

Dobór materiału na poszycie szybowca z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej

K. Barczyk^a, R. Honysz^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład
email: rafal.honysz@polsl.pl

Streszczenie: Artykuł opisuje temat szybowców oraz ich podział jak również zawiera informacje o laminatach oraz sposobie ich wytwarzania. Następnie został wykonany model poszycia skrzydła szybowca w programie Autodesk Inventor 2016. Wykonany model posłużył do zobrazowania dokładnego kształtu poszycia skrzydła szybowca. Następnie określono kryteria oraz wybór materiałów za pomocą analizy wielokryterialnej.

Abstract: The article describes the subject of gliders and their classification, as well as contains information about laminates and the method of their production. Next, the model of the pattern plating wing glider was made in Autodesk Inventor 2016. The model was used to illustrate the exact shape of the glider wing plating. Then, the criteria and the choice of materials were determined by multi-criteria analysis.

Słowa kluczowe: Szybowce, laminat, CAD, Autodesk Inventor 2016.

1. WSTĘP

Postęp technologiczny który ciągle przyspiesza znajduje wciąż nowe rozwiązania w zastosowaniu materiałów. Nowe zastosowania stawiają wyższe wymagania wytrzymałościowe oraz potrzebę minimalizacji elementów konstrukcyjnych. Celem poniższej pracy jest zaprojektowanie przybliżonego modelu poszycia skrzydła szybowca w programie Autodesk Inventor Professional 2016 i dobór najlepszego materiału z którego zostanie wykonane poszycie szybowca. W części teoretycznej zostały zawarte informacje na temat szybowców, ich podział, materiały z których są budowane oraz procesy produkcji tych materiałów. Został dokonany przegląd literaturowy oraz norm katalogowych laminatów. Przybliżona została istota analizy wielokryterialnej oraz specyfikacja doboru materiałów. Dzięki dynamicznemu rozwojowi programów graficznych, które są wykorzystywane do komputerowego wspomaganie projektowania, było możliwe dokonanie wszystkich analiz w programie Autodesk Inventor Professional.

2. CHARAKTERYSTYKA I KLASYFIKACJA SZYBOWCÓW

Szybowiec to statek powietrzny, który nie posiada swojego napędu i musi być wnoszony w powietrze przez samolot holujący go na linie lub urządzenie naziemne zwane wciągarką. Możliwość lotu szybowca opiera się na zamienianiu posiadanej energii potencjalnej w postaci wysokości na ruch postępowy. Szybowce są projektowane odpowiednio do przeznaczenia. Różnice konstrukcyjne objawiają się różnorodnymi własnościami lotnymi i pilotażowymi. Własności te odpowiadają wymogą ustanowionym przez przepisy dotyczące budowy sprzętu lotniczego oraz są właściwe dla poszczególnych klas szybowców. Ze względu na przeznaczenie wyróżniamy klasy szybowców: szkolne, treningowe, wyczynowe, akrobacyjne, specjalne [1,2].

