lightweight.pl

POLSKI
KLASTER
TECHNOLOGII
KOMPOZYTOWYCH

Współpraca pomiędzy PKTK
i Silesia Automotive & Advanced
Manufacturing
str. 4

Pytając o czas...
str. 5

Modification of functional properties
of carbon fibre reinforced polymer
matrix composites
str. 18

Szanowni Państwo!

Oddajemy w Państwa ręce drugi numer czasopisma branżowego **LIGHTWEIGHT**. W tym wydaniu, podobnie jak w poprzednim, poruszamy ważne tematy związane z obszarem projektowania, wytwarzania i badania struktur kompozytowych.

W magazynie znalazło się również miejsce na analizę rynku oraz informacje dotyczącą rozwoju Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych.

Dużo miejsca w tym wydaniu poświęciliśmy corocznym targom JEC 2019 w Paryżu. Targi te, jak zwykle przyciągały ogromną liczbę wystawców oraz odwiedzających i nadal pozostają największym wydarzeniem branży kompozytowej na świecie. Większość krajów, w których rozwijane są te nowoczesne materiały i technologie posiadały stoiska narodowe jednak z przykrością trzeba stwierdzić, że Polskiego stoiska nadal nie było i miejmy nadzieję, że dzięki naszej wspólnej inicjatywie w końcu powstanie.

Tak jak obiecaliśmy w naszym magazynie znalazło się również miejsce na prezentację osiągnięć firm i instytucji krajowych, należących do Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych i mamy nadzieję, że ten obszar będzie się rozwijał, a **LIGHTWEIGHT** umożliwi prezentację tych produktów i usług.

Redaktor naczelny:

dr inż. Andrzej Czulak

POLSKI
KLASTER
TECHNOLOGII
KOMPOZYTOWYCH

LIGHTWEIGHT
COMPOSITES MAGAZINE

Redaktor naczelny:
Andrzej Czulak

Redaktorzy:
Andrzej Czulak
Marcin Godzierz
Bartosz Hekner

Oprawa graficzna:
Dariusz Kronowski
Elżbieta Godzierz

Skład:
Marcin Godzierz

Rada programowa:
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl
Prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska
Dr hab. inż. Mateusz Kozioł, prof. PŚ
Dr hab. inż. Wojciech Błażejewski
Dr hab. inż. Katarzyna Gawdzińska, prof. AM

Założenia czasopisma

- **Okres wydawania**: półrocznik
- **Język publikacji**: polski lub angielski dla działów notatek i artykułów ogólnonaukowych; angielski dla artykułów naukowych
- **Recenzowanie**: brak recenzji w działach notatek i artykułach ogólnonaukowych; zewnętrzne recenzje dla artykułów naukowych

Z racji ogromnego wyzwania, a jednocześnie olbrzymiej przyjemności i satysfakcji, zapraszamy Państwa do współpracy w ramach czasopisma. Jeśli posiadacie Państwo wiedzę, chęci lub możliwości i chcecie dołączyć do dynamicznego zespołu wspierającego rozwój branży kompozytowej, zapraszamy!

Na zgłoszenia czekamy pod adresem:
kontakt@kompozyty.net

Spis treści:

Nota od redakcji	Str. **2**
Współpraca pomiędzy PKTK i Silesia Automotive & Advanced Manufacturing	Str. **4**
Targi JEC w Paryżu. Świat materiałów kompozytowych.	Str. **4**
Pytając o czas...	Str. **5**
Spotkanie członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych	Str. **6**
LINETECH Aircraft Maintenance	Str. **7**
KOMPOZYTmeeting – synergia nauki i biznesu w lutym w Expo Silesia	Str. **8**
Włókna naturalne w strukturach kompozytowych – JEC 2019	Str. **10**
Proces wykonania kompozytowej kierownicy do bolidu wyścigowego klasy Formuła Student zespołu AGH Racing Team	Str. **11**
Metodyki w projektowaniu struktur kompozytów polimerowo-włóknistych z wykorzystaniem programu Fibersim™	Str. **13**
Modification of functional properties of carbon fibre reinforced polymer matrix composites	Str. **18**

POLSKI KLASTER TECHNOLOGII KOMPOZYTOWYCH

Published by:

kompozyty.net

Współpraca pomiędzy PKTK i Silesia Automotive & Advanced Manufacturing

Świetne wiadomości. Na targach IndustryMeeting w Sosnowcu, Polski Klaster Technologii Kompozytowych oraz Klaster „Silesia Automotive & Advanced Manufacturing" podpisały umowę współpracy. Współpraca tych dwóch klastrów z pewnością przyniesie korzyści partnerom i członkom obu organizacji. W imieniu Klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing umowę podpisywał Pan Łukasz Górecki menadżer Klastra, natomiast w imieniu Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych Pan Andrzej Czulak – lider Klastra.

Współpraca ta pozwoli na szybszy rozwój firm i instytucji zarówno z obszaru kompozytów jak i automotive.

Targi JEC w Paryżu. Świat materiałów kompozytowych.

Targi JEC w Paryżu. Jak zwykle największa impreza dotycząca materiałów kompozytowych.

W tym roku, żeby Zapoznać się ze wszystkimi ciekawymi rozwiązaniami nie wystarczył 1 dzień, a przy głębszej analizie, 2 dni też mogły nie wystarczyć. Świat materiałów i technologii kompozytowych tam właśnie się spotyka. Setki wystawców, tysiące odwiedzających, kilometry uliczek między stoiskami do przejścia i to wszystko znajdowało się w 2 halach centrum wystawowym w Paryżu.

Jak co roku targi przygotowały obszary prezentujące najnowsze rozwiązania z zakresu produktów kompozytowych dla lotnictwa, przemysłu transportowego i budownictwa) w obrębie których rozdano również nagrody. Prezentację tych rozwiązań przedstawimy w kolejnych artykułach. Kilku członków Polskiego klastra Technologii kompozytowych posiadało wspaniałe stoiska przyciągające uwagę odwiedzających. Polski klaster Technologii kompozytowych (PKTK) też był obecny jednak w tym roku bez własnego stoiska Prowadzone rozmowy pokazały ogromną chęć na stworzenie w następnym roku wspólnej wyspy prezentującej rozwiązania wszystkich partnerów klastra. Poniżej krótka relacja fotograficzna z targów, kolejne tematyczne, w następnych artykułach.

Pytając o czas...

Przewrotny tytuł, stanowiący podsumowanie ważnej rozmowy. Pęd, rozwój technologii, stała potrzeba robienia wszystkiego szybciej, sprawniej, precyzyjniej… Czy era nowej technologii stanowi wyzwanie dla jej użytkowników, czy jest szansą na wzrost jakości? Czy daje możliwość niezawodności i pominięcia tak ważnego czynnika jakim jest czynnik ludzki? Czy branża lotnicza jest przygotowana na wdrożenie narzędzi „jutra"? Czy poza korzyściami, jesteśmy w stanie przewidzieć zagrożenia? O te i inne kwestie postanowiłam zapytać specjalistów, ludzi, którzy lotnictwu poświęcili całe swoje zawodowe życie, dla których praca to pasja i którzy w niecodzienny sposób próbują szukać rozwiązań na tworzenie i wykorzystywanie nowych technologii w swojej pracy.

T.P. – Tadeusz Powałka – kierownik działu Badań i Rozwoju w firmie LOTAMS
T.S. - Tomasz Stafecki – mechanik lotniczy, specjalista ds. napraw strukturalnych w firmie LOTAMS
D.K. – Daria Korcz – specjalista ds. Projektów Unijnych

D.K. – Panowie, od zawsze wydawało mi się, że lotnictwo to branża reglamentowana, że dostęp do niej jest mocno ograniczony, że mało kto wie i tak naprawdę zastanawia się, kto te samoloty naprawia, jak to się dzieje, ile to trwa, itd.? Czy tak jest czy to tylko moje wrażenie?
T.P. – Z całą pewnością tak było, ale wydaje mi się, że wiedza na temat samej branży jest coraz bardziej powszechna. Nie bez znaczenia są tu stacje telewizyjne, dzięki którym w ostatnim czasie procedury związane
z PART-145 stają się szerzej dostępne.
D.K. – Wytłumaczmy może czym jest PART-145?
T.S. – Najprościej rzecz ujmując - PART– 145 to właściwie zbiór przepisów Prawa Lotniczego, ale w potocznej, branżowej mowie to organizacja, w której serwisowane są statki powietrzne.
D.K. – No dobrze, przejdźmy zatem do nowych technologii. Czy uważacie, że w branży lotniczej jest miejsce na zaawansowane rozwiązania technologiczne?
T.P. – Nie tylko jest miejsce, ale jest również olbrzymia potrzeba. Maszyny, którymi latamy są coraz nowocześniejsze, materiały, z których są zbudowane coraz trwalsze, podzespoły mniej zawodne. Jednocześnie to wszystko powoduje, że serwis tych maszyn jest coraz bardziej skomplikowany. Skomplikowany, ale również inny niż dotychczas.
T.S. – Jest dokładnie tak jak Tadeusz mówi. Mam wrażenie, że ten „backup" w postaci organizacji PART-145 „przespał" pewien moment na przygotowanie się i wcześniejsze dostosowanie do zmieniającego się rynku lotniczego. Mam tu na myśli technologię w jakiej budowane są nowe maszyny.
D.K. – Przespał?
T.S. – Trochę tak. Mówię tu przede wszystkim
o firmach działających w Polsce w czasach kiedy pojawiły się pierwsze elementy kompozytowe w samolotach. Nikt z nas nie miał pojęcia jak się do tego zabrać. Są oczywiście procedury naprawcze i obsługowe producentów – dość szczegółowo opisane – ale każdy przypadek jest inny, każdy ma jakieś inne zmienne. Mam wrażenie, że w przypadku napraw kompozytowych doświadczenie jest istotnym czynnikiem determinującym powodzenie naprawy. Nikt z nas nie jeździł na jakieś specjalistyczne szkolenia, a jeżeli już to było to rzadko i na bardzo krótko. Koszty, koszty i jeszcze raz koszty. Szkolenia zazwyczaj organizują producenci samolotów, np. w USA, we Francji. Każdy taki wyjazd i każde takie szkolenie to są olbrzymie koszty, jadą zatem najlepsi, a później uczą innych tu na miejscu.
T.P. – Zauważ proszę o czym mówi Tomek. Jadą najlepsi, a później szkolą innych. Problem tkwi w tym, że powoli nie ma już kogo szkolić. Dzisiaj w systemie edukacji, w tzw. Polskiej Ramie Kwalifikacji Zawodowych, możemy spotkać się z dwoma typami szkół technicznych: technik mechanik lotniczy i technik awionik.
D.K. – Skąd zatem personel do napraw strukturalnych? Studia?
T.P. – No właśnie, skąd? Stosowane są dwa modele działań: przekwalifikowanie mechanika lotniczego albo przekwalifikowanie np. blacharza samochodowego.
D.K. – Nie wydaje mi się, żeby którykolwiek z nich miał pojęcie na temat kompozytów. Chyba, że się mylę?
T.S. – No właśnie nie mają! Uczą się więc od podstaw i miną długie lata, zanim nabiorą wprawy. W szkołach i na studiach poza teorią nie ma możliwości odbycia praktyk związanych z naprawami kompozytowymi. Sprzęt jest zbyt drogi, materiały zbyt kosztowne, a nauczyciele czy prowadzący zajęcia, sami nie mieli nigdy okazji być przy takich naprawach.
T.P. – I tu jest właśnie miejsce na zastosowanie nowych technologii.
D.K. – Tu, to znaczy gdzie?
T.P. – Tu, to znaczy w obszarze napraw kompozytowych. Dzisiejsza technologia VR (przyp. red. *Virtual Reality*) oraz AR (przyp. red. *Augmented Reality*) pozwalają na „przeniesienie" się w czasie i miejscu, bez konieczności dostępu do hangaru obsługowego, samolotu czy specjalisty. Dzisiaj tworzymy

rozwiązania, które pozwalają na zdobycie doświadczenia już na samym etapie edukacji.

