

Technologie projektowania i wytwarzania w przemyśle lotniczym i kosmicznym

Barbara Jucha

Raport dotyczący obszaru technologicznego „Technologie lotnicze i przemysł kosmiczny” w ramach projektu pod nazwą „Proces Przedsiębiorczego Odkrywania w obszarze technologii lotniczych i z nimi powiązanych”, który jest realizowany w ramach Działania 1.3 „Profesjonalizacja IOB” Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Czechowice-Dziedzice, 26.03.2019r.



Spis treści

| | |
|---|----|
| 1. Streszczenie..... | 3 |
| 2. Geneza i tradycje przemysłu lotniczego w województwie śląskim..... | 4 |
| 3. Rodzaje statków powietrznych projektowanych i wytwarzanych w województwie śląskim..... | 11 |
| 3.1. Szybowce..... | 11 |
| 3.2. Motoszybowce..... | 15 |
| 3.3. Samoloty..... | 15 |
| 3.4. Statki bezzałogowe..... | 16 |
| 4. Rozwój technologii wytwarzania struktur platform satelitarnych w województwie śląskim..... | 20 |
| 4.1. Materiały wykorzystywane do wytwarzania struktur satelitarnych..... | 20 |
| 4.2. Proces wytwarzania paneli strukturalnych satelit..... | 23 |
| 4.3. Wdrożenie produkcji paneli satelitarnych w Śląskim Centrum Naukowo-Technologicznym Przemysłu Lotniczego..... | 25 |
| 5. Rodzaje technologii kompozytowych stosowanych do wytwarzania struktur statków powietrznych..... | 29 |
| 5.1. Charakterystyka materiałów kompozytowych a technologie wytwarzania..... | 29 |
| 5.2. Technologie wytwarzania kompozytów z ciekłą osnową..... | 31 |
| 5.3. Technologie wykorzystujące prepregi..... | 36 |
| 6. Bibliografia..... | 39 |

1. Streszczenie

Przedmiotem raportu jest opis technologii wytwarzania struktur i poszyc dla przemysłu lotniczego i kosmicznego, ze szczególnym uwzględnieniem województwa śląskiego. Analizie poddano historię przemysłu lotniczego w regionie oraz jej przełożenie na stan obecny branży. Dokonano przeglądu statków powietrznych wytwarzanych przez firmy lotnicze działające na terenie województwa. Opisano proces wdrażania technologii produkcji poszyc satelitarnych w jednej z firm działających na terenie Śląska, wraz z wyjaśnieniem zagadnień technicznych. Scharakteryzowano i porównano wiodące technologie wytwarzania konstrukcyjnych materiałów kompozytowych stosowanych do produkcji statków powietrznych i kosmicznych.

Opracowanie jest wynikiem przeglądu dostępnej literatury, ofert przedsiębiorców oraz artykułów i stron internetowych, a także wiedzy zdobytej w trakcie studiów na kierunku inżynieria materiałowa ze specjalnością „Materiały ceramiczne i kompozytowe” oraz doświadczenia zawodowego zdobytego podczas pracy na stanowisku technologa ds. kompozytów.

2. Geneza i tradycje przemysłu lotniczego w województwie śląskim

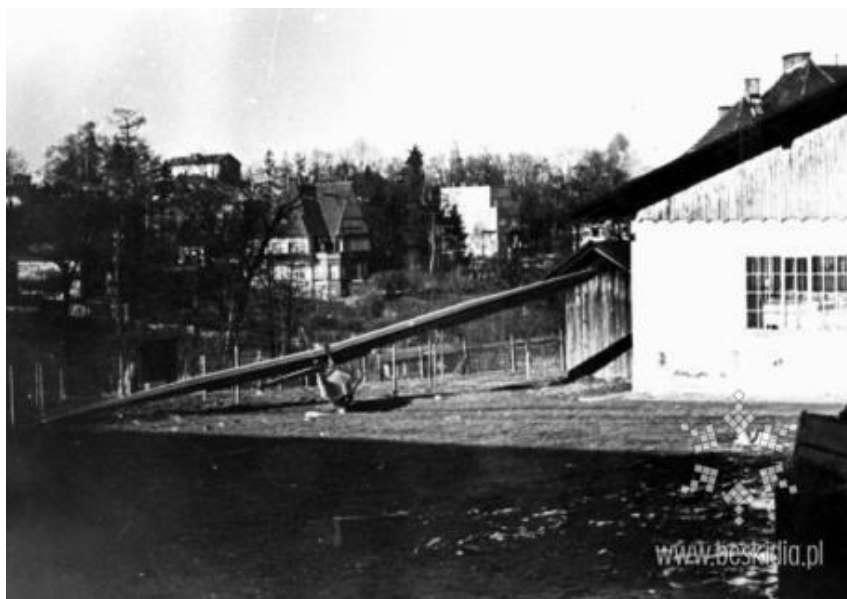
Historia polskiego przemysłu lotniczego sięga dwudziestolecia międzywojennego. Regionem najsilniej związanym z lotnictwem jest Podkarpacie. W Polsce południowo-wschodniej skupiona jest zdecydowana większość firm działających w branży lotniczej, odpowiadających za około 90% polskiej produkcji. Tam właśnie 11 kwietnia 2003 roku powstał pierwszy w Polsce klaster lotniczy – Stowarzyszenie Grupy Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego Dolina Lotnicza. Obecnie skupia on ponad 140 podmiotów działających w branży lotniczej, w tym największe firmy, takie jak Pratt & Whitney Rzeszów, WSK PZL-Świdnik / a Leonardo Helicopters Company, PZL-Mielec / Sikorsky, a Lockheed Martin Company, MTU Aero Engines Polska czy Safran Transmissions Systems Poland. O tym, jak ważne dla Podkarpacia jest lotnictwo, świadczy wybranie go Inteligentną Specjalizacją Wiodącą województwa podkarpackiego w ramach Regionalnej Strategii Innowacji na lata 2014 – 2020.

Również województwo śląskie może szczycić się długą i bogatą tradycją przemysłu lotniczego, sięgającą już dwudziestolecia międzywojennego. W tych latach na rzecz rozwoju lotnictwa na ziemiach śląskich aktywnie działali członkowie Ligi Obrony Powietrznej i Przeciwgazowej (LOPP) oraz Śląskiego Towarzystwa Lotniczego. Ich działania doprowadziły do budowy pierwszego na Śląsku lotniska w Katowicach-Muchowcu w latach 1926 – 1928. Zaczęły także powstawać pierwsze Aerokluby. W 1934 roku Aeroklub Śląski we współpracy z LOPP otworzył szkołę szybowcową na Górze Chełm w Goleszowie. W latach 1934-1936 w Aleksandrowicach obok Bielska wybudowano drugie na Śląsku lotnisko, przy którym w 1936 roku otworzono Szkołę Lotniczą LOPP im. Marszałka J. Piłsudskiego, mającą kształcić przyszłych pilotów. Ze względu na korzystne ukształtowanie terenu, pozwalające na starty szybowców, w okolicach Białej Krakowskiej (miasta Bielsko i Białą połączono w jedno miasto w roku 1951) w latach 1935-1939 utworzono kolejne dwie szkoły szybowcowe: na Kopcu Lipnickim oraz na Górze Żar.

Korzenie przemysłu lotniczego na Śląsku wywodzą się właśnie z rozwoju szybownictwa w rejonie Bielska-Białej. Wiele czynników, takich jak topografia terenu i warunki wietrzne, wysokorozwinięty przemysł i zaangażowanie miejscowych pasjonatów korzystnie wpłynęły na postęp nie tylko w zakresie kształcenia pilotów, ale także budowy szybowców. Pierwszy

szybowiec na terenie Bielska powstał w latach 1933-1934 w Państwowej Szkole Przemysłowej w Bielsku. Budowie przewodził inżynier Tadeusz Chlipalski, absolwent Politechniki Lwowskiej. Właśnie we Lwowie, w Warsztatach Szybowcowych Związku Awiatycznego Politechniki Lwowskiej pod okiem Waclawa Czerwińskiego, konstruktora, pilota i jednego z ojców szybownictwa na ziemiach polskich, Tadeusz Chlipalski nauczył się budowy szybowców. W warsztatach bielskiej szkoły powstał szybowiec CWJ-bis „Skaut”, zaprojektowany przez Waclawa Czerwińskiego i konstruktora Władysława Jaworskiego. „Skaut” został pomyślnie oblatany, a inżynier Chlipalski wraz z grupą lokalnych działaczy postanowił założyć spółkę, zajmującą się budową szybowców – Śląskie Warsztaty Szybowcowe.

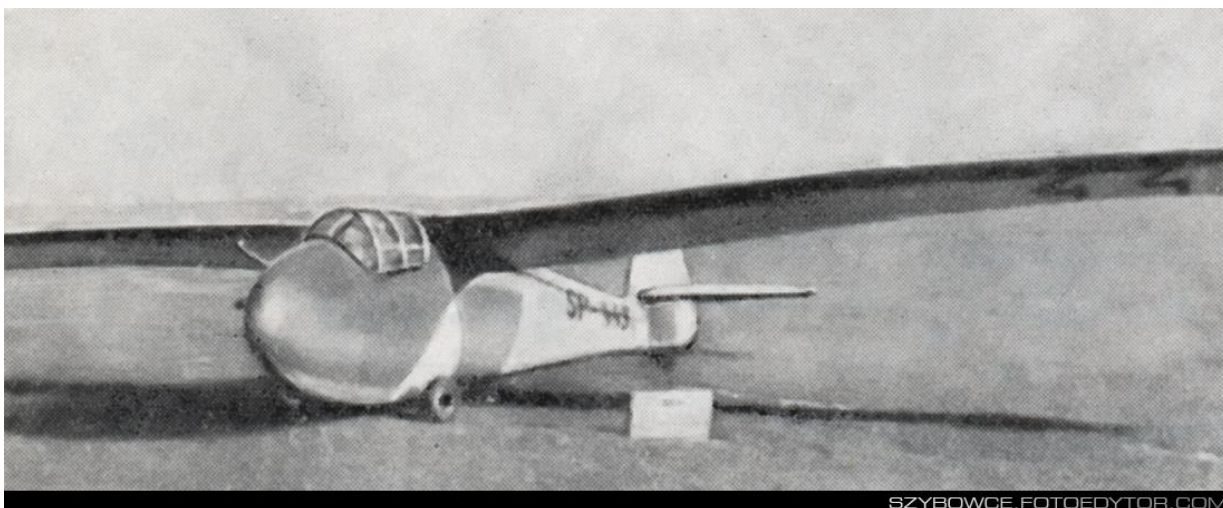
Warsztaty zostały otwarte 15 kwietnia 1935 roku, a ich pierwszym kierownikiem technicznym został właśnie inżynier Tadeusz Chlipalski. Większość szybowców produkowanych w Bielsku do roku 1939 to konstrukcje zaprojektowane przez Waclawa Czerwińskiego: CW-8, CW-8 ter, WWS-1 „Salamandra” i WWS-2 „Żaba”. Ponadto, Śląskie Warsztaty Szybowcowe zbudowały także 20 szybowców treningowo-wyczynowych „Komar”, zaprojektowanych przez inżyniera Antoniego Kocjana i budowanych oryginalnie przez Warsztaty Szybowcowe w Warszawie. Oprócz tego, w Śląskich Warsztatach Szybowcowych wykonywano remonty szybowców z terenów całego Śląska, produkowano części zamienne oraz wozy do transportu szybowców. W 1938 roku rozpoczęto budowę pierwszego samolotu. Była to amatorska konstrukcja sportowa RS-III, którą zaprojektował drugi kierownik techniczny Warsztatów, Adam Ścibor-Rylski. Miał to być jednomiejscowy, słabosilnikowy górnopłat, jednak do jego oblatania nie doszło przez wybuch II wojny światowej. Śląskie Warsztaty Szybowcowe zostały zamknięte 2 września 1939 roku.



