamkami za pomocą Bowdena. Gotowy zespół osłony kabiny pokazano na rycinie 31.



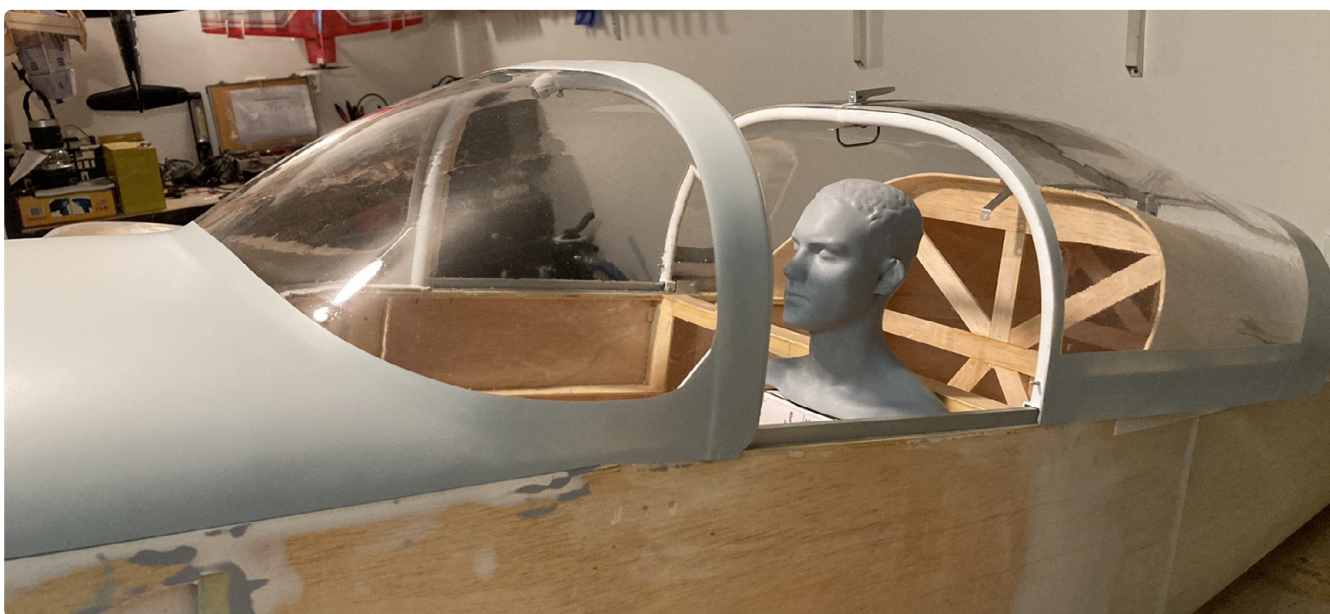
Ryc. 28. Rama osłony kabiny z prowadnicami



Ryc. 29. Rama przedniej części kabiny - wiatrochronu



Ryc. 30. Zamek w górnej części osłony kabiny nie jest funkcjonalny, ma na celu jedynie odtworzenie szczegółu jak w oryginalnym samolocie



Ryc. 31. Gotowa osłona kabiny w pozycji otwartej

Wykończenie modelu

Wreszcie stanął przede mną RV-7 w całej okazałości i przyszedł czas na dokończenie modelu (ryc. 32). Użyliśmy tradycyjnego lakieru poliuretanowego Milesi LBA 26. Jakież było moje zdziwienie, gdy podczas szlifowania lakier zaczął się oddzialać od tylnej części kadłuba. Musiałem więc odkleić Milesi wszędzie tam, gdzie nie trzymał jak należy, ponownie przeszlifowałem powierzchnię, odtłuściłem i zacząłem od nowa (ryc. 33). Wynik był już lepszy. Jak się później okazało, po nałożeniu paneli nadal były miejsca o gorszej przyczepności. Panele wykonałem standardową metodą z użyciem taśmy izolacyjnej i masy uszczelniającej dwuskładnikowej. Nie wiem, czy popełniłem błąd w procesie technologicznym, czy może zmieniono recepturę produktu. Oznaczyłem nity za pomocą mosiężnej rurki zamocowanej do miniwiertarki Dremel. Zrobiłem szablony i wbijałem nit za nit.

Powoli, ale nieubłaganie nadchodził czas malowania. Postanowiłam po raz pierwszy wypróbować bazy. Właściwie niewiele więcej mi zostało. Oryginał był pomalowany fantastycznym czerwonym metalicznym kolorem „Mazda Design Rot 13b” i czarnym „Ford Black Panther” (ryc. 34). Aby odnaleźć oryginalne kolory, skontaktowałem się ze znajomym, który jest modelarzem i lakiernikiem samochodowym w jednej osobie. Chętnie opisał cały proces i przygotował niezbędne pigmenty w odpowiedniej ilości. Dodatkowo zaproponował mi skorzystanie z lakierni samochodowej z profesjonalnym sprzętem do lakierowania na najwyższy połysk. Fajnie! Maski na szachownicę przygotowałem już wcześniej. Użyłem projektora, aby wyświetlić zdjęcie oryginału na kadłubie i zacząłem rysować poszczególne kwadraty szachownicy. Ostatecznie był to przyjemnie spędzony weekend, po którym wszędzie widziałem kwadraty. Zleciłem agencji reklamowej wycięcie na ploterze liter znaków rejestracyjnych samolotu.



Ryc. 32. Gotowy do malowania model



Ryc. 33. Nakładanie warstwy podkładowej w garażu



Ryc. 34. Schemat malowania oryginału

Malowanie modeli jest historią samą w sobie. Po doświadczeniu malowania w garażu rodziców makiety Złina 226 należącej do mojego ojca, mama kategorycznie zabroniła mi tu jakichkolwiek prac malarskich. Schroniłem się więc w pustym garażu mojej babci i w piątkowe popołudnie nałożyłem pierwszą warstwę farby. Kabinę lakierniczą umówiono na poniedziałkowe popołudnie. W sobotę rano zamaskowałem czarną farbą na kadłubie i natrysnąłem białą. Po zdjęciu maskowania wszystko sprawdziłem i tu i ówdzie zdecydowałem się na poprawki. Nagle nadeszło sobotnie popołudnie i zacząłem się zastanawiać, czy maluję prawidłowo. Zadzwońiłem więc z prośbą o pomoc do znajomego, który starannie zamaskował wolne obszary papierem do pakowania. W niedzielę rano ponownie nałożyłem biały kolor na naprawione obszary i zacząłem maskować skrzydła i ogon (ryc. 35). Późnym popołudniem pojawiła się biel na skrzydłach i ogonie i zdałem sobie sprawę, że nie zdążę przed końcem weekendu. Zadzwońiłem do Petra i usłyszałem: „Musisz to zrobić teraz,



Ryc. 35. Malowanie natryskowe modelu w komorze lakierniczej



Ryc. 36. Kadłub modelu po malowaniu

komora lakiernicza jest zajęta przez pełne kolejne 3 tygodnie, a bazy bez lakieru na tak długo nie da się zostawić...”

Na szczęście mogłem liczyć na pomoc taty. Mimo to kolor czerwony został położony dopiero około 4 rano w poniedziałek. To był ciężki czas – rano do pracy, po południu do lakierni oddalonej o około 60 km. Tam Petr pokazał mi co i jak, dodał farbę do pistoletu, a ja nałożyłem pierwszą warstwę bezbarwnego lakieru samochodowego. Muszę przyznać, że praca z profesjonalnym narzędziem jest nieporównywalna z moim hobbystycznym pistoletem i świetnie chodzi z ręki

do ręki. Po utwardzeniu pierwszej warstwy przeszlifowałem model papierem ściernym o ziarnistości 2000 i nałożyłem długą warstwę lakieru. Pozbyłem się w ten sposób dość wydatnych krawędzi na przejściach poszczególnych barw. Efekty prac malarskich pokazano na rycinach 36, 37 i 38. Cały czas bardzo się martwiłem o to, o ile model zyska na masie po malowaniu, bo rezerwa masy powoli, ale systematycznie zanikała. Uzyskane dodatkowych 350 g uważam za naprawdę dobry wynik!



Ryc. 37. Szczegóły malowania przedniej i środkowej części kadłuba



Ryc. 38. Tylna część kadłuba po malowaniu

Napęd i wyposażenie pokładowe

Była wiosna 2024 r. i powoli zbliżał się sezon zawodów. Doposażyłem model w silnik i elektronikę. Jako napęd od początku wybrałem czeskiego 4-suwowego boxera Fiala FB-85. Wybrałem go przede wszystkim ze względu na niezawodność i łatwą obsługę, ale też dlatego, że wydaje ładny dźwięk. Miałem tłumik wykonany na zamówienie przez pana Břečkę. Wybrałem stosunkowo nowe serwa Kavan. W szczególności GO-1077 na lotki, klapy i ster, niskoprofilowe serwo GO-1035 idealnie pasowało do steru wysokości, a G-1053 znalazło swoje miejsce w komorze silnika do sterowania przepustnicą gaźnika. Serwa są bardzo precyzyjne i ciche, a biorąc pod uwagę doświadczenia innych modelarzy, nie mam zastrzeżeń co do ich żywotności. Pozostała część wyposażenia pochodzi od firmy Jetimodel. Pokładowe źródło prądu to dwie dwuogniowe baterie Powerlon 2s1p.

Ponadto swoje miejsce w modelu znalazł moduł Centralbox 210, a odbiór radiowego sygnału sterowania zapewnia tu odbiornik Jeti Rex 7 wyposażony w doskonałą stabilizację Assist. Skusiłem się też na bardzo wygodny gadżet, a mianowicie wyłącznik RC, dzięki któremu mogę zdalnie włączyć zasilanie w całym modelu przełącznikiem w nadajniku. Zależało mi też na funkcjonalnym oświetleniu, takim jak w oryginale. Ostatecznie wybór padł na bardzo wydajny system UniLight, który do Czech importuje pilzneńska firma TopWings. Oświetlenie zasilane jest z niezależnego dwuogniowego akumulatora Li-Pol Hacker TopFuel 350 mAh. Po zainstalowaniu całej elektroniki sprawdziłem środek ciężkości, który wyszedł idealnie, bez potrzeby montowania żadnych odważników.

Oblot

Oblot modelu, jeszcze bez wszystkich szczegółów, odbył się 28 kwietnia 2024 r. na naszym macierzystym lotnisku w Mojnë. Po dodaniu gazu model wystartował bardzo płynnie i konieczne było jedynie lekkie dotrymowanie. Prędkość modelu była realistyczna, a sterowność świetna. Nastąpiło lądowanie i ogromna ulga. Podczas pierwszych lotów stało się jasne, że RV-7 poradzi sobie z nieco cięższym „nosem”. Postanowiłem zafundować sobie luksus elektrycznego startera, który Fialamotors oferuje również do swoich silników. Pierwsze zawody zbliżały się nieuchronnie, a fabryczna przeróbka na rozrusznik zajmuje jednak trochę czasu. Na szczęście z pomocą wkroczył nasz prezes LMK Křemže, Franciszek Nodes, który dostarczył darmowy silnik z rozrusznikiem. W ciągu godziny jego zabytkowy silnik był już w moim modelu i zgodziliśmy się, że będzie mój na sezon 2024. Wielkie dzięki, Franku!

