

Damian DZIANOK, Przemysław POSTAWA

Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Mechanicznych, Zakład Przetwórstwa Polimerów  
ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa

## Zastosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych w przemyśle

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano kompozyty, jako nowoczesne materiały konstrukcyjne stosowane we współczesnym świecie. Opisano podział materiałów kompozytowych wraz z ich właściwościami na podstawie, których możliwy jest ich prawidłowy dobór podczas procesu konstruowania. Kompozyty na bazie materiałów polimerowych stanowią bardzo złożone materiały, których właściwości zależne są od zastosowanych materiałów polimerowych oraz napelniaczy i sposobie ich ułożenia. Wiedza ta ma kluczowe znaczenie w spełnieniu określonych wymagań stawianych przez konstruktora. W publikacji przedstawiono przykłady zastosowania materiałów kompozytowych na bazie polimerów termoplastycznych i chemoutwardzalnych w różnych branżach od budownictwa począwszy a na lotnictwie skończywszy.

### USE OF MODERN COMPOSITE MATERIALS IN INDUSTRY

**Abstract.** This article explains what the composites are, what its origins are and how important role they play in the current world. Classification of composite materials and their properties on the basis of which it is possible to make the proper selection during the construction process are described, too. This knowledge is crucial because the product has to meet the specified requirements of the customer's construction material chosen by designers and it must be selected in the most optimal way. The paper presents examples of the use of composite materials based on thermoplastic polymers and chemo setting in various industries ranging from construction and ending on aviation.

### Wstęp

Pomimo swojej bardzo długiej historii, jako materiału konstrukcyjnego kompozyty przeżywają obecnie renesans swojego stosowania w różnych, często bardzo wyszukanych zastosowaniach. Powodem tego jest poznawanie bardzo złożonych zależności i oddziaływań pomiędzy napelniaczem a osnową polimerową oraz coraz to bardziej skomplikowane aplikacje, w których wykorzystuje się tą grupę materiałów. Z zapisów historycznych wynika, że kompozyty znalazły zastosowanie podczas budowy domów przez Izraelitów, którzy wykonywali cegły z mieszaniny błota, końskiej sierści i słomy natomiast Egipcjanie w tym czasie wytwarzali już drewnianą sklejkę. W czasach imperium rzymskiego z powodzeniem

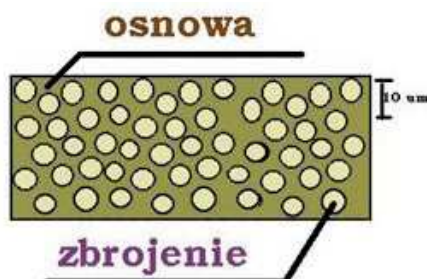
wytwarzano beton. Łuki wykonywane przez Mongołów były wytwarzane z połączonego za pomocą kleju drewna, jedwabiu oraz ścięgien zwierzęcych. Miecze oraz tarcze produkowano w średniowieczu z układanych warstwowo różnych materiałów tak, aby były jak najbardziej trwałe i charakteryzowały się dużą wytrzymałością. Rozwój kompozytów jest ściśle związany z rozwojem sposobów wytwarzania włókien syntetycznych. Wyścig zbrojeń podczas II wojny światowej również przyczynił się do rozwoju kompozytów, gdyż to wtedy odkryto sposób produkcji włókien szklanych. Kolejnym krokiem w rozwoju było powstanie znacznie wytrzymalszych włókien węglowych a następnie aramidowych (Kevlar®) [1].

Współcześni inżynierowie zmagają się z problemem doboru materiału na konstruo-

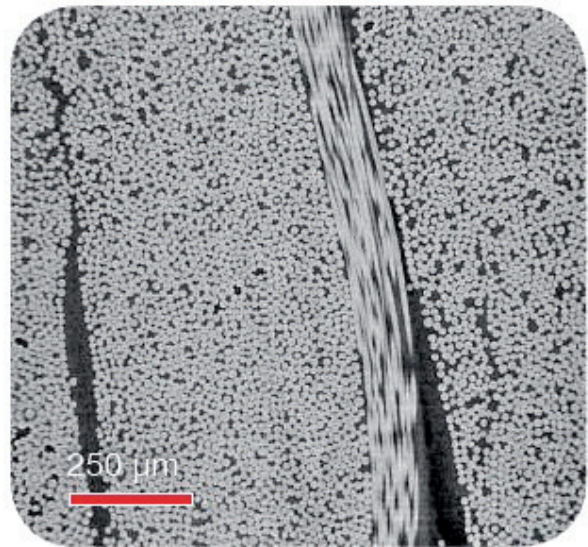
wane przez siebie przedmioty. Taka potrzeba przyczyniła się do zgłębienia wiedzy na temat materiału, który można wykonać w łatwy sposób, nadając mu jednocześnie określone właściwości mechaniczne. Mnogość badań, jakim zostały poddawane przez lata kompozyty będące mieszaniną różnych materiałów przyczyniła się do określenia zależności między procentową ilością określonych składników dodanych do kompozytu a jego właściwościami mechanicznymi. Obecnie przedmioty wykonane z materiałów kompozytowych można spotkać wszędzie gdyż stanowią podstawowy materiał konstrukcyjny zarówno prostych przedmiotów codziennego użytku, takich jak: meble czy profile okienne po bardziej zaawansowane, jak elementy karoserii samochodowej czy konstrukcji oraz poszycia samolotów. Obecne kompozyty różnią się zarówno technologią wykonania, jak i rodzajem oraz zawartością procentową składników.