Rysunek. 1. Szybowiec WWS-1 „Salamandra” na terenie Śląskich Warsztatów Szybowcowych w Bielsku [14]

Po II wojnie światowej podjęto działania mające na celu przywrócenie polskich osiągnięć w dziedzinie lotnictwa i szybownictwa. Zarządzeniem Ministra Komunikacji z dnia 25 stycznia 1946 roku utworzono na terenie Bielska Instytut Szybownictwa, obejmujący szkoły szybowcowe na górze Żar i w Golezowie, lotnisko w Aleksandrowicach, biuro konstrukcyjne i Warsztaty Doświadczalno-Naprawcze w Białej Krakowskiej. Podczas wojny zniszczeniu uległa zdecydowana większość dorobku polskiego szybownictwa z okresu międzywojennego, dlatego w bielskim Instytucie podjęto się zadania opracowania i wykonania nowych konstrukcji.

Pierwszym opracowanym po wojnie szybowcem został IS-1 „Sęp”, zaprojektowany przez Józefa Niespała i Władysława Nowakowskiego. Jego prototyp ukończono w Warsztatach Doświadczalno-Naprawczych w 1947 roku. Był to szybowiec wyczynowy, używany do lotów wyczynowych i udziału w zawodach. Jeszcze w tym samym roku Adam Zientek w „Sępie” wziął udział w zawodach uznanych za II Szybowcowe Mistrzostwa Świata w Samedan w Szwajcarii. Śląski szybowiec zwrócił na siebie uwagę jako jeden z pierwszych zaprojektowanych i zbudowanych po wojnie.



Rysunek 2. Szybowiec IS-1 „Sęp” [16]

Po zaprojektowaniu wyczynowego „Sępa” w Bielsku przystąpiono do prac nad kolejnymi szybowcami, pozwalającymi na prowadzenie pełnego cyklu szkoleniowego na polskich konstrukcjach. Działający na Śląsku Instytut stał się kolebką polskich szybowców i pozwolił na zastępowanie starych, poniemieckich egzemplarzy. Zaprojektowano szybowiec treningowo-wyczynowy IS-2 „Mucha”, szkolny IS-3 „ABC” i akrobacyjny IS-4 „Jastrząb”.

Innym zadaniem Instytutu Szybownictwa stała się także rekonstrukcja dwóch przedwojennych szybowców. W Goleiszowie zachował się jedyny szybowiec WWS-1 „Salamandra” konstrukcji Wacława Czerwińskiego. Inżynierowie Instytutu opracowali dokumentację techniczną pozwalającą na wznowienie produkcji szybowca pod nazwą IS-A „Salamandra”. Drugim zrekonstruowanym szybowcem był Komar-bis konstrukcji Antoniego Kocjana. Na podstawie dokumentacji przechowanej przez żonę konstruktora, przygotowano do produkcji szybowiec IS-B „Komar”.

5 października 1948 roku Instytut Szybownictwa zmienił nazwę na Szybowcowy Zakład Doświadczalny (SZD), pod którą pozostał najbardziej rozpoznawalny, pomimo późniejszych zmian organizacyjnych. Śląskie zakłady skupiały najlepszą kadre inżynierską i techniczną. W pierwszych latach działalności IS, a później SZD skupiały się głównie na konstruowaniu i produkowaniu prototypów i krótkich serii nowych szybowców, które następnie były przekazywane do produkcji seryjnej pozostałym warsztatom szybowcowym działającym na terenie Polski. W 1952 roku bielskie zakłady zmieniły charakter z typowo prototypowego na prototypowo-seryjny wraz z uruchomieniem seryjnej produkcji rodziny szybowców „Jaskółka”. W latach 50 i 60-tych zaprojektowano i zbudowano wiele świetnych szybowców

o konstrukcji drewnianej, zdobywających uznanie również na arenie międzynarodowej, spośród których wymienić można SZD-9 „Bocian”, SZD-12 „Mucha 100”, SZD-19 „Zefir”, SZD-22 „Mucha Standard”, SZD-24 „Foka”, SZD-30 „Pirat” czy SZD-36 „Cobra 15”. W międzyczasie Szybowcowe Zakłady Doświadczalne przeszły wiele zmian organizacyjnych. W 1963 roku zostały przekształcone na Zakłady Szybowcowe Delta-Bielsko, włączając w ich strukturę także zakłady w Jeżowie i we Wrocławiu.

Pod koniec lat 60-tych standardem światowym stała się produkcja szybowców w technologii kompozytowej, ze względu na lepsze osiągi i właściwości użytkowe w stosunku do drewnianych. Zaistniała potrzeba dostosowania wysoko cenionych bielskich szybowców do nowych standardów. W 1969 roku utworzono Zakład Doświadczalny Rozwoju i Budowy Szybowców, mający opracować i wdrożyć technologie laminatowe. W 1972 roku zmieniono nazwę na Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Szybownictwa. W tym samym roku zbudowany został pierwszy, doświadczalny kompozytowy szybowiec SZD-37 „Jantar”, który zapoczątkował produkcję szybowców w nowej technologii. Kolejna zmiana organizacyjna nastąpiła w 1975 roku, przekształcając warsztaty w Przedsiębiorstwo Doświadczalno-Produkcyjne Szybownictwa PZL Bielsko (PDPSz PZL Bielsko).

Wysokiej klasy kadra i zaplecze techniczne pozwoliły na dalsze opracowywanie znakomitych, cenionych do dziś szybowców, takich jak SZD-50 „Puchacz”, SZD-51 „Junior”, SZD-54 „Perkoz”, SZD-55 „Promyk”, SZD-56 „Diana” czy SZD-59 „Acro”. W 1973 roku ukończono prototyp jedyne produkowanego seryjnie motoszybowca SZD-45 „Ogar”. Na początku lat 80-tych w zakładach powstał także prototyp amatorskiego samolotu sportowego DK-3 „Kasia”, zaprojektowanego przez pracownika PDPSz PZL Bielsko, inżyniera Edwarda Margańskiego.

Mimo ogromnych osiągnięć i wysokiej sprzedaży, nie tylko do polskich aeroklubów, lecz także za granicę (głównie do innych krajów bloku wschodniego), bielskie zakłady nie zdołały przetrwać zmian ustrojowych na początku lat 90-tych. Trudności ekonomiczne i personalne, a także brak porozumienia z potencjalnymi inwestorami doprowadziły do ogłoszenia 7 maja 1999 roku upadłości PDPSz PZL Bielsko.

Upadek PDPSz PZL Bielsko nie stanowił jednak końca przemysłu lotniczego na Śląsku. Już w latach 80-tych zaczęły powstawać prywatne przedsiębiorstwa działające w branży lotniczej, bardzo często korzystając z doświadczenia Szybowcowych Zakładów Doświadczalnych. Pierwszym z nich był Zakład Remontów i Produkcji Sprzętu Lotniczego

inż. Edwarda Margańskiego, mieszczący się na terenie Górskiej Szkoły Szybowcowej „Żar”. Na początku swojej działalności firma zajmowała się remontami i przeglądami szybowców drewnianych, a później również kompozytowych. Firma zaprojektowała i wykonała 2 szybowce akrobacyjne oraz motoszybowiec, a po wyczerpaniu zapotrzebowania rynku na szybowce akrobacyjne, skierowała swoją działalność stronę wytwarzania struktur kompozytowych i samolotów. We współpracy z firmą francuską wyprodukowano 5 ultralekkich samolotów „Albatros”, a samodzielnie opracowano prototypy odrzutowego samolotu szkolno-treningowego, nazwanego EM-10 „Bielik” oraz dyspozycyjnego samolotu EM-11 „Orka”. W 2001 roku w spółkę komandytową E. Margański i Wspólnicy, w 2005 roku w spółkę imienną MARGAŃSKI & MYSŁOWSKI ZAKŁADY LOTNICZE Sp. z o.o., a w 2011 roku w spółkę akcyjną ZAKŁADY LOTNICZE Margański & Mysłowski S.A.

Drugą firmą, powstałą w 1990 roku, była Wytwórnia Konstrukcji Kompozytowych Andrzej Papiorek, której siedziba od 1992 roku znajduje się w Jasienicy obok Bielska. Na początku swojej działalności firma nawiązała współpracę z niemiecką firmą Stemme AG i rozpoczęła produkcję kompozytowych części motoszybowca Stemme S-10 „Chrysalis”. Pod koniec lat 90-tych rozpoczęto również kooperację z włoską firmą Iniziativa Industriali Italiane na produkcję lekkich samolotów sportowych „Sky arrow”.

W późniejszych latach powstało także kilka innych firm, które rozpoczęły działalność w branży lotniczej. Przyczyniły się to tego zarówno zmiany ustrojowe, jak i rozpad SZD. Bezpośrednią spuścizną po PDPSz PZL Bielsko przejęła niemiecka spółka Allstar Leasing Sp. z o.o., która wykupiła majątek bielskich zakładów i w 2000 roku wydzierżawiła go firmie Allstar PZL Glider, która we współpracy z Wytwornią Konstrukcji Kompozytowych Andrzej Papiorek rozpoczęła produkcję szybowców zaprojektowanych w Szybowcowych Zakładach Doświadczalnych.

Powstające na terenie województwa śląskiego firmy działające w branży lotniczej nawiązywały ze sobą współpracę, co było wynikiem nie tylko wspólnych korzeni wywodzących się z Zakładów Szybowcowych, ale także odpowiedzią na naturalne zapotrzebowanie powiązań gospodarczych. Były to zwykle małe firmy, dlatego aby móc zaistnieć na rynku lotniczym, oferując kompleksowe produkty, niezbędna okazała się współpraca dotycząca informacji technicznych i rynkowych czy kooperacja na rzecz nowych projektów. Współpraca tych firm zaowocowała utworzeniem w 2006 roku stowarzyszenia Federacja Firm Lotniczych Bielsko. Zaawansowanie technologiczne nowoczesnego lotnictwa

pociąga za sobą potrzebę współpracy nie tylko przedsiębiorstw, ale także ośrodków badawczo-rozwojowych i akademickich. Jeszcze w 2006 roku członkowie Federacji Firm Lotniczych Bielsko podpisali umowę z ośrodkami naukowymi na Śląsku, w tym z Akademią Techniczno-Humanistyczną w Bielsku-Białej, powołując do życia Śląski Klaster Lotniczy, a stowarzyszenie Federacja Firm Lotniczych Bielsko stała się koordynatorem działań klastra. Znaczenie klastra podniosło przystąpienie do niego dużej firmy, jaką jest Avio Polska Sp. z o.o. z Bielska-Białej, wchodzącej w skład międzynarodowego koncernu Avio Aero i zajmującej się wytwarzaniem łopatek turbin niskiego ciśnienia silników lotniczych, a także przystąpienie podmiotów lotniczych spoza województwa śląskiego: Instytutu Lotnictwa z Warszawy, Wojskowych Zakładów Lotniczych Nr 4 S.A. z Warszawy, Wytwórni Sprzętu Komunikacyjnego „PZL Kalisz” oraz wielu innych firm, instytutów czy jednostek naukowych.

Kolejnym ważnym etapem w rozwoju przemysłu lotniczego na Śląsku było utworzenie na terenach poprzemysłowych w Kaniowie Bielskiego Parku Technologicznego Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji, dofinansowanego ze środków Unii Europejskiej. Park został otwarty 11 września 2008 roku i obejmował hangary i hale produkcyjne, budynek kontroli lotów, pas startowy i stację paliw dla samolotów. W 2013 roku Park został powiększony o Centrum Transferu Technologii – budynek dysponujący powierzchnią o przeznaczeniu biurowym, produkcyjnym oraz laboratoryjnym. Celem inwestycji było stworzenie przestrzeni do rozwoju małych firm lotniczych z terenów Podbeskidzia.