Szczegóły makietowe

W międzyczasie pilnie pracowałem nad szczegółami makietowymi. Model od początku budowany był z myślą o startach w kategorii F4H, gdzie modele oceniane są z odległości 5 m, lecz sędziowie nie oceniają kokpitu modelu ani jego spodu. Dodałem więc wszystkie widoczne anteny i światła pozycyjne z odblaskami. W przypadku akcesoriów zastosowałem druk żywiczny, który zapewnia powierzchni idealną strukturę (na przykład reflektory lądowania są drukowane, następnie



Ryc. 39. Ocena techniczna modelu podczas zawodów Mistrzostw Świata 2024

wkleja się w nie odbłyśnik z chińskiej latarki i mocną diodę firmy Uniligt). W dalszej kolejności dokończyłem kokpit z siedzeniami z depronu, dodałem też wyściółkę i pasy. Wiele lat temu miałem szczęście wykonać skan 3D mojego popiersia. Umieściłem je więc w kokpicie modelu. Popiersie wykonane zostało z materiału odlewniczego, a korpus i kończyny wykonano z polipropylenowych wypełnień pudełek. Ze względu na zbliżanie się do limitu wagowego problem deski rozdzielczej rozwiązałem, wykorzystując zdjęcie wydrukowane na papierze biurowym. Uzyskana waga całości zatrzymała się ostatecznie na 14 890 g.

Pierwsze zawody

Model był gotowy do zawodów. Konkursowa premiera odbyła się w Rakovníku 19 maja 2024 r., czyli w dniu, w którym minęło dokładnie 15 miesięcy od rozpoczęcia budowy modelu. Jednak moim głównym celem, przez cały okres konstruowania, były zaplanowane na lato 2024 r. Mistrzostwa Świata Makiet w Rumunii. Ponieważ model nieco przybrał na wadze w związku z montażem rozrusznika, zdecydowałem się na wymianę zasilaczy pokładowych na akumulatory Lipol, aby uzyskać rezerwę masy. Wybór padł na Hacker Topfuel w konfiguracji 2s1p. I opłaciło się. Indywidualne trzecie miejsce i drużynowe srebro na Mistrzostwach Świata w kategorii F4H są nagrodą za cały trud. Ale sukces cieszy mnie tym bardziej, że osiągnąłem go dzięki pomocy krajowych firm, w których produkty mój model został wyposażony.

Własności lotne

Własności lotne modelu są bardzo dobre. Dzięki prostokątnemu skrzydłu jest on bardzo przewidywalny. Podczas przeciągnięcia najpierw niemalże zatrzymuje się w powietrzu, po czym następuje posłuszne opuszczenie „nosa”, zachwianie i przepadanie na lewe skrzydło. Następnie model wykonuje elegancki korkociąg. Wszystko spokojne, wyraźnie przewidywalne i odwracalne. Model wykonuje właściwie wszystkie figury podstawowej akrobacji, lot nożowy jest bardzo efektowny, a wrażenie dodatkowo wzmacnia dźwięk silnika pracującego na maksymalnych obrotach. Dzięki doskonałemu zawieszeniu kół podwozia starty i lądowania to przyjemność.

Podsumowanie

Na koniec chciałbym podziękować wszystkim, którzy przyczynili się do powstania tego modelu. Szczególnie mojej dziewczynie za niesamowitą tolerancję na moją nieobecność podczas wielu nocy, które spędziłem w warsztacie. Całej mojej rodzinie za wsparcie, a zwłaszcza mojemu tacie, bez którego z pewnością model by nie powstał. Podziękowania kieruję także do firmy Fiala Motors za wspaniałą współpracę oraz do firm Jetimodel, Kavan i Topwings.



Ryc. 40. i 41. Autor artykułu na 3. stopniu podium Mistrzostw Świata 2024. Trofea zdobyte w Mistrzostwach Świata 2024: brąz indywidualny i srebro zespołowe.

Model latający na uwięzi samolotu Fairey Swordfish

Łukasz Szeptycki
Klub Modelarski Wierzawice



Model samolotu Fairey Swordfish w locie

Fairey Swordfish to brytyjski trzymiejscowy samolot torpedowy z okresu II wojny światowej. Został zaprojektowany w 1933 r. pod kierunkiem Marcela Lobelle w firmie Fairey Aviation Company Limited, założonej przez Richarda Faireya. Do napędu stosowano dziewięciocylindrowy silnik tłokowy w układzie gwiazdowym Bristol Pegasus IIIM, o pojemności skokowej 28,722 l, rozwijający moc 510 kW, co wraz z trójęłopatowym śmigłem o średnicy 3,56 m zapewniało osiągnięcie prędkości maksymalnej 245 km/h w locie poziomym. Swordfish był samolotem pokładowym, czyli takim, który operuje z pokładu lotniskowca. Główne cechy charakterystyczne dla tego typu samolotu to krótki start i lądowanie oraz mocne podwozie o konstrukcji pozwalającej na przyziemienie z dużą składową pionową prędkości lotu, a także o dużym skoku pionowym kół podwozia. Istniała również wersja wodnosamolotu, w której samolot wyposażono w dwa pływaki, połączone parą goleni z kadłubem. Swordfish charakteryzował się niewielką zwrotnością, był ciężki, ale za to bardzo wytrzymały i odporny mechanicznie. Pomimo otwartej kabiny pilotów i wynikających stąd uciążliwości dla załogi, samolot był lubiany przez lotników, głównie dzięki niezawodności, co szczególnie popłacało w przypadku długich przelotów nad akwenami morskimi. A w takich właśnie

warunkach był zasadniczo użytkowany. Był to bowiem samolot torpedowy, czyli przenosił torpedę kalibry 457 mm, która służyła do zwalczania okrętów hitlerowskiej Kriegsmarine. Był również uzbrajany w bomby lotnicze o masie 227 lub 113 kg, bomby głębinowe, oświetlające czy niekierowane pociski rakietowe, a także mógł przenosić minę morską o masie 680 kg. Lżejsze uzbrojenie bombowe było podwieszane na 10 zamkach podskrzydłowych, zaś torpeda albo mina morska była podwieszana pod kadłubem. Łącznie wyprodukowano 2394 egzemplarzy samolotu Fairey Swordfish różnych wersji.

Mimo dość archaicznej koncepcji dwupłata, samoloty Fairey Swordfish odegrały bardzo istotną rolę w czasie zmagania brytyjskiej Royal Navy z okrętami niemieckimi. Początkowo, powolne ociężałe Swordfishy stawały się łatwym celem dla myśliwców Luftwaffe, ponosząc dotkliwe straty. Jednak sytuacja odwróciła się na korzyść naszego bohatera, gdy samoloty wersji Mk II zaczęto wyposażać w radary i niekierowane pociski rakietowe. Pierwszym znaczącym sukcesem było zatopienie hitlerowskiego okrętu podwodnego. Miało to miejsce w dniu 21 grudnia 1941 r. w porze nocnej. Dnia 23 maja 1943 r., pilotowany przez por. H. Harrocka, Swordfish Mk II zatopił okręt podwodny U-752 w odległości 1300 mil morskich na zachód od Irlandii.



Ryc. 1. Widok z przodu modelu: makieta silnika, stójka górnego płata, cięgna wykrzyżowania

Kolejna wersja samolotu Fairey Swordfish, oznaczona Mk III, posiadała system skracania drogi rozbiegu, tzw. RATOG (ang. *Rocket Assistance Takeoff Gear*). System składał się z dwóch silników rakietowych na paliwo stałe odpalanych kilka sekund po rozpoczęciu rozbiegu, a okazał się niezastąpiony w przypadku, gdy samoloty miały operować z tzw. MAC-ships (ang. *Merchant Aircraft Carrier*), czyli statków handlowych dostosowanych do przewozu i startu samolotów pokładowych. Wersja Swordfisha z systemem RATOG charakteryzowała się długością rozbiegu skróconą do ok. 80 m w porównaniu do ok. 200 m dla wersji Mk II.

Więcej szczegółów na temat rozwoju, konstrukcji, a także zastosowania bojowego samolotu Fairey Swordfish można znaleźć w literaturze [1].

Model samolotu Fairey Swordfish postanowiłem zbudować z myślą o startach zawodniczych. Układ dwupłata, ciekawa i dość skomplikowana konstrukcja oraz otwarta trzysobowa kabina, do której można zajrzeć od góry, gwarantowały wysoką ocenę techniczną, o ile makieta zostanie wykonana precyzyjnie, zgodnie z wybranym oryginałem, łącznie z malowaniem (ryc. 1). Zdecydowałem się na model samolotu wersji Mk I w skali 1 : 6. Budowę rozpocząłem w 2006 r. w modelarni Ikar w Mielcu pod okiem pana Zygmunta Osaka, byłego pilota doświadczalnego I klasy. Budowę ukończyłem w roku 2012, a model oblatąłem 15 maja 2012 r. Konstrukcja modelu jest mieszana, z przewagą drewna. Kadłub skonstruowany z listewek topolowych oraz wręg sklejkowych został zmontowany metodą połówkową: dwie połówki kadłuba, prawa i lewa, są sklejkane na desce montażowej, następnie połówki są sklejkane razem.

Skrzydła posiadają typową konstrukcję z żeberkami białymi i dźwigarami z listewek topolowych. Drewno topolowe jest lżejsze i bardziej wytrzymałe od sosny. Płaty montowałem na desce montażowej, z zachowaniem zwichrzeń i wzniosu, jak w oryginale. Usterzenie modelu wykonałem z listewek i żeberek. Na poszycie szkieletu modelu zastosowałem tkaninę poliestrowo-bawełnianą, zwaną Plutonem. Materiał ten charakteryzuje się takim samym splotem jak w przypadku typowych poszyc samolotów krytych płótnem. Wymaga pokrycia Nitrocellonem (w moim modelu zastosowałem 2 warstwy). Zastrzały skrzydeł oraz stójkę wykonałem z topoli (ryc. 2). Wykrzyżowania płatów zostały zrobione z drutu spawalniczego 0,8 mm, a zakończenia stalowe zgodnie z oryginałem. Do wykonania wypukłych



Ryc. 2. Model samolotu Fairay Swordfish, widoczne szczegóły malowania i oznakowania oraz torpeda

elementów modelu, takich jak maska silnika czy torpeda, zastosowałem laminat szklano-epoksydowy. Elementy te kształtowałem w formie negatywowej, następnie szpachlowałem i szlifowałem dla uzyskania gładkiej powierzchni.

Całość modelu pomalowałem metodą natryskową farbami modelarskimi marki Humbrol. Znaki przynależności państwowej, tzw. kokardy RAF, wykonałem przy użyciu szablonów. Podobnie oznaczenia literowe i cyfrowe (ryc. 1). Napisy eksploatacyjne wykonałem szablonem i aerografem. Szczegóły poszycia wykonałem z zastosowaniem różnych metod i materiałów (np. w miejscach podziału blach poszycia zrobiłem rowki). Imitację nitów wykonałem z użyciem blaszki z otworami o grubości 0,08 mm. Przykładałem ją do powierzchni poszycia, w otworkach nakładałem warstwę kleju, który po odjęciu blaszki tworzył minimalną wypukłość imitującą łeb nitu (ryc. 3). Imitację szczegółów poszycia płóciennego wykonałem z użyciem nożyczek ząbkowanych. Różne drobne detale zostały wykonane z metalu, tworzyw sztucznych i innych materiałów. Węzły podwieszeń uzbrojenia zrobione zostały natomiast z drutu stalowego.