### Pojęcia podstawowe

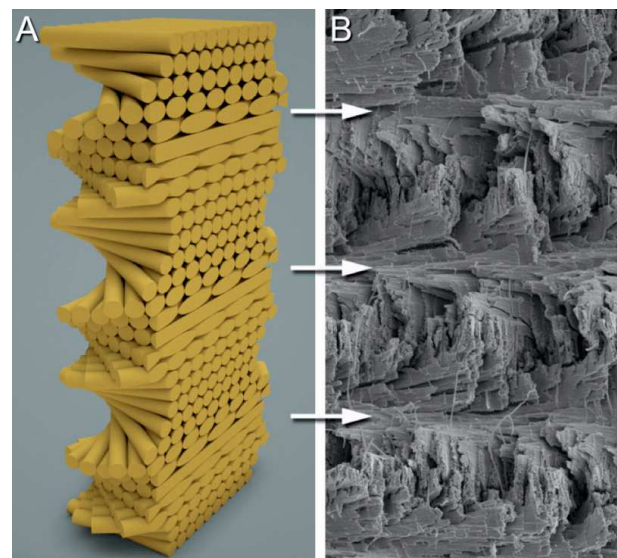
Kompozyt jest materiałem składającym się z minimum dwóch składników różniących się od siebie właściwościami, z których połączenia otrzymać można materiał o właściwościach odmiennych od prostego sumowania właściwości każdego ze składników. Jako materiały składowe kompozytów powinno dobierać się takie składniki, które po wzajemnym połączeniu niwelują swoje słabe strony potęgując jednocześnie mocne, wskutek tego otrzymuje się materiał o żądanych właściwościach. Kompozyty stanowią monolityczną bryłę jednak na



Rys. 1. Budowa kompozytu [1]



Rys. 2. Zdjęcie przedstawiające strukturę kompozytu [18]



Rys. 3. Spiralna struktura pancerza krewetki modliszkowatej [19]

poziomie makroskopowym dostrzec można wyraźne granice pomiędzy składnikami [2].

Każdy kompozyt składa się z osnowy oraz zbrojenia (rys. 1-3). Osnową nazywa się materiał, który wypełnia przestrzeń pomiędzy zbrojeniem, a szacowana zawartość w kompozycie waha się pomiędzy 20% a 80%.

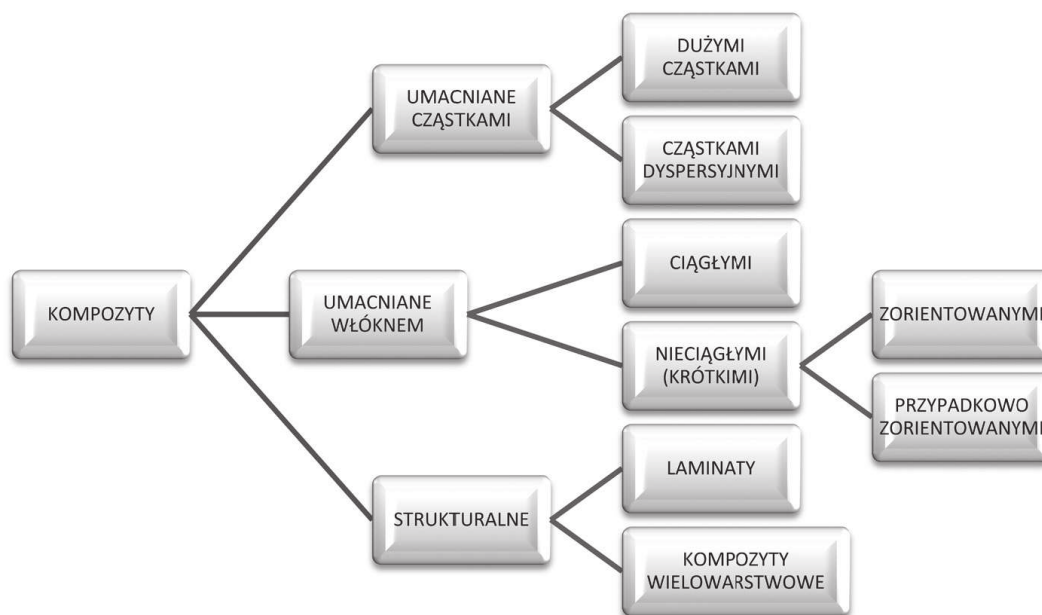
Jej zadaniem jest utrzymanie stałego położenia elementów zbrojących oraz przenoszenie

