

Konstrukcja i technologia szybowca SZD-51-1 Junior

Tomasz Murawski



Ryc. 1. Junior SP-3304 – widok z boku

Fot. Lech Zielaskowski

Streszczenie

Artykuł omawia wybrane zagadnienia szybowców konstruowanych z wykorzystaniem technologii kompozytów szklano-epoksydowych. Przedstawiono podstawy technologii tych kompozytów z wyszczególnieniem zasadniczych materiałów oraz metod produkcyjnych. Zaprezentowano konstrukcję szybowca SZD-51-1 Junior, który stanowi przykład statku powietrznego skonstruowanego i produkowanego w oparciu o przedmiotową technologię.

Słowa kluczowe: szybowce kompozytowe, konstrukcja szybowców, technologia wykonania

Wstęp

W drugiej połowie lat 70. zaczęły być popularne szybowce szkolno-treningowe o bardzo małym wyposażeniu, bez chowanego podwozia. Mgr inż. Stanisław Zientek z Szybowcowego Zakładu Doświadczalnego skonstruował wówczas szybowiec SZD-51 Junior. Przedprototyp SZD-51 został oblatany na lotnisku Aleksandrowice w Bielsku-Białej w dniu 31 grudnia 1980 r. przez pilota doświadczalnego mgr inż. Januarego Romana. Oblot prototypu nastąpił natomiast dopiero 12 sierpnia 1983 r., po wprowadzeniu niezbędnych poprawek konstrukcyjnych oraz po unormowaniu się sytuacji w Polsce i zakończeniu stanu wojennego. Szybowiec ten był produkowany seryjnie w ilości 242 sztuk w kooperacji Wrocław-Bielsko-Biała, aż do zamknięcia zakładu szybowcowego w 1999 r.



Ryc. 2. „Junior” w locie podczas prób
Fot. Lech Zielaskowski



Ryc. 3. Kabina „Juniora”
Fot. Lech Zielaskowski



Ryc. 4. Przód kadłuba szybowca „Junior” produkowanego obecnie przez Allstar PZL Gliders

Fot. <https://szdallstar.com/en/news/our-szd-51-1-junior-starts-the-season>

„Junior” okazał się wielkim sukcesem, przede wszystkim konstrukcyjnym i technologicznym, ale też produkcyjnym [1]. Został wyróżniony w 1986 r. Wojewódzką Nagrodą NOT – I miejsce za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki. Na Szybowcowych Mistrzostwach Świata w 1991 r. w Uvalde (USA) Janusz Trzeciak zajął drugie miejsce, startując w klasie standard na szybowcu SZD-51-1. Dzisiaj „Junior” jest produkowany przez nową firmę Allstar PZL Glider, która w 2001 r. wykupiła masę upadłościową SZD.

Fotografie na rycinach 1, 2, 3 i 4 przedstawiają przedmiotowy szybowiec.

Proces technologiczny produkcji szybowca „Junior”

Kompozyty wytrzymałościowe zbrojone tkaninami z włókna szklanego i sztuczną żywicą stanowią od lat 70. ubiegłego wieku podstawę budowy szybowców w Polsce. Pierwszym szybowcem w kraju, skonstruowanym na bazie kompozytów szklano-epoksydowych, był SZD-37 Jantar, projektowany w latach 1969–72. Opanowano wówczas budowę i konstrukcję wysokowytrzymałych skorup z kompozytu. Opracowano też proces obliczania takich ustrojów, jak też badania pod względem wytrzymałościowym i, przede wszystkim, zmęczeniowym. Niemalą rolę odgrywała też sztywność skorup. Zasadniczo, przy projektowaniu „Juniora” korzystano ze sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych „Jantara”, zaczęto też jednak wprowadzać innowacje [2]. Nowe rozwiązania do dziś stanowią aktualne dane do konstruowania szybowców kompozytowych. Są to między innymi: konstrukcja dźwigara z litą ścianką, zespół szkieletu skrzydła (zespolone napędy w skrzydle), budowany na osobnym stanowisku i wklejany w skrzydło podczas budowy, unifikacja podstawowych zespołów mechanizmów sterowych, lity kadłub niewymagający podciśnienia podczas budowy. Wszystkie te zmiany

spowodowały zmniejszenie pracochłonności z 2500 godzin dla SZD-48-3 Jantar Std. 3 do 1500 godzin dla SZD-51-1 Junior. Podczas budowy prototypu „Juniora” opracowano przede wszystkim tak zwane oprzyrządowanie seryjne. Jego ostateczną weryfikację stanowiło wykonanie pierwszej sztuki szybowca. Ogólny schemat procesu budowy przedstawiono na rycinie 5, natomiast rycina 6 ilustruje podział konstrukcyjno-technologiczny typowego szybowca laminatowego. W tabeli 1 zawarto podstawowe parametry wytrzymałościowe kompozytu szklano-epoksydowego.

W skład oprzyrządowania wchodziły:

- wzorce i wzorniki,
- makiety,
- sprawdziany,
- foremnik do budowy skorup,
- przyrządy montażowe,
- oprzyrządowanie uzupełniające.

Zakłada się, że oprzyrządowanie powinno zapewnić:

- pełną zamienność głównych zespołów szybowca – skrzydła, lotki, statecznik poziomy, ster wysokości, ster kierunku, płyty hamulca aerodynamicznego, szkło limuzyny, części szkieletu limuzyny, podwozie, zespoły napędów,
- uzyskanie założonych cykli produkcyjnych,
- sprawne przeprowadzenie kontroli oprzyrządowania.

Główne zespoły szybowca wykonywane były z kompozytów szklano-epoksydowych. W związku z tym pomieszczenia produkcyjne musiały spełniać wymogi produkcji kompozytów wytrzymałościowych, a w szczególności uwzględniać następujące warunki:

- temperaturę od +20°C do +30°C,
- wilgotność maksymalną rzędu 80 %,
- stosowne oświetlenie, wentylację, posadzkę oraz wyposażenie zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP.

W celu zapewnienia wymaganej jakości oraz odpowiedniego przebiegu seryjnego procesu produkcyjnego powierzchnię produkcyjną wyposażono w:

- dozowniki mechaniczne do kompozycji laminującej,
- instalacje podciśnieniowe,
- komorę grzewczą,
- termografy i zegary kontrolne.

Dokumentacja technologiczna prototypów była z reguły uproszczona i składała się z:

- instrukcji budowy głównych zespołów szybowca oraz zespołów i elementów wymagających szczególnych zabiegów technologicznych.

Dokumentacja technologiczna produkcji seryjnej zawierała:

- dziennik kompletacji szybowca,
- karty technologiczne wykonania części, zespołów, montażu,
- schematy montażu,

Tab. 1 Tabela wytrzymałości – właściwości kompozytu na tle innych materiałów używanych w budowie szybowców.