D.K. – To znaczy?

T.S. – Tadeusz mówi o tym, że pracujemy nad rozwiązaniem, które umożliwi interakcję w VR i AR, tak aby użytkownik zdobył maksimum wiedzy i doświadczenia, zanim zostanie dopuszczony bezpośrednio do samolotu.

D.K. – Czy Waszym zdaniem zastosowanie tej technologii oznacza, że wyeliminowana zostanie potrzeba fizycznej praktyki przy samolocie?

T.P. – Tak optymistycznie do tematu bym nie podchodził, ale z całą pewnością zwiększy poziom świadomości.

A świadomość to wzrost jakości i bezpieczeństwa.

T.S. – Użytkownik rozwiązania będzie mógł przyglądać się pracy wyspecjalizowanego inżyniera, specjalisty, bez względu na miejsce w jakim obecnie się znajduje. Będzie mógł poznać schemat działania, zaznajomić się z narzędziami. Zastosowanie technologii AR i VR pozwoli również na interakcję pomiędzy użytkownikiem a przeprowadzającym naprawę, np. poprzez podpowiedzenie odpowiedniego do wykonania naprawy sprzętu czy dobranie odpowiedniego medium.

D.K. – No dobrze, wiemy już jak, a teraz pojawia się pytanie - kiedy będzie można skorzystać z opracowywanego przez LOTAMS rozwiązania?

T.S. – Wolałbym nie mówić o konkretnych terminach. Pamiętaj, że pracujemy z nowymi technologiami, które dają niesamowite możliwości, ale wymagają również sporo zaangażowania, aby utworzone narzędzie spełniło swoje funkcje.

D.K. – Uważacie, że jest to odpowiedni czas na wdrożenie takich innowacji? Że potencjalni użytkownicy rozwiązania są gotowi do korzystania z niego?

T.P. – Pytasz pod kątem świadomości czy dostępu do sprzętu?

D.K. – Chyba o jedno i drugie.

T.P. – Daria, tworzymy coś, co w dobie olbrzymiego zapotrzebowania na wysokospecjalistyczny personel, ma za zadanie w sposób znaczny skrócić etap „oswajania się" z wiedzą na temat struktur kompozytowych i ich naprawy. Etap zastanawiania się, czy nowa technologia się przyjmie i będzie stosowana, mamy już za sobą. Tak jak powiedział Tomek - pewien moment „przespaliśmy", dziś musimy działać.

D.K. – Jak zatem myślicie - ile czasu można zaoszczędzić dzięki zastosowaniu tego rozwiązania?

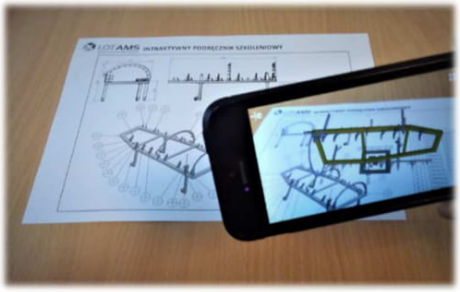
T.S. – Gdyby udało się powyższe rozwiązanie wdrożyć w szkołach średnich to myślę, że zakres wiedzy i „wirtualnej" praktyki moglibyśmy porównać z półroczną pracą bezpośrednio przy samolocie. Nie oznacza to oczywiście, że mamy gotowego mechanika napraw kompozytowych, ale mamy osobę ze znacznym zakresem świadomości na temat napraw i wykorzystywanych narzędzi.

T.P. – Tomek wspomniał wcześniej, że praca z kompozytami to przede wszystkim doświadczenie, bo każdy przypadek jest inny, a zastosowane rozwiązanie pozwoli na opracowanie studium przypadku w wielu wariantach.

D.K. – Myślicie zatem, że jest to odpowiedni czas na działania w kierunkach rozwoju?

T.P. – Ja myślę, że jest to najwyższy czas.

T.S. – Ciągle pytasz, czy to odpowiedni czas, ile czasu to zajmie, jak dużo czasu się zaoszczędzi. Ja wiem tylko, że jak nie zrobimy nic, nie zaczniemy działać, szukać nowych rozwiązań i szkolić następców to zmarnujemy wiele czasu na dostosowanie się do potrzeb zmieniającego się rynku.



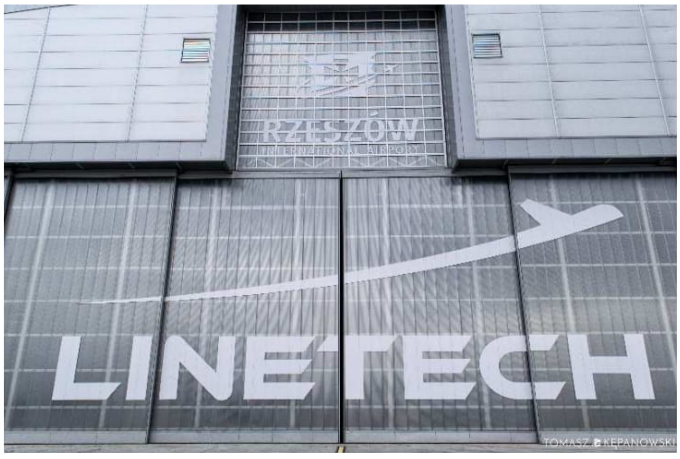
D.K. – Dziękuję za rozmowę.

Spotkanie członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych

14.12.2018 roku odbyło się kolejne spotkanie członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych w Czechowicach-Dziedzicach. Na spotkaniu zagościło ponad 40 uczestników z wielu firm i instytucji należących do Klastra. W ramach spotkania przedstawiono osiągnięcia Klastra w 2018 roku, dyskutowano o priorytetach w 2019 roku, oraz wysłuchano prezentacji z obszaru napraw kompozytów w lotnictwie pasażerskim i wojskowym. Członkowie klastra mieli możliwość zapoznania się z działalnością Śląskiego Centrum Naukowo – Technologicznego Przemysłu Lotniczego, jak również wysłuchać prezentacji o możliwościach finansowania projektów badawczych w 2019 roku. Oprócz tego, w ramach spotkania odbyło się wiele dyskusji i wymiany informacji pomiędzy partnerami.

LINETECH Aircraft Maintenance

LINETECH Aircraft Maintenance jest dostawcą usług MRO (ang. Maintenance, Repair, Overhaul, "Serwis, Naprawa, Regeneracja") dla najpopularniejszych typów wąskokadłubowych samolotów pasażerskich. Wraz z siostrzaną, słoweńską firmą, Adria Tehnika, tworzą razem grupę zdolną obsłużyć takie maszyny jak boeingi 737, airbusy A320, odrzutowce spod marki Embraer czy serię CRJ kanadyjskiego Bombardiera. Firma posiada bazę główną w Katowicach. Jej największy oddział zlokalizowany jest w hangarze w Porcie Lotniczym Rzeszów – Jasionka, gdzie obsługiwanych zwykle jest 6 samolotów jedocześnie. W hangarze w Porcie Lotniczym Katowice firma obsługuje do 4 samolotów wielkości B737 i A320, natomiast siostrzana spółka Adria Tehnika dysponuje i korzysta z kolejnych 8 miejsc dla samolotów wąskokadłubowych. Jako grupa, LINETECH i Adria Tehnika, jest w stanie obsłużyć średniej wielkości flotę przewoźnika. Łącznie firmy zapewniają usługi MRO dla ponad 75 klientów, do których należą między innymi: EasyJet, Lufthansa, SAS, TUI, czy największy polski przewoźnik czarterowy, Enter Air.



Działając w zgodzie z posiadanym certyfikatem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego, czyli EASA, LINETECH może wyszkolić od podstaw swoich pracowników. Ze względu na ogromne zapotrzebowanie na kadry w branży lotniczej, LINETECH poszukuje i wspiera kształcenie osób, które mają umiejętności techniczne lub marzą o pracy w lotnictwie.

Mechanikiem lotniczym mogą zostać wszyscy, którzy posiadają umiejętności techniczne i są chętni zdobywać kolejne kompetencje. Szkolenie w danym kierunku jest jednak pomocne, dlatego LINETECH, we współpracy ze szkołami z Podkarpacia jak Zespół Szkół Mechanicznych w Rzeszowie czy Zespół Szkół Technicznych w Mielcu, otwiera klasy patronackie, w których uczą się przyszli mechanicy lotniczy. Firma zapewnia praktyki w swoich bazach, a także niezbędne szkolenia, tak by skrócić czas zdobywania licencji podstawowej. W bazach w Rzeszowie i Katowicach pracują również absolwenci politechnik, którzy marzyli o karierze inżynierów czy mechatroników. Nowoczesne lotnictwo jest nierozerwalnie związane z tymi dziedzinami. Pracy dla osób z odpowiednimi kwalifikacjami w LINETECH Aircraft Maintenence jest bardzo wiele.

Klasy patronackie LINETECH, które finansowane są z Funduszy Europejskich, to jeden z kilku projektów realizowanych przez Dział Badań i Rozwoju w firmie. Dzięki środkom pochodzącym z Unii udało się stworzyć symulator prób silnika boeinga 737, który pozwoli zoptymalizować proces szkolenia. Symulator został stworzony w technologii VR, gdzie do obsługi wirtualnego, fotorealistycznego kokpitu boeinga 737 Next Generation używa się specjalnych kontrolerów. Ćwicząc procedury przedstartowe i awaryjne mechanicy mogą wyrobić sobie nawyki przestrzennego rozmieszczenia przełączników oraz odpowiednich zachowań podczas prób silnika.

Zdarza się, że niektóre organizacje obsługowe produkują narzędzia używane przy przeglądach. LINETECH stara się jednak pójść o krok dalej wprowadzając innowacyjne projekty do badań nieniszczących oraz rozwiązania ułatwiające przygotowanie, dystrybucję czy w końcu korzystanie z niezbędnej w przeglądzie dokumentacji technicznej.

LINETECH jest obecny na lotnisku w Rzeszowie od 2015 roku, w Katowicach - od 2012. W tym czasie firma przyczyniła się pośrednio lub bezpośrednio do utworzenia w regionach nawet 2000 miejsc pracy, a wypracowane w jednym województwie praktyki, na przykład w kwestii współpracy ze szkołami, udaje się przenieść także na grunt pozostałych obszarów działania firmy. W Rzeszowie, wraz z ZSM, firma była pomysłodawcą i organizatorem trzech pierwszych edycji imprezy rekrutacyjnej „Wystartuj z nami", która pozwoliła znaleźć zatrudnienie w sektorze lotniczym i największych firmach regionu absolwentom podkarpackich techników i uczelni. Obecnie Dział HR LINETECH

z zaangażowaniem współpracuje z Wojewódzkim Urzędem Pracy, przekazując nauczycielom czego oczekują pracodawcy oraz jak dobrze zaprezentować się przed rekruterami. Jako odpowiedzialny pracodawca, LINETECH zapewnia szkolenie i praktyki także poza klasami patronackimi, szkoląc nowe pokolenie mechaników lotniczych i inżynierów serwisujących samoloty pasażerskie.