Rysunek 3. Bielski Park Technologiczny Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji [21]

Ze względu na długą tradycję przemysłu lotniczego na Śląsku, doskonale wykształcone kadry, zaplecze techniczne, położenie w uprzemysłowionym regionie, nowe inwestycje w branży lotniczej, współpracę z jednostkami naukowymi i prężenie działający Śląski Klaster Lotniczy, który został wybrany jednym z Krajowych Klastrow Kluczowych, a także zdobył certyfikat Gold Label przyznawany przez Europejski Sekretariat ds. Analizy Klastrow, województwo śląskie posiada istotny potencjał do dalszego rozwoju przemysłu lotniczego.

3. Rodzaje statków powietrznych projektowanych i wytwarzanych w województwie śląskim

Do statków powietrznych wytwarzanych w województwie śląskim należą głównie szybowce, produkowane w firmach powstałych w wyniku upadłości Szybowcowych Zakładów Doświadczalnych, części motoszybowców, statki powietrzne bezzałogowe, a także samoloty. Niestety, jedynym samolotem projektowanym obecnie na Śląsku jest EM-11 Orka. Pozostałe firmy, zajmujące się projektowaniem lekkich i ultralekkich samolotów, zakończyły swoją działalność na początku XXI wieku – należały do nich Remos Sp.z o.o. Wytwórnia Konstrukcji Lekkich, produkująca seryjnie samolot Remos G.3 „Mirage” oraz firma 3XTrim, produkująca samolot o tej samej nazwie, w różnych modyfikacjach. Aktualnie produkowane są głównie komponenty do samolotów firm zagranicznych.

3.1. Szybowce

Spuścizną po Szybowcowych Zakładach Doświadczalnych w Bielsku została produkcja szybowców w województwie śląskim.

Część szybowców marki SZD jest obecnie produkowana przez firmę Allstar PZL Glider z Bielska-Białej. Produkcja szybowców odbywa się we współpracy z firmą Wytwórnia Konstrukcji Kompozytowych Andrzej Papiorek, gdzie powstają części kompozytowe szybowców. W ciągłej produkcji pozostają szybowce zaprezentowane w Tabeli 1.

Tabela 1. Szybowce produkowane przez firmę Allstar PZL Glider

| |
|------------------------|
| SZD-59-1 „Acro” |
|------------------------|

Dwufunkcyjny, jednomiejscowy szybowiec kompozytowy, będący połączeniem szybowca akrobacyjnego i klasy standard. Posiada wymienne końcówki skrzydeł – przy założonych wingletach umożliwia wykonywanie przelotów prędkościowych i odległościowych, a po ich demontażu staje się szybowcem akrobacyjnym. Produkowany w trzech wersjach rozpiętości skrzydeł: 13, 15 i 17 metrów



Rysunek 4. SZD-59-1 „Acro” [15]

SZD-55-1

Jednomiejscowy, wysokowyczynowy szybowiec klasy standard, o nowoczesnej konstrukcji, wysokim komforcie lotu a przy tym świetnych osiągnięciach i własnościach pilotażowych



Rysunek. 5. SZD-55-1 [15]

SZD-54-2 „Perkoz”

Dwumiejscowy, wielofunkcyjny, pełno akrobacyjny szybowiec, łatwy w sterowaniu i doskonale nadający się do szkoleń, niezwykle uniwersalny: również posiada wymienne końcówki skrzydeł, zmieniające jego funkcjonalność. Produkowany w dwóch wersjach rozpiętości skrzydeł: 17 i 20 metrów.



Rysunek. 6. SZD-54-2 „Perkoz” [15]

Ponadto, firma Allstar PZL Glider jest właścicielem Świadectwa Typu dla 2 innych szybowców SZD, produkowanych na zamówienie:

- **SZD-48-3 „Jantar Standard 3”** – wysokowyczynowy szybowiec klasy standard,
- **SZD-51-1 „Junior”** – jednomiejscowy szybowiec klubowy.

Oprócz firmy Allstar PZL Glider, na Śląsku działa jeszcze kilka innych przedsiębiorstw zajmujących się wytwarzaniem szybowców.

Szybowiec SZD-56-2 „Diana” firmy AVIONIC – jest to wyczynowy szybowiec zaprojektowany przez inżyniera Bogumiła Beresia w Szybowcowych Zakładach Doświadczalnych, który po ich upadku założył własną firmę – Biuro Projektowe „B” Bogumił Beres i wykupił prawa do szybowca SZD-56 Diana. W 2005 roku opracował nową wersję „Diana 2”, wyposażoną w skrzydła konstrukcji Krzysztofa Kubryńskiego o zupełnie innowacyjnych rozwiązaniach, co uczyniło szybowiec jednym z najlepszych w swojej klasie, pozwalającym osiągać najlepsze rezultaty na międzynarodowych zawodach szybowcowych. Inżynier Bogumił Beres zmarł w lutym 2016 roku, a prawa do szybowca wykupiła firma „AVIONIC” z Górek Wielkich, powstała w 1997 roku i zajmująca się głównie wytwarzaniem przyczep transportowych. Szybowiec stał się głównym produktem firmy, a w 2018 roku zaprezentowano prototyp kolejnej wersji szybowca – „Diana 3”.



Rysunek 7. Szybowiec „Diana 2” [24]

Kolejne wytwarzane na Śląsku szybowce są konstrukcjami inżyniera Edwarda Margańskiego. Firma Zakład Remontów i Produkcji Sprzętu Lotniczego inż. Edwarda Margańskiego zaprojektowała 2 szybowce, które są głównymi jednostkami używanymi podczas międzynarodowych szybowcowych zawodów akrobacyjnych, ze względu na bardzo duże dopuszczalne przeciążenia.

- **Szybowiec akrobacyjny SWIFT-S1** – jednomiejscowy szybowiec kompozytowy.



Rysunek 8. Szybowiec SWIFT-S1 [18]

- **Szybowiec akrobacyjny MDM-1 Fox** – kompozytowy, pierwszy na świecie dwumiejscowy szybowiec akrobacyjny, opracowany po sukcesie SWIFT-S1.



Rysunek 9. Szybowiec MDM-1 Fox [18]

Oba szybowce inż. Margańskiego zostały opracowane w latach 90-tych i wyprodukowane w ilości około 35 sztuk, stając się najważniejszymi szybowcami akrobacyjnymi świata. Ze względu na nieduże zapotrzebowanie na szybowce akrobacyjne i wysycenie rynku,

wyczerpały się zamówienia. W roku 2010 wznowiono produkcję szybowca MDM-1 Fox, posiadającego certyfikaty europejskie EASA, a od 2016 roku także amerykańskie FAA.

3.2. Motoszybowce

Wytwórnia Wyrobów Kompozytowych Andrzej Papiorek nawiązała współpracę z niemiecką firmą Stemme AG, dla której wytwarza części kompozytowe motoszybowca S-10. Większość komponentów dla tego motoszybowca jest wytwarzana w Jasienicy, a następnie montowana w zakładach Stemme w Berlinie. W 2018 roku firma wraz z Reiner Stemme Aero GmbH rozpoczęła prace nad motoszybowcem ELFIN wyposażonym w silnik elektryczny.



Rysunek 10. Motoszybowiec Stemme S-10 [19]

3.3. Samoloty

EM-11 Orka – samolot dyspozycyjny opracowany pod okiem inżyniera Edwarda Margańskiego przez firmę E. Margański i Wspólnicy, obecnie znajduje się w ofercie spółki ZAKŁADY LOTNICZE Margański & Mysłowski S.A. Jest to górnopłat, przeznaczony dla 4 osób, posiada 2 silniki. Samolot wykonano z materiałów kompozytowych typu sandwich z włókna węglowego z wypełniaczem typu plaster miodu. Może latać zarówno w dzień, jak i w nocy oraz startować i lądować na lotniskach trawiastych. Orka jest bezpieczna, komfortowa i ekonomiczna jak na samolot tej klasy. Jej zastosowanie to loty patrolowe, szkolenia pilotów. Orka stwarza także możliwość popularyzacji lotnictwa do celów podróży biznesowych czy rodzinnych.



Rysunek 11. EM-11 Orka [18]

Samolot EM-11 Orka jest na chwilę obecną jedynym samolotem w całości konstruowanym i wytwarzanym na Śląsku. Oprócz tego, firmy działające na Śląsku produkują komponenty kompozytowe dla firm zagranicznych.

Firma AVIONIC na zlecenie niemieckiej firmy Extra Flugzeugbau wykonuje części kompozytowe i podzespoły do samolotu akrobacyjnego Extra 300. Aż 90% produkcji elementów tego samolotu odbywa się w śląskiej firmie. Kolejnym samolotem, do którego AVIONIC wytwarza elementy kompozytowe jest samolot akrobacyjny Grob 120 TP niemieckiej firmy Grob.




Firma Wytwórnia Wyrobów Kompozytowych Papierek w swojej działalności produkowała także części kompozytowe do lekkich samolotów sportowych „Sky Arrow” włoskiej firmy Iniziative Industriali Italiane, która upadła w 2008 roku. W 2012 roku prawo do samolotu wykupiła kolejna włoska firma Magnaghi Aeronautica S.p.A., z którą firma Andrzeja Papiorka również nawiązała współpracę.

3.4. Statki bezzałogowe

Ostatnie lata przyniosły duży rozwój w dziedzinie zarówno produkcji, jak i wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych. Wcześniej kojarzone były głównie z zastosowaniami militarnymi, jednak wraz z ich popularyzacją i spadkiem cen nastąpiło rozszerzenie zastosowań cywilnych, a także rekreacyjnych. W województwie śląskim działa kilka firm zajmujących się produkcją dronów:


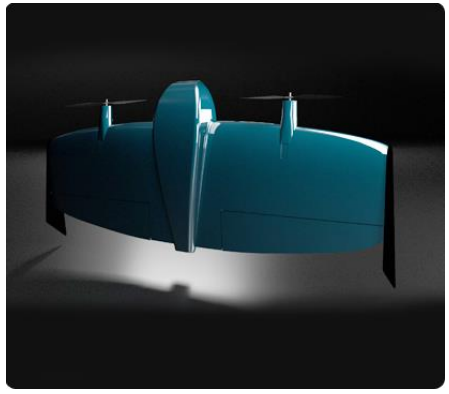

UAVS Poland Sp. z o.o. – spółka, której siedziba główna mieści się w Krakowie, a zakład produkcyjny w Czechowicach-Dziedzicach. Posiada w swojej ofercie stacje kierowania i kontroli, głowice obserwacyjne oraz drony, przedstawione w Tabeli 2.

Tabela 2. Drony budowane przez UAVS Poland Sp. z o.o.

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| <p>DC-01 Mucha</p> | <p>Wielowirnikowy statek bezzałogowy pionowego startu i lądowania, o wielu potencjalnych zastosowaniach.</p> |  <p><i>Rysunek 12. DC-01 Mucha [26]</i></p> |
| <p>Aquila</p> | <p>Bezzałogowy śmigłowiec, zdolny do lotów autonomicznych, możliwy do przystosowania do zastosowań wojskowych i cywilnych.</p> |  <p><i>Rysunek 13. Aquila [26]</i></p> |
| <p>Ratownik 1000</p> | <p>Wielowirnikowy dron przystosowany do transportu i zrzutu sprzętu ratowniczego, a także prowadzenia obserwacji systemem kamer światła dziennego i podczerwieni.</p> |  <p><i>Rysunek 14. Ratownik 1000 [26]</i></p> |

AERO LOGIN Sp. z o.o. – spółka należąca do UAVS Poland, utworzona w 2011 roku, z siedzibą w Czechowicach-Dziedzicach, zajmuje się wytwarzaniem kompozytowych platform bezzałogowych, systemów łączności i głowic obserwacyjnych. W swojej ofercie posiada drony przedstawione w Tabeli 3.