Od szybowców szkolnych wymaga się szczególnie poprawnych i bezpiecznych własności lotnych oraz łatwego i prawidłowego pilotażu zapewniającego właściwą tolerancję na charakterystyczne błędy wykonywane przez pilota podczas odbywania szkolenia. Dlatego też wymagana jest duża odporność konstrukcji na błędne lądowania. Rysunek 1 przedstawia polski szybowiec szkoleniowo – treningowy który został zaprojektowany przez inż. Adama Meusa [3]. Największe zróżnicowanie konstrukcji występuje w klasie szybowców wyczynowych, które służą do szlifowania umiejętności pilotażu, do trenowania latania wyczynowego, oraz do zdobywania wyników sportowych i rekordów. W klasie szybowców wyczynowych poszczególne konstrukcje czasem różnią się bardzo od siebie, co świadczy nie tylko o odpowiednim zróżnicowaniu założeń, ale także o wielotorowości poszukiwań w dążeniu do otrzymania jak najlepszych efektów. Szybowce akrobacyjne cechują się bardziej zwartą budową, która zapewnia im większą wytrzymałość, a tym samym daje im możliwość realizowania dużych przeciążeń zarówno w locie normalnym, jak i odwróconym. Głównymi wymaganiami jest dobra sterowność oraz dobre własności w locie odwróconym. Do klasy szybowców specjalnych można zaliczyć niektóre typy szybowców zawodniczych i rekordowych a także różne układy szybowców doświadczalnych. Pojęciem „specjalny” można określić też konwencjonalne konstrukcje, które w pewnych aspektach nie spełniają wymaganych kryteriów i nie mogą być zaszeregowane do standardowych klas użytkowych. W takich przypadkach są one dopuszczane do użytkowania z pewnymi ograniczeniami. Szybowce doświadczalne charakteryzują się nowymi rozwiązaniami aerodynamicznymi, konstrukcyjnymi lub technologicznymi [3-5].



Rysunek 1. Szybowiec SZD-50-3 Puchacz [3]

Figure 1. Glider SZD-50-3 Puchacz [3]

Typ lecącego szybowca jest określany na podstawie charakterystycznych cech jego sylwetki. Duży wpływ na jego sylwetkę ma jego układ konstrukcyjny. Przez pojęcie układu należy rozumieć rozmieszczenie skrzydeł względem kadłuba oraz umieszczenie usterzeń. W początkowym okresie rozwoju szybownictwa do najbardziej rozpowszechnionych należał układ górnopłata, który odznaczał się tym, że skrzydła, które były najczęściej wsparte zastrzałami, umieszczone były nad kadłubem. Początkowo w takim układzie były budowane prawie wszystkie odmiany szybowców, a później ten układ był charakterystyczny dla szybowców szkolnych i treningowych. W obecnych czasach coraz rzadziej spotyka się ten typ budowy szybowców.

Największą grupę stanowią szybowce które są zbudowane w układzie średniopłata. W takich szybowcach skrzydła zamocowane są mniej więcej na środku kadłuba (rys.2). Największą wadą takiego układu jest możliwość uszkodzeń szybowca na ziemi ze względu na niewielką odległość skrzydeł od ziemi.



Rysunek 2. Szybowiec akrobacyjny Swift S-1

Figure 2. Aerobatic glider Swift S-1

Wydłużenie skrzydła to jedna z cech konstrukcyjnych skrzydła. Wydłużenie jest to stosunek rozpiętości skrzydeł do ich szerokości (w przypadku skrzydeł prostokątnych). Większe wydłużenia zapewniają lepszą doskonałość aerodynamiczną, ale zwiększają trudności konstrukcyjne ze względu na spadek sztywności skrętnej i giętej smukłego skrzydła.

W szybowcu oba skrzydła tworzą jeden płat dlatego też spotyka się w literaturze określenia takie jak górnopłat, grzbietopłat czy średniopłat. Płat może być budowany jako jedna całość czyli nierozdzielony lub może też być dzielony na dwie lub więcej części. Najczęściej spotyka się płat dwudzielny. Zapewnia on najkorzystniejsze warunki obsługi i transportu kołowego. Płat nierozdzielony daje znaczną oszczędność ciężaru dzięki braku ciężkich okuć nośnych, może on być stosowany jedynie w szybowcach o małej rozpiętości skrzydeł. Na mechanizację skrzydeł szybowcowych składają się lotki i hamulce aerodynamiczne. Mogą też występować klapy wyporowo – przeszkodowe oraz zbiorniki na balast wodny.

Z punktu widzenia aerodynamiki wadliwym punktem zespołu szybowca jest kadłub ponieważ nie wytwarza siły nośnej i jest źródłem bardzo dużych oporów powietrza. Jest to jednak zespół, który jest niezbędny, jako część mieszcząca załogę z wyposażeniem i tworzący „pojazdową” część szybowca poruszającego się po ziemi. W odróżnieniu od układów które są przyjęte w samolotach sportowych, układ szybowca przewiduje miejsce dla pilota które znajduje się w przedniej części kadłuba, co dyktuje konieczność zachowania odpowiedniego ułożenia środka ciężkości szybowca.