Jednym z głównych zainteresowań firmy LINETECH jest obszar kompozytów. Nowoczesne lotnictwo bazuje na tych materiałach, a ich naprawa oraz konserwacja przynosi tyle samo cennych informacji na temat „życia" i zastosowania kompozytów w lotnictwie, co prace badawcze oraz testy w warunkach laboratoryjnych. Pomijając ogromne różnice ciśnień, temperatur, opór powietrza oraz wiele innych czynników, samoloty i ich kompozytowe elementy poszycia są w niemal ciągłym ruchu. LINETECH i jego specjaliści w tej dziedzinie są przekonani, że obserwacje i doświadczenia zdobyte podczas obsługi technicznej samolotów są kluczem do dalszego usprawniania ich wykorzystania w konstrukcjach samolotów. Będąc jednym z pierwszych partnerów Polskiego Klastra Kompozytowego, LINETECH realizuje właśnie tę misję.

KOMPOZYTmeeting – synergia nauki i biznesu w lutym w Expo Silesia

W dniach 27-28 lutego 2019 roku w Centrum Targowo-Konferencyjnym **Expo Silesia w Sosnowcu** odbyły się **Targi Utrzymania Ruchu i Technologii Przemysłowych INDUSTRYmeeting, Salon Technologii i Materiałów Kompozytowych KOMPOZYTmeeting, Salon Uszczelnień i Technik Uszczelniania ExpoSEALING, Salon Logistyki i Magazynowania w Przemyśle LOGITEX oraz Gala Nagród Polskiej Branży Druku 3D.**

Początek roku to doskonały moment, aby odświeżyć dotychczasowe kontakty, a jednocześnie nawiązać nowe relacje biznesowe. Firmy, które zaprezentowały się na targach miały okazję pokazać zarówno nowości rynkowe, jak i zaprezentować dotychczasowe rozwiązania i produkty tak, aby zwiedzający mogli na bieżąco śledzić innowacyjne rozwiązania technologiczne.

Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia to 41 miast i gmin, ponad 2 miliony mieszkańców i niemal ćwierć miliona firm i przedsiębiorstw, wytwarzających ok. 8 proc. PKB naszego kraju. Zlokalizowanie **Centrum Wystawienniczo-Konferencyjnego Expo Silesia** w centrum takiego regionu to niezaprzeczalny atut. Bezpośrednia bliskość lotnisk międzynarodowych, autostrady, dróg szybkiego ruchu to uwarunkowania dające wielkie możliwości nie tylko organizatorom targów, ale także wystawcom. Dodatkowo konstrukcja architektoniczna Expo Silesia umożliwia aranżację kilku wystaw jednocześnie. Funkcjonalny układ obiektu został specjalnie zaprojektowany, aby spełnić potrzeby bardzo wymagającej grupy odbiorców. Standard pawilonów i otwartego terenu wystawienniczego jest zgodny z aktualnymi europejskimi wymaganiami w tym zakresie i pozwala na wyeksponowanie pełnego zakresu możliwości maszyn przemysłowych.

Jednym z wydarzeń odbywających się w Expo Silesia w lutym był **Salon Technologii i Materiałów Kompozytowych KOMPOZYTmeeting** oraz III edycja Seminarium wraz z I Warsztatami Eksperckimi pt. **„Materiały kompozytowe w przemyśle motoryzacyjnym i lotnictwie".** Organizatorami wydarzeń merytorycznych byli: **Wydział Inżynierii Materiałowej**

i Metalurgii Politechniki Śląskiej, Polskie Towarzystwo Materiałów Kompozytowych, Polski Klaster Technologii Kompozytowych, Expo Silesia. Podczas spotkań poruszono m.in. tematykę:

- współpracy pomiędzy jednostkami naukowo-badawczymi a przemysłem;
- kompozytów na osnowach stopów Al umacnianych cząstkami i włóknami ceramicznymi;
- nowoczesnych powłok o szczególnych właściwościach i innowacyjnych metod modelowania w projektowaniu kompozytów włóknistych dla przemysłu lotniczego i motoryzacyjnego;
- starzenia struktur epoksydowo-węglowych w przemyśle samochodowym;
- kompozytów metalowo-ceramicznych do zastosowań tribologicznych.

Przez cały czas odbywały się również spotkania B2B oraz S2B w specjalnie zaaranżowanej strefie, gdzie chętni mogli rezerwować miejsce do rozmów z przedstawicielami innych podmiotów biznesowych, bądź jednostek badawczych.

Salon KOMPOZYTmeeting był jednym z elementów wystawy o szerokiej tematyce. W tym samym czasie odbyły się również:

- **Targi Utrzymania Ruchu i Technologii Przemysłowych INDUSTRYmeeting,** wzbogacone o **Konferencje pt. „Współczesna produkcja – kultura prężnego i szybkiego działania”** organizowaną przez Fundację Polskie Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Montażu i Expo Silesia oraz **Seminarium pt. "Bezpieczeństwo pracy w środowisku przemysłowym"**, którego organizatorami były Zakłady Badań i Atestacji ZETOM, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Katedra Inżynierii Produkcji Politechniki Śląskiej oraz Expo Silesia.
- **Salon Logistyki i Magazynowania w Przemyśle LOGISTEX**, którego celem było połączenie innowacyjności z logistyką oraz właśnie branżą przemysłową. W drugim dniu targów, w ramach Salonu Logistex, odbyło się spotkanie organizowane przez **Klaster Silesia Automotive & Advanced Manufacturing oraz Brytyjsko-Polską Izbę Handlową pt. „Zapewnienie ciągłości w międzynarodowych łańcuchach dostaw a BREXIT”.**
- **Salon Uszczelnień i Technik Uszczelniania ExpoSEALING.**

Również premierowo zagościła u nas **V edycja Gali Nagród Polskiej Branży Druku 3D**. Było to wydarzenie organizowane przy współpracy **Centrum Druku 3D** oraz **Centrum Targowo-Konferencyjnego Expo Silesia**. Po raz pierwszy miało charakter otwarty dla osób z wybranych gałęzi przemysłu, a podczas Gali rozstrzygnięte zostały Mistrzostwa Polski w Druku 3D.

Podczas targów tradycyjnie odbył się konkurs o Medal Expo Silesia, do którego wystawcy mogli zgłaszać prezentowane na stoiskach produkty i usługi. Komisja Konkursowa Medalem Expo Silesia uhonorowała firmę ELEPROJEKT Michał Grochowina za swobodnie programowalny moduł sterowania – jest to układ, który wyróżnia się mnogością interakcji komunikacyjnych oraz ilością wejść i wyjść o kompaktowej konstrukcji, konkurencyjnej cenie oraz łatwości implementacji i programowania. Wyróżnione zostały: Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Warszawskiej za sposób wytwarzania funkcjonalnej, metalowo-ceramicznej kształtki kompozytowej o podwyższonych parametrach cieplnych i tribologicznych z przeznaczeniem na lokalne wzmocnienie tłoka oraz firma CX-80 POLSKA Agata Nadera, Dariusz Nadera Sp. J. za smar ceramiczny KERAMICX.

W tym roku w kalendarzu sosnowieckiego Centrum Targowo-Konferencyjnego Expo Silesia pojawi się wiele wydarzeń dedykowanych przemysłowi ze szczególnym uwzględnieniem rewolucji – Przemysłu 4.0.

W ostatnich dniach maja będzią miały premierę - **Targi Urządzeń i Technologii Dźwigowych LIFTexpo,** stworzone z myślą o producentach oraz dystrybutorach urządzeń i technologii dźwigowych stosowanych w budownictwie i przemyśle. W tym samym czasie odbędzie się także **Forum Budowy i Modernizacji Nieruchomości Silesia Property Expo,** czyli miejsce prezentacji technologii i rozwiązań niezbędnych dla sprawnego budowania oraz funkcjonowania nieruchomości przeznaczonych na cele mieszkaniowe, usługowe jak i przemysłowe.

W październiku odbędą się **Targi Techniki Świetlnej LUMENexpo** oraz towarzyszący im **Salon Elektrotechniki Przemysłowej**. Całość poświęcona zostanie przemysłowemu aspektowi oświetlenia oraz technologiom świetlnym i elektrotechnice, a wystawę uzupełnią branżowe konferencje i seminaria.

W listopadzie odbędą się **Targi Opakowań i Technologii Pakowania ExpoOPAKOWANIA** prezentujące opakowania w przemyśle oraz recykling w branży opakowalniczej. W tym samym terminie będą miały miejsce **Targi Technologii Klejenia ExpoBONDING** oraz wzbogacający ich tematykę **Salon Taśm i Urządzeń do Taśmowania ExpoTAPE**. Merytorycznie całość wydarzenia wesprze Instytut Spawalnictwa z Gliwic prowadząc **3. Międzynarodowe Seminarium Klejenia.**

Rok zamkną nowe wydarzenia, jednym z nich jest **Forum Przemysłu Tworzyw PLASTmeeting** poświęcone maszynom i narzędziom do przetwórstwa tworzyw, surowców oraz do recyklingu tworzyw. Forum będzie podzielone na trzy głównych strefy: strefę maszyn i narzędzi do przetwórstwa tworzyw, strefę surowców do produkcji tworzyw oraz strefę recyklingu i ochrony środowiska. Równolegle odbędzie się **Forum Hydrauliki, Pneumatyki, Automatyki w Procesach Przemysłowych HPAmeeting**, gdzie zostaną zaprezentowane najnowsze produkty i technologie stosowane w branży hydrauliki, pneumatyki i automatyki urządzenia pneumatyczne, układy sterowania oraz systemy automatyzacji i robotyzacji stosowane w procesach przemysłowych.

Więcej informacji o wydarzeniach organizowanych przez Expo Silesia na stronie: https://exposilesia.pl/kalendarz/pl/

Włókna naturalne w strukturach kompozytowych – JEC 2019

Użycie materiałów kompozytowych datuje się od wieków temu, a wszystko zaczęło się od włókien naturalnych. W starożytnym Egipcie około 3 000 lat temu glina była wzmacniana słomą do budowy ścian. Później włókno naturalne straciło swoje zainteresowanie. Wprowadzono inne bardziej trwałe materiały budowlane, takie jak metale. W latach 60-tych XX wieku nastąpił rozwój materiałów kompozytowych, gdy włókna szklane w połączeniu z wytrzymałą, sztywną żywicą mogły być produkowane na dużą skalę. W ciągu ostatniej dekady ponownie wzrosło zainteresowanie włóknami naturalnymi jako substytutem szkła, motywowane potencjalnymi korzyściami wynikającymi z oszczędności masy, niższej ceny surowców oraz „recyklingu termicznego" lub ekologicznych korzyści płynących z wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Z drugiej strony, włókna naturalne mają swoje wady, które muszą zostać rozwiązane, aby mogły być konkurencyjne wobec szkła. Włókna naturalne mają niższą trwałość i wytrzymałość niż włókna szklane. Jednak ostatnio opracowane metody obróbki włókien znacznie poprawiły te właściwości, dlatego ponownie świat zaczął się interesować włóknami naturalnymi.