Właściwość / Materiał	drewno	duraluminium	stal stopowa	kompozyt szklany	kompozyt węglowy	kompozyt aramidowy
Rozrywanie R_m [MPa]	80	450	1600	1100	1500	1550
Masa właściwa ρ [g/cm ³]	0,5	2,8	7,8	1,7	1,4	1,3
Stosunek R_m/ρ	160	160	205	650	1070	1200

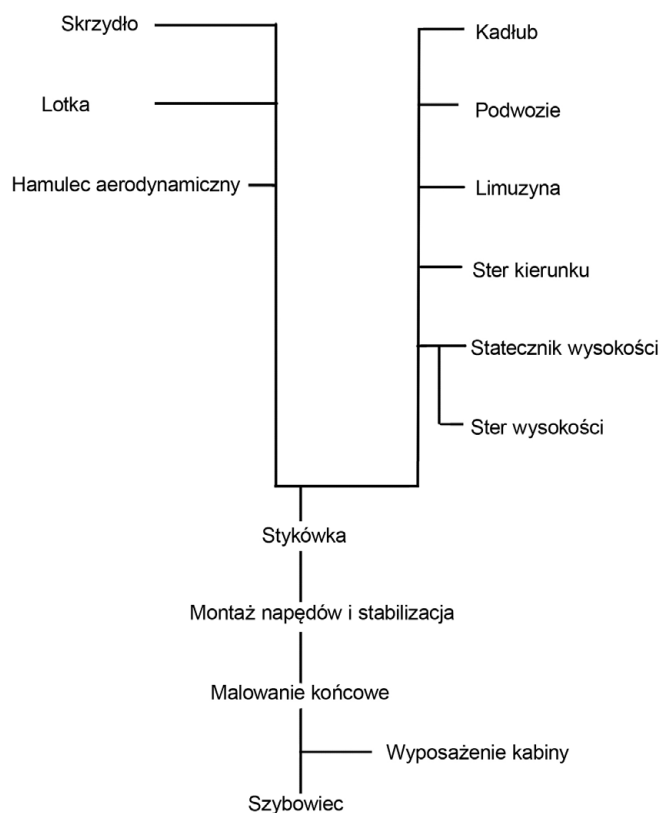
- karty normowania czasów,
- spis pomocy warsztatowych,
- zestawienie robocizny według grup i stanowisk,
- zbiorcze zestawienie materiałów do budowy,
- zbiorcze zestawienie części normalnych,
- rysunki konstrukcyjne oprzyrządowania specjalnego,
- schematy układania tkanin delaminazowych,
- obowiązujące instrukcje technologiczne i warsztatowe.

Podstawę do odbioru szybowca stanowiły:

- dokumentacja konstrukcyjna,
- dokumentacja technologiczna,
- wzorce i wzorniki.

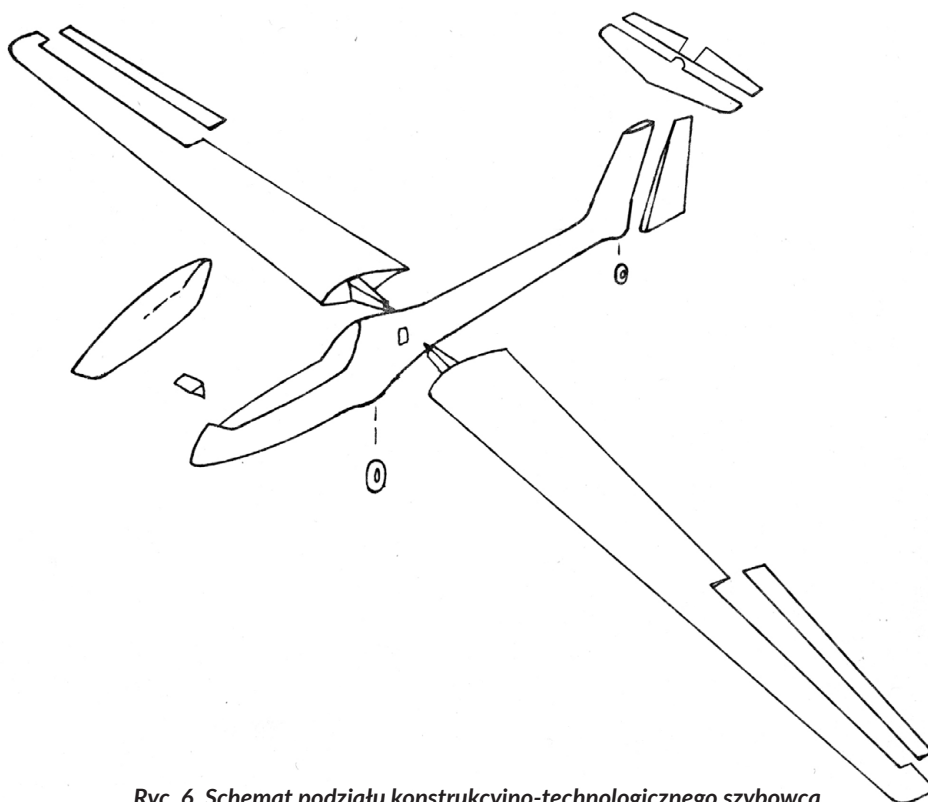
Do uzyskania certyfikatu typu należało przeprowadzić:

- próby sztywności zespołów i napędów,
- próby wytrzymałościowe konstrukcji,
- próby zmęczeniowe,
- próby rezonansowe i analizę flutterową,
- próby w locie.