3. PRACA WŁASNA

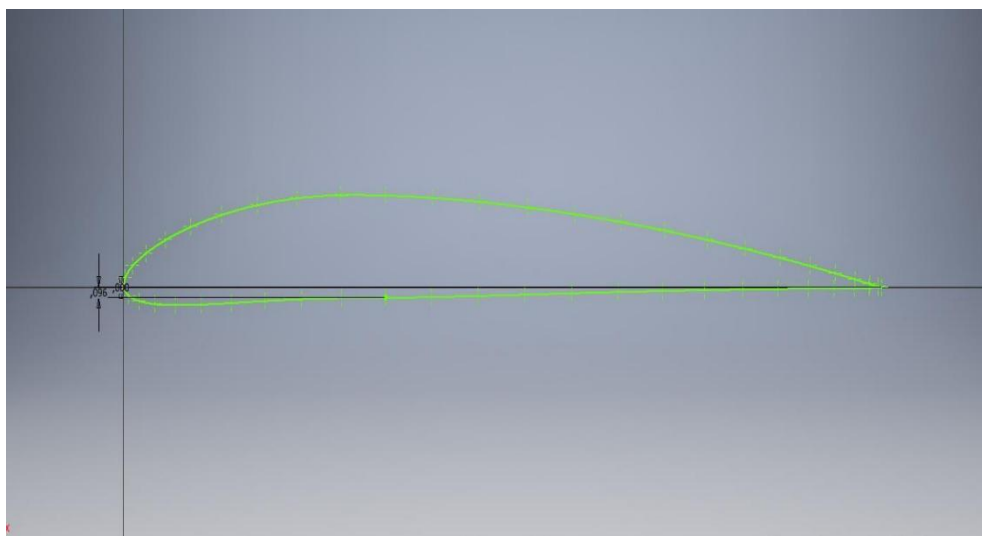
3.1. Opis zagadnienia

Celem projektu jest dobór najlepszego materiału na wykonanie poszycia szybowca. Pierwszym etapem pracy było zaznajomienie się z wymaganiami dotyczącymi poszycia szybowca oraz określenie założeń projektowych:

- poszycie powinno być wykonane z jednorodnego materiału odpornego na warunki atmosferyczne,
- zminimalizowanie masy,
- zminimalizowanie ilości części składowych,
- ekonomiczność elementu.

3.2. Modelu skrzydła szybowca

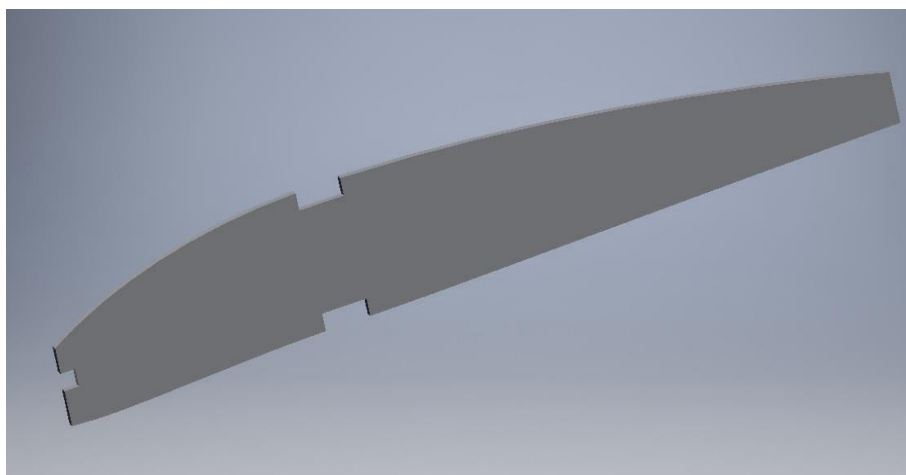
Pierwszym krokiem w stworzeniu modelu było stworzenie szkicu geometrii żebra przedstawiony na rys.1. Kolejnym krokiem było zastosowanie operacji wyciągnięcia prostego z uprzednio stworzonego szkicu. Następnie za pomocą operacji wycięcia został dopracowany końcowy kształt żebra pokazany na rys.2.