Na targach JEC 2019 pojawiło się wiele produktów wykorzystujących włókna naturalne. Szczególnie duże zainteresowanie wzbudzały elementy zbiornika motoru sportowego, i jak można zauważyć na poniższych zdjęciach włókna naturalne nadają bardzo ciekawy, przyjemny i ciepły wygląd strukturą i predestynowane są do rozwiązań designerskich.

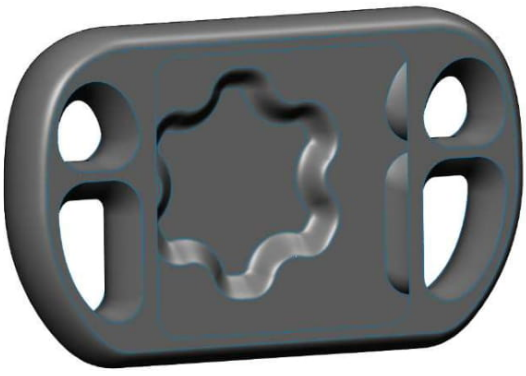
Proces wykonania kompozytowej kierownicy do bolidu wyścigowego klasy Formuła Student zespołu AGH Racing Team

Krzysztof Powroźnik

AGH Racing Team to koło naukowe działające przy Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Działalność koła opiera się na budowie bolidów wyścigowych klasy Formuła Student, a następnie współzawodnictwie z innymi organizacjami studenckimi, zrzeszonymi w Formula SAE, w ramach międzynarodowych zawodów.

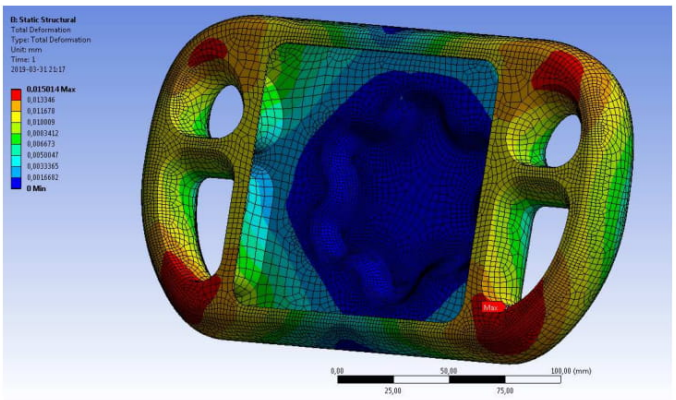
Budowa bolidu przez członków zespołu polega na zaprojektowaniu oraz wykonaniu większości części przy pomocy własnych zasobów materiałowych oraz technologicznych, a także współpracy z Partnerami, służącymi odpowiednim zapleczem, oraz zakupie niektórych podzespołów, których wykonanie nie jest możliwe. Wytworzenie elementu, który finalnie znajduje się w bolidzie wiąże ze sobą kilka etapów, na które składają się m.in.: wstępny projekt elementu, konsultacje, symulacje, dobranie metody wytwarzania oraz testy i badania materiałów, a także gotowego wyrobu.

Jednym z elementów wytwarzanych w Zespole jest kierownica do bolidu, którą, ze względu na swoje właściwości, wykonano z materiałów kompozytowych. Przy pomocy oprogramowania CAD – SolidWorks zaprojektowano modele, których kształty spełniają obostrzenia nałożone przez regulamin zawodów FSAE, a także, jak wiele części bolidu, inspirowane są Formułą 1, gdzie rozwiązania technologiczne są na najwyższym poziomie inżynierskim.

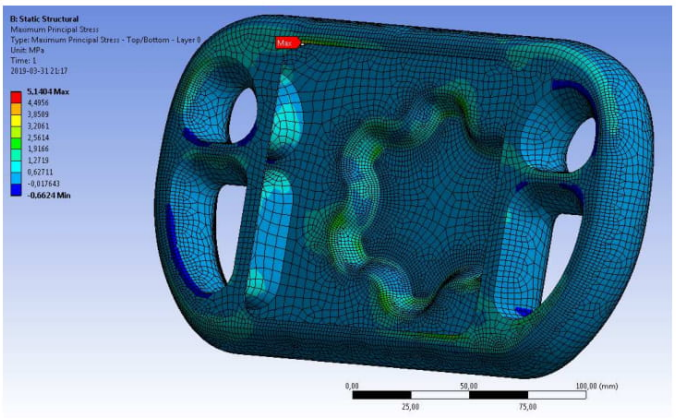


Rys. 1. Ostateczny projekt kierownicy do bolidu wyścigowego

W początkowym etapie prac projektowych powstało pięć różnych modeli, spełniających wymagania regulaminowe, które następnie zostały wykonane przy pomocy technologii druku 3D w celu sprawdzenia ergonomii przez kierowców i wyborze najlepszego kształtu.



Rys. 2. Rozkład odkształceń w kierownicy przy momencie obrotowym 4160 N·mm



Rys. 3. Rozkład naprężeń w kierownicy przy momencie obrotowym 4160 N·mm

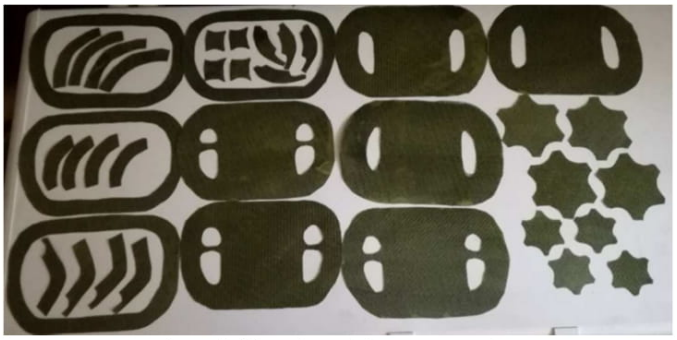
Po wyborze jednego z projektów wykonany został model powierzchniowy kierownicy, który umożliwia przeprowadzenie symulacji przy pomocy programu ANSYS i modułu ACP, w którym zdefiniować można materiały kompozytowe, a także manipulować kierunkami, w których rozchodzą się włókna, czy obecnością poszczególnych warstw materiału w wybranych miejscach modelu, a także Static Structural, gdzie wykonywane są symulacje obciążeń statycznych działających na badany model. Po zdefiniowaniu odpowiednich warstw oraz kierunków rozchodzenia się włókien przyłożony został moment obrotowy, symulujący skręt kierownicy przez kierowcę, a także dodane zostało mocowanie kierownicy do kolumny kierowniczej poprzez tzw. quick release. Otrzymano wyniki maksymalnego odkształcenia oraz maksymalnych naprężeń występujących przy zadanych parametrach.

Zatwierdzenie wyników symulacji umożliwiło przejście do fazy wykonawczej. Zdecydowano się na frezowanie dwóch form

z bloków aluminiowych, w których wykonano połówki kierownicy przy pomocy prepregów wykonanych z tkaniny z włókien węglowych o splocie typu twill oraz z użyciem worka próżniowego.

Rys. 4. Aluminiowa forma połowy kierownicy

Przy pomocy funkcji rozwinięcia powierzchni w programie SolidWorks przygotowane zostały szablony potrzebnych elementów, przy pomocy których wycięto następnie kształty z prepregów, zwracając uwagę na odpowiednie kąty rozchodzenia się włókien, dla których przeprowadzano symulacje.

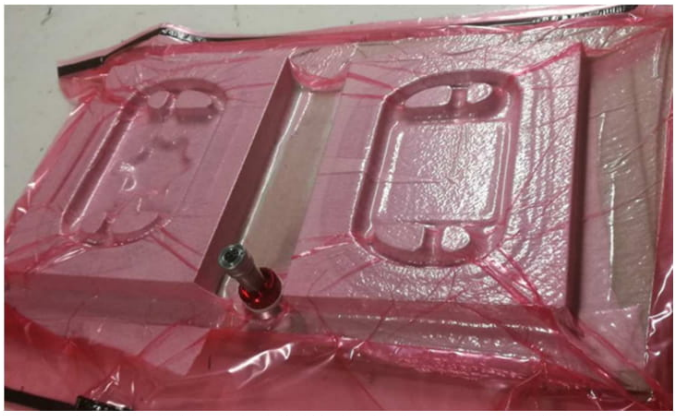


Rys. 5. Wycięte kształty z prepregów

Formy przed nałożeniem włókien zostały poddane czyszczeniu, uszczelnieniu, a także przygotowane przy pomocy środka podziałowego w celu umożliwienia wyciągnięcia elementu z formy. Przystąpiono następnie do układania pierwszej warstwy włókien w formie, na którą nałożono delaminaż i przeprowadzono debulking poprzez użycie worka próżniowego przez ok. 15 min. Po tym czasie przystąpiono do układania kolejnych warstw, na które ponownie położono delaminaż, zwracając uwagę na odpowiednie przyleganie do włókien na całym elemencie. Całość została włożona do worka próżniowego i przy pomocy pompy wywołana została próżnia.

Przygotowane elementy zostały następnie wygrzewane w piecu znajdującym się w garażu Zespołu w odpowiedniej temperaturze oraz przez czas określony w karcie charakterystyki prepregów.

Utwardzone połówki zostały wyciągnięte z form oraz poddane procesowi szlifowania powierzchni, a także sklejono je ze sobą. Obróbka poprodukcyjna została wykonana przez zewnętrzną firmę, gdzie wypełniono niewielkie ubytki w powierzchni kierownicy, a także polakierowano ją.



Rys. 6. Przygotowane połówki kierownicy w worku próżniowym

Rys. 7. Połówka kierownicy wyciągnięta z formy

Rys. 8. Gotowa kierownica

W gotowej kierownicy wywiercono otwory na śruby mocujące quick release, a także zamontowano panel z wyświetlaczem i przyciskami.

Poprzedni model kierownicy wykonany był przy pomocy metody infuzji na rdzeniu z pianki. Zmiana technologii wykonania pozwoliła na redukcję masy elementu o ponad 50%, co jest bardzo dobrym wynikiem, jednocześnie zachowując odpowiednie parametry mechaniczne.

Metodyki w projektowaniu struktur kompozytów polimerowo-włóknistych z wykorzystaniem programu Fibersim™

Michał Krzysztoporski
CAMdivision Sp. z o.o.; e-mail: krzysztoporski@camdivision.pl

STRESZCZENIE

In today's world composites are more and more popular material used in various industries. It generates new challenges to CAD vendors. In order to fulfil this requirements CAMdivision company offers Fibersim™ add-on to NX, CATIA or CREO, dedicated to create necessary data during composite design. One of its basic features is to enable designer to quickly simulate process of hand lamination, Automated Fiber Placement (AFP) or Automated Tape Laying (ATL), and in consequence get information about deformation and deviation of fibers. With this information engineers can prevent fibers from errors already on design phase, which shorten process time and increase product quality. Moreover, deviation of fibers informs user about difference between mathematical orientation, obtained by transforming coordinate system and real orientation after layup. Stress-strain analysis with this input data provides accurate results and simulation model is easier to set up. Another important issue is how 3D model of composites part will be made. Fibersim™ gives user choice between three methodologies: Ply Based Design, Zone Based Design and Multi-Ply Design. First of them is very basic, can be used in parts with simple structure but with complex shape. In Zone Based Design methodology it is necessary to divide part into regions with the same material specification. It accelerates work on details with high structural complexity. Last methodology enables to mix advantages of first two to help map real project in the best way into the software. In addition to simulation and methodologies, Fibersim™ expands possibilities by documentation features – both 2D and 3D.The combination of all this features delivers customers complex software solution for developing high quality composite products.