obciążeń na materiał zbrojenia. Osnową mogą być materiały takie jak: tworzywa sztuczne, które stosowane są najczęściej, ale także ceramika oraz metale [1]. Do osiągnięcia możliwie najlepszych właściwości konieczne są duże siły adhezji pomiędzy osnową i napełnieniem, to z kolei wymaga dobrej zwilżalności napełniacza polimerem.

Ułożenie włókien i ich ilość w kompozycie wpływa na właściwości mechaniczne, dlatego ważną rolę odgrywają badania jego struktury. Najprostszą metodą badania pozwalającą określić procentową ilość zawartości wypełniacza i osnowy są zdjęcia mikroskopowe przekroju poprzecznego próbek (rys. 2). Obecnie stosowane urządzenia bazujące na mikroskopii rentgenowskiej umożliwiają dokładne zobrazowanie struktury materiału oraz stworzenie wirtualnego trójwymiarowego modelu (rys. 3) gdzie możliwe jest dzielenie badanej próbki i analizowanie jej warstwa po warstwie.

### Podział kompozytów

W zależności od zastosowanego napełniacza i osnowy kompozyty można sklasyfikować na następujące grupy (rys. 4).



Rys. 4. Klasyfikacja kompozytów [3]

### Osnowa

Bardzo ważną funkcję w budowie i uzyskanych właściwościach materiałów kompozytowych pełni napełniacz i jego właściwości zarówno mechaniczne, jak i te związane z kształtem.

Przy wytwarzaniu kompozytów o osnowie z tworzyw polimerowych stosuje się:

- Tworzywa termoutwardzalne, które swoją popularność zyskały dzięki prostocie procesu kształtowania wyrobów. Dzięki plastyczności płynnej strukturze z łatwością zapełnia się puste przestrzenie między włóknami w temperaturze otoczenia. Główną zaletą tej osnowy jest duża sztywność oraz odporność na temperaturę. Do wad tego materiału należy duża higroskopijność, mała udarność, niewielkie wydłużenie oraz brak możliwości ponownego przetworstwa (utrudniony recykling) [4].

- Tworzywa termoplastyczne są to takie, które pod wpływem podwyższonej temperatury oraz podwyższonego ciśnienia przechodzą w stan plastyczny aż do płynnego, natomiast po ochłodzeniu wracają do postaci stałej. Proces uplastyczniania oraz ochładzania można przeprowadzać wielokrotnie, co pozwala

na ich recykling a następnie ponowne wykorzystanie. Proces recyklingu dla samego tworzywa jest czynnością bardzo prostą, natomiast recykling kompozytu w skład, którego wchodzi tworzywo termoplastyczne już nie. Trudność polega na dokładnym oddzieleniu osnowy od pozostałych materiałów wchodzących w skład kompozytu. Zapewnienie czystości tak odzyskanego termoplastu jest rzeczą trudną i wymagającą dużego nakładu finansowego, co przy obecnych cenach popularnych tworzyw termoplastycznych jest rzeczą nieopłacalną [5].

- Tworzywa chemoutwardzalne są to tworzywa zawierające nieprzereagowane grupy funkcyjne występują w stanie ciekłym, natomiast po dodaniu związków, które reagują z tymi grupami następuje ich sieciowanie a następnie utwardzenie. Osnowa z tworzywa chemoutwardzalnego, która zakończyła proces sieciowania staje się nierozpuszczalna, co oznacza, że nie nadaje się do ponownego przetwarzania. Tworzywa chemoutwardzalne charakteryzują się zwykle gorszymi właściwościami wytrzymałościowymi w porównaniu z termoutwardzalnymi. Dzieje się to na skutek słabszego usieciowania tego tworzywa, co skutkuje jego mniejszą sprężystością i podatnością na odkształcenia [6].

Najczęściej stosowanymi a zarazem znajdującymi największe zastosowanie w przemyśle żywicami są żywice poliestrowe i epoksydowe.

**Żywice poliestrowe** stosowane są, jako osnowa dla materiałów konstrukcyjnych. Żywice te charakteryzują się łatwością przesycania włókna i stosunkowo niską ceną. Proces tech-

nologiczny kształtowania kompozytów zawierających tą osnowę jest łatwy, co sprawia, że generuje niewielkie koszty, czym staje się atrakcyjnym materiałem dla przedsiębiorców [6].