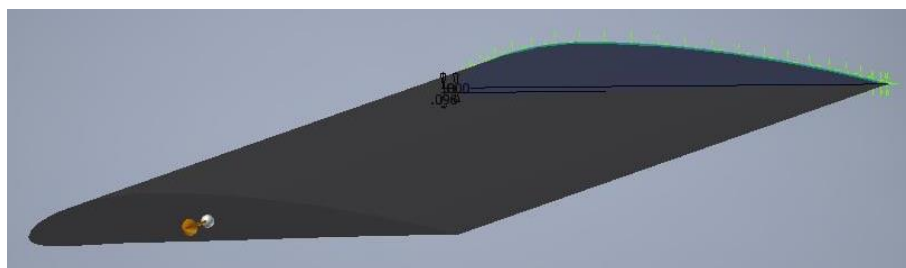
Rysunek 3. Szkic geometrii żebra

Figure 3. Sketch of rib geometry

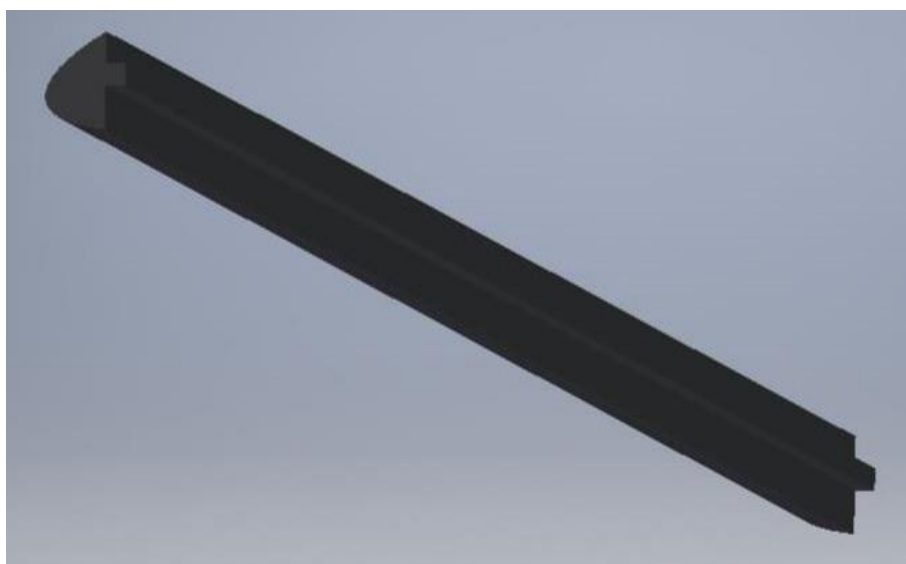
Kolejnym etapem było zamodelowanie listwy znajdującej się na końcu skrzydła. Do tego modelu został wykorzystany model żebra (rys.4.). Za pomocą funkcji edytuj bezpośrednio powstał gotowy model płatu (rys.5.). Następnie zamodelowana została listwa która znajduje się u szczytu żeber oraz pełni funkcję podpory poszycia. Następnie wykonany został model listwy która jest umiejscowiona na krawędzi natarcia skrzydła (rys.6.). Do zamodelowania tej listwy ponownie został wykorzystany początkowy szkic żebra. Następnym krokiem było stworzenie modelu żeber które znajdują się na zakończeniu skrzydła. Najszybszym rozwiązaniem było zeskalowane szkicu żebra wykorzystywanego wcześniej. Ostatnim krokiem było stworzenie złożenia z wcześniej zamodelowanych elementów(rys.7.).