Key words: design, methodology, simulation, lay-up, fibersim

WSTĘP

Postęp technologiczny zmusza dziś konstruktorów do tworzenia coraz lżejszych, a zarazem wytrzymalszych konstrukcji. Z tego powodu coraz częściej wykorzystuje się materiały kompozytowe. Stanowią one liczną grupę, spośród której wyróżnia się kompozyty włókniste, składające się z różnego rodzaju osnów oraz wzmocnienia w postaci wysokowytrzymałych włókien. Szczególnym rodzajem są kompozyty włókniste wykorzystujące osnowę polimerową. Popularyzacja nowego typu materiału pociąga za sobą również nowe wymagania stawiane m.in. programom CAD związane z efektywnym projektowaniem struktur kompozytowych. Z powyższych powodów w ofercie firmy CAMdivision znajduje się specjalistyczny dodatek – Fibersim™ – rozszerzający programy NX™, CATIA V5, czy Creo o możliwość definiowania warstw laminatu niezbędnych do spełnienia wymagań stawianych danej części. Ponadto spełnia on funkcję łączącą projektowanie z wytwarzaniem poprzez rozbudowane funkcje symulujące zachowanie tkaniny podczas układania jej w formie, co pozwala na wychwycenie problemów przy wytwarzaniu już na etapie projektu. W połączeniu z dokumentacją technologiczną stworzoną w Fibersim™ umożliwia to dostarczenie pełnej informacji na temat sposobu wykonania danego detalu. W niniejszym artykule zostanie zaprezentowany wycinek możliwości dodatku Fibersim™, skupiający się na funkcjach zwiększających efektywność projektowania i zmian struktury kompozytu włóknistego.

METODYKI W PROJEKTOWANIU

Proces projektowania struktury materiału kompozytowego sprowadza się do dwóch najważniejszych kwestii. Po pierwsze układ warstw musi pozwalać na ich poprawne ułożenie w narzędziu. W przypadku złożonych geometrycznie kształtów w trakcie wytwarzania można napotkać zjawiska falowania lub mostkowania tkaniny. Za pomocą symulacji dostarczanej przez dodatek Fibersim™ projektant jest w stanie wprowadzić należyte zmiany, takie jak podział warstw, nacięcia lub wycięcia, tak aby uniknąć wspomnianych efektów w trakcie produkcji. Ten aspekt ściśle związany jest z przewidywaniem zachowania półproduktu (najczęściej tkaniny) w trakcie formowania. Drugim aspektem projektowania, z którym ma się do czynienia na wcześniejszych etapach, niezwiązanym z wytwarzaniem, jest projektowanie struktury pod kątem spełnienia wymogów związanych z wytrzymałością mechaniczną danego wyrobu, jego sztywnością, czy ostatecznie z masą. Co więcej, projekt często jest współdzielony przez różnych specjalistów, czy to od konstrukcji, wytwarzania, czy też analiz. Dlatego metodyczne podejście w procesie jest bardzo istotne, aby tworzenie nowych elementów oraz wprowadzanie zmian było możliwie jak najszybsze. Z tego powodu Fibersim™ oferuje trzy metodyki pracy: Ply Based Design, Zone Based Design, i Multi-Ply Design. Zalety każdej z dostępnych metodyk zostaną pokazane na przykładzie części motoryzacyjnej, wchodzącej w skład struktury nośnej nadwozia. Strukturę warstw definiuje się na wyodrębnionej powierzchni wewnętrznej formy,

wraz z zaznaczonymi liniami granicami detalu przed ostatecznym docięciem oraz po nim (EXTENDED BOUNDARY oraz NET BOUNDARY). Pozwala to na równoczesne tworzenie struktury z myślą o wytwarzaniu – tak jak ma wyglądać w formie – oraz ostatecznego wyrobu – na przykład dla obliczeń wytrzymałościowych.

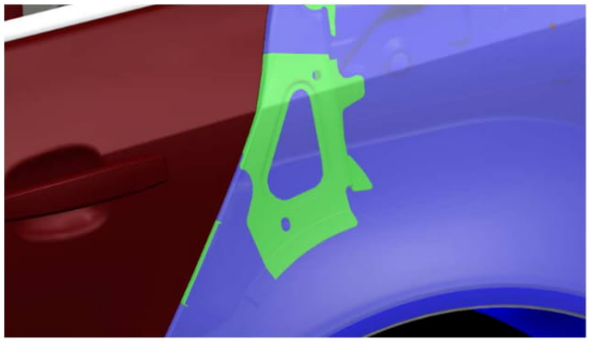


Fig. 1. Example part, which will be made of composite

PLY BASED DESIGN

Pierwszą, podstawową metodyką, jest Ply Based Design, czyli projektowanie oparte na warstwach. Zakłada ona, że warstwy są elementami niezależnymi od siebie. Definiowanie każdej z nich polega na wskazaniu materiału, orientacji, granicy i punktu początkowego (ręcznym, bądź automatycznym).

Sprawdza się wobec elementów prostych strukturalnie, składających się z laminatu o stałej grubości, w których podział na poszczególne rozkroje zależy głównie od stopnia skomplikowania geometrycznego. W celu osiągnięcia jak najniższej masy części, przy jej jak najwyższej wytrzymałości, stosuje się warstwy wzmacniające. Układa się je w regionach najbardziej wytężonych, przez to pogrubienie znajduje się wyłącznie w krytycznych miejscach, co zaoszczędza masę i koszt półproduktów, a w konsekwencji prowadzi do globalnej homogenizacji naprężeń. Jednak taki układ warstw powoduje lokalną koncentrację naprężeń i zginanie ukośne w miejscach łączenia dwóch regionów, co w konsekwencji może prowadzić do delaminacji. Dlatego istotne jest, aby zminimalizować to negatywne oddziaływanie poprzez stopniową zmianę grubości laminatu. Z racji tego, że w metodyce Ply Based Design wszystkie warstwy są niezależne od siebie, użytkownik zmuszony jest do indywidualnego wydłużania każdej z nich, w celu uzyskania płynnego przejścia. Z uwagi na złożoność struktur międzystrefowych i specyficzne dla nich wymagania pod względem projektowania, dodatek Fibersim™ oferuje metodykę Zone Based Design, czyli modelowanie strefowe.

ZONE BASED DESIGN

Metoda ta zakłada podział całej powierzchni formy na skończoną liczbę stref o stałych grubościach. Do każdej z nich przypisana jest specyfikacja materiałowa, zawierająca w sobie informację o materiale i orientacji poszczególnych warstw, a także granica.

Podstawową zaletą tej metodyki jest możliwość tworzenia i edycji regionów przejścia pomiędzy strefami z poziomu strefy. Nie jest konieczne tworzenie osobnej granicy dla każdej z warstw. Program automatycznie rozpoznaje miejsce, w którym laminat zmienia swoją grubość i automatycznie wydłuża poszczególne warstwy tak, aby tworzyły płynny spadek. Zostały pokazane dwie strefy (Fig. 5): ZONE002 – posiadająca dwie warstwy i ZONE003 – składająca się z sześciu warstw. Program automatycznie wydłużył cztery ostatnie warstwy strefy ZONE003, tworząc przejście bez uskoku (Fig. 6 i Fig. 7). Ponadto dwie pierwsze warstwy, występujące zarówno w jednej, jak i drugiej strefie, zostały połączone, tworząc dwie pełne warstwy.

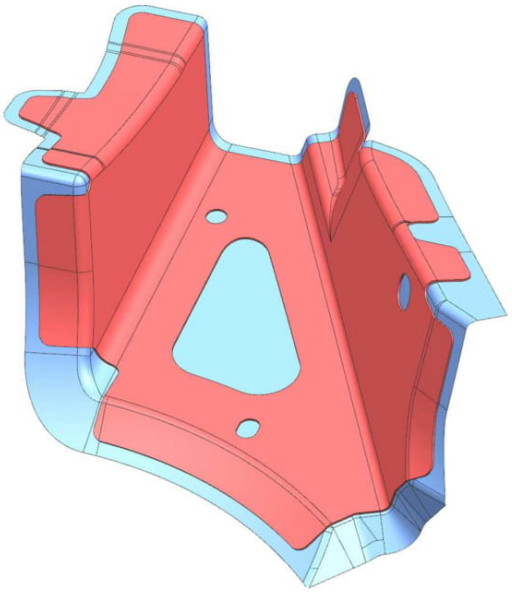


Fig. 2. Example part with prepared LAYUP SURFACE

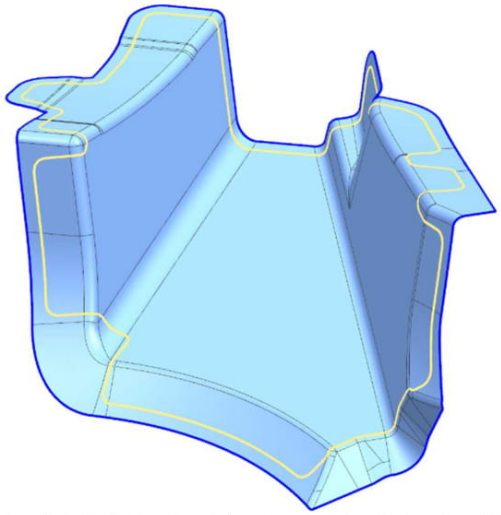


Fig. 3. LAYUP SURFACE with NET and EXTENDED BOUDARIES

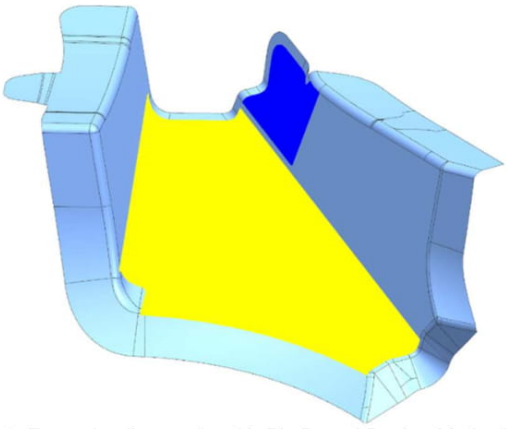


Fig. 4. Example plies made with Ply Based Design Methodology

Użytkownik ma do dyspozycji szereg parametrów, którymi może decydować o końcowej konfiguracji przejścia; czy ma przebiegać ono w sposób równomierny, czy zmienny; w jakiej odległości mają się znajdować granice sąsiadujących ze sobą warstw, a także czy i w jaki sposób mają zostać przycięte. Te wszystkie informacje są gromadzone wewnątrz programu Fibersim™, co sprawia, że każda zmiana w projekcie struktury kompozytowej będzie skutkowała ponownym zbudowaniem warstw, uwzględniającym nową specyfikację materiałową oraz wcześniej zdefiniowane parametry. Jest to oszczędność, która zmniejsza nakład pracy niezbędny przy tworzeniu każdej nowej części.

