

JASTRZĘBSKA Mariola¹
 JURCZAK Wojciech²

Nowoczesne materiały kompozytowe do produkcji sprzętu sportowo – rekreacyjnego

Kompozyty, sprzęt sportowy,

Streszczenie

Pierwsze kompozyty polimerowe używane w przemyśle rekreacyjnym były wytwarzane z polimerów termoutwardzalnych, głównie żywic poliestrowych i epoksydowych wzmocnianych włóknami szklanymi. W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój wytwarzania kompozytów na podstawie termoplastów oraz zastosowań wzmocnień z włókien karbonizowanych, aramidowych, organicznych włókien naturalnych. Oczekuje się, że nowoczesne materiały kompozytowe wykorzystywane w budowie sprzętu sportowo - rekreacyjnego nie będą oddziaływały negatywnie na środowisko oraz były łatwe w recyklingu. Materiały te powinny również wykazywać zbliżoną lub lepszą wytrzymałość w porównaniu z materiałami konwencjonalnymi.

W pracy omówiono nowoczesne materiały kompozytowe używane do produkcji sprzętu sportowo – rekreacyjnego (np. łodzi, nart, rowerów czy rakiet tenisowych).

ADVANCED MATERIALS IN SPORTS AND LEISURE EQUIPMENT

Abstract

The first polymer composites used in the leisure industry were made from thermosetting polymers, mainly polyester and epoxy resins reinforced with glass fibres. In recent years there has been considerable development of composites based on thermoplastics and application of carbonized fibre reinforcements, aramid, organic natural fibre. It is expected that modern composite materials used in the construction of sports and leisure equipment not have an adverse effect on the environment and are easy to recycle. These materials should also exhibit similar or greater strength than conventional materials.

In this paper characteristics of modern composite materials used to production sports and leisure equipment (such as boats, skis, bicycles and tennis rackets) is presented.

1. WSTĘP

Wartość światowej sprzedaży produktów sportowych w 2006 roku wynosiła 250 bilionów \$, a w 2015 roku osiągnie wartość 303 biliony dolarów \$ według raportu Global Industry Analysts, Inc [1]. Ciągły wzrost zapotrzebowania na sprzęt sportowy wpływa na rozwój nowych materiałów i ich procesów produkcji. Postęp w dziedzinie materiałów znacząco zmienił sprzęt sportowy i rekreacyjny. Należy pamiętać, że projektując taki sprzęt należy dobierać materiały o następujących właściwościach: małej gęstości, dużej wytrzymałości, plastyczności i twardości oraz o niskim koszcie wytwarzania.

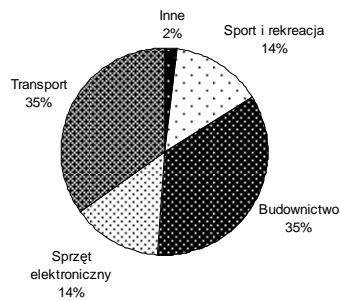
Na początku do produkcji sprzętu sportowego i rekreacyjnego były używane następujące materiały: drewno, sznurek, kauczuk, następnie metale, polimery, ceramika a dzisiaj używa się głównie kompozytów. Do korzystnych cech ogólnotechnicznych kompozytów, oprócz ich dużej wytrzymałości, zalicza się:

- swobodę kształtowania produktu pod względem rozmiarów, dowolnie stopniowanej grubości, możliwości tworzenia integralnych otworów oraz wtopienia elementów metalowych,
- gładkość powierzchni (ułatwiająca utrzymanie czystości) i możliwość regulowania faktury produktu,
- wysoką żywotność starzeniowo-korozyjną, odporność na działanie bakterii,
- ponad dwudziestoletnią trwałość większości cech fizycznych,
- niską pochłaniałość wody,
- amagnetyczność.