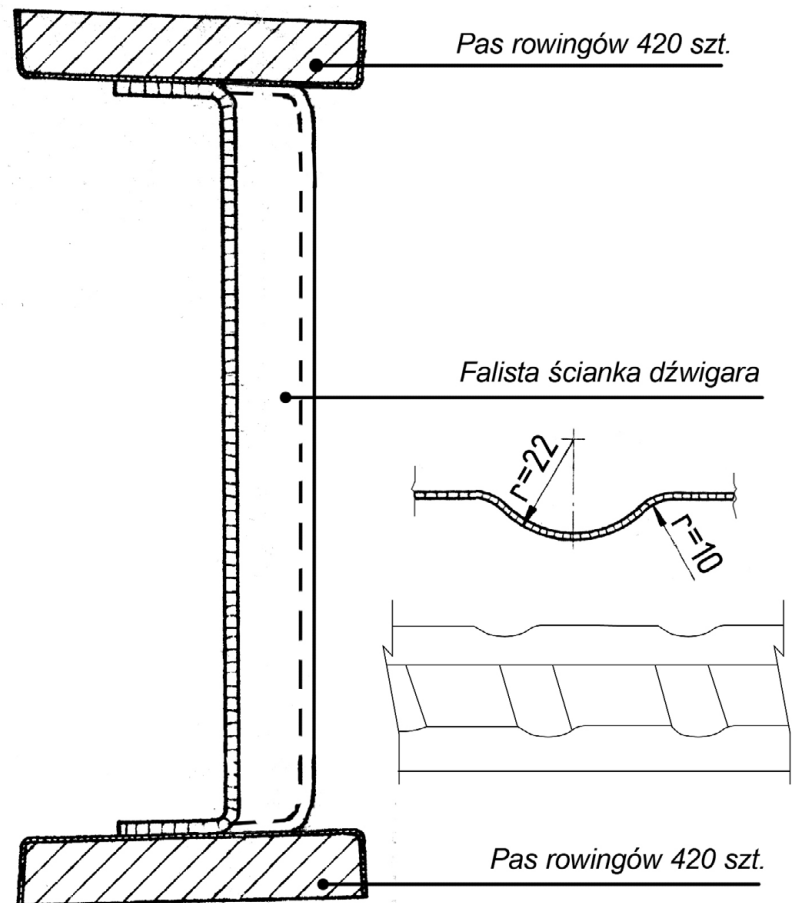
Ryc. 5. Schemat budowy szybowca

Rys. Tomasz Murawski



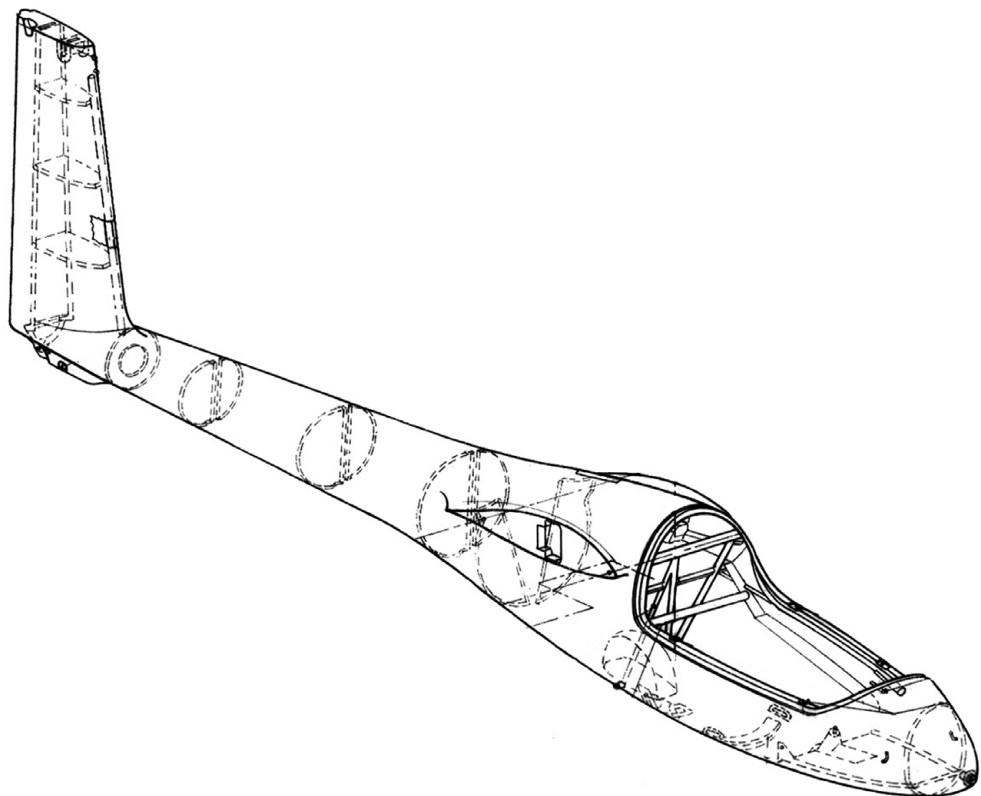
Ryc. 6. Schemat podziału konstrukcyjno-technologicznego szybowca

Rys. Tomasz Murawski



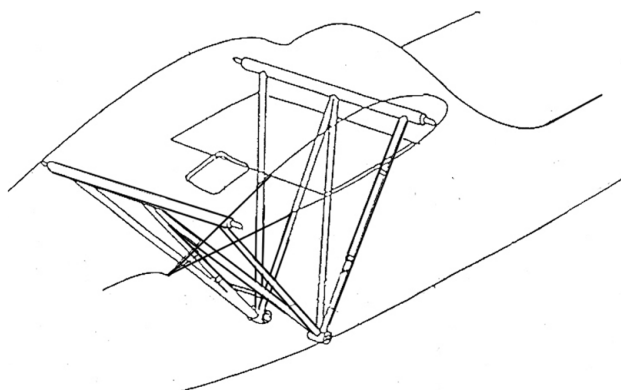
Ryc. 7. Przekrój poprzeczny dźwigara skrzydła szybowca „Junior”

Rys. Tomasz Murawski

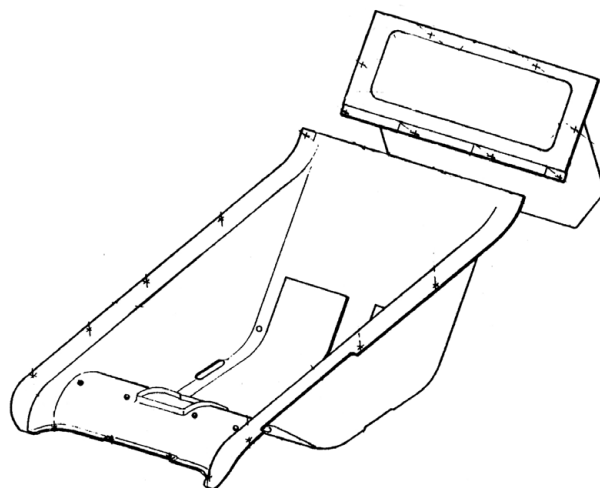


Ryc. 8. Przekrój poprzeczny kadłuba „Juniora”

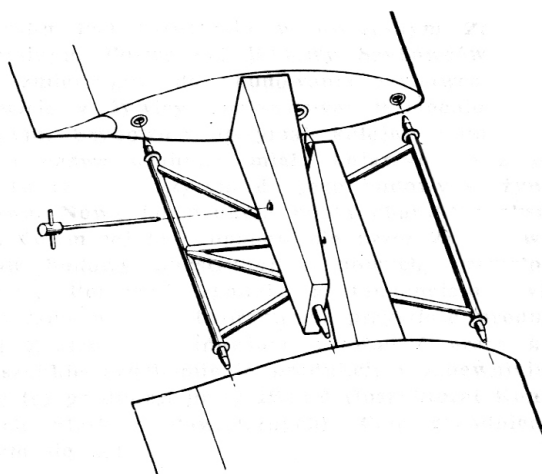
Źródło: Archiwum SZD



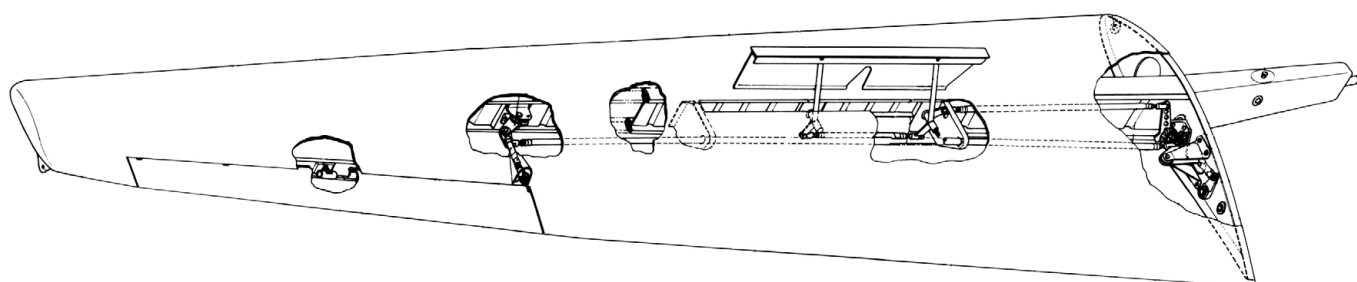
Ryc. 9. Spawana metalowa kratownica z rur stalowych, stanowiąca główny filar wytrzymałościowy zespołu skrzydło-kadłub
Źródło: Archiwum SZD