Dużo pracy wymagała kabina pilotów (ryc. 3). Fotele pilota, nawigatora i strzelca pokładowego wykonałem z balsy, a tablicę przyrządów z balsy i pleksi. Do stworzenia zegarowych przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych użyłem wydruku widoku tarcz w odpowiedniej skali. Wiatrochron wykonałem z pleksi, a karabin strzelca pokładowego wystrugany został z drewna topolowego (ryc. 4). Natomiast karabin zabudowany u boku kadłuba zrobiłem z aluminium, metodą



Ryc. 3. Załoga modelu w kabine. Widoczne szczegóły połączeń nitowych poszycia kadłuba.



Ryc. 4. Uzbrojenie strzeleckie



Ryc. 5. Szczegóły konstrukcyjne środkowej części kadłuba oraz skrzydeł

frezowania CNC. Figurki pilota, nawigatora i strzelca pokładowego zostały zrobione z lalek Barbie po ogoleniu głów, a kurtki i pozostałe elementy odzieży lotników uszyła znająca krawcowa (ryc. 3).

Model napędzany jest czterosurowym silnikiem OS o pojemności 13,5 cm, który jest ukryty we wnętrzu przedniej części kadłuba (ryc. 2). Natomiast makietą silnika Bristol Pegasus została wykonana z różnych materiałów. Cylindry zostały wytoczone z drewna topolowego, zawory i przewody układu zapłonowego zrobiłem z drutu, przewody wydechowe z koszulki izolacyjnej, a osprzęt jest metalowy (ryc. 5). Śmigło makietowe wykonałem z buczyny metodą strugania.

Na zawodach (ryc. 6), podczas lotu konkursowego model wykonuje następujące ewolucje: uruchomienie silnika,

kołowanie, start, lot poziomy, odejście na drugi krąg, międzylądowanie, stożek – lot na linkach pod kątem 45° i lądowanie. W ramach czynności dodatkowych wykonywany jest rzut torpedy. W locie model jest prawidłowy pilotażowo, wymaga jednak uwagi i doświadczenia, szczególnie przy silnym wietrze i termice.

Bibliografia:

- [1] Belcarz, B., Mietelski, M. (1989). Samolot torpedowy Fairey Swordfish. *Seria Typy Broni i Uzbrojenia*, zeszyt 135. Warszawa. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej.



Ryc. 6. Na zawodach, w towarzystwie Spitfire oraz RWD 21



Ryc. 7. Model Fairey Swordfish oraz jego konstruktor, Łukasz Szeptycki (z prawej) wraz z Kazimierzem Rauchfleischem, organizatorem zawodów w Gliwicach

Materiały kompozytowe w budowie modeli swobodnie latających

Jan Cihak
Czechy

Streszczenie

W artykule przybliżono nowoczesne materiały kompozytowe stosowane w konstrukcji i budowie modeli latających różnych klas. Opisano różne rodzaje kompozytów stosowanych w modelarstwie. Wyszczególniono zalety i wady omawianych materiałów. Skrótowno omówiono technologię wykonania wybranych elementów modeli swobodnie latających z wykorzystaniem kompozytów.

Słowa kluczowe: kompozyty, modele latające

Wprowadzenie

Ciągły rozwój przemysłu znajduje odzwierciedlenie we wszystkich obszarach działalności człowieka, w tym w modelarstwie lotniczym. To dzięki nowoczesnym materiałom kompozytowym i nowym technologiom konstrukcyjnym możliwe jest zbudowanie nie tylko powierzchni nośnych, ale także innych części modeli. Dotyczy to zarówno lekkich, jak i mocniejszych oraz trwalszych od stosowanych klasycznie materiałów konstrukcyjnych, takich jak balsa, listewki świerkowe, itp.

Dzisiejsze modele, budowane z użyciem materiałów kompozytowych, takich jak kevlar, tkaniny i rovingi węglowe, tkaniny szklane, żywice epoksydowe i inne, pozwalają znacznie lepiej niż dotychczas wykorzystać teoretyczną wiedzę z zakresu aerodynamiki. Jest to również jeden z powodów wyższej wydajności modeli.

Skrzydła są znacznie mocniejsze, szczególnie jeśli chodzi o wytrzymałość na skręcanie, a większa część ich ciężaru przypada na część nosową. Wytrzymałość konstrukcji ma bardzo korzystny wpływ na zachowanie modeli. Co prawda skrzydła nowego modelu wykonane z materiałów kompozytowych, z karbonowym D-boxem są stabilniejsze w porównaniu z konstrukcjami drewnianymi, jednak z doświadczenia wiemy, że przez pierwszy rok latania nowego modelu w zawodach osiągnąć wyniki nie są satysfakcjonujące. Konstrukcje wykonane z materiałów kompozytowych charakteryzują się nieco większą masą niż klasyczne – drewniane. Półprodukty od poszczególnych producentów różnią się nie tylko ceną i jakością, ale także wagą, dlatego należy wziąć ten fakt pod uwagę przed decyzją o zakupie i zastosowaniu do budowy modelu.

Producenci często stosują modyfikacje standardowego produktu zgodnie ze specyficznymi wymaganiami klienta. Warto wykorzystać taką możliwość. W przypadku skrzydeł najwięcej można zaoszczędzić na masie D-boxa i dźwigara skrzydła. Wiemy, że w środku rozpiętości skrzydła naprężenia stanowią ok. $\frac{1}{4}$ wartości maksymalnej i wymiarowanie

dźwigara powinno temu odpowiadać. Dalsza oszczędność masy zależy od zastosowanej powłoki poszycia, precyzji klejenia itp. W przypadku modelu z napędem gumowym klasy F1B sekcja silnika, czyli głowica, a także tył kadłuba to kolejny bardzo ważny czynnik, który będzie miał wpływ na całkowitą masę modelu. Jednocześnie nie można zaniedbywać faktu, że model musi wytrzymać obciążenia związane ze startami zawodniczymi, dlatego nie należy zmniejszać wytrzymałości konstrukcji modelu tylko po to, aby zaoszczędzić na wadze.

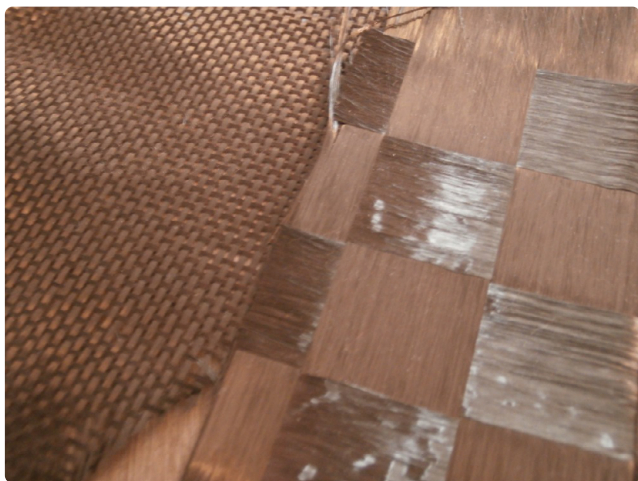
Podobnie jest z nowymi materiałami powłokowymi, którymi powlekane są węglowe szkielety skrzydeł, które znacznie różnią się od poszycia wykonanego z papieru japońskiego. Papierowe pokrycia nadawały szkieletom wytrzymałość i sztywność. Dzisiejsze folie (Mylar, Lamsan itp.), włókniny poliestrowe (Vlies, Icarex, Micafilm itp.) nie wzmacniają konstrukcji. Fakt ten należy uwzględnić przy projektowaniu skrzydeł oraz usterzeń, oznacza to, że szkielety powinny być odpowiednio zwymiarowane. Nowoczesne materiały powłokowe charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami pod względem obojętności na wilgoć, są bardziej odporne na starzenie i rozdzieranie w porównaniu do konwencjonalnych papierów japońskich i koreańskich.

Materiały kompozytowe

Dla lepszego zrozumienia, czym są materiały kompozytowe, warto je zdefiniować, by nie ograniczać tego określenia wyłącznie do kompozytu węglowego, mimo że to właśnie on wraz z kompozytem szklanym jest najczęściej używany w modelarstwie lotniczym. Ogólnie, materiał kompozytowy rozumiany jest jako materiał heterogeniczny, który wyróżnia się właściwościami mechanicznymi, fizycznymi i chemicznymi, a jednocześnie charakteryzuje się tym, że powstaje w wyniku połączenia nie mniej niż dwóch składników. Bardzo ważną właściwością kompozytów jest synergizm, czyli fakt, że ich właściwości są znacznie wyższe od tych, które odpowiadałyby sumie właściwości poszczególnych składników. Ten synergizm ma na celu stworzenie jakościowo różnych materiałów.

Do budowy modeli latających wykorzystuje się najczęściej tkaniny szklane, aramidowe (Kevlar), węglowe (przedstawione na rycinie 1) lub hybrydowe, będące połączeniem tych materiałów. Każdy rodzaj tkaniny sprzedawany jest w różnych gramaturach. Na przykład tkanina o gramaturze 25 g/m² jest znacznie lżejsza i cieńsza niż tkanina z tego samego materiału, ale o większej gramaturze, np. 160 g/m². Czasami, i jest to jak najbardziej poprawne, włókno węglowe

w postaci rovingu jest oznaczone wartością Tex. Wartość ta wskazuje wagę 1000 m danego włókna. Oznaczenie Tex 100 oznacza, że 1 km rovingu waży 100 g.



Ryc. 1. Tkanina węglowa, z lewej płótno o gramaturze 68 g/m², z prawej 60 g/m²

Istnieje kilka rodzajów włókien wykorzystywanych do produkcji materiałów kompozytowych. Mogą to być pasma cięte stosowane do wytwarzania mas kompresyjnych lub wtryskowych. Włókna mielone otrzymuje się poprzez mielenie włókien bardzo delikatnych, w wyniku czego otrzymuje się króciutkie odcinki. Proste pasma to włókna bez skręceń. Rovingiem określa się sploty o bardzo małej liczbie zwojów, mniejszej niż 40 na 1 metr długości (ryc. 2). Ten rodzaj materiału doskonale nadaje się do produkcji prepegów. Bardzo często wagę rovingu oznacza się wartością Tex, czasem także dTex. Wartość dTex wskazuje wówczas, ile gramów waży 10 000 m (10 km) włókna. Wielokrotnie stosowane jest oznaczenie typu NF6 50 K. Oznacza to, że włókno składa się z sześciu tysięcy włókien elementarnych (monokrystalicznych). Ponadto można wyróżnić kilka rodzajów przędzy dla poszczególnych rodzajów tkanin. Występuje przędza prosta lub kablowa, która powstaje w wyniku skręcenia pasm i ich połączenia. Jest bardzo popularna w produkcji tkanin technicznych. Tkaniny rovingowe są tkane i najczęściej stosowane do laminowania kontaktowego, pultruzji, nawijania itp.