Tabela 3. Drony budowane przez AERO LOGIN Sp. z o.o.

| | | |
|------------------------------|---|--|
| <p>DC-01 Mucha 8X</p> | <p>Wielowirnikowy statek bezzałogowy pionowego startu i lądowania, przystosowany do wielu różnych zastosowań: ratowniczych, pomiarowych, obserwacyjnych. Odmianą platformy przeznaczoną dla rolnictwa jest DC-01 Mucha Agro, wyposażona w system oprysku chemicznego.</p> |  <p><i>Rysunek 15. DC-01 Mucha [27]</i></p> |
| <p>DC-02 Ważka</p> | <p>Statek bezzałogowy będący połączeniem latającego skrzydła i platformy pionowego startu – lot może odbywać się zarówno w pozycji pionowej, jak i poziomej, w której płat pozwala na uzyskanie siły nośnej. Zastosowaniem jest głównie monitoring, obserwacje, geodezja czy ratownictwo.</p> |  <p><i>Rysunek 16. DC-02 Ważka [27]</i></p> |
| <p>DC-03 Vtol</p> | <p>Hybrydowa, wielowirnikowa platforma o konstrukcji płatowca i zastosowaniu obserwacyjnym i transportowym.</p> |  |

Flytronic S.A. – spółka założona w 2008 roku, z siedzibą w Gliwicach. Od 2009 roku udziałowcem spółki jest WB ELECTRONICS S.A., a firma zajmuje się systemami bezzałogowymi, w tym projektowaniem i wytwarzaniem statków powietrznych bezzałogowych wykonanych z materiałów kompozytowych dla produktów WB ELECTRONICS, przedstawionych w Tabeli 4.

Tabela 4. Drony budowane przez Flytronic S.A

| | | |
|--------------------------------|--|--|
| <p>BSP FlyEye</p> | <p>Bezzałogowa platforma nośna, wyposażona w system obserwacji w świetle dziennym i podczerwieni. Jest on statkiem modułowym, dzięki czemu możliwy jest jego łatwy montaż i demontaż oraz transport. Start odbywa się z ręki.</p> |  <p><i>Rysunek 18. BSP FlyEye [28]</i></p> |
| <p>BSP FT-5 Łoś</p> | <p>Bezzałogowy, dwusilnikowy statek powietrzny o konstrukcji płatowca, wyposażony w głowice obserwacyjne, systemy rozpoznawania skażeń i rozpoznawania radioelektronicznego. Start odbywa się ze specjalnie zaprojektowanej rampy.</p> |  <p><i>Rysunek 19. BSP FT-5 Łoś [28]</i></p> |

| | | |
|--|---|--|
| <p>System Amunicji Krążącej WARMATE i WARMATE 2</p> | <p>Bojowy bezzałogowy statek powietrzny o konstrukcji górnopłatowca, służący do wykrywania, obserwacji i śledzenia celów, wyposażony w głowice bojowe, zdolne do rażenia. Start odbywa się ze specjalnej wyrzutni pneumatycznej</p> |  <p><i>Rysunek 20. System amunicji krążącej WARMATE [28]</i></p> |
|--|---|--|

MSP Marcin Szender – firma ma swoją siedzibę w Warszawie, jednak jej zakład produkcyjny struktur kompozytowych mieści się w Drogomyślu na Śląsku. Firma zajmuje się projektowaniem i wytwarzaniem Bezzałogowych Statków Latających do zastosowań cywilnych i wojskowych. Firma ma bardzo szeroką ofertę produkowanych przez siebie bezzałogowców. Do jej produktów należą bezzałogowe samoloty i platformy wielowirnikowe, które mogą być wyposażone w szeroki wachlarz urządzeń, między innymi w systemy fotogrametryczne czy skanery terenu. Firma produkuje także imitatory celów powietrznych wykorzystywane przez obronę przeciwlotniczą.



Rysunek 21. Wielozadaniowy samolot bezzałogowy Kozioróg firmy MSP [29]

4. Rozwój technologii wytwarzania struktur platform satelitarnych w województwie śląskim

4.1. Materiały wykorzystywane do wytwarzania struktur satelitarnych

Sztuczne satelity są obiektami zbudowanymi przez człowieka i krążącymi wokół Ziemi. Satelity mają bardzo różnicowane zastosowania: nawigacyjne, komunikacyjne, meteorologiczne, obserwacyjne, badawcze. Współcześnie ciężko sobie wyobrazić życie bez

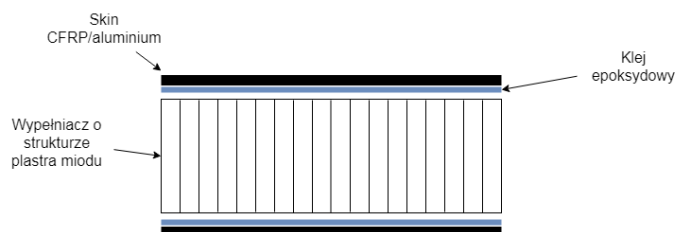
satelitów. Dzięki nim możliwe jest korzystanie z GPS, telewizji satelitarnej, precyzyjnych prognoz pogody. Aby dobrze spełniać swoje zadanie, satelity różnią się wielkością, budową, osprzętem, a także przeznaczeniem, jeżeli chodzi o orbitę, po której się poruszają. Wyróżnia się następujące orbity, po których krążą satelity:

- LEO (Low Earth Orbit)- satelity krążące po niskich orbitach okołoziemskich, czyli na wysokości od około 200 do 2000 km. Służą zwykle do celów wojskowych lub obserwacyjnych.
- MEO (Medium Earth Orbit) – satelity krążące wokół Ziemi na wysokościach od 2000 km (powyżej LEO), a tuż poniżej orbity geostacjonarnej. Do orbit MEO należy system orbit GPS na wysokości ok 20200 km.
- GEO (Geostationary Orbit) – satelity krążące po orbicie geostacjonarnej znajdują się na wysokości ok 35800 km, dokładnie nad równikiem. Prędkość krążącego satelity jest taka sama, jak prędkość obracającej się Ziemi, dlatego znajduje się cały czas w tym samym punkcie w stosunku do powierzchni Ziemi. Aby pokryć niemal cały obszar kuli ziemskiej, wystarczą 3 satelity geostacjonarne, które swoim zasięgiem nie pokryją tylko obszarów okołobiegunowych. Służą najczęściej do celów telekomunikacyjnych i meteorologicznych.
- HEO (Highly Elliptical Orbit) – satelity krążące po orbitach silnie eliptycznych – od 500 km w punkcie najbliższym Ziemi do nawet 50000 km w punkcie najdalszym Ziemi.
- Orbity polarne – orbity okołoziemskie na wysokości od 200 do 1000 km, biegnące nad regionami polarnymi z północy na południe. Satelita krążący po orbicie polarnej przy każdym obrocie przecina równik w innym miejscu, ponieważ Ziemia obraca się ze stałą prędkością wokół swojej osi, co pozwala obserwować całą powierzchnię Ziemi, dlatego na tych orbitach umieszcza się satelity obserwacyjne i rozpoznawcze. Specjalnym typem orbity polarnej jest orbita heliosynchroniczna, zsynchronizowana ze Słońcem, co oznacza, że satelita krążący po tej orbicie znajdzie się nad tym samym miejscem każdego dnia o takiej samej godzinie czasu lokalnego.

Ze względu na masę, satelity dzieli się także na duże, o masie powyżej 1000 kg, średnie o masie w przedziale od 500 kg do 1000 kg i małe o masie poniżej 500 kg, wśród których

wyróżnia się jeszcze cały szereg podziału na minisatelity, mikrosatelity, nanosatelity i mniejsze.

Głównymi materiałami, używanymi w przypadku dużych i średnich satelit są materiały kompozytowe typu sandwich z zewnętrznymi okładzinami wykonanymi z aluminium lub kompozytu umacnianego włóknem węglowym (CFRP – carbon fiber reinforced polymer), z aluminiowym wypełnieniem w postaci plastra miodu (inaczej nazywanym też wypełniaczem ulowym lub komórkowym). Taka struktura posiada istotną funkcjonalność: zewnętrzne okładziny odpowiadają za wytrzymałość mechaniczną struktury i przenoszenie obciążeń, a wypełniacz komórkowy powoduje zwiększenie sztywności konstrukcji przy zachowaniu minimalnej masy. Aby scalić ze sobą okładziny i wypełniacz, stosowany jest specjalny, epoksydowy klej błonkowy o dużej wytrzymałości.



Rysunek 22. Schemat materiału typu sandwich z wypełniaczem o strukturze plastra miodu
[Rysunek własny]

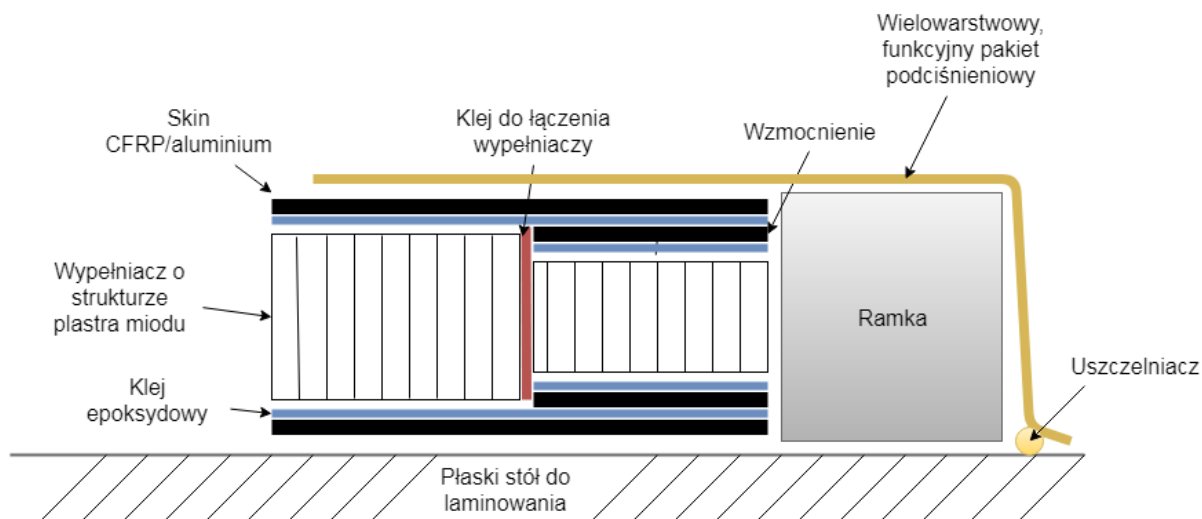
Materiał, z jakiego wykonywane są okładziny (z angielskiego: skin) zależy od przeznaczenia panelu kompozytowego. Wszystkie materiały przeznaczone do pracy w przestrzeni kosmicznej podlegają wielu obwarowaniom i muszą spełniać szereg wymagań. Należą do nich między innymi stabilność wymiarowa, stabilność w obecności promieniowania kosmicznego i próżni, wysoka wytrzymałość i sztywność, pozwalająca wytrzymać duże przeciążenia powstające podczas startu, a także wiele innych. Panele aluminiowe ze skinami ze stopu Aluminium 2024 w postaci cienkich blach wykorzystywane są jako elementy konstrukcyjne większości satelitów komunikacyjnych, a także w statkach kosmicznych, gdzie pełnią rolę radiatorów, czyli elementów odprowadzających ciepło, ze względu na dużą przewodność cieplną.