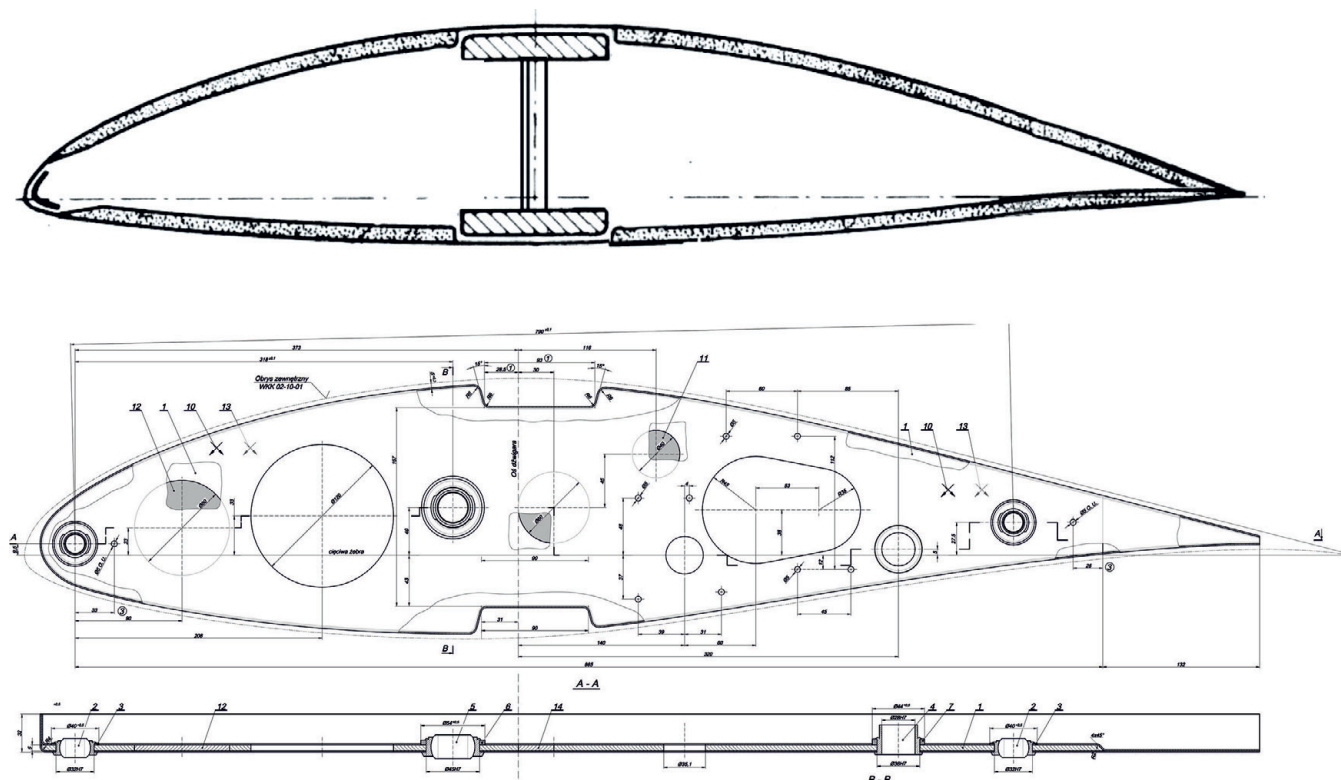
Ryc. 10. Osobny zespół kabiny pilota – tak zwana miska pilota
Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 11. Centralna część szybowca z kratownicą – montaż skrzydeł do kadłuba
Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 12. Przekrój poprzeczny skrzydła „Juniora”
(widoczne żebro nasadowe, dźwigar, hamulec aerodynamiczny i inne szczegóły konstrukcyjne)
Źródło: Folder reklamowy PZL



Ryc. 13. Przekrój przez skrzydło – profil skrzydła oraz rysunek z dokumentacji technicznej „Juniora” żebra nasadowego

Rys. Tomasz Murawski, Archiwum Allstar PZL Glider

Na rycinach 7–13 pokazano wybrane szczegóły konstrukcyjne szybowca SZD-51-1 Junior. Rycina 7 przedstawia przekrój poprzeczny dźwigara skrzydła, który jest belką dwuteową. Przekrój aksonometryczny kadłuba pokazano na rycinie 8, zaś rycina 9 ilustruje schemat kratownicy stanowiącej centralny podzespół szkieletowy kadłuba. Na rycinie 10 jest miska siedzeniowa, wyprofilowana anatomicznie, na której układane jest siedzisko pilota, natomiast rycina 11 obrazuje fragment spawanej kratownicy w środkowej części kadłuba, razem z kikutami dźwigarów – schemat montażu kadłuba i skrzydeł. Rycina 12 przedstawia schemat konstrukcyjny skrzydła, widoczne jest umiejscowienie poszczególnych elementów: dźwigara, hamulca aerodynamicznego, napędów lotek i żebra nasadowego, którego rzut pokazano na rycinie 13. Dodatkowo ostatnia wymieniona rycina zawiera typowy przekrój skrzydła z zaznaczonym dźwigarem i skorupami poszycia.

Podział technologiczny

W przypadku budowy szybowców z kompozytu opracowano technologię produkcji, znaną z budowy samolotów konstrukcji półskorupowej z metalu. Skrzydło zostało podzielone na dwie części w płaszczyźnie poziomej – wzdłuż cięciwy. Tak samo podzielono usterzenie poziome. Kadłub natomiast, wraz ze stanowiącym całość statecznikiem pionowym, również został podzielony na dwie części, ale w płaszczyźnie pionowej. Połówki tych zespołów, czyli skorupy kompozytowe z przekładką (skrzydła, usterzenia i kadłub) buduje się w foremnikach: skrzydła oraz usterzenie

poziome mają foremniki dolny i górny, a kadłub wraz ze statecznikiem pionowym – lewy i prawy. Następnie, również w foremnikach, skleja się ze sobą części zespołów, po czym wyjmuje się gotowe elementy, np. skrzydła. Po odpowiednim przygotowaniu – „odnowieniu” – foremnik jest gotowy do budowy tego samego podzespołu. Z jednego foremnika można więc zbudować znaczną liczbę skorup. Warunkiem jest trwałość foremników, stąd bardzo istotna jest ich konstrukcja oraz jakość użytych do ich budowy materiałów. Sam foremnik powstaje w wyniku laminowania wzorca, czyli szybowca wykonanego w skali 1 : 1, np. z twardej pianki PCV i odpowiedniego podziału technologicznego podczas jego wykonywania. Skorupy odpowiadają za wytrzymałość szybowca, jak też zapewniają utrzymanie zadanej geometrii. Podlegają one szczególnej kontroli w procesie produkcji.

Wybrane szczegóły technologii wykonania skorup laminatowych w foremnikach zobrazowano na fotografiach. Rycina 14 ilustruje tylną część kadłuba, zaś na rycinie 15 pokazane są złożone foremniki kadłuba i statecznika poziomego. Skrzydło szybowca wraz z podzespołami wewnętrznymi w trakcie montażu pokazane jest na rycinie 16. Ryciny 17 i 18 ilustrują połówkę kadłuba w trakcie montażu. Widoczne są półwrgi, kratownica z rur stalowych, napędy sterów oraz żebra statecznika pionowego. Dodatkowo, szczegół kratownicy z rur stalowych pokazano na rycinie 19, natomiast rycina 20 obrazuje makietę kadłuba szybowca „Junior”. Szczegóły budowy skrzydła widać na rycinach 21 i 22: pierwsza rycina ilustruje skrzynkę hamulca aerodynamicznego w trakcie wklejania w dolną skorupę poszycia skrzydła, zaś całość skrzydła w trakcie klejenia pokazano na rycinie 22.