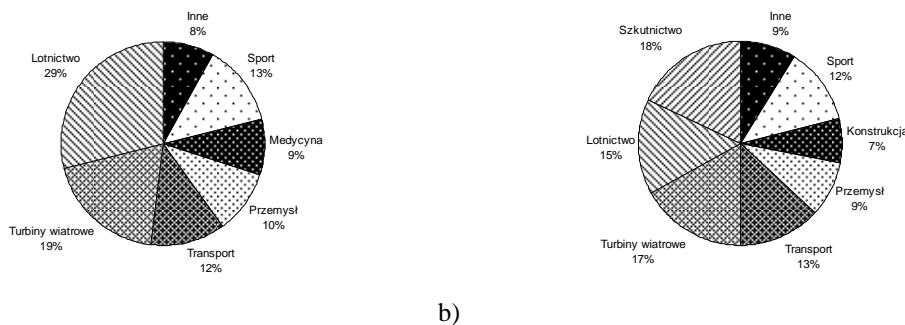
Kompozyty służą więc do otrzymania 7 z 10 produktów sportowych i rekreacyjnych. Szklane i węglowe wzmocnienia w kompozytach (pojedyncze jak i hybrydowe z innymi włóknami) zastąpiły drewno i metal w wędkach, rakietach tenisowych, wiosłach, masztach, hokejowych kijach i ramach rowerowych. W 2011 roku w Europie produkcja kompozytów wzmocnianych włóknami szklanymi wynosiła 1,049 milionów ton, ze czego 14% zastosowano do otrzymania sprzętu sportowego (Rys.1.) [1]. Natomiast światowa produkcja włókien węglowych w 2010 roku wynosiła 33 tys. ton., a 12-13%, w zależności rodzaju żywicy, zostało użyte do produkcji sprzętu sportowego (Rys.2.) [2].

¹Akademia Morska w Gdyni, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa; 81-225 Gdynia.; ul. Morska 83.
 Tel: +48 58 690-16-04, Fax: +48 586206701, E-mail: Mariola@am.gdynia.pl

²Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Mechaniczno-Elektryczny; 81-105 Gdynia; ul. Śmidowicza 69.
 Tel: + 48 58 626-26-16, Fax: + 48 58 620-30-91, E-mail: w.jurczak@amw.gdynia.pl



Rys. 1. Zastosowanie kompozytów wzmacnianych włóknami szklanymi w Europie w 2011 roku. [Witten E.: The European GRP market, AVK, September 2011.]



a)

b)

Rys.2. Zastosowanie włókien węglowych a) z żywicą epoksydowa i/ lub fenolową b) z żywicą poliestrową [Jahn B.: The global CRP market, CCEV, September 2011.]

W Polsce, według Polskiej Izby Przemysłu Jachtowego i Sportów Wodnych, działa około 900 firm w przemyśle jachtowym i rocznie sprzedają około 17000 jednostek pływających, z czego 95% produkcji jest eksportowana [3]. Szacuje się, że roczna produkcja kompozytów w Polsce wynosi 80 tys. ton i głównie ukierunkowana jest na budowę jachtów i łodzi wykonanych z żywicy poliestrowej i włókien szklanych [4].

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW STOSOWANYCH DO PRODUKCJI SPRZĘTU SPORTOWEGO I REKREACYJNEGO

Głównymi składnikami kompozytów są osnowa oraz wzmocnienie. Obecnie dominują kompozyty o osnowach polimerowych, które stanowią ponad 90 % zastosowań tych materiałów. Wśród polimerowych kompozytów przeważają materiały o osnowach duroplastycznych, są to:

- nienasycone żywice poliestrowe (najtańsze, ponad 80 % osnów duroplastycznych);
- żywice winylestrowe (posiadające zwiększoną chemoodporność);
- żywice epoksydowe.