Bardzo istotną wartością tych tkanin jest gramatura, która określa masę jednostkową i jednocześnie delikatność danej tkaniny. Tkaniny rovingowe dzielimy także ze względu na splot (płótno, diagonal, satyna). O ile nie zaznaczono inaczej, domyślnym jest splot płócienny. Stosunkowo niedawno w modelarstwie pojawiły się tkaniny TeXtreme szwedzkiej produkcji Oxeon. Są one dziane w formie pasków o różnej szerokości, najczęściej 20–50 mm. Oprócz taśm węglowych zawierają również taśmy z włóknami polimerowymi, co skutkuje nawet o 20% mniejszą masą jednostkową w porównaniu do konwencjonalnych typów. Jednocześnie w tych tkaninach jest mniej otworów, a włókna nie są faliste. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie dużego udziału objętościowego włókien. Tkaniny produkowane są również w formie hybrydowej i najczęściej łączą włókna różnych typów (węglowo-aramidowe, węglowo-szklane itp.).



Ryc. 2. Roving węglowy 60 TEX

Wykorzystywane są też inne tkaniny, na bazie przędzy, które nie są przeznaczone do stosowania w konstrukcjach modeli latających, ale raczej jako geotekstylia, tkaniny izolacyjne lub filtracyjne itp. Stosowane są również maty, w których włókna są dłuższe (ok. 25–50 mm). To właśnie te pocięte włókna łączy się spoiwami polimerowymi, natomiast w przypadku stosowania włókien ciągłych nie ma konieczności stosowania spoiw, ponieważ same się ze sobą przeplatają. Podobnie jak tkaniny, maty również różnią się gramaturą.

Warto również wspomnieć o prepegach. Wykorzystuje się je do produkcji wysokiej klasy kompozytów polimerowych. Są konfekcjonowane i oferowane w formie rolek o różnej szerokości lub szpul, na które nawinięto równolegle ułożony roving, tkaninę lub matę oraz osnowę – albo termoplastyczną, albo z półutwardzonego reaktywnego tworzywa sztucznego. Tkaniny impregnuje się roztworem żywicy (epoksydowej, bismaleinimidu, benzoksazyny, ftalonitrylu, polichinoksaliny, fenofomaldehydu, cyjanoestru, poliamidu).

Do produkcji prepegów czasami używa się również żywic poliestrowych i winyloestrowych. W prepegu żywica występuje w postaci resitolu, co odpowiada tzw. stanowi B, gdy cząsteczki są usieciowane, ale sieć ma bardzo małą gęstość. Prepegi wyposażone są z jednej strony w nośnik, a z drugiej w folię separacyjną. Zależy to od rodzaju użytej żywicy i układu żywica–utwardzacz, który decyduje o trwałości prepegów. W temperaturze około 20°C prepegi zwykle zaczynają się starzeć. Najpierw stopniowo zmniejszają swoją lepkość, zapobiegając w ten sposób przemieszczaniu się poszczególnych warstw ułożonych jedna na drugiej. Zmniejsza się również ryzyko powstawania kieszeni powietrznych pomiędzy warstwami. Podczas dalszego starzenia w temperaturze pokojowej około 20°C żywica twardnieje. Dzięki temu konieczne jest przechowywanie prepegów z reaktywną matrycą z tworzywa sztucznego w temperaturze około –18°C.

Powyższy przegląd dotyczy najczęściej stosowanych materiałów kompozytowych do budowy modeli lotniczych. W kolejnym rozdziale omówione zostaną właściwości kompozytów, a także technologia wytwarzania półfabrykatów kompozytowych w budowie modeli latających.

Budowa modelu latającego z wykorzystaniem materiałów kompozytowych

Obecnie istnieje wiele instrukcji i procedur w zakresie pracy z materiałami kompozytowymi. W ciągu ostatniej dekady temat poruszany był kilkakrotnie. Mimo to pytania dotyczące

materiałów kompozytowych i ich przetwarzania są nadal aktualne. Jeśli zdecydujemy się na wykorzystanie do budowy modelu niektórych półproduktów kompozytowych pochodzących od producentów, warto najpierw poznać zalety i wady poszczególnych konstrukcji oraz charakterystykę podzespołów. Jeśli znamy właściwości komponentów, w oparciu o tę wiedzę jesteśmy w stanie optymalnie rozwiązać problem konstrukcji naszego modelu tak, aby wszystkie założenia konstrukcyjne zostały spełnione.

Dlatego warto poznać właściwości, jakie posiadają różne rodzaje materiałów kompozytowych. Dla poszczególnych produktów podane są także zalecane wymiary konkretnych części. Wymiary nie mogą być rozumiane dogmatycznie i mają jedynie charakter orientacyjny, oparty na doświadczeniu autora przy budowie dotychczasowych modeli. Rozmiar można dostosować w zależności od tego, czy priorytetem jest otrzymanie konstrukcji o wysokiej wytrzymałości i o większej masie, czy też dąży się do możliwie lekkiej masy przy jednoczesnym zachowaniu wystarczającej wytrzymałości w warunkach startów zawodniczych.

Paski kompozytowe do wzmocnienia żeber

Producenci oferują zestawy do wiązania żeber w różnych rozmiarach. Zawierają one prefabrykaty w formie pasków wykonanych z jednokierunkowych włókien węglowych o różnej gramaturze. Materiał ten, jak sama nazwa wskazuje, składa się włókien prowadzonych tylko w jednym kierunku. Paski są różnej długości, ich szerokość to najczęściej 0,8–2,5 mm, a grubość uzależniona jest od gramatury użytej tkaniny i waha się w granicach 0,1–0,2 mm.

Rozmiar pasków węglowych do wykonania statecznika poziomego odpowiada jego rozmiarowi. Przykładowo, pasek o grubości 0,8 × 0,1 mm jest odpowiedni do wykonania statecznika typowego modelu F1B. W przypadku statecznika modelu szybowca klasy F1A, rozmiary paska wynoszą 1,0 × 0,1–0,2 mm. To samo dotyczy budowy skrzydeł. Jako prefabrykat do wykonania żeber skrzydeł modeli klas F1B i F1H wystarczający jest pasek o szerokości 1,3–1,5 mm i grubości 0,1–0,2 mm. W przypadku skrzydeł modeli szybowców klas F1A i F1E szerokość pasków może wynosić około 1,5–2,5 mm, a grubość 0,15–0,2 mm. Istnieją również taśmy na żebra przykadłubowe o wymiarach 5–20 mm × 0,1–0,2 mm. Producenci są oczywiście w stanie dostosować wymiary pasków do indywidualnych wymagań.

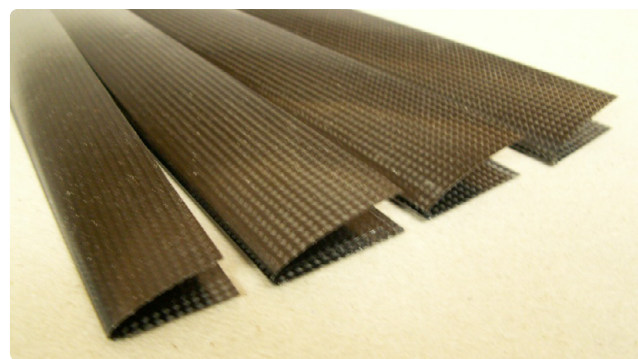
Wymiary pasków dobierane są z uwzględnieniem wytrzymałości balsy, z której wykonane są żebra. Ważne, by były one tej samej szerokości lub nieco szersze niż balsowa część żeberka. Ma to znaczenie ze względów estetycznych, gdyż widoczny jest również balsowy fragment, szerszy od listwy karbonowej. Żebra z opaskami węglowymi są stosowane głównie w konstrukcjach, w których krawędzie spływu wykonane są z włókna węglowego. W przeciwnym razie trzymałyby się bardzo słabo, wręcz niewystarczająco, na cienkich końcach żeber balsowych. Możliwe jest również użycie pasków do wiązania konstrukcji wykonanej w całości z balsy z krawędzią spływu także z balsy. Samo opasanie żeber może

znacznie wzmocnić konstrukcję, ale jest to też idealny sposób na pierwsze próby z użyciem technologii kompozytu węglowego. Taśmy przykleja się za pomocą kleju cyjanoakrylowego do dolnej i górnej krawędzi żeber – od krawędzi natarcia lub kesonu czy D-Boxa, z kilkumilimetrową zakładką, do krawędzi spływu – lub na całej jej szerokości. Dzięki temu uzyskamy optymalne wzmocnienie całej konstrukcji.

Zakładka paska węglowego na kesonie może się różnić w zależności od obciążenia złącza. W przypadku żebra przykadłubowego może ona wynosić 10–15 mm lub nawet 20 mm. W miejscu łączenia ucha skrzydła wystarczająca jest zakładka 5–10 mm. Pozostałe zakładki na żeberkach powinny mieć wówczas w idealnym przypadku wymiar 4–10 mm. Wszystko zależy od oczekiwanej wytrzymałości, estetyki, czystości aerodynamicznej itp. Na D-Boxie, przynajmniej na początku, zaleca się lekkie przeszlifowanie taśm, aby przed malowaniem na konstrukcji nie utworzył się uskok.

D-Box

U producentów dostępne są skrzynie skrętne z włókna węglowego zwane D-Box. Dostosowane są one do modeli różnych klas i wielkości, a także do wymagań dotyczących projektowanych wytrzymałości skrzydła lub statecznika w różnych wagach. D-Boxy są wykonane z tkanin węglowych o różnych splotach (płótno, diagonal itp.). Głównym elementem D-boxa jest wylaminowane oprofilowanie nosowej części profilu skrzydła (jak na rycinie 3). Producentom łatwiej jest wykonać D-box o splocie diagonalnym, ponieważ nie przesuwają się on tak bardzo podczas obróbki (nie ma tak dużego ruchu włókien jak w przypadku klasycznego płótna).



Ryc. 3. Główny element skrzyni skrętnej D-box – oprofilowanie noska krzydła

Pod względem właściwości wytrzymałościowych nie ma różnicy pomiędzy splotem skośnym i płóciennym do zastosowania w konstrukcji modeli latających. Tkaniny o splocie skośnym są z reguły droższe, dlatego produkty końcowe są odpowiednio wyceniane. Do skrzydeł modeli z napędem gumowym F1G i P30, a także do stateczników modeli klas F1A, F1B, F1H i A3 istnieje możliwość zastosowania węglowych skrzyń skrętnych wykonanych z tkaniny o gramaturze 67 g/m². Na D-Boxy skrzydeł modeli klasy F1B stosowane są tkaniny o gramaturze 80 g/m². Tkaniny takie występują również w D-Boxach na uchach modeli klasy F1H. Tkaniny

o gramaturze 93 g/m² doskonale nadają się do budowy kesonów skrzydeł modeli klasy A3, a także uch skrzydeł modeli klasy F1A.

Powszechnie stosowana jest także tkanina o gramaturze 160 g/m². Jest ona zwykle spotykana w większych modelach. Minimalną masę modelu możemy uzyskać, stosując D-box wykonany z grubszego materiału. Chodzi głównie o modele klas F1A, F1C i F1H. Im cięższy materiał, z jakiego wykonane są karbonowe D-boxy, tym są one mocniejsze. Dlatego w modelach, w których chcemy znacząco zwiększyć wytrzymałość skrzydła na skręcanie, preferujemy zastosowanie grubszej tkaniny. Grubość ścianki D-boxa waha się w granicach 0,1–0,3 mm, w zależności od gramatury tkaniny. Konstrukcja skrzydeł i stateczników z wykorzystaniem karbonowego D-boxa to optymalny wariant pod względem masy, stabilności i sztywności konstrukcji.