Żywice epoksydowe mają znacznie gorsze zdolności przesycania oraz są droższe od żywic poliestrowych. Najczęściej stosuje się je jako kleje, gdyż wykazują się dużą adhezją do tworzyw sztucznych, szkła, ceramiki, drewna oraz metali [6].

W zależności od gatunku żywicy osnowy są utwardzane za pomocą utwardzacza natomiast inne pod wpływem inicjatora oraz katalizatora. Dla żywic epoksydowych odpowiednie dawkowanie odbywa się po uprzednim obliczeniu proporcji stosowania poszczególnych składników na podstawie zaleceń podanych przez producenta. Natomiast dla żywic poliestrowych oraz winylo-estrowych udział procentowy każdego ze składników zmienia się w pewnym zakresie określonym i podanym przez producenta. Żywice będące w stanie płynnym zawierają rozpuszczalniki, takie jak: ftalany butylowy, styren lub ester butyloglicydowy, które podczas zestalania kompozytu parują a ich opary są szkodliwe dla zdrowia. Żywice te powinny być przetwarzane w pomieszczeniach obficie wentylowanych a pracownicy wyposażeni w środki ochrony osobistej [6].

### Napełniacze

Drugim składnikiem kompozytu jest zbrojenie (rys. 5.) w postaci cząsteczek bądź włó-



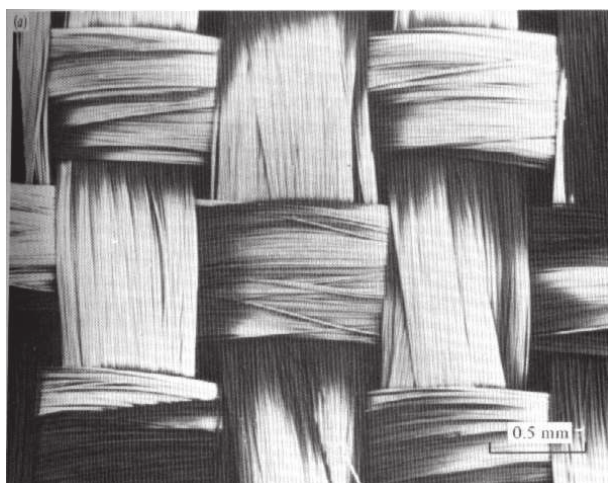
Rys. 5. Rodzaje zbrojenia kompozytów [7]

kien (krótkich lub długich), którego zawartość może wynosić od 20% do nawet 80%.

Napełniacz (zbrojenie) pełni głównie rolę wzmacniającą, jednak czasem jest dodawany w celu zwiększenia gęstości lub zmniejszenia objętości osnowy (zmniejszenie ceny kompozytu). W większości zastosowań przyczyną jego zastosowania jest poprawa właściwości mechanicznych między innymi, takich jak: zwiększenie granicy plastyczności oraz modułu sprężystości wzdłużnej [8].

### Materiały stosowane na napełniacze

Kompozyt zbrojony włóknami (rys. 6) to taki, który w celu jego wzmocnienia stosuje się wszelkiego rodzaju włókna, które są elementem nośnym a osnowa stanowi materiał

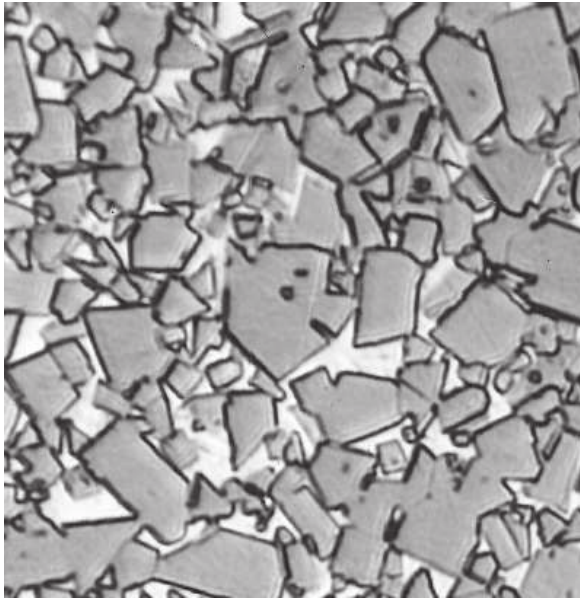


Rys. 6. Kompozyt wzmocniony włóknami [20]

łączyjący oraz ochronny przed czynnikami zewnętrznymi. Osnowa jedynie w niewielkim stopniu przenosi obciążenia pochodzące z zewnątrz co czyni, że odpowiedzialnym za to jest materiał wypełniający. Kompozyty te są najefektywniejszymi wśród materiałów kompozytowych, gdyż charakteryzują się dużą wytrzymałością mechaniczną przy małym ciężarze właściwym. W porównaniu z kompozytami zbrojonymi cząsteczkami lub dyspersyjnie, jedyną wadą jest ich z reguły wyższa cena.