Multi-Ply Design

Metodyka Zone Based Design zakłada, że tworzone strefy muszą pokrywać całą powierzchnię formy, bez żadnych pustych miejsc, a dodatkowo nie mogą się one nakładać na siebie. Tworząc detal, który będzie składał się z warstw globalnych, a tylko miejscowo będzie wzmocniony dodatkowymi warstwami laminatu, tworzenie stref nie będzie dogodną metodą. Należałoby stworzyć osobne strefy dla wzmocnionych regionów, a dodatkowe dla pozostałych. W rzeczywistości w detalu można byłoby wyróżnić strefy wzmocnione, które zostały nałożone na globalne warstwy. Aby w pełni odwzorować powyższą sytuację, użytkownik może wykorzystać ostatnią z opisywanych metodyk - Multi-Ply Design. Pokazano element, z nałożoną identyczną strukturą kompozytową (Fig. 9). Za pomocą metody Zone Based Design użytkownik zmuszony jest do definicji czterech stref - dwóch dla miejsc wzmocnionych oraz dwóch dla pozostałych regionów.

Metodyka Multi-Ply Design wymaga zastosowania jedynie dwóch stref, w celu osiągnięcia tego samego efektu. Łączy ona zalety zarówno metodyki Ply Based Design, gdyż warstwy globalne mogą być zdefiniowane bez konieczności tworzenia stref, jak również metodyki Zone Based Design, gdyż warstwy wzmacniające mogą być pogrupowane w strefy. Pozwala to zarówno na szybkie tworzenie głównych warstw, jak i wygodne zarządzanie regionami przejścia pomiędzy regionami o większej a mniejszej grubości.

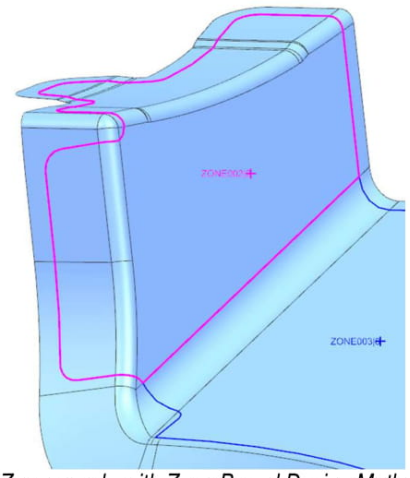


Fig. 5. Zones made with Zone Based Design Methodology

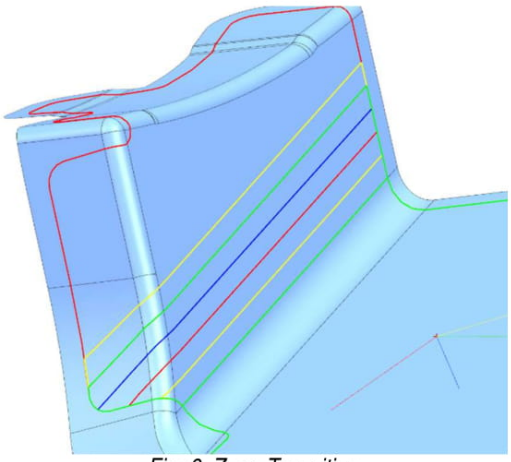


Fig. 6. Zone Transition

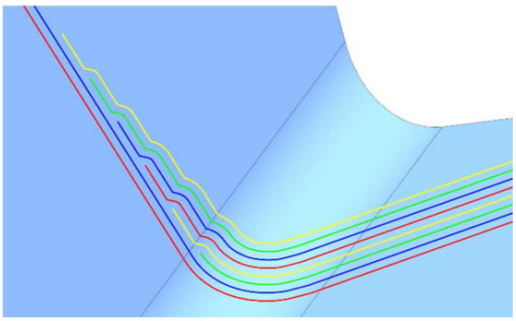


Fig. 7. 3D Cross Section through zone transition

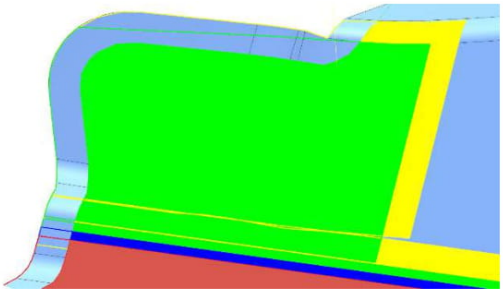


Fig. 8. Overlapping transition zones

SPRAWDZENIE PROJEKTU

Bez względu na użytą metodykę, przed przystąpieniem do kolejnych etapów projektowania, należy sprawdzić, czy stworzona struktura spełnia postawione jej wymagania. Po pierwsze, użytkownik programu Fibersim™ może skorzystać z możliwości tworzenia przekrojów przez strukturę kompozytową (Fig. 7). Na przecięciu, utworzonym za pomocą płaszczyzny bądź krzywej, możliwe jest sprawdzenie poprawności ułożenia warstw np.: pod kątem orientacji kolejno na sobie ułożonych warstw tkaniny lub też podejrzenia rampy powstałej ze stopniowo wydłużanych warstw. Ponadto w celu przeprowadzenia bardziej szczegółowej inspekcji możliwa jest do pobrania wirtualna próbka laminatu w określonym miejscu za pomocą polecenia *Design Station*. Pozwala ona na uzyskanie informacji na temat liczby warstw, ich poszczególnych grubości oraz rzeczywistego kierunku włókna. Dodatkowo dostarcza sumaryczną informację na temat całkowitej grubości w danym miejscu, a także parametrów, takich jak: symetria, czy zbalansowanie laminatu. Znajomość tych parametrów pozwala już na etapie projektu zapobiec niezamierzonym odkształceniom danej części pod obciążeniem oraz zminimalizować ryzyko wystąpienia naprężeń szczątkowych. Ponadto posługując się danymi na temat rozszerzalności cieplnej materiałów, program określa przewidywalne wypaczenie części, związane z nierównomiernie rozszerzającymi się warstwami laminatu. Oprócz kontroli czynników wpływających na wytrzymałość części oraz jej zachowanie pod obciążeniem mechanicznym i termicznym, program przelicza powierzchnię, masę oraz koszt półproduktów niezbędnych do wytworzenia zaprojektowanej struktury kompozytowej.

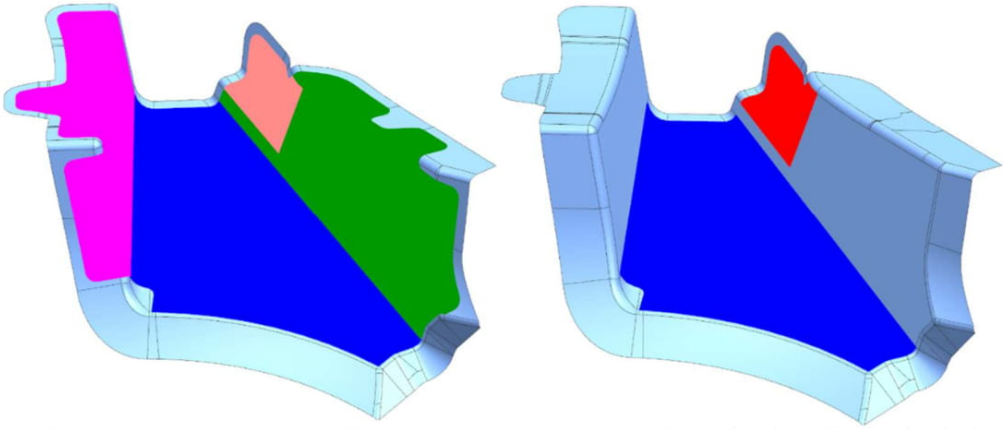


Fig. 9. Comparison between elements designed with Zone Based Design (left) and Multi-Ply Design (right)

SYMULACJA I DOKUMENTACJA TECHNOLOGICZNA

Powyższe działania, sprawdzające poprawność projektu oraz zgodność z założeniami projektowymi, są niewystarczające do poprawnego wytworzenia danej struktury. Przed przejściem do realizacji należy zasymulować zachowanie włókna w trakcie procesu laminowania, aby przewidzieć miejsca defektów. Jest to czynność wyjątkowo trudna, gdyż końcowe ułożenie poszczególnych włókien zależy od wielu czynników, jak np.: początkowy punkt przyłożenia tkaniny, sposób propagacji i prowadzenia włókien. Stąd też w programie Fibersim™ istnieją rozbudowane możliwości symulacji tego procesu z uwzględnieniem wyżej wymienionych czynników. Rezultaty tej symulacji mogą posłużyć do wprowadzenia zmian w poszczególnych warstwach, celem lepszego ułożenia w formie (podziały, nacięcia, zmiana metody układania), ale również dostarczają istotnych informacji na temat rzeczywistej orientacji włókna, tak istotnej, pod kątem wiarygodności wyników analiz wytrzymałościowych. Końcowym etapem jest wygenerowanie rozkrojów tkaniny oraz stworzenie dokumentacji technologicznej. Każdy rozkrój może być wygenerowany do osobnego pliku, a dodatkowo może być opatrzony dodatkowymi krzywymi pomocniczymi, czy adnotacjami. Do wspieranych formatów należą zarówno te uniwersalne, jak DWG, czy DXF, a także głównych producentów ploterów.

Tworząc dokumentację technologiczną, program Fibersim™ umożliwia automatyczne wygenerowanie arkuszy do każdej warstwy z rozkrojem płaskim, rzutem formy z zaznaczonym miejscem, gdzie wybrany rozkroju ma zostać umieszczony wraz z niezbędnymi informacjami o sobie propagacji włókna oraz parametrami warstwy, np.: kolejność, orientacja i materiał.

PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zostały zaprezentowane metodyki w projektowaniu struktur kompozytów polimerowo-włóknistych. W zależności od typu elementu, jego skomplikowania geometrycznego i strukturalnego użytkownik może zdecydować się na metodykę Ply Based Design, Zone Based Design lub Multi-Ply Design. Niezależnie od wybranej metodyki, projektowa część procesu jest uzupełniana przez symulację laminowania, pozwalającą wychwycić już na wczesnym etapie możliwe defekty ułożenia tkaniny. Łącząc to z rozbudowanymi możliwościami

kontroli laminatu, a także eksportu oraz tworzenia dokumentacji, użytkownik otrzymuje kompletne narzędzie, pozwalające na efektywne projektowanie. Korzystając z programu Fibersim™, użytkownik może zgromadzić całość informacji o strukturze kompozytowej wewnątrz jednego systemu, co przekłada się na lepszą wymianę danych pomiędzy różnymi działami, a w konsekwencji pozwala uniknąć błędów. Dzięki temu tworzone komponenty są dużo lepszej jakości, jednocześnie przy znacznym skróceniu czasu projektowania.