Producenci dostarczają karbonowe skrzynie skrętne D-Box o różnych długościach i z różnymi promieniami krawędzi natarcia, dostosowanymi do różnych profili. Dlatego przed zakupem D-boxa warto wiedzieć, z jakiego profilu chcemy skorzystać lub do jakiego modelu D-box będzie przeznaczony. Do modeli latających w spokojnych warunkach nadają się D-boxy z ostrzejszą krawędzią natarcia, o mniejszym jej promieniu, około 0,7 mm. Są to głównie Findahl, Makarov, Lyzura i podobne profile. D-boxy z promieniem krawędzi natarcia około 1,0 mm są uniwersalne dla większości modeli. Nadają się do profili: Stamov, Benedek, Espada, Andriukov itp. Krawędzie natarcia o promieniu 1,5 mm i większym stosowane są głównie do skrzydeł modeli na wietrzną pogodę. Obecnie można znaleźć skrzynki D-box do profilu LDA od wielu producentów. Tutaj sytuacja przy wyborze jest jeszcze bardziej skomplikowana. Zależy od tego, z jakiego profilu chcemy korzystać. Istnieją znaczne różnice pomiędzy LDA i kształtem ich przedniej części. Niektóre profile zachowują zagięcie linii środkowej, opuszczając łuk i tylko nieznacznie zwiększając wysokość profilu. Inne idą w odwrotną stronę i przy tej samej krzywiznie linii środkowej są znacznie wyższe i mniej łukowate.

Aerodynamicy powinni podejść do powyższych dywagacji z przymrużeniem oka, jest to próba krótkiego, przystępnego wyjaśnienia problemu zwykłemu modelarzowi nieznałemu dogłębnie terminologii. Konstrukcje skrzyń skrętnych z włókna węglowego pozwalają lepiej niż kiedykolwiek wykorzystać wiedzę o prawach aerodynamiki. Wiemy, że najważniejszy jest kształt krawędzi natarcia, a konstrukcja D-boxa pozwoli podążać za nią najlepiej jak to możliwe. Zwykle istnieje ściśle określony promień ze względu na sposób wykonania półproduktu (w formie pozytywowej i negatywowej). Pozwala to uzyskać pożądany kształt z wysoką precyzją. Jest rzeczą oczywistą, że żebra, które znajdują się w krawędzi natarcia mogą częściowo kształtować i deformować kształt D-boxa.

W ten sposób można kształtować niewielkie odchylenia. Przy wyborze szerokości D-boxa bardzo trudno jest zdalnie zoptymalizować wymiar. Zależy to od ciężaru tkaniny, głębokości skrzydła, rozpiętości, itp. Dlatego wszystkie podane tutaj wymiary mają charakter wyłącznie orientacyjny. Ogólnie można powiedzieć, że szerokość D-Boxa wynosi około 1/4 głębokości skrzydła. W żadnym wypadku nie należy lekceważyć rozpiętości skrzydeł. W przypadku

skrzydeł F1A, gdy na całej rozpiętości tkaniny zastosuje się gramaturę 160 g/m² możliwe są dwa warianty. Przy rozpiętości 2000–2200 mm szerokość D-Boxa wynosi 35–37 mm w środku, 27–30 mm na załamaniu ucha i 15–16 mm na końcu ucha. W przypadku zastosowania na uchu cienkiej tkaniny (93 g/m²) szerokość D-Boxa na końcu ucha jest większa, 17–20 mm.

Przy większej rozpiętości skrzydeł (2200–2600 mm), ze względu na ich większe obciążenie siłami aerodynamicznymi, można zastosować pośrodku również szerszy D-Box, przy czym ciężar będzie wówczas wyższy. W części środkowej szerokość D-Boxa waha się między 40–42 mm, na załamaniu 28–32 mm, a na końcu ucha 14–15 mm. Jeśli na uchu zastosowano lżejszą tkaninę, rozmiar wynosi 16–18 mm. Pytanie brzmi, jak duża jest oszczędność na masie, jeśli zastosujemy cienki materiał na uchach, podczas gdy ogólne zalecenie mówi o zwiększeniu szerokości D-Boxa. Gdy chcemy zaoszczędzić na masie, warto zastanowić się, czy nie lepiej zastosować cały D-Box z tkaniny o mniejszej gramaturze przy zachowaniu gabarytów. Ale jest to pytanie przede wszystkim do konstruktorów modeli wyczynowych.

W przypadku modeli F1B stosowanie cieńszego materiału nie powoduje większych problemów. W skrzydłach modelu szybowca klasy F1H szerokość D-Boxa z tkaniny o gramaturze 160 g/m² wynosi 30 mm w środku, 27–25 mm w załamaniu i 20–18 mm na końcu ucha, co jest więcej niż wystarczające. Jeśli używane są cienkie tkaniny, można nieznacznie dostosować rozmiar, stosując większy, zalecany dla cięższych tkanin. Tkaniny o gramaturze 93 g/m², 80 g/m² lub 67 g/m² są dziś powszechnie stosowane w modelach klasy F1B. Pierwsza z wymienionych tkanin jest, moim zdaniem, niepotrzebnie przewymiarowana. Jest to wariant „ekonomiczny”, w którym poszukuje się kompromisu pomiędzy ceną, wagą i wytrzymałością. Standardowo w skrzydłach modeli F1B występują D-Boxy wykonane z tkaniny o gramaturze 80 g/m². Głębokość D-Boxów wynosi zazwyczaj 30 mm w środku, 25–27 mm w miejscu załamania i 18–20 mm (czasami mniej) na końcu ucha. Istnieje możliwość zamiany tej standardowej tkaniny na lżejszą (67 g/m²) bez regulacji głębokości D-boxa.

W przypadku modeli F1B powoduje to jedynie nieznaczne, prawie niezauważalne zmniejszenie wytrzymałości, ale za to przyczynia się do istotnego zmniejszenia masy, co jest pożądane. W przypadku modeli mniejszych kategorii – F1G, P30, a także przy statecznikach do modeli klas F1A, F1H i F1B istnieje możliwość znacznego zawężenia wymiarów D-boxa. Oszczędza się w ten sposób na masie, zachowując wystarczającą wytrzymałość konstrukcji D-Boxa, czyli sztywność, stabilność, wytrzymałość na zginanie i skręcanie. Szerokości D-Boxów w statecznikach standardowo mieszczą się w przedziale 10–15 mm dla modeli klas F1A, F1H, F1B, A3. Wszystkie te D-boxy wykonane są z najlżejszego możliwego materiału o gramaturze 67 g/m². Jeśli zachodzi potrzeba jeszcze większej oszczędności na masie, można zastosować D-Boxy wykonane z czystego Kevlaru lub hybrydowych tkanin aramidowo-węglowych o niższej gramaturze.

Generalnie polecam stosowanie karbonowych lub hybrydowych skrzyń skrętnych do budowy kesonu. Choć Kevlar jest wytrzymały i da się uzyskać odpowiednią wytrzymałość,

stosując nawet materiały o gramaturze 25 g/m², to jednak nie dają one konstrukcji takiej sztywności jak D-Boxy wykonane z tkanin węglowych lub hybrydowych.

Przy konieczności znacznego zaoszczędzenia na masie, technologia produkcji D-Boxów umożliwi także odessanie nadmiaru żywicy epoksydowej i nasycenie nią jedynie włókien węglowych. Powierzchnia D-Boxów nie jest całkowicie gładka, ale są one znacznie lżejsze. W przypadku D-Boxów wykonanych z tkaniny o gramaturze 93 g/m² różnica pomiędzy powierzchnią gładką a powierzchnią strukturalną wynosi około 5 g. W obu sytuacjach wytrzymałość jest jednakowa. Zatem wybór zależy od upodobań modelarza.

Listwy węglowe

Obecnie listwy węglowe są powszechnie stosowane do budowy dźwigarów i krawędzi spływu skrzydeł oraz stateczników modeli swobodnie latających wszystkich klas. Są one zwykle wykonane z jednokierunkowych tkanin węglowych o różnej masie, dzięki czemu osiąga się pożądany wymiar i wytrzymałość kołnierza. Zaletą krawędzi spływu wykonanych z listwy węglowej jest to, że zachowują pożądany kształt przy prawidłowej konstrukcji z żebrowaniem i nie skręcają się. Podobnie jest w przypadku dźwigarów.

W numerze 2/1996 czasopisma „Modelar” (na 22 s.) problematykę dźwigarów węglowych opisał inż. Ivan Hořejší. Krótko przybliży poruszane w artykule problemy. Aby jak najlepiej wykorzystać listwy węglowe do budowy dźwigara, zaleca się skleić go z dwóch listewek węglowych (pas górny i dolny) z wypełnieniem z balsy na całej szerokości. Wiadomo, że w połowie rozpiętości skrzydła naprężenie maleje do ok. 1/4. W związku z powyższym zalecane jest odpowiednie wymiarowanie dźwigara. Bardzo ważne jest odpowiednie połączenie listw węglowych z wypełnieniem z balsy. Dźwigar często może pęknąć na skutek nieprawidłowego klejenia listw do balsowego wypełnienia.

Dynamiczne starty modeli w kategorii F1A są znaczącym sprawdzianem struktury karbonowej, a zwłaszcza wytrzymałości dźwigara skrzydła. Stosowanie pasów węglowych na belce i krawędzi spływu jest dziś powszechne. Dlatego zaleca się używać karbonowej krawędzi spływu nawet w przypadku konstrukcji skrzydła balsowego. Wymiary pasów dźwigara i krawędzi spływu muszą być ściśle dobrane zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi. Pas dźwigara skrzydła dla modelu F1A może mieć szerokość 10–15 mm w środku i 4,5–3,5 mm w przekroju załamania, natomiast jego grubość wynosi 0,8–1,3 mm. Na początku ucha szerokość pasa to 4,5–3,5 mm i ok. 2 mm na końcu. Grubość wynosi wówczas około 0,6 mm. Rozmiar krawędzi spływu może wynosić 3,5 × 0,8–0,9 mm w środku i 3,5 > 2,0 × 0,8–0,9 mm w uchu. Wytrzymałość warstwy o grubości 0,8 mm na krawędzi spływu jest wystarczająca, a dodatkowo polecane jest wymiarowanie belki w zależności od naprężeń.

Najwięcej ciężaru można zaoszczędzić na konstrukcji dźwigara skrzydła, dlatego nie ma potrzeby nadmiernego zwiększania jego przekrojów. W przypadku modeli F1H wystarczający jest pas dźwigara o wymiarach 5,5 > 3,0 × 0,9 mm dla środka

i 2,5 > 1,5 × 0,45 mm dla ucha. Wystarczająca będzie krawędź spływu o wymiarach 2,6 > 2,1 > 1,6 × 0,6 mm. W przypadku mniej obciążonych konstrukcji skrzydeł, takich jak modele F1B, przykładowy rozmiar kołnierza to 3,5 > 1,8 × 0,4 mm pośrodku i 1,8 > 0,5 × 0,4 mm w uchu. Krawędź spływu ma orientacyjnie 2,6 > 2,1 > 1,6 × 0,5 mm. Wymiary pasa dźwigara statecznika poziomego wynoszą około 1,5–2,0 mm × 0,2–0,3 mm. Krawędzie spływu mają w tym przypadku standardową grubość 1,2–1,5 mm × 0,5–0,6 mm. Zaleca się zwymiarowanie pasów dźwigara i krawędzi spływu tak, aby mogły wytrzymać naprężenia konkurencyjne. Zbyt duży rozmiar skutkuje wzrostem masy, a co za tym idzie – niepotrzebnymi kosztami finansowymi.