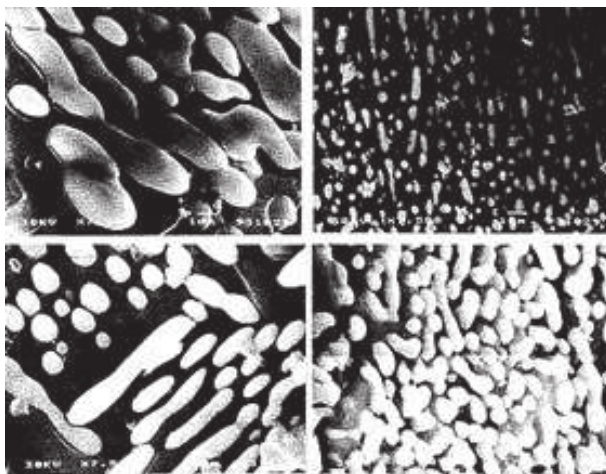
Zachowanie się kompozytów na poziomie makroskopowym zależy głównie od ich mikroskopowej orientacji i jednorodnego rozmieszczenia włókien. Jego mikroskopowa budowa zależy od technologii procesu produkcji, jego powtarzalności oraz od bieżącej kontroli, która w szybki sposób wychwyci i zapobiegnie wszelkim błędom produkcyjnym. Najdokładniejsza kontrola nie zapobiegnie jednak powstawaniu nadmiernego zagęszczenia włókien w pewnych obszarach a ich braku w innych. Skutkiem tych nieuniknionych zjawisk jest duża różnorodność modułów sprężystości oraz charakterystyk wytrzymałościowych dla wyprodukowanego kompozytu. Badania wykonane dla dwóch makroskopowo takich samych próbek, przeprowadzone w ten sam sposób przy zachowaniu tych samych parametrów, mogą dać różniące się o przeszło kilkadziesiąt procent wyniki. Dlatego każdy, kto zamierza wykorzystać kompozyt zbrojony włóknami musi z dużym dystansem podchodzić do specyfikacji zamieszczonej przez producenta. Niektóre państwa wprowadziły procedury oparte na obliczeniach statystycznych, które mają za zadanie określenie charakterystyk materiałowych mogących mieć zastosowanie przy projektowaniu. Jednym z najistotniejszych powodów, dla których stosuje się włókna jest ich duża sztywność oraz wytrzymałość wielokrotnie przekraczająca wartości materiału, z którego jest wykonane włókno. Różnica ta bierze się stąd, że krystaliczna struktura włókna jest doskonalsza od nieorientowanej struktury materiału wyjściowego oraz liczba statystycznych wad sieci krystalicznej w cienkim włóknie jest dużo mniejsza niż w znacznie większej objętości materiału [9].

**Kompozyt zbrojony cząstkami** (rys. 7) to taki, w którym za przenoszenie obciążeń pochodzących z zewnątrz odpowiada zarówno osnowa jak materiał zbrojenia, czyli cząstki. Cząsteczki charakteryzują się zwykle większą twardością oraz sztywnością od osnowy. Wzmocnienie kompozytu cząstkami polega na zapobieganiu odkształcenia matrycy w obszarach gdzie usytuowana jest każda z powierz-



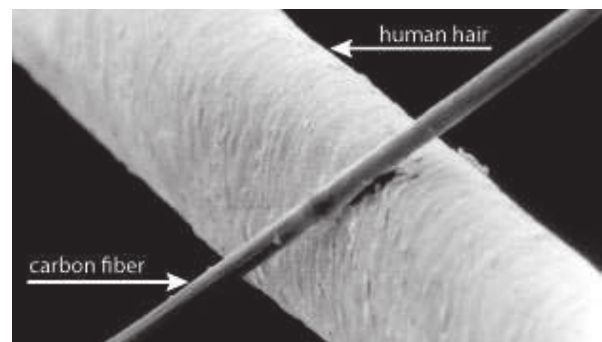
Rys. 7. Kompozyt wzmocniony cząsteczkami (CERMET o osnowie Cu z cząsteczkami węgla (TiC, WC)) [17]

chni cząstki. Aby cząstki dostatecznie wzmocniały kompozyt powinny występować w znacznych ilościach od 20% do nawet w skrajnych przypadkach 90%. Zachowanie odpowiednich proporcji doboru składników nie jest jedynym warunkiem otrzymania kompozytu o zakładanych parametrach, gdyż na ich właściwości wpływają również czynniki takie jak równomierne rozłożenie w całej objętości kompozytu oraz powtarzalność wymiarów tych cząstek [9].