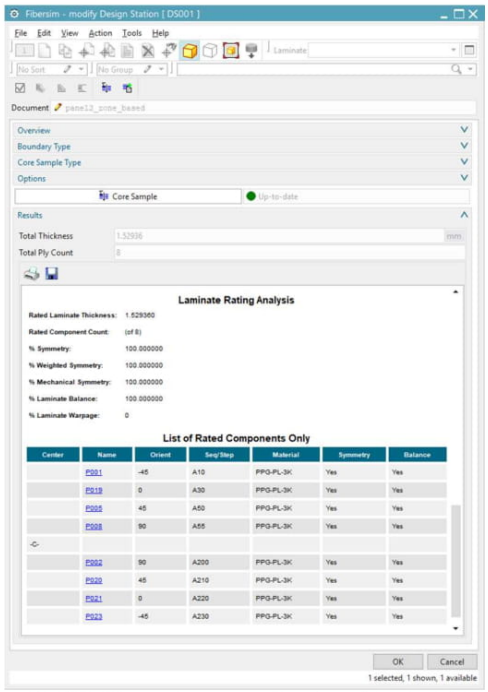


Fig. 9. List of laminate parameters from Design Station

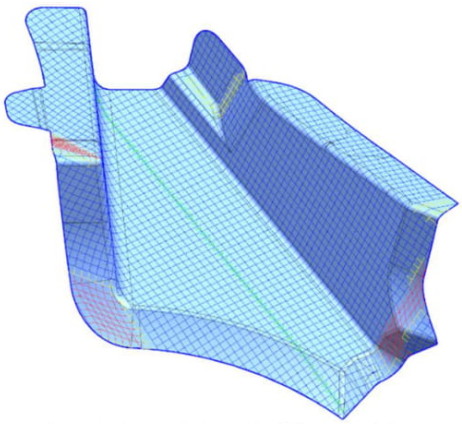


Fig. 10. Result of producibility simulation

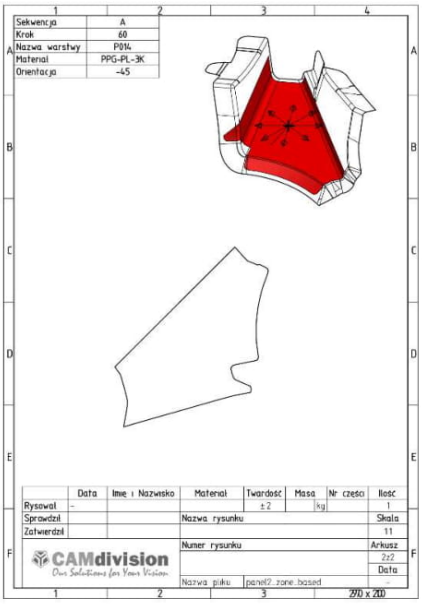


Fig. 11. Ply Book example sheet

BIBLIOGRAFIA

I. Schürmann H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2005).

II. Cherif Ch.: Textile Werkstoffe für den Leichtbau. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2011).

III. Irisarri F.-X., Lasseigne A., Leroy F.-H., Le Riche R.: Optimal design of laminated composite structures with ply drops using stacking sequence tables. Composite Structures 107 (2014) 559÷569.

IV. Fibersim™ User Guide. Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2018)

Modification of functional properties of carbon fibre reinforced polymer matrix composites

Rafał Kozera[1,2]*, Kamil Dydek[1], Bartłomiej Przybyszewski[1,2], Anna Boczkowska[1,2], Paulina Latko-Durałek[1]

[1*]Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, rafal.kozera@pw.edu.pl

[2]Fundacja Partnerstwa Technologicznego Technology Partners

STRESZCZENIE

Carbon fibre reinforced polymer matrix composites are widely used in many application, however their functional properties related to surface properties and electrical conductivity still need improvements. Ice formation and accretion present serious, sometimes catastrophic, safety issues for all kinds of industry where application of the composites components has already become common e.g. wind turbines blades, aircrafts, electric and telecommunication infrastructure as well as other composite constructions exposed to supercooled water droplets both on the ground and in the air. The aim of present study was to investigate possibilities of decreasing wettability of surface by modification of polyurethane (PUR) coatings by addition of nano additives. Furthermore, the main goal of the work was to improve the electrical conductivity of Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP). It could be achieved by the introduction of thermoplastic nonwovens containing carbon nanotubes (CNT), which were placed between each layer of the commercial carbon-epoxy prepreg. Laminates were made by out of autoclave method. Nonwovens, were fabricated in two-stage process by extruding nanocomposite fibres and then pressing them. Polyurethane coating was deposited on CFRP surface using air spraying technique. The volume electrical conductivity measurements in three directions were carried out and microstructure observation was performed using a scanning electron microscope. Surface wettability was investigated by means of goniometer.

Key words: electrical conductivity, copolyamidenonwovens, CNT, icephobicity, superhydrophobicity

Introduction

Carbon Fibres Reinforced Polymers are widely used in the aerospace, automotive or military industries due to their very high specific strength (strength-to-mass ratio). Further advantages of CFRP are corrosion resistance and low thermal expansion. Unfortunately, not sufficient electrical conductivity for many applications is a disadvantage of CFRP. Therefore, work is underway to improve it. There are known ways to improve conductivity by adding metal particles such as silver, aluminum nickel or copper [I]. However, this solution significantly increases the mass of the composite, which is an undesirable effect. Another way is to modify their properties using carbon fillers such as carbon black, graphene or carbon nanotubes. Due to their unique properties, carbon nanotubes seem to be the most promising solution to increase electrical conductivity of CFRP [II-V]. It would seem that the easiest way is to introduce nanotubes to an epoxy resin, however adding a nanofiller causes a significant increase in polymer viscosity, and as a result a technological problems in the process of composites manufacturing.

One of the methods developed by our team is the use of thermoplastic nonwovens doped with carbon nanotubes using them as an interlayers in CFRP [VI-VIII]. The implementation of thermoplastic nonwoven with CNT allows the creation of conductive paths between carbon fabrics and, as a result, an increase in the electrical conductivity of the composite [IX].

Ice formation and ice accretion present serious, sometimes catastrophic, safety issues for many industrial branch where polymer matrix composite components are already a standard e.g. aircrafts, wind power turbines, transportation, construction elements, telecommunication infrastructure etc. They are exposed to supercooled water droplets both on the ground and while flying through clouds in the troposphere. Atmospheric icing occurs when super-cooled water droplets (or snow particles) come into contact with the surface of exposed structures, which since several years lead to material damage and socioeconomic costs [X-XI]. The problem is worldwide, each year, numerous failures systems due to ice accumulation are reported not only in Poland but also in Iceland, Norway, Canada, Finland, the US, Russia, and even in Japan and China [X-XIV]. In example, ice accumulated on aircraft wings disrupts airflow by altering the shape of the wing surface, which leads to increased drag and decreased ability to create lift. Based on the European Aviation Safety Agency annual reports [XV] icing in flight remains in three biggest issues for aviation safety. Report showed that between the 2012 and 2016 years, 277 in flight icing incidents were reported, six of them were classified as serious incidents and 1 as fatal. For comparison, handling of technical problems constituted 288 incidents showing how icing problem is dangerous for aviation safety and still common. The most of the studies concentrate on the so called icephobic coatings on which ice adhesion is low [XVI-XVIII]. The use of such coatings can help in reducing the shear forces needed to remove the ice from a structure. Icephobicity deals with at least three key aspects: the adhesion force between ice and the solid surface – the critical shear stress, prevention of ice formation from supercooled water – time delay of heterogeneous ice nucleation, and the ability of the surface to repel incoming droplets – removal of ice if formed. An

alternative approach, focuses on superhydrophobic coatings e.g. imitating natural Lotus leaf morphology, i.e. water repellent surfaces, on which liquid water adhesion is low; the term superhydrophobic is usually attributed to surfaces with high contact angles (>150°) and low contact angle hysteresis (<10°). The idea of using superhydrophobic coatings is to reduce or eliminate water accumulation on the surface before water freezes and to delay freezing time of accumulated water.

Experimental Procedure

A commercial carbon-epoxy prepreg was used to manufacture two types of laminates – reference (Laminate Ref) and modified by nonwovens (Laminate Mod). Laminates were fabricated using out of autoclave (OoA) method. Uni-directional prepreg contained 12k of carbon fibers, 35% weight fraction of epoxy resin and the areal weight of 130 g/m^2. Copolyamide doped with 7wt% multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) was used to produce nonwovens. The selected copolyamide possesses sticky properties when melted and has good compatibility with epoxy resin.

A commercially available polyurethane topcoat has been deposited on laminate surface by air spraying. PUR topcoats were modified with different content of nano-silica (1 and 5 wt.%). Moreover, for one sample, suspension of nano particles in organic solvent has been sprayed on the top of PUR topcoat.

The volume electrical conductivity was measured in three directions - along the carbon fibres (dx), across the carbon fibres (dy) and through the thickness of laminate (dz). Measurements were made using the Keithley 6221/2182A device equipped with copper electrodes. In order to confirm the effect of the nonwoven on the improvement of electrical conductivity, the microstructure observation was performed using the scanning electron microscope HR SEM SU70. The contact angles (CA) and contact angle hysteresis (CAH) have been measured by the use of OCA20 goniometer (DataPhysics, Germany).

Results and Discussion

The results of the volume electrical conductivity of the manufactured CFRP panels in all directions are shown in Fig. 1a-c. Analyzing the obtained results it was found that the introduction of thermoplastic nonwovens containing carbon nanotubes improved the electrical conductivity in all directions. Fig. 2 presents the microstructure of modified laminate. It can be observed that copolyamide containing carbon nanotubes or their agglomerates adhere to carbon fiber, which results in an increase in electrical conductivity, through the formation of conductive bridges. In addition, very good adhesion between carbon fibre and nonwoven was also observed.

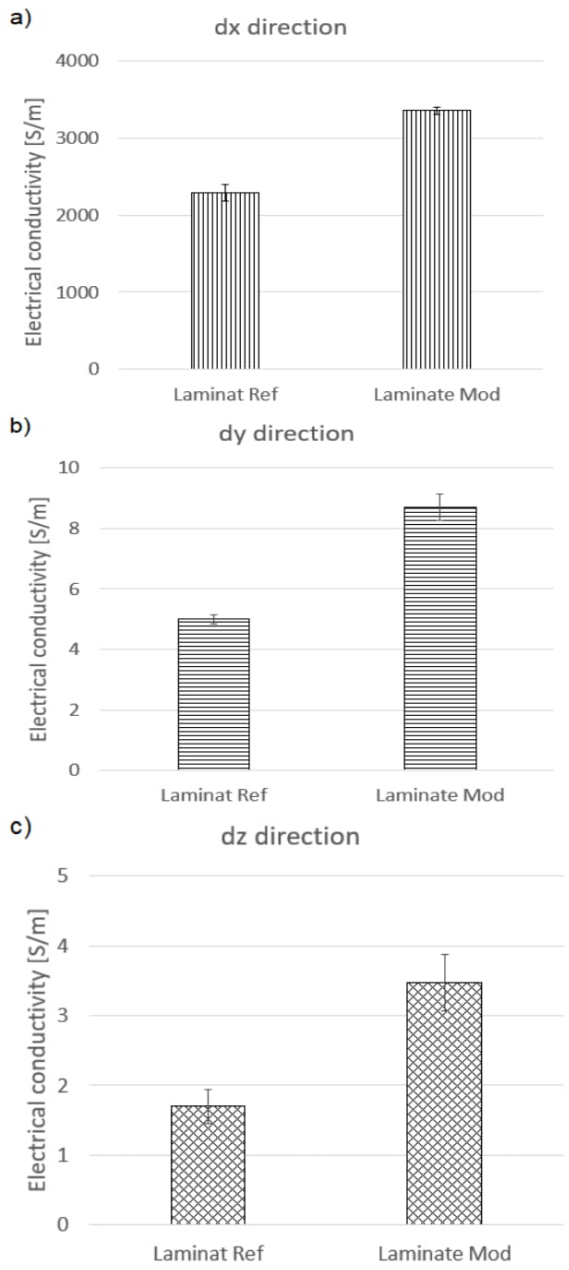


Fig.1. Electrical conductivity: a) dx direction, b) dy direction, c) dz direction