Rurki węglowe

Rurki węglowe można wytwarzać poprzez skręcanie jednokierunkowych tkanin węglowych lub przy pomocy tzw. pończoch węglowych o różnej gramaturze, które można rozciągać i nasycać, aby uzyskać rurkę o wymaganej średnicy. Pończochy występują w kilku rozmiarach w zależności od średnicy finalnego produktu. Jednokierunkowe rurki węglowe z tkaniny węglowej są mniej podatne na zginanie niż rurki pończochowe. Rury węglowe nadają się do budowy powierzchni nośnych szczególnie w przypadku stateczników – poziomego i pionowego. Można je również wykorzystać przy budowie skrzydeł mniejszych modeli, takich jak w klasach F1G i P30.

Konstrukcja z rurką węglową jest bardzo prosta w wykonaniu. Wystarczy zbudować żebra o pożądanym profilu i wywiercić w ich środku otwór o średnicy rurki. Następnie żebra są nawlekane na rurkę i klejone. Po sklejeniu krawędzi spływu i natarcia oraz ewentualnym opasaniu żeber otrzymujemy bardzo lekką i mocną konstrukcję.

Konstrukcje rurowe nie osiągają tak dużej wytrzymałości przy zginaniu jak konstrukcje z belek węglowych oraz D-box, dlatego można je stosować tylko na mniej obciążonych częściach. W ogólnej koncepcji rury znajdują uzasadnienie tam, gdzie potrzebujemy bardzo lekkiej konstrukcji o mniejszych wymaganiach dotyczących zginania. Wytrzymałość na zginanie można zwiększyć jedynie poprzez zwiększenie średnicy rury. Jednakże wraz ze wzrostem średnicy lub grubości ściany rośnie również ciężar. Dlatego ważne jest prawidłowe wymiarowanie rur. Jeśli się to uda, nagrodą będzie bardzo szybko wykonana konstrukcja z belki rurowej, a ponadto, jeśli wymiary zostaną odpowiednio dobrane, wytrzymałość na zginanie, skręcanie oraz ciężar części będą w pełni satysfakcjonujące dla konstruktora.

Do wytworzenia dźwigarów powierzchni ustateczniających często stosowane są materiały kompozytowe, węglowo-epoksydowe, szklano-epoksydowe, aramidowo-poliestrowe czy też folie karbonowe i duralowe. Właściwości elementów kompozytowych zależą od właściwości poszczególnych materiałów. Rury węglowe są mocne i kruche. Jeśli zostaną wzmocnione tkaniną aramidową, są nieco twardsze od karbonowych, zachowując przy tym podobną masę, ale jednocześnie są bardziej „gumowe”. Kadłuby węglowe w kombinacji węgla i folii duralowej są bardzo twarde, ale jednocześnie

niezwykle delikatne. Istotne jest to, co preferujemy, czy kadtub najlżejszy, czy coś cięższego, ale trwalszego. W przypadku modeli wyczynowych należy wybrać możliwie najlżejsze układy konstrukcyjne.

Główce modeli klasy F1A, F1H oraz wieżyczki modeli F1B

Te elementy wykonywane są z kompozytu karbonowo-epoksydowego, czasem także w połączeniu z kevlarem lub tkaniną szklaną. Jeśli główce tych modeli są karbonowe, to jest to bardzo wydajna konstrukcja. Jeśli jest to połączenie tkaniny aramidowej i węglowej, produkt jest nieco bardziej podatny na skręcanie, ale z drugiej strony jest znacznie twardszy, co w tym przypadku jest bardzo korzystne. W tym kontekście zwracam uwagę na problem, który się pojawia.

Niektóre główce można kupić z powłoką węglową wykończoną od wewnątrz, która na zewnątrz jest pokryta warstwą farby. Zdarza się, że podstawowym materiałem konstrukcyjnym jest wówczas włókno szklane. To znacznie osłabia produkt, ponieważ kompozyt szklany jest bardzo kruchy i ma znacznie mniejszą wytrzymałość przy tej samej wadze w porównaniu z kompozytem węglowym lub węglowo-aramidowym. Dlatego, decydując się na zakup, nie należy sugerować się wrażeniem estetycznym, pięknym wykończeniem. Nie ma pewności, co kryje się pod warstwą farby i pomiędzy widoczną stroną wewnętrzną. Korzystniej jest zastosować nieco droższą główkę, ale z obróbką powierzchni węgla, wówczas jest pewność, że konstrukcja głowicy powstała co najmniej z dwóch warstw węgla.

Główka powinna posiadać duże okienko do umieszczenia haka dynamicznego i wyłącznika czasowego. Podobnie wieżyczka w modelach klasy F1B (pokazana na rycinie 4) powinna być wystarczająco przestronna, aby pomieścić osprzęt i elektronikę. Nawet w tak niewielkim elemencie jak wieżyczka czy główka można zaoszczędzić na wadze.



Ryc. 4. Wieżyczka modelu klasy F1B

Klejenie materiałów kompozytowych

Zasadniczo do łączenia materiałów kompozytowych stosuje się kleje epoksydowe lub cyjanoakrylanowe. Do klejenia niektórych części zaleca się użycie żywicy epoksydowej, a dla

innych wręcz przeciwnie, drugiego kleju. Z doświadczenia wiadomo, że korzystne jest klejenie żywicą epoksydową wszystkich części z wyjątkiem żeber i taśm. Można korygować wzajemne położenie klejonych elementów dzięki temu, że czas utwardzania jest dłuższy niż czas utwardzania spoiny cyjanoakrylanowej.

Przed sklejeniem elementów kompozytowych wszystkie półfabrykaty należy każdorazowo lekko przeszlifować i odtłuścić. Najlepiej odtłuścić je nadchlorem, jednak w sytuacji awaryjnej wystarczy alkohol lub rozcieńczalnik nitro. Dźwigary węglowe nadają się do ponownego przeszlifowania, podobnie jak wnętrza D-boxa. Podczas produkcji pozostałości separatora pozostają na półproduktach, niezależnie od tego, że żywica laminująca podczas utwardzania tworzy na powierzchni warstwę, na której żaden klej nie trzyma się dobrze. Żywica wykorzystywana do laminowania nie nadaje się zbyt do klejenia części kompozytowych. Polecam do tego średnio gęsty klej cyjanoakrylanowy.

Budowa skrzydeł kompozytowych na bazie D-box

Przed montażem skrzydła należy przygotować powierzchnie robocze wgłębione, zgodnie z kształtem dolnej powierzchni profilu. W przypadku niewielkiej serii kilku skrzydeł wystarczy wyciąć szablon ze styropianu za pomocą drutu elektrooporowego. Konieczne jest wcześniejsze pozytywowe lub negatywowe dopasowanie szablonów. Szkieletu nie można skręcać po sklejeniu. Można jedynie dokonać niewielkiej korekty żelazkiem wysokotemperaturowym. Wszystkie złącza muszą zostać dokładnie przeszlifowane i odtłuszczone.

Pierwszą rzeczą, którą należy wykonać są żebra skrzydła. Umieszcza się je w skrzynce skrętnej w odległości 10–15 mm, a jako materiału wystarczy użyć balsy grubości 1,5 mm. Z balsy o większej grubości wykonane są jedynie żebra: u nasady i w załamaniu. W przypadku modelu F1A żebro nasady ma szerokość 20 mm, a w załamaniu 7 mm. Rozstaw żeber może wynosić 15–30 mm. W przypadku modelu klasy F1B wystarczające jest żebro nasady o średnicy 10 mm i żebro załamania 5 mm.

Dźwigary skrzydeł

Wysokość belki dźwigara wynika z szablonu profilu. Rycina 5 przedstawia gotowe dźwigary skrzydła przed montażem. Zmierzoną wartość zmniejszamy dwukrotnie o grubość ściany D-boxa i grubość nici kevlarowej. Jednocześnie odejmujemy dwukrotnie grubość pasa dźwigara i otrzymujemy wysokość wypełnienia z balsy. Dokładność wysokości belki będzie zależała od precyzji cięcia i szlifowania. Po sklejeniu nie ma już możliwości korekty wysokości dźwigara.

Wypełnienie belki dźwigara należy wykonać z balsy na całej szerokości pasów. Podczas montażu konstrukcji możemy spekulować, czy lepiej wykonać środnik ze słojami prostopadłymi do pasów węglowych, czy też poziomymi. To indywidualna decyzja każdego modelarza. Ze względu na fakt, że obecnie stosuje się różne tworzywa sztuczne

jako wypełnienia, wybór orientacji słoików drewna jest raczej nawiązywaniem do tradycji z dawnych czasów, gdy balsa była podstawowym materiałem konstruktorskim. Klejenie pasów odbywa się za pomocą żywicy epoksydowej poprzez pokrycie listwy balsy, a następnie przymocowanie pasów węglowych.



Ryc. 5. Dźwigary skrzydeł modelu F1B

Ważne jest, aby pasy dźwigara przylegały do wypełnienia i aby nie występowały przekroje o kształcie trapezowym. Jeśli nie uda się za pierwszym razem, nieprawidłowy dźwigar można zdemontować: wyciąć balsaowe wypełnienie, delikatnie przeszlifować pas węglowy i powtórzyć klejenie z użyciem nowego wypełnienia balsowego. Po sklejeniu należy usunąć nadmiar kleju i wypełnienia balsowego po bokach dźwigara. W miejscu, w którym znajdować się będzie złącze skrzydła należy całkowicie usunąć wypełniacz balsowy. Tuleje sprzęgu skrzydeł wkleja się w dźwigar tak, aby uzyskać żadaną sztywność bez konieczności zaginania łącznika. Następnie wypełnia się całą przestrzeń żywicą epoksydową z mikrobalonem lub innym wypełniaczem. Zdecydowanie zaleca się stopniowe zmniejszenie przekroju dźwigara poprzez odcięcie wypełniacza balsowego pod pewnym kątem, co równomiernie rozłoży naпруżenia na pasach dźwigara.

Z jednej lub obu stron dźwigara do balsy przyklejamy boki – węgiel (0,1–0,2 mm) na całej wysokości. Następnie owijamy całą belkę nićmi kevlarowymi, nawlekamy obok nitki w miejscu łączenia skrzydeł i płynnie rozszerzamy belkę do szerokości ok. 5 mm do punktu załamania. Drugą opcją jest „zamknięcie” całego nosa karbonową pończochą. Eliminuje to konieczność klejenia boków.

Klejem cyjanoakrylanowym przykleja się do wykonanego dźwigara przednie półżebra. Następnie należy dokładnie ustalić położenie D-boxa, aby po sklejeniu nie były potrzebne żadne korekty (ryc. 6). Belkę dźwigara wraz z półżebrowymi smaruje się klejem epoksydowym, całość wkłada się do D-boxa i mocuje do wcześniej przygotowanego szablonu za pomocą taśmy klejącej. To ważny moment operacji montażu skrzydeł. Wszelkie błędy powstałe na tym etapie po wyschnięciu są nie do usunięcia bez zniszczenia D-boxa. Po wyschnięciu (ryc. 7) pomiędzy dźwigarem i krawędzią spływu klejone są tylne półżebra. Dopasowywać należy od góry i od dołu. Paski węglowe zachodzą na D-box ok. 5–7 mm, na żebrze nasady skrzydła F1A powinny zachodzić 15 mm oraz 10 mm dla modeli F1B, F1H. Paski węglowe zachodzą na całej szerokości krawędzi spływu.