Rys. 8. Kompozyt wzmocniony dyspersyjnie [15]

**Kompozyt zbrojony dyspersyjnie** (rys. 8) to taki, w którym osnową jest metal natomiast cząstki zbrojenia wykonane są z ceramiki lub metali o gramaturze od 0,01 do 0,1  $\mu\text{m}$ . W porównaniu z kompozytami zbrojonymi cząstkami materiał zbrojenia dla kompozytu zbrojonego dyspersyjnie stosuje się w ilościach do 15% objętości kompozytu. Różnicą pomiędzy tymi dwoma rodzajami zbrojenia jest nie tylko ilość materiału zbrojenia, ale również to, że wzmocnienie odbywa się na poziomie mikroskopowym co powoduje utrudnienia ruchu tych cząsteczek względem osnowy. Przenoszenie obciążeń spoczywa tutaj głównie na materiale osnowy a poprawa właściwości mechanicznych kompozytu w warunkach umiarkowanych temperatur jest słabo zauważalna. Zbrojenie tego typu zauważalne jest dopiero w warunkach podwyższonych temperatur wynoszących 80% jego topnienia, gdyż w tych warunkach niewielka nawet ilość cząstek pozwala na poprawę odporności na pełzanie [9].



Rys. 9. Porównanie średnicy włókna węglowego z ludzkim włosiem [16]

Najczęściej stosowanymi włóknami do zbrojenia kompozytu są: włókna szklane, włókna grafitowe, włókna węglowe (rys. 9) i włókna organiczne.

**Włókna szklane** to najstarsze i najczęściej stosowane zbrojenie kompozytów. Ich zastosowanie sięga prawie wszystkich gałęzi przemysłu a stosuje się je między innymi w lotnictwie, przemyśle motoryzacyjnym (rys. 10.), szkutnictwie, elektronice oraz budownictwie.



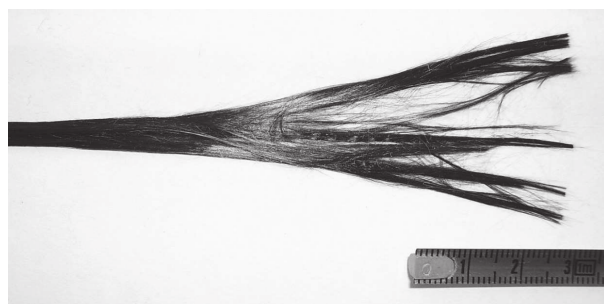
Rys. 10. Owiewka motocyklowa wykonana z włókna szklanego [11]

Włókna te występują najczęściej w dwóch odmianach E i S jednak istnieją również odmiany C, M, A, D (tab.1). Włókna typu E mają gorsze właściwości mechaniczne natomiast są znacznie tańsze od typu S, który stworzono na potrzeby militarne. Z racji niskich cen obecnie stosowane są najczęściej włókna typu E [9].

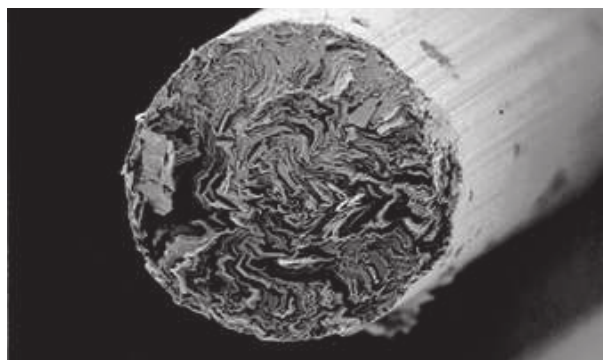
Tab. 1. Odmiany włókna szklanego [10]

Oznaczenie literowe	Charakterystyka
E, electrical	Niska przewodność elektryczna
S, strength	Wysoka wytrzymałość mechaniczna
C, chemical	Wysoka wytrzymałość chemiczna
M, modulus	Wysoka sztywność
A, alkali	Wysoko zasadowe lub sodowo-wapienne szkło
D, dielectric	Niska stała dielektryczna

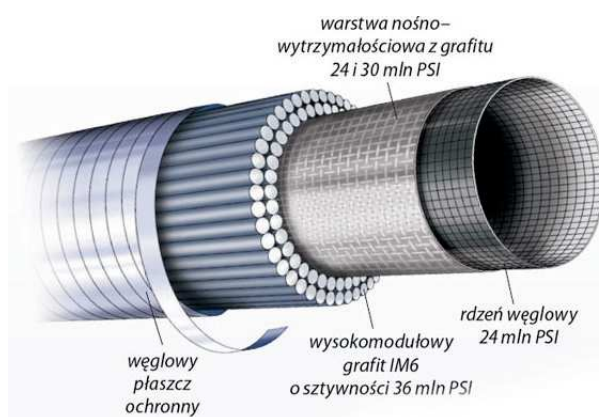
**Włókno grafitowe** (rys. 12, 13) jest stosowane już od lat 50-tych XX w. Włókna te charakte-