Ryc. 14. Tył kadłuba w budowie – widoczne żebra statecznika kierunku, napędy sterów
Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 15. Złożone foremniki kadłuba i usterzenia poziomego „Juniora”
Źródło: Tomasz Murawski



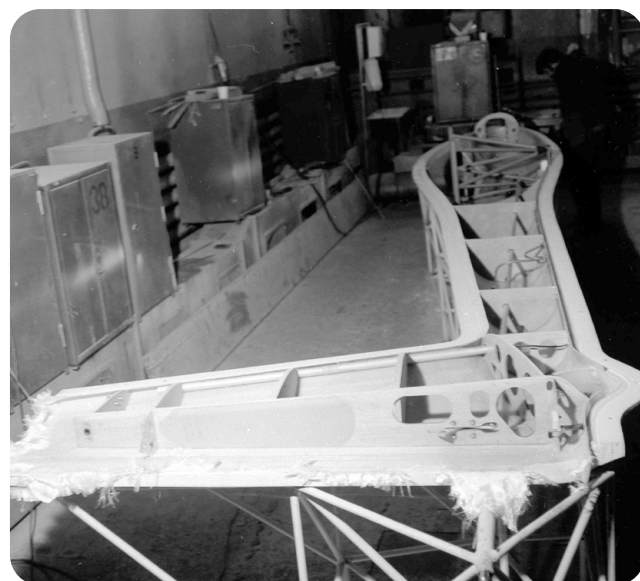
Ryc. 16. Mgr inż. Stanisław Zientek – główny konstruktor szybowca – przy foremniku dolnej skorupy skrzydła (widoczny wklejony dźwigar, szkielet skrzydła z napędami, skrzynka hamulca aerodynamicznego)

Źródło: Archiwum SZD



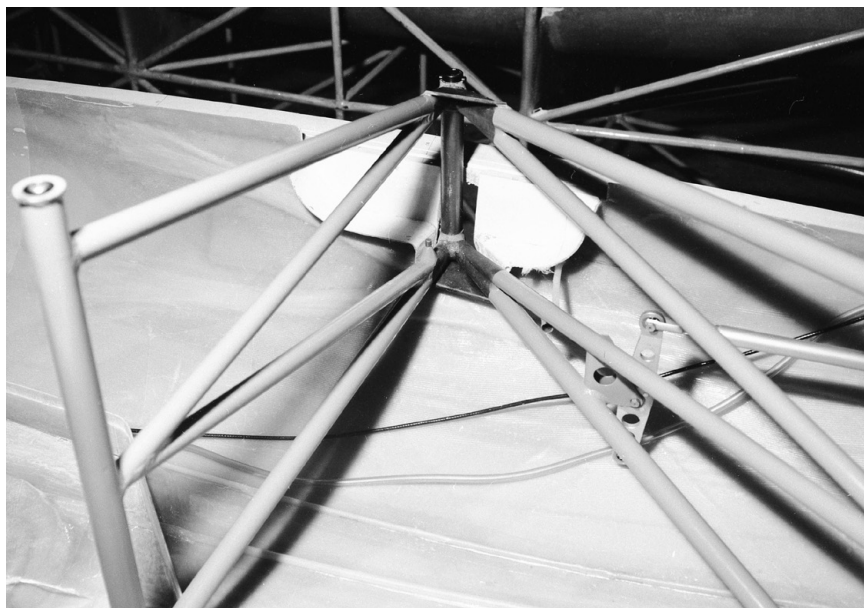
Ryc. 17. Kadłub „Juniora” w budowie (w foremnikach) – widoczna wklejona kratownica i inne wewnętrzne elementy kadłuba

Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 18. Kadłub w budowie – widoczne zakończenie kadłuba: wklejony dźwigarek statecznika kierunku, żeberka, napędy

Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 19. Wklejona w połówkę kadłuba kratownica centralna „Juniora”

Fot. Archiwum SZD



Ryc. 20. Makieta kadłuba „Juniora” w lewym foremniku

Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 21. Wklejona do skorupy dolnej skrzynka hamulca aerodynamicznego, widoczny też popychacz napędu lotki i hamulca

Źródło: Archiwum SZD



Ryc. 22. Skrzydło w budowie

Źródło: Archiwum SZD

Materiały konstrukcyjne

Główne elementy konstrukcji szybowca „Junior” (ryc. 6):

- skrzydło – skorupy (dolna, górna), dźwigary, żebra, skrzynka hamulca aerodynamicznego, napędy, okucia metalowe,
- usterzenia – skorupy, okucia,
- kadłub – skorupy, napędy, okucia, podwozie, przyrządy pokładowe, rama limuzyny.

Nakład materiałów użyty do budowy 1 egzemplarza szybowca SZD-51 Junior:

rowing szklany ER 3005	15,30 kg,
tkanina 90070	41,25 m ² ,
tkanina 92110	19,94 m ² ,

tkanina 92125	109,66 m ² ,
tkanina 92140	57,06 m ² ,
tkanina 92145	3,8 m ² ,
tkanina 92145/200	
(pas tkaniny o szerokości 200 mm)	41,80 m ² ,
pianka Conticell CC60 gr. 6,5 mm	29,60 m ² ,
pianka gr. 8 mm	0,28 m ² ,
żywica Epidian 52	96,15 kg,
utwardzacz Z-1	10,37 kg,
klej AR z utw. PK-1	0,63 kg,
płatki bawełniane	0,32 kg,
mikrobaloony	0,6 kg,
krzemionka „Cabosil”	1,3 kg,
plexi gr. 4 mm	14,9 kg,
emalia poliuretanowa ze składnikami	30,70 kg.

Konstrukcja szybowca SZD-51 Junior – powłoki:

I Skrzydło – skorupa dolna i górna:

1 warstwa zewnętrzna (licząc od foremnika) – Interglas 92140 – ułożona pod kątem 45°,

rdzeń – pianka Conticell 60 o grubości 6,5 mm,

1 warstwa wewnętrzna – Interglas 90070 – ułożona pod kątem 45°.

II Kadłub – skorupa lewa i prawa (warstwy główne):

3 warstwy – Interglas 92140 – ułożone wzdłuż kadłuba.

III Ster wysokości, lotka, ster kierunku – skorupa dolna i górna:

2 warstwy zewnętrzne – Interglas 92110 – ułożone pod kątem 45°,

1 warstwa zewnętrzna – Interglas 92125 – ułożona pod kątem 45°.

IV Statecznik wysokości – skorupa dolna i górna:

1 warstwa zewnętrzna – Interglas 90070 – ułożona pod kątem 45°,

1 warstwa zewnętrzna – Interglas 92145 – ułożona wzdłuż kadłuba,

rdzeń – pianka H60 o grubości 3 mm,

1 warstwa wewnętrzna – Interglas 92125 – ułożone pod kątem 45°.

Materiały do budowy skorup szybowca „Junior”

Materiały, które należy zastosować do wykonania kompozytu określa każdorazowo dokumentacja techniczna. Muszą one spełniać wymagania określone przez odpowiednie normy lotnicze i warunki techniczne. Znajomość zawartych w instrukcji informacji jest warunkiem dopuszczenia pracownika do wykonania nośnych elementów kompozytowych.