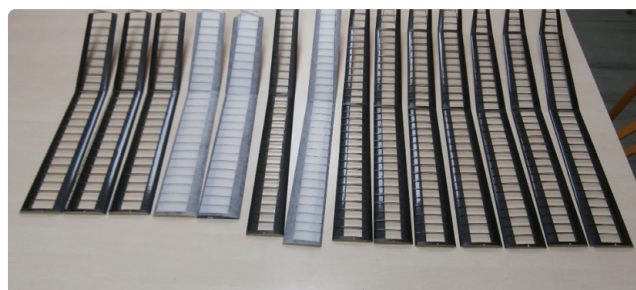


Ryc. 6. D-boxy przygotowane do klejenia



Ryc. 7. D-boxy po sklejeniu

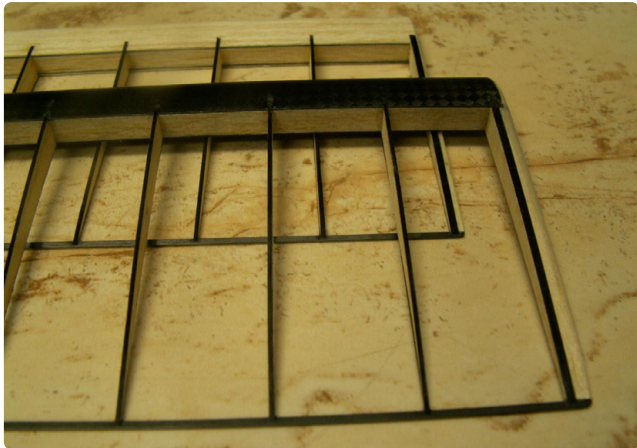
Po usunięciu nadmiaru kawałków taśmy sprawdza się, czy skrzydła nie wypaczyły się w trakcie schnięcia kleju. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowego montażu ostatnia szansa poprawy polega na poluzowaniu pasków na D-boxie i żebrach i ustawieniu pożądanego zniekształcenia. Jeśli korekta się uda, należy delikatnie przeszlifować końce pasków na krawędzi spływu i na D-boxie, aby po przyklejeniu nowych pasków nie było zbyt dużego „uskoku”. Po przeszlifowaniu w dźwigar można wkleić złącze skrzydeł z włókna szklanego, a po sklejeniu połączenie można ponownie laminować od góry i od dołu kawałkiem tkaniny węglowej. Przed ponownym laminowaniem złącza należy lekko przeszlifować i odtłuścić D-box. Na koniec należy wykonać dodatkowe pokrycie żebra przykadłubowego z tkaniny węglowej lub szklanej. Rycina 8 przedstawia gotowe szkielety skrzydeł modelu klasy F1B.



Ryc. 8. Sklejone szkielety skrzydeł F1B przed pokryciem

Fotografia (ryc. 9) przedstawia szczegół konstrukcji szkieletu skrzydła.

Pokrycie skrzydeł możemy wykonać z włókniny poliestrowej, folii, Icarexu i wielu innych materiałów. Przykładem jest folia Mylar, pokazana na rycinie 10. Sama konstrukcja



**Ryc. 9. Szczegół zakończenia ucha skrzydła modelu klasy F1B.
Widoczne paski węglowe na grzbietach żeber**

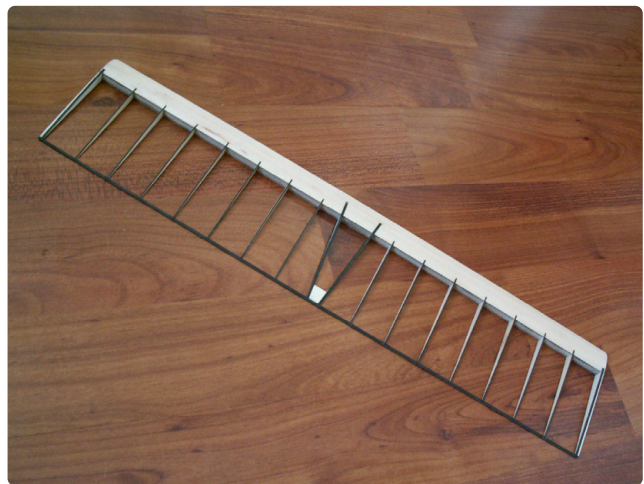
jest już bardzo sztywna i niepodatna na skręcanie i zginanie, w związku z czym nie ma potrzeby wzmacniania jej przez oklejanie papierem, a następnie cellonowanie, jak miało to miejsce w przypadku konstrukcji drewnianych.

Podobną technologię stosuje się w wykonawstwie stateczników poziomych (ryc. 11) i pionowych, z zaznaczeniem różnic, o których mowa powyżej (np. rurki węglowe w miejsce dźwigarów skrzynkowych w konstrukcji statecznika pionowego).

Kompozyty karbonowe są również chętnie stosowane w technologii wykonania łopat śmigieł modeli z napędem gumowym, jak pokazano na rycinie 12.



Ryc. 10. Materiał pokryciowy Mylar



Ryc. 11. Szkielet statecznika poziomego modelu klasy F1B



**Ryc. 12. Łopaty śmigieł modelu z napędem gumowym klasy F1B,
wykonane z kompozytu karbonowo-epoksydowego**

Badania modelu latającego klasy F1B w tunelu aerodynamicznym

Jarosław Pytka



Ryc. 1. Model klasy F1B i jego konstruktor, Adam Krawiec

Modele swobodnie latające z napędem gumowym klasy F1B należą do najstarszych, a ich zawody odbywają się od 1928 r. Obecnie w klasie F1B rozgrywane są zawody o puchar świata, mistrzostwa świata i Europy oraz zawody krajowe. „Gumówki” latają niemal wszędzie na świecie, ich popularność jest wciąż wysoka, mimo ekspansji modeli z napędem elektrycznym czy spalinowym. Wykorzystanie energii sprężystej wielopasmowego silnika gumowego jest bodaj najbardziej prośrodowiskowym źródłem napędu, a wyniki uzyskiwane przez modele zawodnicze są imponujące (wysokość lotu 120 m, czas ponad 7 minut).

Jednym z najbardziej utytułowanych zawodników na świecie jest Adam Krawiec z Gliwic. W sezonie 2024 zdobył 3. miejsce w klasyfikacji generalnej Pucharu Świata F1B i z pewnością nie jest to przypadek, bo pan Adam już od kilku lat lokuje się „na podium” tych rozgrywek. Należy zatem do ścisłej światowej czołówki.

Klasa F1B to bez wątpienia Formuła 1 wśród modeli latających. Najnowsze technologie i materiały w połączeniu z wykorzystaniem zaawansowanych metod naukowych w projektowaniu powodują, że dzisiejszy model latający z napędem gumowym jest prawdziwym dziełem sztuki inżynierskiej. Pewnym mankamentem jest fakt, iż samodzielna budowa modelu jest poza zasięgiem zdecydowanej większości zawodników, co sprawia, że modele zawodnicze są kupowane od wyspecjalizowanych producentów. Natomiast Adam Krawiec należy do niewielkiej grupy zawodników, którzy konstruują i budują swoje modele samodzielnie.

Przedstawiamy najnowszy model konstrukcji Adama Krawca. Jak widać na zamieszczonych fotografiach, jego konstrukcja została wykonana niemal całkowicie z kompozytu węglowego (ryc. 1–6). Ważnym atrybutem każdego modelu latającego jest zoptymalizowany projekt aerodynamiczny. W skrócie, chodzi o dobór kilkunastu cech i parametrów,



Ryc. 2. Środkowa część kadłuba wykonana w formie rury (mieści silnik gumowy)



Ryc. 3. Wieżyczka, na której montowane są bagnety – łączniki płatów, a ponadto wewnątrz ulokowana jest elektronika sterująca pracą śmigła, steru kierunku oraz determalizatora



Ryc. 4. Szczegół piasty oraz śmigła napędowego

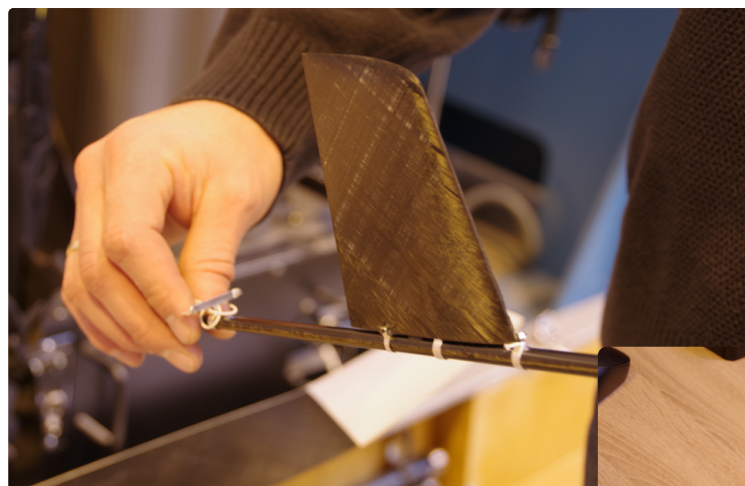
takich jak profile powierzchni nośnych i ustateczniających, geometria przestrzenna skrzydła (obrys, wzniosy, kąt zakładowania, zwichrzenia), profil i geometria śmigła napędowego, a także wiele innych drobniejszych szczegółów. Dobrą praktyką inżynierską jest przeprowadzanie prób i wykonywanie pomiarów sprawdzających prawidłowość doborów, a jedną z metod jest badanie obiektu w tunelu aerodynamicznym.

Dzięki uprzejmości Rektora-Komendanta gen. bryg. pil. dra inż. Krzysztofa Cura z Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie, a także przy nieocenionej pomocy naukowo-organizacyjnej dra inż. Zbigniewa Czyży z Katedry Płatownictwa i Silnika Wydziału Lotnictwa LAW, w tunelu aerodynamicznym zostały przeprowadzone pomiary aerodynamiki najnowszej wersji kadłuba „gumówki” konstrukcji Adama Krawca. Pomiary miały na celu optymalizację szczegółów układu cięgien detormalizatora oraz steru kierunku.

Panu Adamowi życzymy wysokich lotów i mistrzowskich wyników. Jak na razie, zawody o memoriał Pietera de Boer w Kietrze, zaliczane do klasyfikacji Pucharu Świata, wygrane!