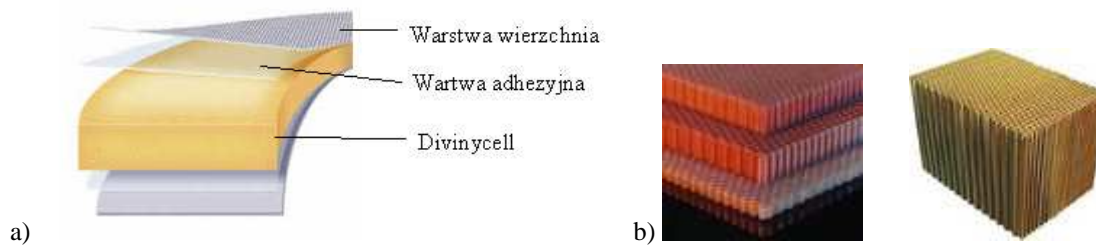
Osnowy termoplastyczne (np. polietylen, polichlorek winylu) systematycznie zwiększają swój udział w materiałach kompozytowych, ze względu na lepszą podatność na recykling.

Wzmocnieniem polimerowych kompozytów dzieli się na ziarniste i włókniste. Zastosowanie włókien do kompozytów pozwala podwyższyć wskaźniki wytrzymałości materiału. Do najczęściej stosowanych włókien należą:

- włókna szklane (około 90% całości wzmocnień włóknistych),
- włókna węglowe i grafitowe,
- włókna aramidowe (Kevlar),
- włókna polietylenowe, włókna poliestrowe,
- włókna naturalne.

Włókna mogą być ułożone w jednym kierunku, tkane lub ułożone dowolnie np. maty zawierających nietkane i przypadkowo zorientowane włókna luźno powiązane.

W celu obniżenia masy kompozytów wprowadzono konstrukcje przekładkowe tzw. „sandwicz” z rdzeniem w postaci spienionego polimeru np. Divinycell (DIAB) (Rys. 3.a) [5] lub z rdzeniem w kształcie plastra miodu (np. Nomex Honeycomb, Kevlar™ Honeycomb) (Rys.3.b) [6].



Rys.3. Konstrukcje przekładkowe a) z rdzeniem w postaci spienionego polimeru z polichlorku winylu lub b) z rdzeniem o strukturze plastra miodu [http://www.corecomposites.com/composites/core/honeycomb/nomex/, http://www.diabgroup.com/europe/concept/e_concept_1.html]

Ostatnio też coraz częściej stosuje się kompozyty hybrydowe, w których kolejne warstwy stanowią tkaniny z różnego rodzaju włókien zarówno szklanych, węglowych czy aramidowych jak i termoplastycznych czy naturalnych.

Zasadniczym warunkiem otrzymania zamierzonych właściwości kompozytów jest odpowiednie związanie ze sobą osnowy i włókien. Powiązanie między składnikami kompozytu zależy od wielu czynników, m.in. od charakterystyki obu materiałów, sił adhezji powierzchni spoiwa i wzmocnienia, obecności wad w postaci pęcherzy i pęknięć.

2.1 Spoiwo

Najczęściej spoiwem są różnego typu polimery: duroplasty lub termoplasty. O wyborze spoiwa w dużym stopniu decyduje temperatura pracy. Najbardziej rozpowszechnione i najtańsze są kompozyty z polimerów termoutwardzalnych. Na początku była używana ortoftalowa żywica poliestrowa (nadal stosowana w polskich zakładach), potem izoftalowa i winyloesterowa i coraz częściej żywica epoksydowa. Zastosowanie żywic epoksydowej zmniejsza masę i poprawiającą wytrzymałość kompozytów. Mimo, że jest ona droższa to posiada następujące zalety:

- lepsze właściwości adhezyjne (zdolność łączenia ze wzmocnieniem),
- bardzo dobre właściwości mechaniczne (szczególnie wytrzymałość i twardość),
- wzmacnia odporność na zmęczenie i mikropęknięcia,
- zmniejsza wpływ degradacji wody na pogorszenie właściwości w skutek penetracji,
- zwiększa odporność na osmozę (degradację powierzchni w skutek przenikalności wody).