Rysunek 4. Gotowy model żebra
Figure 4. Finished rib model



Rysunek 5. Model płata skrzydła
Figure 5. Model of the wing flap



Rysunek 6. Model listwy natarcia krawędzi skrzydła
Figure 6. The model of the leading edge of the wing edge



Rysunek 7. Złożenie wzmocnienia skrzydła szybowca
 Figure 7. Folding the glider wing reinforcement

3.3. Dobór materiału na skrzydła szybowca

Do analizy zostały wybrane dwa kompozyty dwoma różnymi ułożeniami włókien wzmocniających:

- laminat epoksydowo-szklany wzmocniany włóknami długimi ułożonymi wzdłużnie,
- laminat epoksydowo-szklany wzmocniany tkaniną o włóknach ułożonych pod kątem $0/90^\circ$,
- laminat epoksydowo-węglowy wzmocniany włóknami długimi ułożonymi wzdłużnie,
- laminat epoksydowo-węglowy wzmocniany tkaniną o włóknach ułożonych pod kątem $0/90^\circ$.

Laminaty epoksydowo-szklane z powodu na wyższą cenę oraz problemy technologiczne (lepkość, problemy z kontrolą szybkości i jakości utwardzania) nie są używane w masowej produkcji za wyjątkiem przemysłu szybowcowego w którym wymagana jest większa wytrzymałość którą można uzyskać za pomocą kompozytów epoksydowo-szklanych[13].

Tablica 1. Własności mechaniczne laminatów epoksydowo-szklanych [14]

Table 1. Mechanical properties of epoxy glass laminates [14]

	M1	M2	M3	M4
Wytrzymałość na ścinanie w płaszczyźnie (Rt) MPa	67	100	50	130
Wytrzymałość na rozciąganie (Rm) MPa	1200	360	2040	625
Udział objętościowy włókien w materiale %	53	33	57	50
Współczynnik Poissona (ν)	0,25	0,24	0,263	
Gęstość (g/cm^3)	1,92	1,92	1,57	1,53
Moduł sprężystości wzdłużnej (E) GPa	39	17	134	70
Wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe GPa	1000	240	1000	500

M1. laminat epoksydowo-szklany z włóknami ułożonymi wzdłużnie

M2. laminat epoksydowo-szklany wzmocniany tkaniną

M3. laminat epoksydowo-węglowy z włóknami ułożonymi wzdłużnie

M4. laminat epoksydowo-węglowy wzmocniany tkaniną

Laminaty epoksydowo-węglowe odznaczają się niezwykle korzystnym stosunkiem wagi do wytrzymałości oraz wyjątkową sztywnością jednak są stosunkowo mało odporne na uderzenia i dynamiczne obciążenia. Te kompozyty są często stosowane w przemyśle energetycznym do produkcji łopat elektrowni wiatrowych oraz są często wykorzystywane w przemyśle sportowym.

Podczas doboru kryteriów zostały uwzględnione parametry które mają decydujący wpływ na jakość wykonanego detalu. Wartości takie jak wytrzymałość na ścinanie oraz wytrzymałość na rozciąganie powinny mieć jak najwyższą wartość co zapewni odpowiednią odporność poszycia na uszkodzenia mechaniczne. Cena i dostępność pełni ważną rolę podczas planowania procesu produkcyjnego, najniższa cena oraz duża dostępność wpłynie na ekonomię procesu produkcyjnego. Udział objętościowy oraz gęstość bezpośrednio wpływa na masę która w przemyśle lotniczym pełni kluczową rolę. Współczynnik Poissona oraz moduł sprężystości powinny mieć jak największą wartość co zapewni że element nie pęknie podczas uginania się poszycia w czasie lotu [6-14].

Poniższa tabela przedstawia analizę wielokryterialną która została wykonana z uwzględnieniem wyżej wymienionych kryteriów.