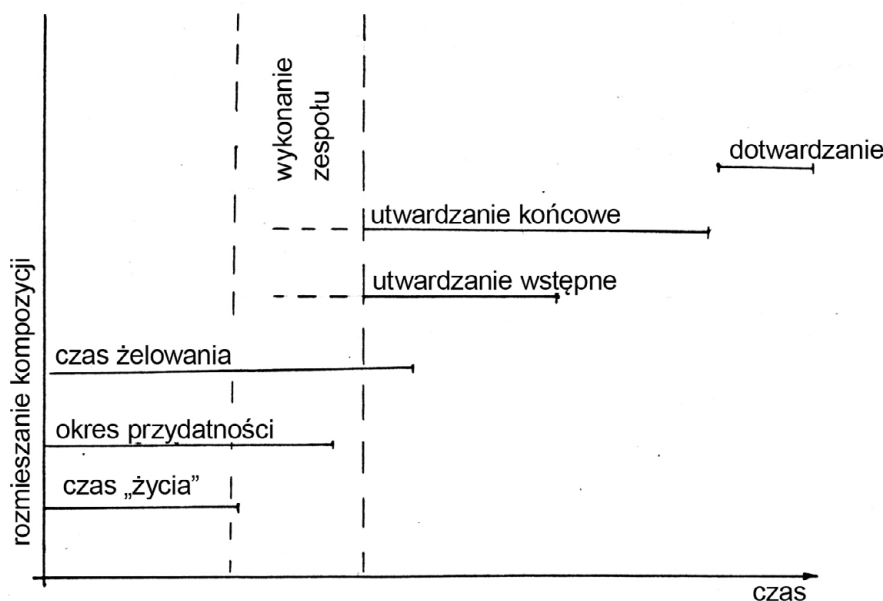
Opanowanie tych wiadomości sprawdza się podczas egzaminu kończącego przeszkolenie. Przed laminowaniem każdorazowo należy sprawdzić stan oprzyrządowania, szczególnie powierzchni licowych foremników. Pracownicy zatrudnieni przy laminowaniu powinni posiadać ważne uprawnienia laminaterskie. Przed rozpoczęciem czynności muszą zapoznać się z dokumentacją techniczną: wymaganiami technicznymi, rysunkami konstrukcyjnymi, dokumentacją technologiczną. Samo laminowanie polega na równomiernym przesycaniu położonej na foremniku tkaniny poprzez odpowiednie dozowanie kompozycji. Ma to zapewnić powtarzalność ciężarową. Służy temu plan dozowania kompozycji.

Do budowy skorup szybowca używane są:

- tkaniny szklane firmy Interglas z preparacją I 550, odpowiednio 90070, 92110, 92125, 92140 i 92145, o odpowiedniej wadze i wytrzymałości,
- żywica epoksydowa Epidian 52+ z utwardzaczem Z1,
- rowing ER 2003 tex 2280.

Obecnie w produkcji szybowców stosuje się niemiecką żywicę epoksydową L 285 firmy MGS GMBH, produkowaną od 1985 r. Utwardzaczem jest roztwór o nazwach H 285, H286 lub H287 tej samej firmy, wywołujący różny czas zżelowania kompozycji.

Tkaniny szklane firmy Interglas z preparacją I 550 po przesyceniu żywicą epoksydową Epidian 52+ Z1 (lub Epidian 53) w stosunku wagowym 1 : 1 tworzą kompozyt szklano-epoksydowy. Rowing ER 2003 tex 2280, służący przede wszystkim do budowy pasów dźwigara, przesycany żywicą w stosunku objętościowym 1 : 1 w specjalnym urządzeniu, zwanym sycielem. Podczas prób rowingu stwierdzono, że sumaryczny tex rowingu w wiązce używanej do produkcji pasów dźwigara (tex szafy), powinien mieścić się w granicach 45600–50000. By spełnić ten warunek, na wiązkę przesycanych jednocześnie rowingów składa się przeważnie 20 szpul. Przekładką jest twarda pianka PCV: Conticell CC60 o grubości 6,5 mm.



Ryc. 23. Diagram przedstawiający czas użytkowania kompozycji

Rys. Tomasz Murawski

Proces utwardzania kompozytów przebiega w czterech fazach. Pierwsza faza to żelowanie. Czas potrzebny do żelowania określany jest czasem „życia”. Liczony jest on od momentu wymieszania żywicy z utwardzaczem do całkowitego zastygnięcia – stwardnienia żywicy. Czas „życia” wynosi od 30 do 120 minut, w zależności od rodzaju żywicy, rodzaju utwardzacza i wielkości porcji kompozycji. Przedstawiono to schematycznie na rycinie 23. Należy zwrócić uwagę, aby wszelkie elementy klejone do kompozytu zostały unieruchomione i dociśnięte w tzw. okresie przydatności kompozycji do klejenia i pozostały w stanie docisku aż do końca okresu żelowania.

Faza druga to utwardzenia wstępne w temperaturze pokojowej. Jest to okres trwający od wykonania elementu do uzyskania własności mechanicznych, pozwalających na oddzielenie zespołu od formy, obróbkę mechaniczną, cięcie, przygotowania powierzchni do klejenia itp. Po zdjęciu z foremników, elementy utwardzone wstępnie mogą ulegać deformacji pod wpływem skurczów chemicznych, sił od podparcia czy ciężaru własnego. Elementy, których geometria jest istotna oraz elementy cienkościennie należy pozostawić w foremnikach o jedną dobę dłużej lub dotwardzić w formach w temperaturze 60°C. Czas utwardzenia wstępnego wynosi zazwyczaj 6 godzin.

Faza trzecia to okres do pełnego utwardzenia kompozytu, tj. uzyskania pełnych własności mechanicznych i trwałości kształtu w temperaturze pokojowej.

Czwarta faza polega na dotwardzeniu kompozytu w podwyższonej temperaturze. Proces ten można porównać do procesu hartowania stali. Dotwardzanie podwyższa własności kompozytu w wysokich temperaturach. Dotwardza się jedynie te elementy, dla których wymaga tego dokumentacja konstrukcyjna i technologiczna. Czas wygrzewania wynosi przeważnie 8 godzin w temperaturze 60°C.

Wszelkie czasy dotyczące utwardzania lub wygrzewania w temperaturach podwyższonych liczone są od chwili uzyskania wymaganej temperatury przez zespół.

Utwardzanie żywic jest też bardzo egzotermiczne – powoduje silne wydzielanie ciepła. W przypadku przygotowania zbyt dużej porcji może nawet nastąpić zapalenie się kompozytu. Ta właściwość powoduje duże problemy w produkcji szybowców, gdyż w trakcie wykonywania grubych skorup grzeją się także foremniki.

Procesy technologiczne w budowie szybowca „Junior”

Skrzydło

Skrzydło o obrysie dwutrapezowym ma profil FX S01-196 przy nasadzie i S01/2-158 na końcu. Konstrukcja jest całkowicie kompozytowa. Jeden dźwigar dwuteowy umieszczony w 40 % cięciwy, ma pasy rowingowe i ściankę falistą z litego kompozytu. Powłoka skrzydła to przekładka: piankowy wypełniacz ma grubość 6 mm, a kompozyt zewnętrzny stanowią dwie warstwy tkaniny 0,5 mm i jedna warstwa 0,5 mm wewnątrz. Skrzydło nie ma żeber ani poprzecznych usztywnień. Produkcyjnie powłoka skrzydła jest podzielona

na dwie skorupy, dolną i górną, w płaszczyźnie wertykalnej. Każda z nich jest ukształtowana na foremnikach wiernie odtwarzających profil z dokładnością do 0,2 mm. Budowę skorupy rozpoczyna się od naniesienia na foremnik warstwy rozdzielczej, następnie natryskuje się białą emalię – przyszłe pokrycie lakiernicze skrzydła. Po utwardzeniu emalii kładzie się kolejno: zewnętrzne tkaniny, przesycając je kompozycją za pomocą pędzla lub wałka, potem uprzednio przygotowany piankowy wypełniacz, a następnie tkaniny wewnętrzne. Ostatnią warstwą kładzioną na powłokę są tak zwane tkaniny delaminujące (delaminaż). Są one także nasączone żywicą, którą zdziera się przed klejeniem. Po zerwaniu tkaniny delaminazowej kompozyt jest już odpowiednio zszorstkowany i nie trzeba go ręcznie szlifować.