Panele kompozytowe ze skinami zbrojonymi włóknem węglowym stosowane są wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka wytrzymałość ze względu na duże obciążenia mechaniczne: głównie jako konstrukcje statków kosmicznych, a zwłaszcza ich wysokoobciążone elementy. Ponadto, panele węglowe pozwalają na większą redukcję masy

niż aluminiowe, zapewniają o wiele lepszą od aluminium stabilność wymiarową w podwyższonej temperaturze, chronią przed nagrzewaniem zewnętrznym ze względu na niską przewodność cieplną, zapewniają stabilność pracy sprzętu montowanego na satelitach i statkach kosmicznych. Ze względu na rodzaj stosowanej żywicy, kompozyty CFRP do zastosowań kosmicznych dzielimy na epoksydowe i cyjanoestrowe. Systemy cyjanoestrowe cechują się wyższymi temperaturami pracy i wyższą stabilnością termiczną w stosunku do żywic epoksydowych, co pozwala zachować stałe warunki pracy zwłaszcza w przypadku instrumentów optycznych. Kompozyty cyjanoestrowe są więc podstawowym materiałem używanym do budowy teleskopów kosmicznych.

4.2. Proces wytwarzania paneli strukturalnych satelit

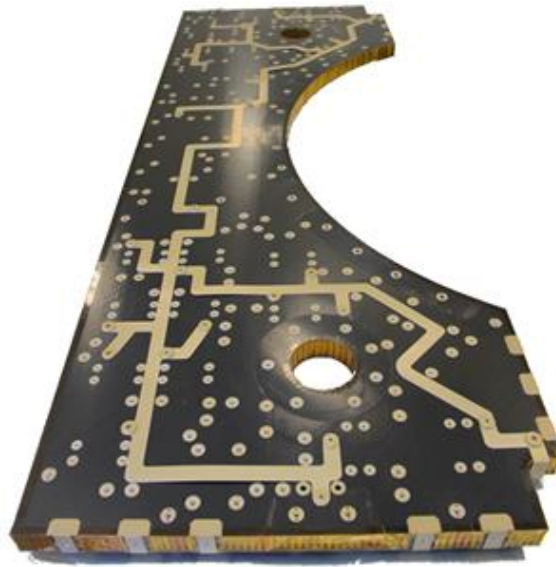
Proces wytwarzania elementów struktury satelit jest bardzo zaawansowany technologicznie. Wymaga wysokiej precyzji, ścisłego przestrzegania warunków produkcji oraz ciągłego nadzoru kontroli jakości na każdym etapie. Aby wytworzyć panele aluminiowe, w pierwszej kolejności należy odpowiednio przygotować blachy aluminiowe o odpowiedniej grubości i wymiarach oraz przeprowadzić obróbkę powierzchni. Blachy te stanowią zewnętrzne okładziny panelu, a jeżeli wymaga tego konstrukcja, także dodatkowe wzmocnienia w miejscach, w których potrzebna jest zwiększona wytrzymałość. Następnie przygotowuje się kawałki wypełniaczy komórkowych o odpowiednich wymiarach. W jednym panelu mogą znaleźć się wypełniacze o różnej wysokości, jeżeli wprowadzane są wzmocnienia, lub o różnej gęstości, w zależności od potrzeb konstrukcyjnych. Na odpowiednio przygotowane blachy nakłada się epoksydowy klej błonkowy, który zapewnia dobre sklejenie skinów z wypełniaczem. Po przygotowaniu wszystkich komponentów, następuje składanie panelu na specjalnym stole o dużej płaskości. Na jednym ze skinów z klejem epoksydowym układa się wzmocnienia w postaci innych blach oraz wypełniacze. Wypełniacze łączą się ze sobą, używając kleju epoksydowego spieniającego się w trakcie procesu utwardzania, co ma na celu utworzenie szczelnych połączeń. Po ułożeniu wszystkich komponentów, panel zamyka się przy pomocy drugiej okładziny, po czym zakładany jest specjalny pakiet podciśnieniowy i przeprowadza się proces utwardzania w autoklawie, w czasie którego następuje utwardzenie klejów i scalenie panelu.



Rysunek 23. Uproszczony schemat wytwarzania złożonych paneli strukturalnych [Rysunek własny]

Produkcja paneli węglowych wygląda podobnie, z tym że zamiast aluminiowych blach występują kompozytowe skiny, które trzeba wykonać w pierwszej kolejności. Skiny laminuje się warstwa po warstwie z jednokierunkowych prepregów węglowych. Taśmę prepeg wycina się do pożądanego rozmiaru i układa warstwa po warstwie na płaskim stole do laminowania, zgodnie z zaprojektowaną wcześniej strukturą, czyli orientacją kątową każdej warstwy. Po ułożeniu wszystkich warstw, materiał zamyka się w specjalnym worku próżniowym i utwardza w autoklawie. Po procesie utwardzania skin frezuje się na wymiar potrzebny do wykonania panelu. Reszta procesu przebiega analogicznie jak w przypadku paneli aluminiowych.

Po procesie utwardzania w autoklawie otrzymuje się tak zwany „blank panel”, czyli panel nieobrobiony. Po pozytywnym przejściu kontroli jakości i badań nieniszczących, panel poddawany jest obróbce skrawaniem, podczas której wycina się jego finalny kształt i wierci otwory pod inserty. Inserty są wklejanymi aluminiowymi wkładkami, służącymi do łączenia paneli strukturalnych poszczególnych ze sobą oraz do mocowania sprzętu i oprzyrządowania.



Rysunek 24. Przykład panelu węglowego, wyciętego do finalnego kształtu, z wklejonymi insertami [38]

W kolejnych etapach produkcji panele są malowane, a na ich powierzchni montuje się wszelkie oprzyrządowanie, kable, rurki grzejne i inne niezbędne wyposażenie. Dopiero wtedy panel strukturalny może trafić do montażu struktury całej satelity bądź statku powietrznego.

4.3. Wdrożenie produkcji paneli satelitarnych w Śląskim Centrum Naukowo-Technologicznym Przemysłu Lotniczego

W 2012 roku Polska przystąpiła do Europejskiej Agencji Kosmicznej. Tym samym, polskie podmioty zyskały możliwość aplikowania do programów ESA. Członkostwo w Agencji pozwoliło Polsce otworzyć się na przemysł kosmiczny, co niesie za sobą wiele korzyści. Sektor kosmiczny jest najbardziej zaawansowany technologicznie, wymaga więc zaangażowania naukowców i ośrodków badawczych, ale co ważniejsze, staje się motorem wzrostu innowacyjności i rozwoju technologii, który przekłada się także na inne dziedziny gospodarki. Przyłączenie Polski do ESA otworzyło przed przedsiębiorcami nowe możliwości finansowania działań badawczo-rozwojowych, wdrażania nowych technologii, otwarcia na współpracę z liderami rynku kosmicznego czy tworzenia konsorcjów wspierających się w realizacji większych projektów.

Z szansy, jaką dało przystąpienie Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej skorzystało Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o. Spółka

z Czechowic-Dziedzic powstała w 2012 roku z myślą o nowoczesnych materiałach kompozytowych wytwarzanych dla przemysłu lotniczego. Nowoczesna infrastruktura, spełniająca wymogi lotnictwa i przemysłu kosmicznego w zakresie wytwarzania kompozytów i badań materiałów pozwoliła Spółce aspirować do wdrożenia zaawansowanych technologii produkcyjnych. W ramach firmy działa Zakład Struktur Kompozytowych, wyposażony między innymi w clean room – pomieszczenie czyste o klasie czystości 10 000 (ISO 7), w którym monitorowane są temperatura i wilgotność powietrza, 2 autoklawy firmy SCHOLZ – mniejszy o wymiarach 2500 mm średnicy i 5000 mm długości oraz większy o wymiarach 3500 mm średnicy i 10 000 mm długości, pozwalające osiągnąć wymagane parametry ciśnienia, temperatury i podciśnienia podczas procesu utwardzania materiałów kompozytowych. Na wyposażeniu firmy znajdują się ponadto frezarki: 5-osiowa frezarka JOBS Jomah 146 o wymiarach roboczych 6500 x 4000 x 2000 mm, pozwalająca na frezowanie modeli i foremników o dużych gabarytach, a także 3-osiowa frezarka DMG Mori DMC 1035 Ecoline o wymiarach roboczych 1000 x 500 x 500 mm do frezowania metali lekkich i stali.



Rysunek 25. Autoklawy Śląskiego Centrum Naukowo-Technologicznego Przemysłu Lotniczego [22]

Działające w ramach Spółki Laboratorium Badań Materiałów wyposażone jest między innymi we wzбудnik drgań pozwalający na prowadzenie testów wibracyjnych, komorę

klimatyczną, pozwalającą na prowadzenie testów starzeniowych, maszyny wytrzymałościowe do badań w złożonym stanie naprężeń (osiowo-skrętne) oraz do badań statycznych materiałów. Ponadto, zestaw siłowników MTS zintegrowany z ramą wytrzymałościową o wymiarach 10 000 x 4000 x 5000 mm pozwala przeprowadzać badania wytrzymałościowe statyczne i dynamiczne gotowych konstrukcji lub ich części, zwłaszcza komponentów i wyrobów dla przemysłu lotniczego, a zestaw do badań aktywnej termografii pozwala przeprowadzać nieniszczące badania materiałów kompozytowych, dzięki czemu możliwe wykrywanie defektów struktury i uszkodzeń.

Tak nowoczesne wyposażenie, spełniające standardy przemysłów lotniczego i kosmicznego pozwoliło Śląskiemu Centrum Naukowo-Technologicznemu Przemysłu Lotniczego mierzyć w najbardziej ambitne cele. Dzięki aneksji Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej i rozpoczęciu z nią współpracy, firmie udało się nawiązać kontakt z konsorcjum Thales Alenia Space France, będącym jednym z czołowych producentów satelitów na rynku europejskim. W 2013 roku rozpoczął się proces transferu technologii wytwarzania elementów strukturalnych satelitów i statków kosmicznych. Poszczególne etapy transferu technologii zostały sfinansowane przez Europejską Agencję Kosmiczną w ramach programu wsparcia Polish Industry Incentive Scheme, będącego programem dedykowanym tylko dla polskich podmiotów w pierwszych latach po wstąpieniu Polski do ESA. Program ma na celu dostosowanie rodzimych kompetencji i technologii tak, aby umożliwić udział w pozostałych projektach Agencji.

Pierwszym etapem transferu technologii z Thales Alenia Space France do Czechowic było wdrożenie technologii wytwarzania struktur kompozytowych na osnowie epoksydowej, umacnianych włóknem węglowym. Pracownicy firmy przeszli szereg szkoleń przeprowadzonych przez TAS France. Dokonano także zakupu narzędzi niezbędnych do wytwarzania płaskich paneli strukturalnych, z których do najważniejszych należy aluminiowy stół do laminowania o wymiarach 4000 x 2150 mm i bardzo dużej płaskości. Projekt wdrożenia technologii wytwarzania kompozytów został sfinansowany przez ESA w ramach projektu rozpoczętego w 2014 roku: *Validation of CFRP substrates manufacturing process for spacecraft structures/ Walidacja procesu wytwarzania kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknami węglowymi (CFRP) do konstrukcji Statków Kosmicznych*. Rozszerzeniem projektu stał się transfer technologii wytwarzania struktur kompozytowych umacnianych włóknem węglowym na osnowie cyjanoestrowej, również finansowany przez

Agencję w ramach projektu *Cyanate ester composite technology demonstration for space telescopes / Wykorzystanie technologii kompozytów cyjanowych przez teleskopy kosmiczne*. Jeszcze w ramach pierwszego projektu, rozpoczęto także wdrażanie produkcji paneli aluminiowych, które kontynuowano później już w ramach odrębnego projektu, również finansowanego przez ESA: *Implementation of aluminum sandwich panels manufacturing processes for spacecraft structures in the Silesian Science and Technology Centre of Aviation Industry Ltd. – Qualification / Wdrożenie procesów produkcji aluminiowych płyt warstwowych dla konstrukcji statków kosmicznych w Śląskim Centrum Naukowo-Technologicznym Przemysłu Lotniczego Sp. Z o.o. – Kwalifikacja*.