Tablica 2. Kryteria doboru materiału na poszycie szybowca
 Table 2. Criteria for the selection of material for the glider shell

	Nazwa kryterium	Jednostka
K1	Wytrzymałość na ścinanie w płaszczyźnie	MPa
K2	Wytrzymałość na rozciąganie	MPa
K3	Udział objętościowy włókien w materiale	%
K4	Moduł sprężystości wzdłużnej	GPa
K5	Gęstość	g/cm ³
K6	Współczynnik Poissona	
K7	Wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe	GPa
K8	Cena	Zł
K9	Dostępność	Mała/Duża

Tablica 3. Optymalizacja kryterialna materiałów dla poszycia skrzydła szybowca
 Table 3. Criterion optimization of materials for the glider wing plating

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Σ	M1	M2	M3	M4
K1	X	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	3,5	0,5	0,75	0,5	0,75
K2	0,5	X	0,5	0,5	0	0,5	1	0,5	0,5	4	0,75	0,25	1	0,5
K3	0,5	0,5	X	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	3	1	0,75	0,75	0,75
K4	0,5	0,5	0,5	X	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	4	0,75	0,5	1	0,75
K5	1	1	0,5	0,5	X	0,5	0,5	1	1	6	0,75	0,75	1	1
K6	0,5	0,5	1	0,5	0,5	X	1	1	0,5	5,5	0,5	0,5	0,75	0,25
K7	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0	X	0,5	0,5	3	1	0,25	1	0,5
K8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	X	0	2,5	0,5	0,5	0,75	0,75
K9	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	0,5	1	X	4,5	1	1	1	1
Wyniki										36	26,75	21,62	31,5	25,1

4. WNIOSKI

Wyniki uzyskane za pomocą analizy wielokryterialnej pokazują że najlepszym materiałem na poszycie szybowca będzie laminat epoksydowo-węglowy z włóknami długimi ułożonymi wydłużenie. Materiał ten posiada najniższą gęstość przy najwyższej wytrzymałości na rozciąganie co zapewnia lekki oraz wytrzymały materiał który dobrze pasuje do szybowca gdzie masa jest istotnym czynnikiem. Dzięki wysokiej wartości modułu sprężystości oraz współczynnika Poissona materiał ten zapewnia odpowiednią elastyczność poszycia podczas lotu. Mając na uwadze konieczność zmniejszania masy szybowca przy jednoczesnym zwiększaniu wytrzymałości konstrukcji wybór tego laminatu wydaje się być najlepszą możliwą opcją wyboru spośród tych czterech materiałów.

LITERATURA

1. M. Jach, Budowa płatowców -skrypt Aeroklubu Łudzkiego.
2. J. Zieliński, Budowa i użytkowanie szybowców, wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1977.
3. <http://www.piotrp.de/SZYBOWCE/pszd50.htm>,
4. <http://www.samolotypolskie.pl/samoloty/1799/126/swift-s-12>
5. <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,404940,studenci-zrekonstruowali-pierwszy-szybowiec-politechniki-warszawskiej.html>
6. M.F. Ashby, Dobór materiałów w projektowaniu inżynierskim Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998.
7. L.A. Dobrzański, Podstawy metodologii projektowania materiałowego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009
8. M. Fejdyś, M. Łandwajt, Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe, Techniczne Wyroby Włókiennicze, 2010, s. 12-21.
9. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i materiałoznawstwo, Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa, 2002
10. P. Mayer, J.W. Kaczmar, Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych” Tworzywa Sztuczne i Chemia, Nr 6/2008, s. 52- 56.
11. Z. Brojer, Żywice epoksydowe, wyd. WNT, Warszawa, 1983.
12. J. Śledziona, Podstawy technologii kompozytów” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
13. K. Dobrosz, A. Matysiak, Tworzywa sztuczne. Materiałoznawstwo i przetwórstwo” Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1994
14. R. Sikora (red.), Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006