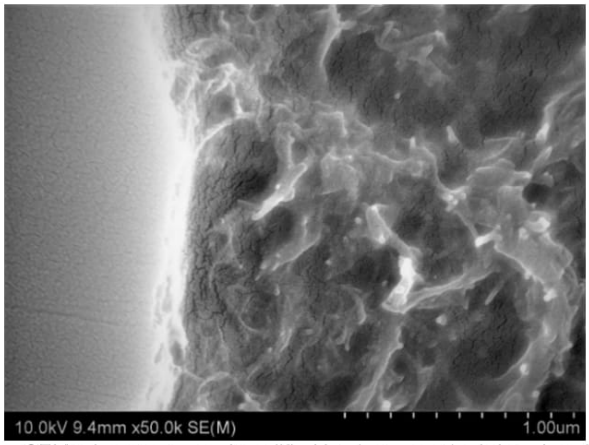


Fig.2. SEM microstructure of modified laminate, on the left carbon fibre, right coPA doped with CNT

Fig. 3 shows wettability results of PUR topcoat deposited on laminate surface. Both, contact angle and contact angle hysteresis of each sample have been measured to assess the effect of nano additives addition on hydrophobic properties of investigated coating.

Achieved results showed that neat PUR topcoat is hydrophilic (high CAH and CA lower than 90°). Addition of 1 and 5 wt.% of nano additives increased contact angle and decreased contact angle hysteresis, what means that hydrophobic properties of PUR topcoat have been improved. It was also observed that spraying of nanosilica suspension on the top of PUR (sample 'Silica_Top') significantly reduced its wettability. Very high CA and very low CAH indicate that initially hydrophylic topcoat has been transformed to superhydrophobic surface. Such properties ensures very high water droplets repellency. Fig. 4 shows sessile water droplet on sample 'Silica_Top'. Measured CA was 149°.

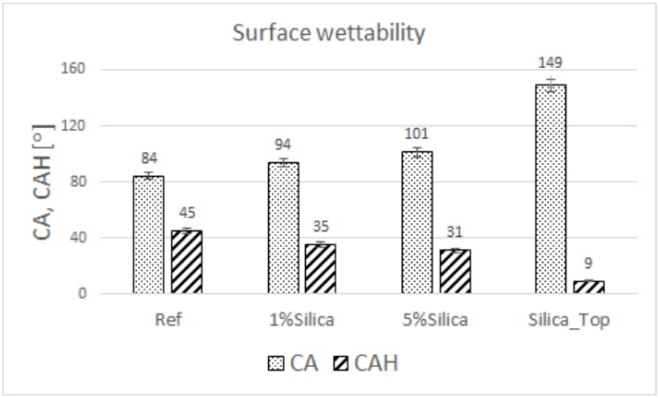


Fig.3. Surface wettability test results (CA and CAH)

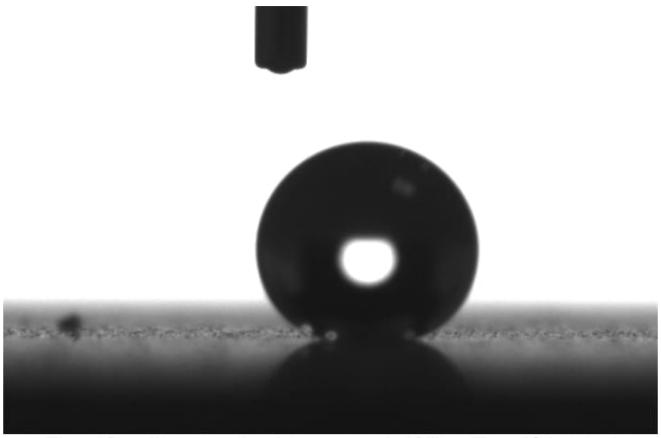


Fig.4. Sessile water droplet on sample 'Silica_Top' (CA=149°)

Fig. 5 shows surface microstructure of sample '5%silica'. The agglomerates of nano particles has been observed. On the basis of observed surface it can be stated that use of nano silica increases surface roughness. The high extent of voids and spaces in which air could be trapped leads to an improvement in water repellency behavior.

Conclusions

The presented results confirmed that the introduction of thermoplastic nonwovens containing carbon nanotubes allow to improve the conductivity of CFRP. Moreover, it was shown that the used nonwoven had a very good adhesion to carbon fibers, which also affects to the improvement of electrical properties. It was also revealed that modification of PUR topcoat by nano particles can significantly improve its hydrophobic properties and reduce water accumulation on CFRP laminate surface.

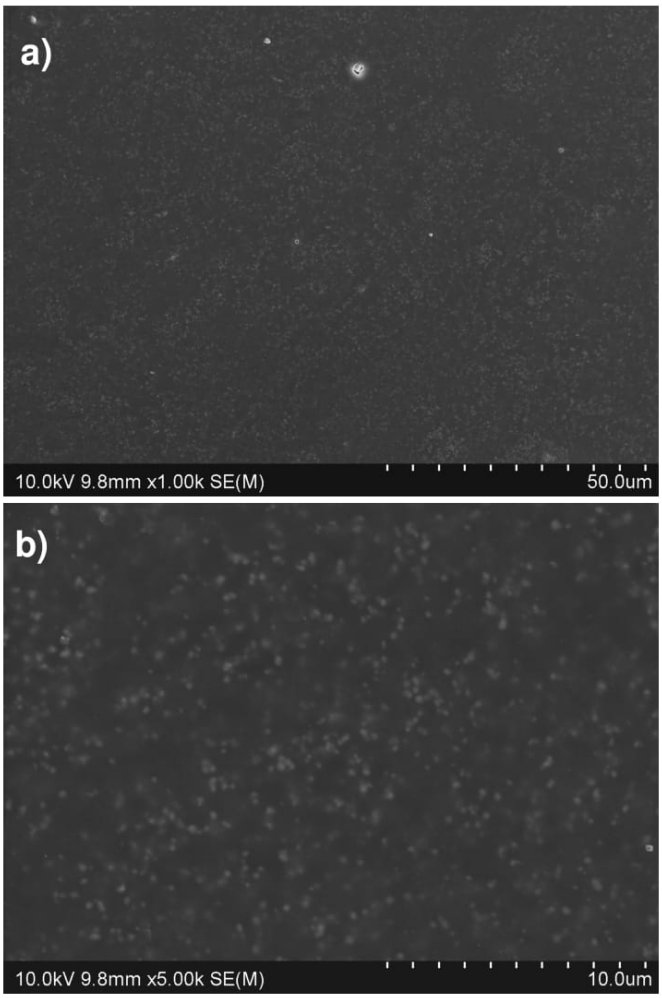


Fig.5. SEM microstructure observation of PUR topcoat with 5 wt.% of nano silica

Acknowledgements

The studies were financed by EU in the frame of Horizon 2020 projects: Phobic2ICE Grant no. 690819 and within grant no. DOB-1-3/1/PS/2014, financed by the National Centre for Research and Development.

References

I. F.L. Zhou, R.H. Gong, I. Porat, Nano-coated hybrid yarns using electrospinning. Surf Coatings Technol. 204 (2010) 3459–63.

II. M. Fogel, P. Parlevliet, P. Olivier, E. Dantras, Manufacturing of conductive structural composites through spraying of CNTs / epoxy dispersions on dry carbon fiber plies, Compos Part A-Appl S. 100 (2017) 40–47.

III. T.R.P Pozegic, I. Hamerton, J.V. Anguita, W. Tang, P. Ballocchi, P. Jenkins, et al, Low temperature growth of carbon nanotubes on carbon fibre to create a highly networked fuzzy fibre reinforced composite with superior electrical conductivity, Carbon. 74 (2014) 319–328.

IV. R.R. Bonaldi, E. Siores, T. Shah, Characterization of electromagnetic shielding fabrics obtained from carbon nanotube composite coatings, Synth Met. 187 (2014) 1–8.

V. S. Mazinani, A. Ajji, C. Dubois, Morphology, structure and properties of conductive PS/CNT nanocomposite electrospun mat, Polymer 50 (2009) 3329–3342.

VI. P. Latko-Durałek, J. Macutkievic, Ch. Kay, A. Boczkowska, T. McNally, Hot-melt adhesives based on co-polyamide and multi-walled carbon nanotubes, J Appl Polym Sci 135 (2017) 1-15. https://doi.org/10.1002/app.45999.

VII. P. Latko, A. Boczkowska, Fabrication of carbon nanotubes-doped veils, in: P.Ch. Wölcken, M. Papadopoulos (Eds.), Smart Intelligent Aircraft Structures (SARISTU), Springer. (2015) 815-824. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22413-8_43.

VIII. A. Boczkowska, P. Latko, Sposób wytwarzania włókien i włókniny z nanorurkami węglowymi. Patent nr PL 221848 B1, 2016.

IX. K. Dydek, P.Latko-Durałek, A. Boczkowska, M.Sałaciński, R.Kozera, Carbon Fibre Reinforced Polymers modified with thermoplastic nonwovens containing multi-walled carbon nanotubes, Compos Sci Technol. 173 (2019) 110-117.

X. S. Frankenstein, A.M. Tuthill, Ice Adhesion to Locks and Dams: Past Work; Future Directions, J. Cold Reg. Eng. 16 (2002) 83–96.

XI. J.L.Laforte et al., State-of-the-art on power line de-icing, Atmos. Res. 46 (1998) 143–158.

XII. L.O.Andersson et al., Ice adhesion to rubber material, J. Adhes. Sci. Technol. 8 (1994) 117–132.

XIII. V.K. Croutch, R.A. Hartley, Adhesion of Ice to Coating and the Performance of Ice Release Coating. J. Coat. Technol. 64 (1992) 41–52.

XIV. H. Saito, K. Takai, G. Yamauchi, S Water- and ice-repellent coatings surf. Coat. Int. 80 (1997) 168–171.

XV. P.Ky et al., Annual Safety Review 2017, European Aviation Safety Agency 2017

XVI. C.Antonini et al., Understanding the effect of superhydrophobic coatings on energy reduction in anti-icing systems, Cold Reg Sci Technol, 2011, Vol. 67, Issues 1–2, p. 58-67

XVII. T.Bharathidasan et al., Effect of wettability and surface roughness on ice-adhesion strength of hydrophilic, hydrophobic and superhydrophobic surfaces, 2014, Appl. Surf. Sci ,314, p. 241–250

XVIII. S.A.Kulinich et al., Ice adhesion on super-hydrophobic surfaces, Appl. Surf. Sci., 2009, p. 8153–8157