Wynikiem pomyślnie prowadzonego transferu technologii i uzyskania odpowiednich kwalifikacji przez Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego stało się otrzymanie w maju 2018 roku pierwszego komercyjnego zlecenia na budowę paneli strukturalnych do geostacjonarnej satelity telekomunikacyjnej firmy Thales Alenia Space – SES 17, opartej na platformie satelitarnej Spacebus NEO.



Rysunek 26. Satelita SES 17 [41]

Oprócz tego, w ostatnim czasie spółka we współpracy z firmami Thales Alenia Space i North Thin Ply Tehcnology, zajmującą się wytwarzaniem cienkich prepregów, rozpoczęła realizację projektu dotyczącego satelitarnych paneli słonecznych: *Next Generation Solar Arrays Lightweight Panel Substrates Technology (LPS-NG)/ Nowa generacja paneli słonecznych. Lekka technologia podłoży płytowych (LPS-NG)*.

5. Rodzaje technologii kompozytowych stosowanych do wytwarzania struktur statków powietrznych

5.1. Charakterystyka materiałów kompozytowych a technologie wytwarzania

Materiały kompozytowe różnią się od materiałów konwencjonalnych w istotny sposób. Kompozyty, zgodnie ze swoją definicją, składają się z dwóch (lub więcej) różnych materiałów składowych, musi jednak występować pomiędzy nimi granica rozdziału, pozwalająca wyodrębnić poszczególne komponenty w strukturze (wieloskładnikowe stopy metali mają jednorodną strukturę, nie możliwe jest wyodrębnienie poszczególnych materiałów składowych). Połączenie dwóch różnych materiałów w jeden kompozyt pozwala osiągnąć nowe lub lepsze właściwości, niż właściwości każdego z nich rozpatrywanego osobno.

W materiałach kompozytowych wyróżnić można osnowę i zbrojenie. W zależności od użytej osnowy, która może być metalowa, ceramiczna lub polimerowa, a także zbrojenia, które może mieć postać bardzo drobnych cząstek o niewielkich rozmiarach (dyspersji), większych cząstek lub włókien, kompozyty mogą diametralnie różnić się właściwościami i wynikającym z nich zastosowaniem.

Do budowy struktur statków powietrznych stosuje się kompozyty polimerowe zbrojone włóknami. Ich wysoka wytrzymałość i sztywność w odniesieniu do bardzo małej gęstości, sprawiają, że są one materiałem konstrukcyjnym niezwykle cenionym w lotnictwie, nie tylko w przypadku małych samolotów czy szybowców, ale także dużych samolotów pasażerskich. Udział kompozytów w strukturze samolotów z roku na rok się zwiększa, wypierając stopy aluminium. W Boeingu 787 kompozyty stanowią 80% zastosowanych materiałów – wykonano z nich prawie całe poszycie samolotu. Zmniejszenie masy jest niezwykle istotne w lotnictwie, gdyż przekłada się w bezpośredni sposób na osiągi: mniejsze zużycie paliwa, większy zasięg, a także większą ładowność. Wraz z upływem czasu zwiększa się też dostępność tych materiałów i maleje ich cena, dlatego wykorzystanie kompozytów w przyszłości niewątpliwie będzie rosnąć.

Zadaniem osnowy polimerowej (zwykle żywicy epoksydowej) jest scalenie układu i osłona włókien. Główną rolę w tym przypadku odgrywają właśnie włókna zbrojące: to one nadają właściwości mechaniczne i odpowiadają za przenoszenie obciążeń w materiale. Do włókien stosowanych w przemyśle lotniczym należą włókna aramidowe (w tym Kevlar,

Twaron czy Nomex), szklane oraz węglowe. Każde z tych włókien ma nieco inne przeznaczenie: włókna aramidowe cechują się wyjątkową odpornością na uderzenia i przebicia, włókna szklane są tanie i łatwo dostępne, a włókna węglowe, mimo iż są kilkukrotnie droższe od włókien szklanych, cechują się największą sztywnością i wytrzymałością, dlatego to właśnie one są stosowane najczęściej w przemyśle lotniczym.

Istotną cechą materiałów kompozytowych jest anizotropia – oznacza to, że właściwości różnią się w zależności od rozpatrywanego kierunku – wzdłuż włókien wytrzymałość materiału jest bardzo wysoka, a w poprzek bardzo mała (przeciwnie jest w przypadku materiałów konwencjonalnych, np. metali, które są izotropowe – ich właściwości są takie same w całej objętości i we wszystkich kierunkach). Strukturę materiałów kompozytowych należy więc zaprojektować od podstaw, dobierając rodzaj zbrojenia, jego gramaturę (masę na metr kwadratowy), orientację kątową włókien w każdej kolejnej warstwie, aby uzyskać pożądane właściwości w odpowiednich kierunkach. Dodatkowo, właściwości danej konstrukcji można projektować poprzez dodanie lokalnych wzmocnień, wypełniaczy zwiększających sztywność (np. wypełniaczy o strukturze plastra miodu), wkładki bądź insertów służących do łączenia z innymi elementami konstrukcji.

Wszystko to sprawia, że materiały kompozytowe wymagają też specjalnych technologii, innych niż w przypadku materiałów tradycyjnych. Aby osiągnąć pożądaną strukturę, konieczne jest jej odpowiednie ułożenie, co odbywa się stopniowo, warstwa po warstwie. Jest to więc proces długotrwały, trudny w automatyzacji, przeznaczony do wytwarzania raczej małych serii wyrobów. Wymaga także odpowiednio wykwalifikowanej kadry, dokładności i precyzji.

Cechą wspólną wszystkich technologii wytwarzania kompozytów jest konieczność przesączenia włókien zbrojących żywicą, aby z dwóch komponentów uzyskać jeden materiał. Ten etap dzieli metody wytwarzania kompozytów na metody tradycyjne (tzw. metody „mokre”, metody z ciekłą osnową), w których suche zbrojenie w postaci włókien, mat lub tkanin układa się w odpowiednio przygotowanej formie, a następnie przesącza ciekłą żywicą. Przesączenie to może odbywać się swobodnie lub z zastosowaniem czynników wymuszających – ciśnienia lub podciśnienia. Bardziej zaawansowane metody wytwarzania wyrobów kompozytowych pomijają proces infiltracji włókien zbrojących ciekłą osnową, wykorzystując prepregi – tkaniny lub włókna jednokierunkowe wstępnie przesączone (zaimpregnowane) żywicą z utwardzaczem i innymi dodatkami, w stanie wstępnie

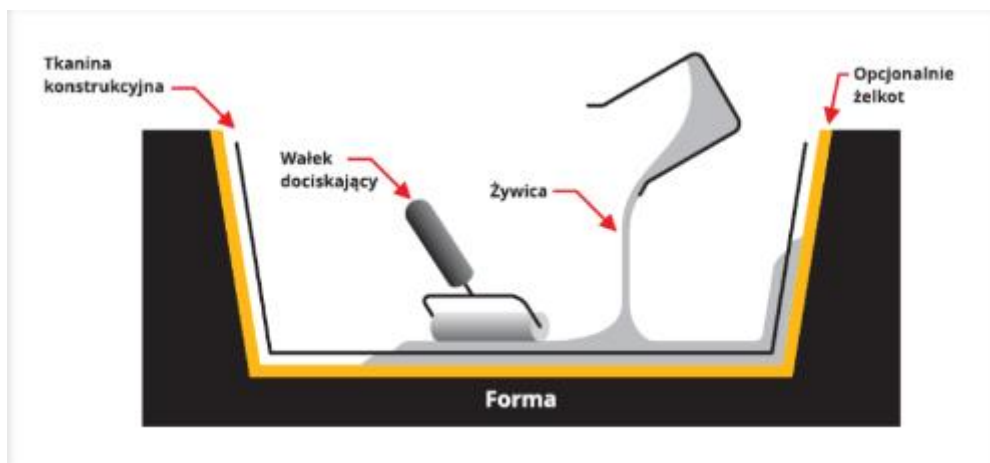
utwardzonym. W tym wypadku osnowa jest już obecna w materiałach, którymi wyklada się specjalnie przygotowane formy. Używanie prepregów wymaga zachowania specjalnych warunków produkcji oraz przetrzymywania w komorach mroźnych, spowalniających procesy sieciowania żywicy – okres przydatności materiału przechowywanego w komorze mroźnej, w temperaturze -18°C najczęściej wynosi rok, zaś poza komorą, w temperaturze pokojowej, w której następuje formowanie – 30 dni. Ze względu jednak na bardzo wysokie właściwości kompozytów wytwarzanych tą metodą, spełniają one najbardziej wymagające kryteria przemysłów lotniczego i kosmicznego.

Szczegółowy opis poszczególnych technologii wytwarzania materiałów kompozytowych na osnowach tworzyw termoutwardzalnych, wraz z ich zaletami i ograniczeniami, podano poniżej. Wszystkie z metod znajdują zastosowanie w wytwarzaniu materiałów kompozytowych stosowanych do budowy statków powietrznych.

5.2. Technologie wytwarzania kompozytów z ciekłą osnową

Laminowanie ręczne (kontaktowe) – najprostsza metoda wytwarzania kompozytów, polega na wykładaniu w specjalnie przygotowanej formie suchej tkaniny lub maty i ręcznego zwilżenia żywicą przy pomocy pędzli i wałków. Po pełnym przesyleniu układa się kolejną warstwę materiału i ponownie przesącza. Czynności powtarza się aż do osiągnięcia założonej struktury, po czym element pozostawia się w temperaturze pokojowej do utwardzenia żywicy.

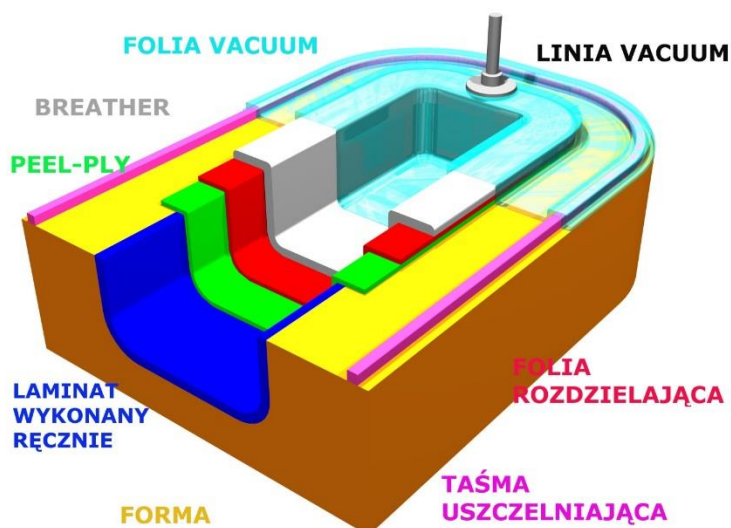
Metoda ta jest prosta i tania, nie wymaga żadnego dodatkowego oprzyrządowania ani specjalnych narzędzi. Posiada jednak sporo wad, do których zaliczyć trzeba pracochłonność, możliwość produkcji wyrobów o nieskomplikowanych kształtach, uzyskiwanie wyrobów o dużej zawartości procentowej żywicy, a co za tym idzie, gorszych właściwościach mechanicznych, nierównej grubości, niskiej powtarzalności i sporym udziale defektów w postaci porowatości i pęcherzy powietrza. Technologia ta ma zastosowanie tylko i wyłącznie do produkcji jednostkowych wyrobów o małej odpowiedzialności. W przypadku lotnictwa jej wykorzystanie jest znikome, może służyć do wykonywania nieobciążonych części prototypów małych statków powietrznych, takich jak drony lub do napraw mało odpowiedzialnych elementów.