Rys. 12. Włókna grafitowe [21]



Rys. 13. Przekrój poprzeczny włókna grafitowego [22]



Rys. 14. Wędka Dragon „spinning millenium” wykonana między innymi z włókna grafitowego [12]

ryzują się dużo lepszymi właściwościami mechanicznymi w porównaniu z włóknami szklanymi natomiast są znacznie droższe, co sprawia, że konstruktorzy sięgają po nie w zaawansowanych aplikacjach. Włókna te można podzielić na trzy grupy funkcyjne: włókno wysokomodułowe, włókno ultrawysokomodulowe i włókno wysokowytrzymałe [9]. Obecnie stosowane są wszędzie tam, gdzie niewystarczające jest stosowanie włókien węglowych lub w połączeniu z nimi w taki sposób, aby poprawić ich właściwości mechaniczne. Są to elementy najczęściej przenoszące duże obciążenia i od których wymaga się znacznej wytrzymałości, przykładem mogą być wędki „spinning millenium” (rys. 14) produkowane przez firmę Dragon, gdzie zastosowano nie tylko włókno węglowe, ale również grafitowe czy narażone na znaczne obciążenia konstrukcje (rys. 15).



Rys. 15. Konstrukcja wykonana przy użyciu włókna grafitowego [23]

**Włókna węglowe** to również włókna grafitowe (rys. 16), lecz o mniej uporządkowanej strukturze, gdyż występują w nich zarówno obszary zbliżone strukturą do krystalicznego grafitu, jak i obszary całkowicie tej struktury



Rys. 16. Wzmocnienie wykonane przy zastosowaniu włókna węglowego [24]

pozbawione. Włókna te posiadają znacznie gorsze właściwości mechaniczne w porównaniu z włóknami grafitowymi natomiast są od nich tańsze [9].

Włókna węglowe stosowane są do produkcji zbiorników wysokociśnieniowych jakimi są butle na gaz ziemny (rys. 17). Zaletą jest nie tylko ich wysoka wytrzymałość ale również to, że butle wykonane z włókna węglowego na sku-



Rys. 17. Butla wykonana z włókna węglowego [13]

tek zbyt dużego ciśnienia lub uszkodzenia mechanicznego nie eksplodują, jak ma to miejsce w przypadku zbiorników stalowych. Butle te są znacznie bezpieczniejsze od ich stalowych poprzedników, gdyż pęknięcie korpusu tej butli bardziej przypomina jej rozszczelnienie dając osobom znajdującym się w jej otoczeniu czas na szybkie oddalenie się.

**Włókna organiczne** stosowane były od bardzo dawna a zaliczyć do nich można bawełnę, szał i jutę. Z racji niskich właściwości wytrzymałościowych nie znalazły one szerokiego zastosowania w przemyśle. Przełomowym materiałem dla włókien organicznych stało się włókno aramidowe, które znalazło zastosowanie z racji swoich bardzo dobrych właściwości mechanicznych w najbardziej odpowiedzialnych konstrukcjach. Kompozyty zbrojone tym włóknem można spotkać w przemyśle zbrojeniowym, lotniczym, samochodowym oraz sportowym. Nazwą handlową tego włókna jest Nomex lub Kevlar. Jest to obecnie najbardziej wytrzymały materiał stosowany do zbrojenia kompozytów, jednak z uwagi na jego wysokie ceny jest on stosowany głównie tam, gdzie zawodzą inne materiały. Można go spotkać również w połączeniu z włóknami grafitowymi lub włóknami szklanymi typu E, które są stosowane wyłącznie po to, aby obniżyć koszty wykonania detali [9].

Przykładem mogą być kamizelki kuloodporne (rys. 18) stosowane przez wojsko i poli-





Rys. 18. Kamizelka kuloodporna wykonana z Kevlaru [14]

cję posiadające wkładki kompozytowe zbrojone włóknami aramidowymi.

### Podsumowanie

Kompozyty, jako materiały konstrukcyjne o złożonej budowie, dzięki swoim właściwościom i możliwościom modyfikacji poprzez zastosowanie różnych materiałów osnowy i napelnacza oraz różnego ułożenia ich względem siebie dają nieograniczoną wręcz możliwość kreowania właściwości wytwarzanych z tych materiałów produktów. Bardzo dynamicznie rozwijająca się branża materiałów kompozytowych dotyczy w szczególności lotnictwa i wszelkiego rodzaju produktów, tzw. specjalnych, które bardzo często produkowane są w bardzo małych seriach (komponenty kabin tramwajów i innych pojazdów komunikacyjnych oraz pojazdów specjalnych). Bardzo ważnym czynnikiem decydującym o poprawnej konstrukcji jest przewidzenie działających na projektowany element sił i obciążeń (głównie ich wartości i kierunków) i odpowiedni wybór napelnacza i jego ułożenie w wytwarzanym elemencie konstrukcyjnym. Nie bez znaczenia jest również wybór technologii wytwarzania i zastosowany materiał osnowy, który determinuje metodę wytwarzania.