Polimery stosowane jako spoiwo można modyfikować chemicznie w celu spełnienia niektórych wymagań. Jednak czasem modyfikacja np. w celu redukcji emisji niebezpiecznych związków (np. styrenu) powoduje obniżenie odporności na hydrolizę materiałów (powstają pęcherze), co jest niepożądane w sprężeniu wodnym. W związku z obecnością styrenu (ok. 30-40%) w żywicach poliestrowych wciąż aktualny jest problem zmniejszenia emisji styrenu podczas przetwórstwa tych żywic. Na rynek wprowadza się żywice poliestrowe o obniżonej emisji styrenu (LSE). W Polsce producentem żywic poliestrowych są Zakłady Organiczne – Sarzyna S.A., w których produkty Polimal oznaczone literą A są żywicami ekologicznymi o obniżonej emisji styrenu. W celu zmniejszenia emisji styrenu można dodać parafinę i dimeryzowane kwasy tłuszczowe lub zmniejszyć parowanie styrenu poprzez zastosowanie amidów kwasów tłuszczowych i soli kwasów tłuszczowych z metalami dwuwartościowymi [7]. Ograniczenia stężenia emisji styrenu w powietrzu w czasie przetwórstwa kompozytów z żywicy poliestrowej związane jest z toksycznością styrenu. Badania medyczne wykazały, że długotrwałe działanie par styrenu na organizm ludzki powoduje pogorszenie funkcjonowania układu nerwowego, a także wywołuje podrażnienie oczu, skóry i górnych dróg oddechowych.

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są spoiwa termoplastyczne, ze względu na wyższą odporność na pęknięcie nawet przy wyższych temperaturach. Jednocześnie stosunkowo prostsze jest przetwórstwo termoplastycznych kompozytów i ich łatwiejszy recykling.

2.2 Wzmocnienia

Najstarszym i najbardziej rozpowszechnionym wzmocnieniem są włókna ze szkła glinowo-borowo-krzemowego (typu E), charakteryzujące się odpornością na wodę i wilgoć. Wzrost właściwości termicznych, elektrycznych i wytrzymałościowych uzyskano stosując inne typy włókien szklanych oraz środki modyfikujące w celu poprawy adhezji włókien z żywicą. W Polsce jednym producentem są Krośnieńskie Huty Szkła Krosno S.A. Wadą włókien szklanych jest ich stosunkowo wysoka gęstość ($2,5\text{g/cm}^3$), co powoduje wzrost masy otrzymanych z ich materiałów, często stosowanych do produkcji środków transportu, a to wiąże się z większym zużyciem paliwa. Inny problem stanowią odpady użytkowe kompozytów z włóknem szklanym, gdyż po ich spalaniu włókno szklane pozostaje. Stąd alternatywą jest zastosowanie włókien naturalnych o gęstości około $1,5\text{g/cm}^3$, które bardzo łatwo się spalają.

Włókna węglowe i grafitowe, mimo wysokiej ceny, często stosowane są do otrzymania kompozytów o dużej wytrzymałości. Mają dużą odporność cieplną i chemiczną i małą gęstość. Do produkcji włókien węglowych potrzebny jest substrat organiczny np. techniczne włókno poliakrylonitrylowe (PAN).

Najbardziej rozpowszechnionym włóknem organicznym jest poliamid aromatyczny o nazwie handlowej Kevlar. Włókna z aromatycznych poliamidów są ekstremalnie mocne i dlatego są stosowane do produkcji żagli (o

charakterystycznym żółtym kolorze) oraz olinowania i kadłubów łodzi. Należy pamiętać, że te włókna są wrażliwe na promieniowanie UV.