Po przykryciu odsysającą nadmiar żywicy tkaniną jutową oraz folią zamyka się całość przeponą, odsysając spod niej powietrze. Dokładne opięcie przepony na foremniku gwarantuje wierne odwzorowanie kształtu foremnika przez skorupę. Utwardzenie skorupy następuje po 8 godzinach przy stałe utrzymywanym podciśnieniu, wynoszącym 0,5–0,9 atm. Pasy dźwigara, podobnie jak jego falista ścianka, powstają w osobnym foremniku. Następnie całość jest klejona razem, już na skorupie dolnej. Po wklejeniu w dolną skorupę dźwigara ścianki tylnej, żebra zamykającego, skrzynki hamulca aerodynamicznego (ryc. 21) oraz napędów następuje sklejenie skorupy dolnej z górną. Jest ona wykonana podobnie, ale nie zawiera żadnych elementów wewnątrz.

Utwardzone skorupy skrzydeł, usterzenia i kadłub skleja się ze sobą na jednym z foremników (skorupa lewa i skorupa prawa). Do klejenia używa się odpowiednio zagęszczonej kompozycji Epidian 52+ Z-1. Do jej zagęszczenia stosuje się napelniacze w postaci rowingu ciętego, płatków bawełnianych, mikrobalonu i krzemionki kolooidalnej „Aerosil”.

Oddzielenie skrzydła od foremników kończy w zasadzie jego budowę. Pozostają jeszcze do wykonania: wykończenie dźwigara w części nasadowej, obcięcie naddatków, drobne prace monterskie, poprawki lakiernicze i wygrzewanie skrzydła w temp. 60°C w specjalnej komorze, podczas którego następuje ostateczne utwardzenie żywicy. W podobny sposób, osobno, wykonuje się lotki.

Skrzydła są łączone typowym dla szybowców kompozytowych układem widlastych okuć, a do kadłuba podwieszone są za pomocą czterech kulistych gniazd, które wprowadza się w trzpienie wystające z kadłuba. Połączenie uzyskuje się przez spięcie czół dźwigarów sworzniem.

Usterzenie

Usterzenie wysokości w układzie „T” wykonane jest całkowicie z kompozytu o konstrukcji podobnej do skrzydła. Podobnie wykonywany jest ster kierunku. Usterzenie wysokości mocuje się dwoma wystającymi okuciami, które są wprowadzane od góry w odpowiednie gniazda w stateczniku kierunku. Połączenie uzyskuje się przez spięcie okuć długim sworzniem, którego końcówka wystaje z krawędzi natarcia statecznika kierunku.



Ryc. 24. Szyba limuzyny przed wklejeniem w ramę – pleksi o grubości 4 mm

Źródło: Archiwum SZD

Kadłub

Kadłub wykonany z kompozytu jest formowany w dwóch niekrowych foremnikach w płaszczyźnie pionowej. Przed zaklejeniem obu połówek trzeba wkleić do środka całe wyposażenie szybowca, w tym kratownicę części środkowej (spawaną z rur stalowych), która łączy skrzydła oraz stanowi podstawę mocowania stałego podwozia głównego – elementy ustereżenia kierunku i elementy sterowania. Skleina kadłuba wzmocniona jest na zewnątrz taśmą, wzdłuż całego obwodu, łącznie ze statecznikami pionowym.

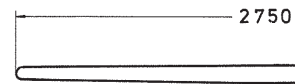
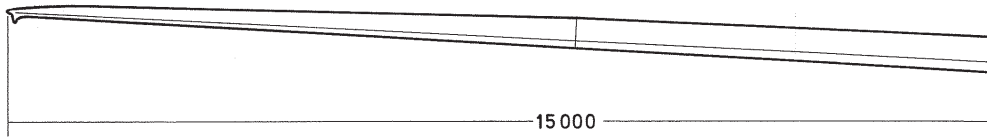
Po wykonaniu wszystkich głównych części szybowca następuje tak zwany pierwszy montaż. Na tym etapie niweluje się między innymi wszystkie elementy sterowania. Następnie szybowiec przekazuje się do wykończenia ostatecznego: uzupełnienie powłok lakierniczych, ważenie i przygotowanie do oblotu. Kabina zamykana jest limuzyną wykonaną z plexiglasu, wzmocnioną ramą (ryc. 24).

Podsumowanie

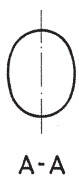
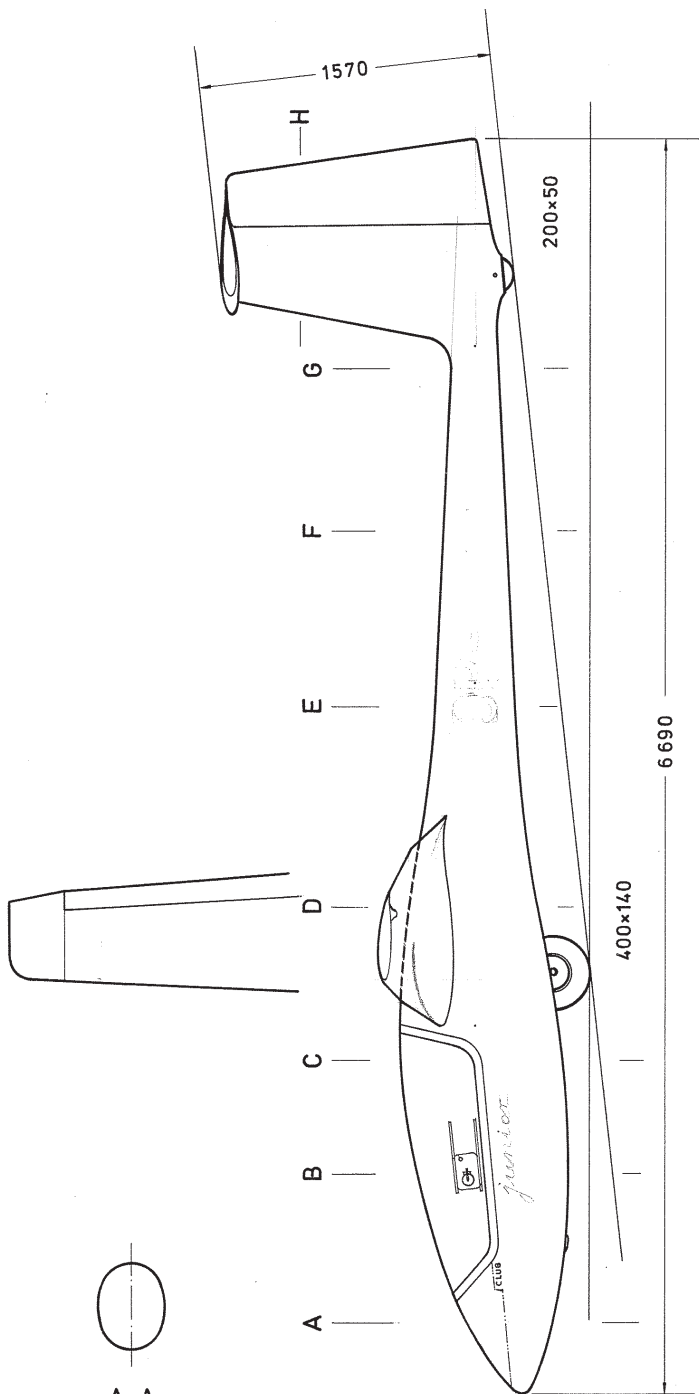
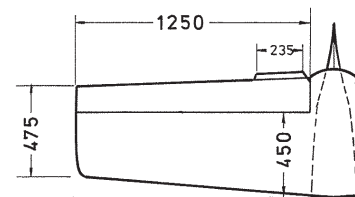
Chociaż współczesne szybowce budowane są w oparciu o kompozyty węglowe, korzystanie z technologii kompozytów szklano-epoksydowych jest wciąż stosowane, co potwierdza przykład szybowca „Junior”, obecnie produkowanego przez Allstar PZL Glider. Wysoka trwałość konstrukcji, korzystne cechy eksploatacyjno-użytkowe, a jednocześnie niższe koszty produkcji w przypadku szybowca z laminatów szklano-epoksydowych powodują, że mimo wdrażania nowych materiałów, opisana technologia wciąż znajduje zastosowanie w przemyśle lotniczym. Nie bez znaczenia jest również szeroka dostępność gamy prefabrykatów w formie tkanin, rowingów czy prepregów. Dzięki tym ostatnim budowa struktur nośnych szybowca czy innego statku powietrznego może odbywać się w zarówno w warunkach przemysłowych, jak i amatorskich.