Rysunek 27. Schemat metody laminowania ręcznego [42]

Metoda worka próżniowego (formowania próżniowego) – metoda ta, podobnie jak formowanie kontaktowe, polega na ułożeniu zbrojenia w formie i przesyleniu ciekłą żywicą przy pomocy wałków i pędzli. Po ułożeniu wszystkich warstw zbrojenia, element zamyka się w szczelnym worku i wytwarza wewnątrz próżnię. W tych warunkach następuje utwardzenie kompozytu. Zastosowanie tej modyfikacji pozwala usunąć powietrze zgromadzone pomiędzy warstwami laminatu oraz nadmiar żywicy. Odmianą tej technologii jest też formowanie ciśnieniowo-próżniowe, w którym wylaminowaną formę z workiem próżniowym umieszcza się w sztywnej komorze lub przykrywa sztywną płytą i włącza do środka sprężone powietrze, wytwarzając ciśnienie dodatkowo prasujące element.

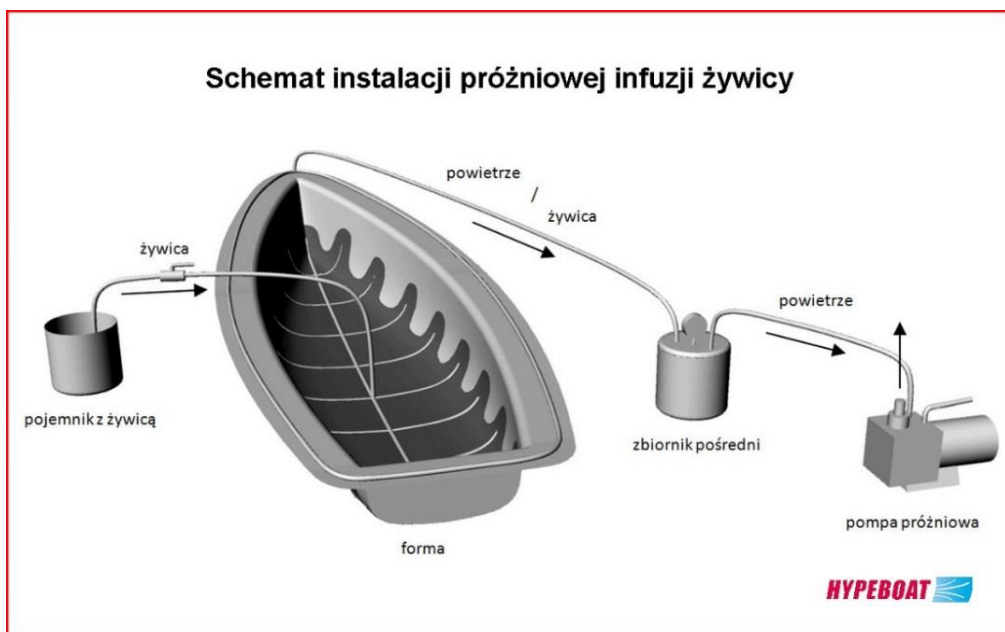
Otrzymane tą metodą kompozyty cechują się większym zagęszczeniem, a co za tym idzie, większą wytrzymałością i mniejszym udziałem wad w stosunku do tradycyjnego formowania ręcznego. Nadal jednak procedura wytwarzania jest czasochłonna i wymaga dodatkowych operacji technologicznych i materiałów pomocniczych, dlatego nadaje się do wytwarzania jednostkowych elementów. Może znaleźć zastosowanie do wytwarzania niedużych elementów prototypów i krótkich serii wyrobów, np. przy budowie bezzałogowych statków powietrznych.



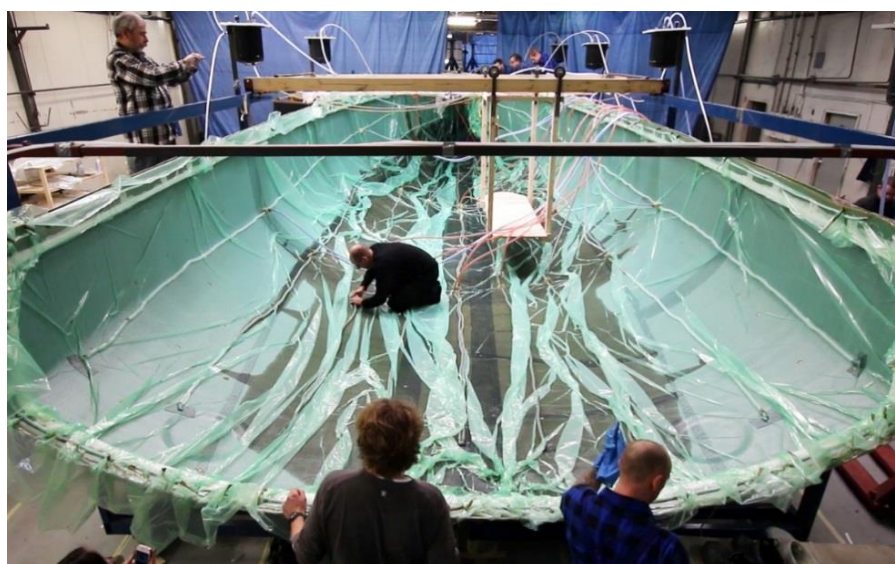
Rysunek 28. Schemat metody worka próżniowego [43]

Infuzja – technologia ta stanowi rozwinięcie metody worka próżniowego. Suche zbrojenie w postaci mat i tkanin, razem z ewentualnymi wypełniaczami, układa się w formie, aż do uzyskania pożądanej struktury. Na górę układa się tkaninę delaminazową, pozwalającą osiągnąć matową powierzchnię lepszej jakości, a następnie specjalną siatkę umożliwiającą odprowadzanie powietrza i ułatwiającą przepływ żywicy. Podłącza się też specjalny system doprowadzania żywicy. Całość zamyka się w szczelnym worku próżniowym i wytwarza podciśnienie, na skutek którego żywica zostaje zassana przez układ doprowadzający. Przez działanie podciśnienia oraz odpowiednio rozmieszczony układ doprowadzający, żywica równomiernie przesącza zbrojenie, po czym następuje jej utwardzenie.

Metoda infuzji przeznaczona jest do wywarzania pojedynczych elementów lub krótkich serii wyrobów, ze względu na małą wydajność. Umożliwia jednak formowanie bardzo dużych wyrobów o dobrych właściwościach przy stosunkowo prostej konstrukcji form. Do zalet należy także możliwość wytwarzania struktur typu sandwich, a także elementów o stosunkowo skomplikowanych kształtach. Wadami z kolei są pracochłonność i stosunkowo duży stopień skomplikowania procesu. Metodą infuzji wykonywać można elementy poszycia małych samolotów, szybowców i dronów produkowanych w niedużych seriach, a także prototypów.



Rysunek 29. Schemat procesu infuzji [44]

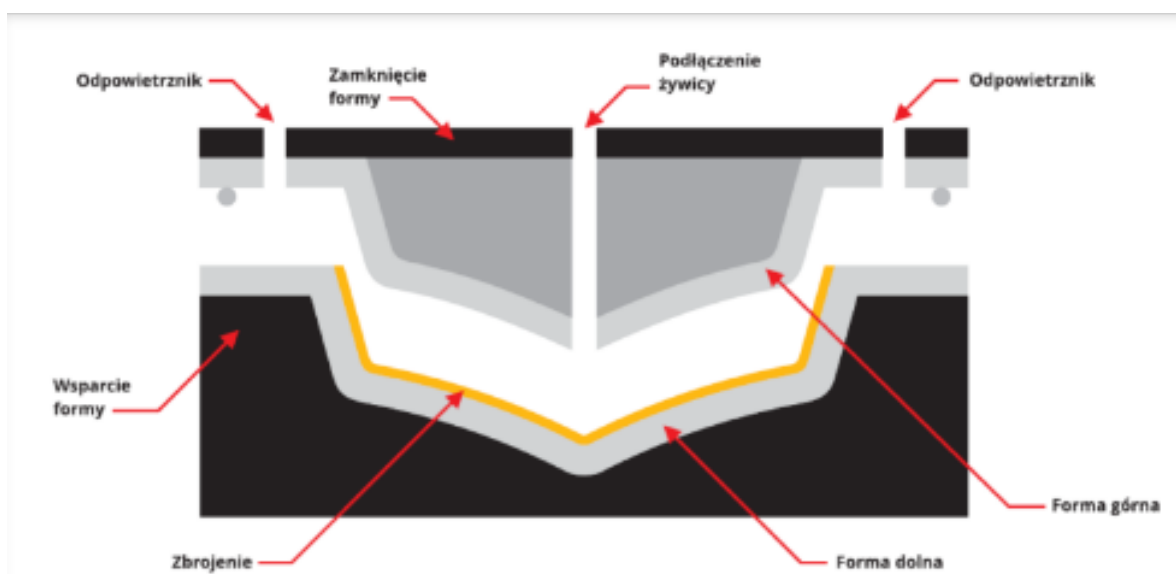


Rysunek 30. Przykład skomplikowanego układu do procesu infuzji w przypadku dużego elementu [45]

RTM (Resin Transfer Molding) – proces ten polega na wytwarzaniu kompozytów w sztywnych, zamkniętych formach. W klasycznej metodzie RTM stosuje się formy metalowe, a w odmianie LRTM (Light RTM) lżejsze formy kompozytowe. Proces polega na ułożeniu suchego zbrojenia w formie, a następnie szczelnym jej zamknięciu i wtrysnięciu żywicy pod niewielkim ciśnieniem, gdzie następuje jej utwardzenie. Istnieje wiele odmian tej

metody, między innymi wykorzystujące dodatkowo podciśnienie czy silikonową przeponę zamiast drugiej części formy.

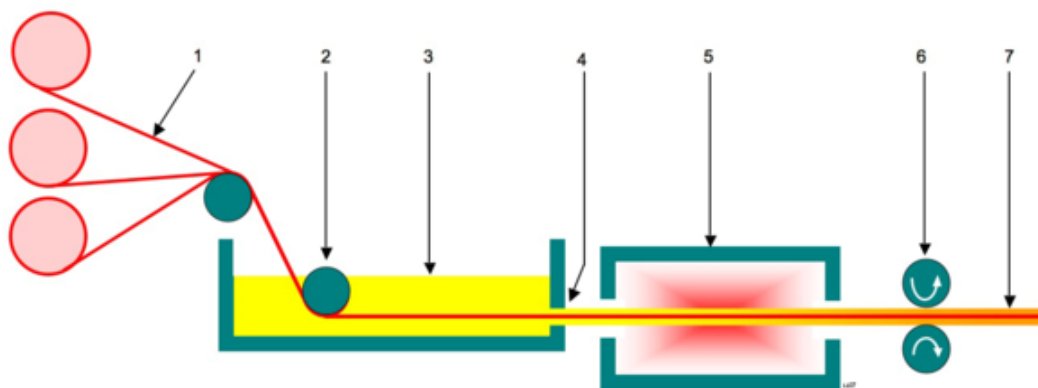
Metoda RTM pozwala otrzymywać wyroby dobrej jakości, o dużej dokładności wymiarowej i powtarzalności. Istotną zaletą metody RTM jest też otrzymywanie wyrobów obustronnie gładkich, gdyż sztywna forma ogranicza wszystkie powierzchnie elementu. Czas procesu jest krótszy niż w przypadku innych metod „mokrych”, jednak koszt wykonania form do procesu jest dość wysoki, dlatego technologia RTM dobrze nadaje się do wykonywania większych serii wyrobów. Można nią wykonywać elementy poszycia małych samolotów, szybowców czy bezałogowych statków powietrznych.