W kolejnej publikacji zostaną przedstawione wyniki badań materiałów kompozytowych stosowanych do wytwarzania elementów wozów bojowych w pożarnictwie.

### Literatura

1. Kompozyty. <http://www.google.pl/url?url=http://zip2012.googlecode.com/svn/trunk/Nauka%2520o%2520materia%25C5%2582ach/Materia%25C5%2582y%2520kompozytowe%2520bez%2520drewna/KOMPOZYTY.ppt&rct=j&q=&esrc=s&sa=U&ei=RoTGVNv8AonralBygKAD&ved=0CBkQFjAB&usg=AFQjCNHHEGIDgSEVoJPPuu2t0qMD7-de1Q>. Z dnia 26.01.2015.
2. Kompozyt. Nowa encyklopedia powszechna PWN. Warszawa 1995.
3. Wytwarzanie kompozytów. [http://www.kmimp.agh.edu.pl/pliki/cz7\\_1.pdf](http://www.kmimp.agh.edu.pl/pliki/cz7_1.pdf). Z dnia 26.01.2015.
4. Instrukcja dla studentów. Kompozyty polimerowe – własności, zastosowanie, wytwarzanie. Politechnika Śląska w Gliwicach.
5. Tworzywa sztuczne. [http://www.pspjaworzno.pl/Dok\\_pdf/Technika/Tworzywa%20sztuczne.pdf](http://www.pspjaworzno.pl/Dok_pdf/Technika/Tworzywa%20sztuczne.pdf). Z dnia 26.01.2015.
6. Śleziona J.: Podstawy technologii kompozytów. Gliwice 1998.
7. Kompozyty. <http://zip2012.googlecode.com/svn/trunk/Nauka%20o%20materia%C5%82ach/Materia%C5%82y%20kompozytowe%20bez%20drewna/KOMPOZYTY.ppt>. Z dnia 26.01.2015.
8. Badanie własności wybranych kompozytów o osnowie polimerowej, metalowej, i ceramicznej. Politechnika śląska w Gliwicach. Gliwice 2002.
9. German J.: Materiały kompozytowe w budownictwie. Kalejdoskop budowlany, PWB, Warszawa, nr 6, str. 14-17, czerwiec 2000.
10. Odmiany włókna szklanego [http://www.baltazar-kompozyty.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=134:wlokna-szklane-cz-1&catid=15&Itemid=46](http://www.baltazar-kompozyty.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=134:wlokna-szklane-cz-1&catid=15&Itemid=46). Z dnia 26.01.2015.
11. <http://ktmsklep.pl/powerparts/produkt/173167/przednia-owiewka-z-wlokna-szklanego>. Z dnia 02.03.2015.
12. <http://www.firmadragon.pl/images/stories/oferta/wedki/millennium/przekroj-millennium.jpg>. Z dnia 02.03.2015.
13. <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/pressure-vessels/nanos-in-the-pressure-vessel>. Z dnia 01.02.2015.
14. <http://www.serendipite-strategique.com/exemples/kevlar.html>. Z dnia 02.03.2015.

15. J. German.: Materiały kompozytowe podstawowe informacje. Politechnika krakowska im. T. Kościuszki.
16. <http://carbomid.com.tr/carbon-fiber-characteristics/?sa=X&ved=0CB0Q9QEwBGoVChMI46vdn8T-xgIVJilyCh0OWgD5>. Z dnia 02.03.2015.
17. „Materiais compósitos” <http://slideplayer.com.br/slide/344354/>. Z dnia 02.03.2015.
18. „X-Ray Microscopy Analysis (XRM) Of Fiber-Reinforced Composite Materials” <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8530>. Z dnia 02.03.2015.
19. „Mantis Shrimp Stronger than Airplanes” <http://ucrtoday.ucr.edu/21670>. Z dnia 02.03.2015.
20. „The Design of Composite Materials and Structures” <http://www.mse.mtu.edu/~drjohn/my4150/class1/class1.html>. Z dnia 02.03.2015.
21. „Produkcja włókien węglowych” <http://materialy-inzynierskie.pl/wlokna-weglowe/>. Z dnia 02.03.2015.
22. „High impact resistance; Amorphous Carbon Fiber” [http://www.ngfworld.com/en/en\\_fiber/en\\_shock\\_resistance.html](http://www.ngfworld.com/en/en_fiber/en_shock_resistance.html). Z dnia 02.03.2015.
23. „Composite Structures” <http://www.aerooptimal.com/industries/composite-structures>. Z dnia 02.03.2015.
24. <http://www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=e99008e1-8abd-4ed3-8c43-b73fecab2c84>. Z dnia 02.03.2015.