Bibliografia:

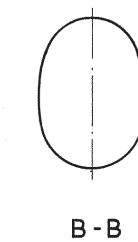
- [1] Murawski, T. (2024). *Monografia szybowca Junior*. Warszawa.
- [2] Murawski, T. (2019). *Szybowce kompozytowe Jantar Standard. Technologia i obliczenia*. Warszawa.



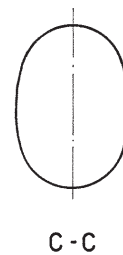
600



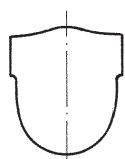
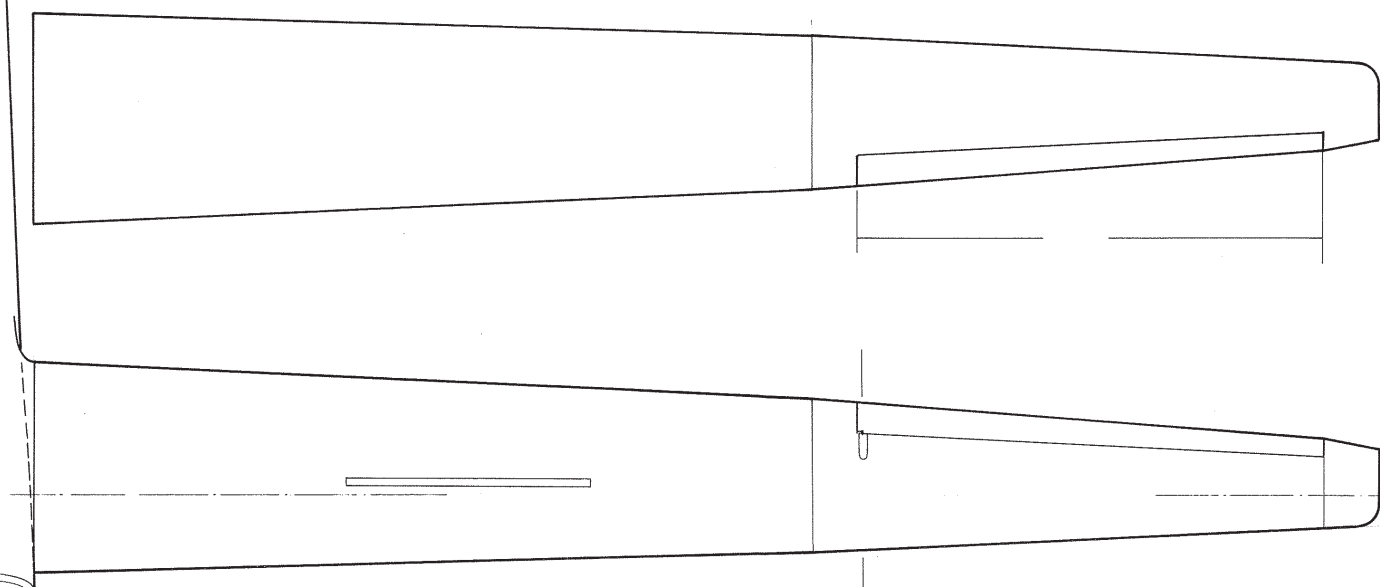
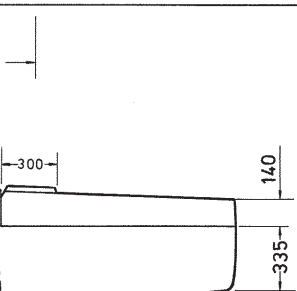
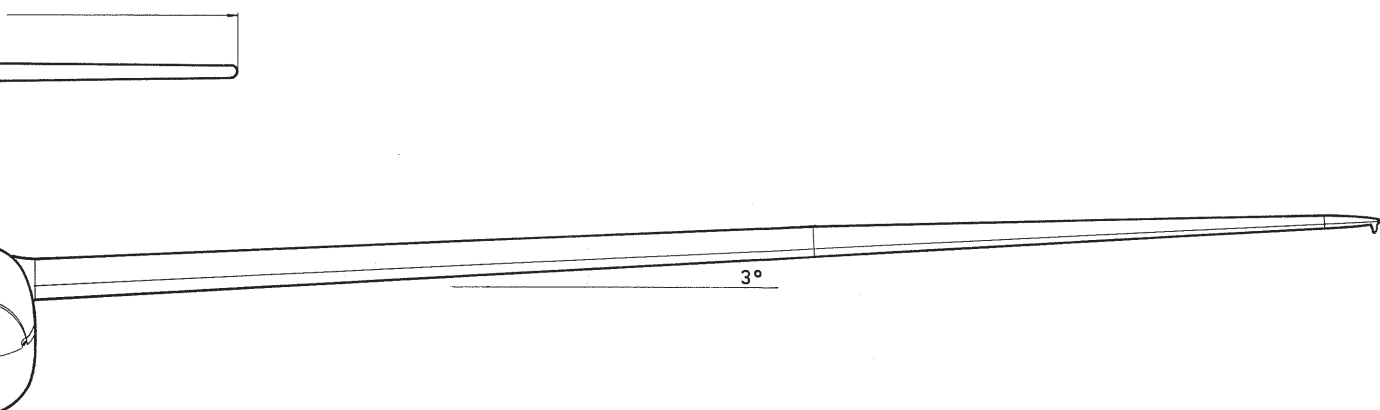
A-A



B-B



C-C



D-D



E-E



F F



G-G