Włókna bazaltowe mogą być alternatywą dla włókien szklanych, gdyż mają większą o 15-20% wytrzymałość na rozciąganie i większy moduł sprężystości, a także lepszą odporność na chemikalia i szerszy zakres temperatury eksploatacji. Włókna bazaltowe są bezpieczne dla środowiska i nietoksyczne, są odporne na promieniowanie UV oraz mikroorganizmy. Z tego względu są stosowane do produkcji łodzi. W technologii BLX WILSON uzyskano złote włókna bazaltowe, które posłużyły do produkcji rakiet tenisowych, dzięki doskonałym właściwościom przeciwdziałania wibracjom i drganiom [8].

Włókna wysokosprawne termoplastyczne poliolefiny (PEEK firmy Zyx) [9] służą do produkcji rakiet tenisowych oraz jako wzmocnienia do kompozytów termoplastycznych. Chronią one włókna węglowe, z którymi są używane. Tkaniny z tych włókien posiadają bardzo dobrą odkształcalność.

Włókna boru należą do najbardziej wytrzymałych i najszywniejszych i dlatego znalazły zastosowanie w technice lotniczej, a mogą być też wykorzystane do produkcji sprzętu sportowo – rekreacyjnego.

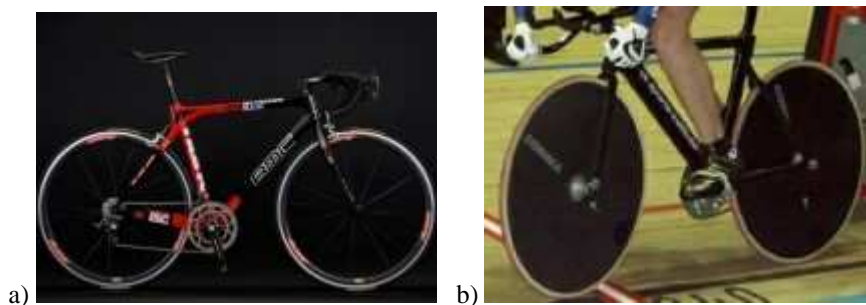
3. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA KOMPOZYTÓW DO PRODUKCJI SPRZĘTU SPORTOWEGO REKREACYJNEGO

Najbardziej popularne wykorzystanie kompozytów jest w produkcji rekreacyjnych łodzi (Rys.4.) [10], a to dzięki ich szczególnej odporności na korozję i twardości. Stopniowo wzrasta długość kompozytowych łodzi, osiągając już nawet 90 m, a w 2020 roku spodziewane są łodzie o długości nawet 160 m.



Rys.4. Jeden z pierwszych katamaranów MacArthur's wykonany z włókien węglowych, który opłynął Ziemię w ciągu 71 dni, 14 godzin, 18 minut i 33 sekund [Marsh G.: 50 years of reinforced plastic boats, Reinforced plastics, October 2006, 16-19.]

Innym znanym zastosowaniem kompozytów w sporcie są węglowe rowery. Rama roweru składa się z żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknami, co wpływa na jej sztywność i lekkość. Szwajcarska firma BMC [11] wyprodukowała rower „Pro Machine” na Tour de France z włókien węglowych o masie mniejszej niż 1 kg (Rys.5.a) Węglowe włókna w rowerach były już zastosowane przez brytyjską drużynę na Olimpiadzie w Atenach w 2004 roku (Rys. 5.b).



Rys.5. a) Rower z epoksydowego kompozytu z włóknem węglowym "Pro Machine" firmy BMC b) rower z włóknami węglowymi, na którym wygrano wyścig na Olimpiadzie w Atenach w 2004 roku
http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/composites_in_daily_life.html

W 2006 roku sprzedano około 4,7 milionów kompozytowych par nart i 1,36 milionów snowboardów. Sprzedaż nart zjazdowych jest 6,5 razy większa od nart biegowych. Firma Audi Carbon Ski (Niemcy) [12] wyprodukowała narty z drewnianego rdzenia, warstwy aluminium i tytanu obudowanych laminatem z ukierunkowanym włóknem węglowym, które nadały odpowiednią sztywność (Rys. 6.).