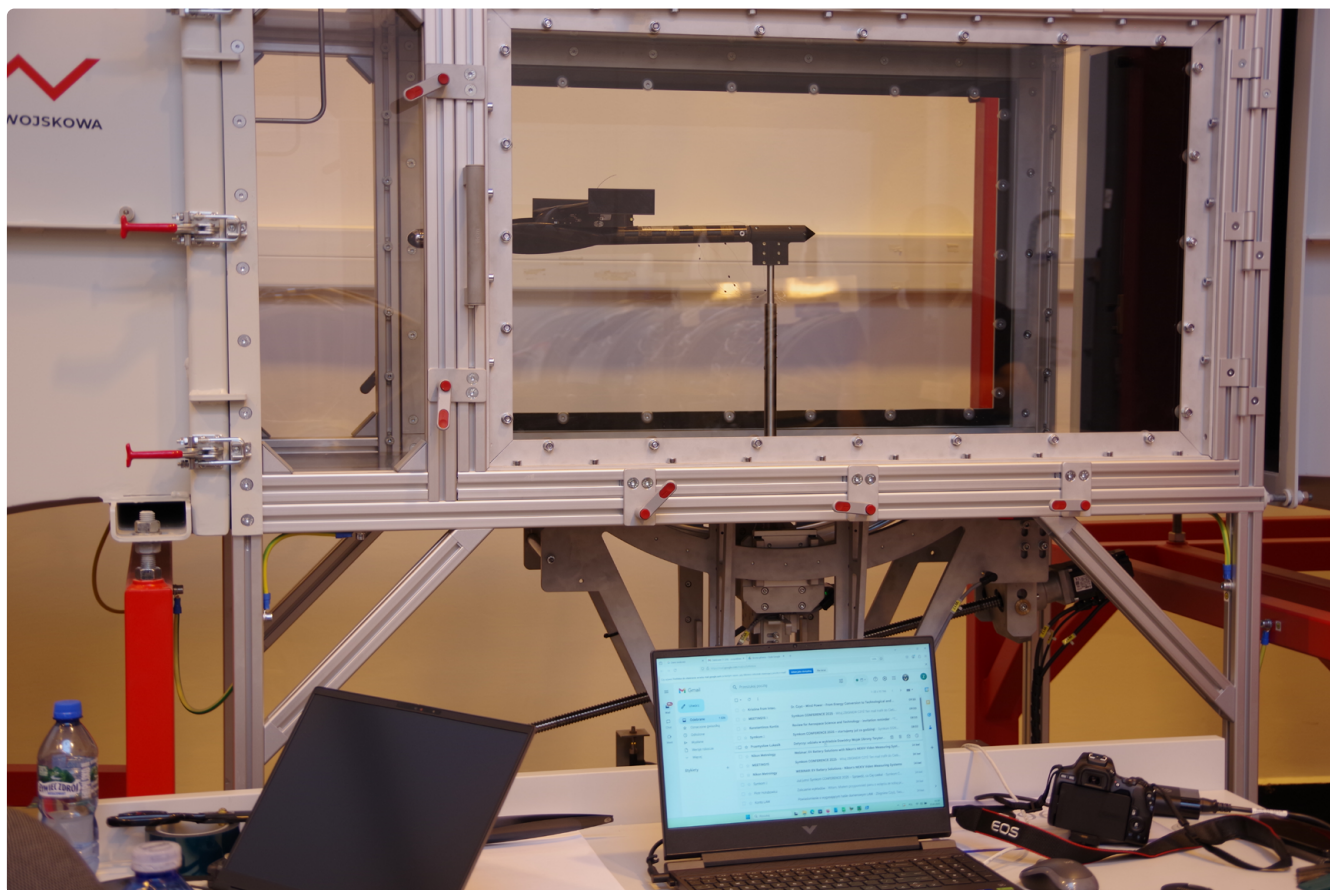
Ryc. 5. Tylna część kadłuba wykonana w formie rury stożkowej z łącznikiem



Ryc. 6. Część ogonowa kadłuba, widoczny statecznik pionowy



Ryc. 7. Skrzydła modelu o konstrukcji skorupowej, wykonane z zastosowaniem technologii ThinPREGTM



Ryc. 8. Stanowisko pomiarowo-badawcze, w głębi widoczna komora pomiarowa tunelu aerodynamicznego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie



Ryc. 9. Przygotowanie obiektu do badań przez Adama Krawca, w głębi Dominik Skwarek, zawodnik w klasie F1A, członek kadry narodowej juniorów

Jubileusz stulecia Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie

Jarosław Mądro



Ryc. 1. Śmigłowiec szkolny PZL SW4 – PUSZCZYK, wystawiony przed hangarem LAW w Dęblinie. Fot. Jarosław Mądro



Ryc. 2. Śmigłowiec PZL SW 3 SOKÓŁ, widoczne są także alternatywne podwieszenia uzbrojenia. Fot. Jarosław Mądro

Lotnicza Akademia Wojskowa w 2025 r. świętuje 100. rocznicę istnienia.

Dnia 14 czerwca 2025 r. odbył się z tej okazji Piknik Naukowo-Lotniczy. Dzięki obecności wielu gości ten dzień był wyjątkowy – pełen dobrej energii, niezapomnianych pokazów i inspirujących rozmów o historii i przyszłości polskiego lotnictwa.

Oprócz wystawy statycznej statków powietrznych można było podziwiać pokazy w locie nowoczesnych samolotów, a także „zabytków nieba”. Słuchając huku silników, uczestnicy mogli powspominać stare czasy, ale też pomyśleć o przyszłości w gronie znajomych i przyjaciół.

W następnych miesiącach 2025 r. czeka nas jeszcze wiele wydarzeń jubileuszowych. Zapraszamy do wspólnego świętowania tej wyjątkowej rocznicy ukochanej przez pokolenia polskich lotników szkoły, w której bije serce polskiego lotnictwa wojskowego.

Na przestrzeni lat 1925–2025 dziejowe zawirowania piły jej historię, zmieniało się oblicze Szkoły Orłąt i nazwa Uczelni – od Oficerskiej Szkoły Lotnictwa w Grudziądzu aż po współczesną: Lotnicza Akademia Wojskowa. Od roku 1925 Uczelnia decyduje o obliczu polskiego lotnictwa wojskowego, a kultywowanie tradycji i nieustanny rozwój stanowią świadectwo ciągłości jej historycznych i współczesnych dokonań.



Ryc. 3. AN2 z silnikiem gwiazdowym – konstrukcja z lat 30. XX w., służył głównie do obsługi skoków spadochronowych. Fot. Jarosław Mądro



Ryc. 4. M 346 BIELIK – samolot szkolny, stojący przed hangarem LAW. Fot. Jarosław Mądro

Obchody 100-lecia są okazją do wspominania historii i dziedzictwa naszych wielkich poprzedników – lotników spod znaku biało-czerwonej szachownicy. Świętowanie rocznicy jest dla nas wszystkich inspiracją do pogłębiania poczucia wspólnoty przez ludzi, którym bliskie są skrzydła z charakterystycznym znakiem.

Lotnicza Akademia Wojskowa jest miejscem, gdzie historia łączy się ze współczesnością, a wiedza techniczna, lotnictwo i wojskowe rzemiosło nieustannie przeplatają się, kreując nowy, wyższy poziom w dziedzinie obronności państwa.

W imieniu całego zespołu TLiA życzymy kolejnych 100 lat.



Ryc. 5. Lockheed C-130 Hercules – samolot transportowy stojący pomiędzy dwoma samolotami szkolnymi DIAMOND DA 20 G1.

Fot. Jarosław Mądro

Lot marzeń

Agnieszka Sadowska-Pytka, Amanda Jóźwik
Zespół Szkół nr 12 w Lublinie, Przedszkole nr 86

Lotnictwo jest szczególną dziedziną – niezwykle wymagającą, a jednocześnie dającą wiele satysfakcji. Pozwala rozwijać różnorodne umiejętności, a przy tym jest okazją do przyswajania specjalistycznej wiedzy. Adepti lotnictwa to zazwyczaj nietuzinkowe osoby, obdarzone talentami, sumienne i pracowite. Warto inspirować pasją lotniczą szczególnie dzieci, najlepiej już w wieku przedszkolnym. Można zacząć od wpajania prostych nawyków, jak utrzymanie porządku, zdyscyplinowanie czy systematyczność. A gdy już pokonamy pierwsze trudności, można odbyć lot marzeń...

Konkurs pod nazwą „Lot marzeń” został zorganizowany z myślą o dzieciach w wieku przedszkolnym. Zadaniem uczestników było zbudowanie makiety wymarzonego statku latającego. Zgodnie z założeniami, uczestnictwo w konkursie miało rozbudzić zainteresowania politechniczne u najmłodszych, a przy tym stało się okazją do kształtowania i rozwijania wyobraźni artystycznej, kreatywności i pomysłowości.



Ryc. 1. Uczestniczka prezentuje pracę konkursową – model samolotu

Dzięki wspólnej pracy pojawiła się też możliwość pogłębiania więzi dzieci z rodzicami lub opiekunami.

W konkursie wzięło udział 24 dzieci w wieku od 3 do 6 lat. Uczestników podzielono na dwie grupy wiekowe. Zadanie oceny prac konkursowych powierzono doświadczonym pedagogom z Przedszkola nr 86 w Lublinie. Jury wyłoniło zwycięzców i wyróżnionych. Drugą odsłoną konkursu była nagroda dla wszystkich startujących, którą przygotował główny sponsor – Politechnika Lubelska. Dzieci wraz z opiekunami zostały zaproszone przez Rektora prof. Zbigniewa Patera do wzięcia udziału w wycieczce, podczas której mogły zwiedzić laboratoria związane z techniką lotniczą. Na wstępie, w sali Senatu Politechniki Lubelskiej, prorektor ds. ogólnych prof. Paweł Drożdziel wręczył dyplomy uczestnictwa i drobne nagrody rzeczowe. Następnie, pod kierunkiem prof. Łukasza Grabowskiego z Katedry Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, dzieci wraz z osobami towarzyszącymi zwiedziły salę laboratoryjną wypełnioną



Ryc. 2. Prof. Paweł Drożdziel, prorektor Politechniki Lubelskiej wręcza dyplomy i nagrody laureatom konkursu



Ryc. 3. Uczestnicy konkursu z rodzicami przed rektoratem Politechniki Lubelskiej

eksponatami – silnikami lotniczymi, by w kolejnym kroku przejść do pomieszczenia mieszczącego tunel aerodynamiczny. Tam dzieci mogły zapoznać się metodą badań modeli samolotów i ich podzespołów pod względem aerodynamiki. Odważniejsi mieli sposobność wypróbowania tunelu „na własnej skórze” – prof. Grabowski czuwał nad bezpieczeństwem dzieci w tunelu. Do tego testu zgłosiło się także dwóch odważnych tatusiów, którym obsługa wentylatora zapewniła wyższe osiągi – włączyli wyższe obroty, zwiększając prędkość

przepływu. Kolejną atrakcją była możliwość zwiedzenia poduszkowca, wiatrakowca i prawdziwego śmigłowca PZL W-3 Sokół, który służy studentom Politechniki jako stanowisko laboratoryjne. Dzieci mogły zasiąść za sterami i poczuć się jak prawdziwi zdobywcy przestworzy.

Można być niemal pewnym, że wśród uczestników konkursu są przyszli piloci, mechanicy, kontrolerzy ruchu, konstruktorzy czy po prostu lotnicy. Życzymy im wysokich lotów!



Ryc. 4. Prof. Łukasz Grabowski opowiada o silnikach lotniczych, prezentując szczegóły eksponatów zgromadzonych w laboratorium



Ryc. 5. Przymiarka do poduszkowca – uczestnicy konkursu zajmują miejsca w kabinie



Ryc. 6. Wiatrakowiec, cóż to za maszyna? Dzieci wraz z rodzicami poznają szczegóły konstrukcyjne nietypowej maszyny latającej



Ryc. 7. Najbardziej oblegany obiekt, śmigłowiec PZL W-3 Sokół. Każdy uczestnik wycieczki miał możliwość zasiąść za jego sterami