Rysunek 31. Schemat technologii RTM [42]

Pultruzja – metoda ciągła produkcji profili kompozytowych. Polega na przeciąganiu włókien przez wannę z żywicą i ustniki formujące, nadające pożądany kształt profilu. Ustniki odciskają jednocześnie nadmiar żywicy. W dalszej kolejności włókna przeciągane są przez ogrzewane strefy formy, gdzie następuje sieciowanie żywicy. Gotowy produkt ciągły jest odbierany i cięty do wymaganych wymiarów.

Mimo że koszt linii technologicznej do procesu pultruzji jest bardzo wysoki, to technologia ta umożliwia produkcję seryjną profili kompozytowych o różnym kształcie, gładkiej powierzchni i dużym udziale objętościowym włókien. Profile kompozytowe wytwarzane metodą pultruzji w lotnictwie znajdują zastosowanie jako wzmocnienia, usztywnienia czy dźwigary.



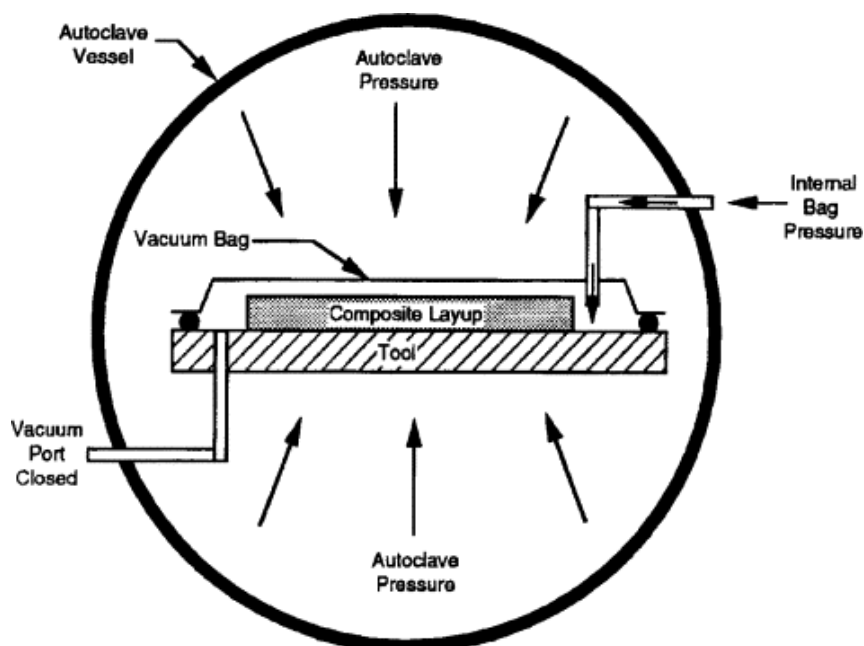
Rysunek 32. Schemat linii technologicznej do pultruzji: 1 – rowing, 2 – rolki napinające, 3 – wanna z żywicą, 4 – ustnik formujący, 5 – nagrzewanie i utwardzanie, 6 – mechanizm ciągnący, 7 – gotowy wyrób. [46]

5.3. Technologie wykorzystujące prepregi

Technologia autoklawowa – proces wytwarzania polega na ułożeniu w odpowiednio przygotowanej formie prepregów, zgodnie z zaprojektowaną strukturą. Podczas procesu laminowania stosuje się etap kompaktowania – usunięcia powietrza spomiędzy warstw prepregu przy użyciu worka próżniowego. Po wylaminowaniu tworzy się specjalny pakiet podciśnieniowy do procesu autoklawowego, składającego się z kolejnych warstw funkcyjnych: delaminażu, zapewniającego odpowiednią jakość powierzchni, folii oddzielającej, włókniny wchłaniającej nadmiar żywicy i umożliwiającej przepływ powietrza oraz folii przeponowej, szczelnie oddzielającej pakiet od środowiska zewnętrznego. Parametry procesu utwardzania w autoklawie to temperatura, ciśnienie, podciśnienie i czas. W podwyższonej temperaturze w autoklawie zachodzą procesy sieciowania żywicy, a działanie ciśnienia pozwala na uzyskanie wyrobów o stałych wymiarach i stałym udziale objętościowym włókien i żywicy, a także przeciwdziała zjawisku skurczu.

Wyroby otrzymywane w autoklawie cechują się najlepszymi parametrami spośród dostępnych materiałów kompozytowych: wysokim udziałem objętościowym włókien, wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi, bardzo dobrą dokładnością wymiarową i powtarzalnością wyrobów. Możliwe jest także wytwarzanie struktur złożonych typu sandwich. Wszystkie te cechy sprawiają, że elementy wytwarzane w autoklawie stosowane są na najbardziej wymagające elementy dużych samolotów pasażerskich czy wysoko obciążone elementy statków kosmicznych. Główną wadą metody jest jej wysoki koszt,

wynikający z wysokich kosztów prepregów, form, oprzyrządowania i procesu autoklawowego.



Rysunek 33. Schemat procesu utwardzania w autoklawie [47]

Out of autoclave (OOA) – proces polegający na wytwarzaniu kompozytów z prepregów, ale bez wykorzystania autoklawu do procesu utwardzania. Preimpregnaty przystosowane do utwardzania w niższych temperaturach są układane na formie, aż do osiągnięcia pożądanej struktury, a następnie zamykane w worku podciśnieniowym, i umieszczane w komorach grzejnych, gdzie w podwyższonej temperaturze zachodzi proces sieciowania żywicy. Inne systemy żywiczne pozwalają na przebieg procesu utwardzania w niższej temperaturze.

Wyroby te cechują się gorszymi właściwościami w stosunku do wyrobów autoklawowych, zastosowanie metody OOA pozwala jednak w znaczący sposób obniżyć koszty wytwarzania z prepregów.

Współcześnie, materiały prepregowe w obu metodach coraz częściej układane są przez specjalne plotery, które układają materiał warstwa po warstwie aż do osiągnięcia założonej struktury. Pozwala to osiągnąć o wiele większą dokładność niż w przypadku laminowania ręcznego. Częściowa automatyzacja procesu powoduje też przyspieszenie procesu wytwarzania. Możliwe staje się także zastosowanie wyjątkowo cienkich prepregów, niemożliwych do układania ręcznego, co jeszcze bardziej pozwala zmniejszyć masę wyrobów.



Rysunek 34. Ploter do automatycznego układania prepregów [48]

Współczesne lotnictwo nie mogłoby funkcjonować tak, jak obecnie, gdyby nie materiały kompozytowe. Szeroki wybór technologii i materiałów kompozytowych sprawia, że w zależności od pożądanych właściwości, a także budżetu do dyspozycji, można osiągnąć zamierzone rezultaty. Z całą pewnością postęp w tej dziedzinie będzie pociągał za sobą zwiększające się zastosowanie kompozytów, także tych najbardziej zaawansowanych.

6. Bibliografia

1. L. Woźniak, A. Sobkowiak, A. Dziedzic, W. Kąkol, K. Kud, M. Woźniak, D. Wyrwa, *Regionalna Strategia Innowacji Województwa Podkarpackiego na lata 2014-2020 na rzecz inteligentnej specjalizacji (RIS3)*, Rzeszów 2015.
2. K. Maślanka, *Szybownictwo na Podbeskidziu*, Zespół Szkół Elektrycznych, Elektronicznych i Mechanicznych w Bielsku -Białej, 2009/2010.
3. K. Krystowski, *Śląski Klaster Lotniczy jako przedstawiciel polskiego przemysłu lotniczego*, [dostępny online: www.paiz.gov.pl/files/?id_plik=23385]
4. A. Skarbiński, *Ze Lwowa do Bielska*, [dostępny online: <http://www.cracovia-leopolis.pl/index.php?pokaz=art&id=1170>]
5. A. Boczkowska, G. Krzesiński, *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.

Strony internetowe [dostęp: 25.03.2019r., godz.: 12:00]

6. <https://www.magazynprzemyslowy.pl/zarzadzanie-i-rynek/Polski-przemysl-lotniczy,11423,1>
7. http://www.air-change.eu/fileadmin/introduction/downloads/BestPractice/Berichte/PL_Polish_Aerospace_Air_Projekt_.pdf
8. <http://www.dolinalotnicza.pl/o-nas/> <https://www.paih.gov.pl/sektory/aeronautyczny>
9. <http://test.epba.pl/drupal7/public/do-1945r.html>
10. <http://www.glidezar.com/historia-szkoly/>
11. <https://www.slaskie.travel/Poi/Pokaz/2275/98/aeroklub-slaski-i-lotnisko-w-muchowcu>
12. <http://www.samolotypolskie.pl>
13. <http://halecki.org/wybitni-polacy-w-kanadzie/inz-waclaw-czerwinski/>
14. <http://www.beskidia.pl>
15. <http://szd.com.pl/pl>
16. <http://szybowce.fotoedytor.com>
17. <https://aerosilesia.eu/>
18. <http://www.marganski.com.pl/>
19. <http://papiorek.com.pl/pl/>

20. https://www.pi.gov.pl/parp/chapter_86197.asp?soid=4BB1D56376E2471C8D867940D0097C74
21. <https://parklotniczy.com.pl/>
22. <http://www.scntpl.pl>
23. <https://www.ex-p.pl/2018/03/27/polska-branza-lotnicza-w-czolowce-pod-wzgledem-innowacyjnosci-slaski-klaster-lotniczy-wsrod-najlepszych-klastrow-w-europie/>
24. <http://diana.avionic.pl/>
25. https://www.altair.com.pl/news/view?news_id=18625
26. <http://www.uavs.pl>
27. <http://aerologin.pl>
28. <https://www.wbgroup.pl>
29. <https://uav.com.pl/pl>
30. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/269-artificial-satellites>
31. [<http://www.kt.agh.edu.pl/~brus/satelity/general.html>]
32. https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Types_of_orbits
33. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog>
34. <https://www.nanosats.eu/cubesat>
35. [<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/cyanate-ester>]
36. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12034>
37. <https://www.nasampe.org/page/CompositesApplicationsforSpace>
38. <https://www.spacestructures.de>
39. https://www.esa.int/pol/ESA_in_your_country/Poland/FAQ
40. <https://superbiz.se.pl/wiadomosci/slaskie-centrum-rusza-na-podboj-kosmosu-dostarczy-komponenty-do-satelitow-aa-LnjY-tRE5-FmJz.html>
41. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/ses-17.htm
42. <http://compotec.pl/pl/index.php/technologie-produkcji-wyrobow-kompozytowych>
43. <https://www.baltazarkompozyty.pl/15-technika-i-technologia/173-technologia-worka-prozniowego-vacuum-bagging-cz2>
44. <http://modele-cnc.pl/resin-infusion-prozniowa-infuzja-zywicy/>
45. <http://www.c-l.pl/technologia-infuzja>
46. <http://fiber-plast.pl/pultruzja>
47. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/autoclave-pressure>

48. <https://www.mtorres.es/en/communication/news/new-2d-integrated-torreslayup-system>