Rys.6. Narty firmy Audi Carbon Skis z drewnianym rdzeniem i powłokami aluminium oraz i tytanową pokryte laminatem z włóknem węglowym [Carbon Fibre market poised for expansion, Reinforced plastics march/april 2011 26-31]

4. NOWE TRENDY W PRODUKCJI SPRZĘTU SPORTOWEGO I REKREACYJNEGO

Od wielu lat otrzymywane są tkaniny z włókien naturalnych, które mogą posłużyć do wyrobu kompozytów. Mimo proekologicznych zalet stosowanie włókien naturalnych ogranicza brak powtarzalności i bardzo małą wytrzymałość. Znane jest wykorzystanie włókien naturalnych w połączeniu z polimerami do produkcji mniej odpowiedzialnych elementów pojazdów np. nadkoli, pokrywy silnika a także wnętrza kabin („zielony mercedes”).

Prowadzi się wiele prac nad zastosowywaniem biokompozytów do produkcji przyjaznych dla środowiska łodzi. Firma PoleMer Bretagne (Francja) [13] wraz z instytutem badawczym wyprodukowała kajak z polilaktydu PLA wzmocnionego włóknami lnianymi (Rys. 7.), który jest obecnie testowany.



Rys.7. Kajak z biokompozytów [<http://www.plasmor.fr/fr/kayak-fibres-lin/Unkayakenfibredelin/188.html>]

Firma DPS [14] w latach 2009-2010 wprowadziła na rynek narty z kompozytu hybrydowego: z włókien węglowych, włókien szklanych i rdzenia z bambusa (koszt ich to 799\$).

Zastosowanie napełniacza, charakteryzującego się co najmniej jednym wymiarem w skali manometrycznej (10^{-9} m), do kompozytów znacznie zwiększa wytrzymałość, barierowość i odporność otrzymanych nanokompozytów. Najczęściej stosowanymi napełniaczami są glinokrzemiany (np. montmorylonit) lub nanorurki węglowe i fulereny. Już w latach dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku zastosowano nanokompozyty w przemyśle motoryzacyjnym. Wykorzystanie nanokompozytów rośnie ze względu na bardzo dobre ich właściwości mechaniczne przy zachowaniu małej masy oraz szczególne właściwości funkcjonalne. Nanonapełniacze poprawiają odporność na zarysowanie i uszkodzenie powierzchni kompozytów. Gładka powierzchnia nanokompozytów sprawia, że dużo łatwiej je utrzymać w czystości. Nowe materiały z nanododatkami posiadają lepsze właściwości wytrzymałościowe przy zachowaniu na dotychczasowym poziomie innych cech, takich jak plastyczność czy odporność na pęknięcie. W przemyśle sportowym można spotkać już ostrza łyżew hokejowych zawierających nanonikiel, rakiety tenisowe wytwarzane z kompozytów z nanonapełniaczami oraz narty z nanokryształkami tlenku krzemu, poprawiającym ich giętkość.

Firma DPS [14] otrzymała narty Waler 112 RP z włókien węglowych oraz żywicy z nanododatkami na rdzeniu drewnianym (koszt ich to 1199\$). Kompozyt z nanododatkami jest 20% bardziej odporny na skręcania niż kompozyt z drewna i włókien szklanych. Narty otrzymane przez firmę DPS ważą tylko połowę nart z włókien szklanych, a są dwukrotnie bardziej wytrzymałe. Włókna węglowe są szczególnie elastyczne i prawie w 100% utrzymują swoją elastyczność w czasie użytkowania. Inna firma Atomic [15] zastosowała ramę z nano włókien na przodach nart, usztywniając je, przez co łatwiej je prowadzić i kontrolować. W tylnej części nart ramiona ramy się nie stykają, dzięki czemu są one w tym miejscu bardziej elastyczne. Taka konstrukcja gwarantuje większą precyzję, lepsze trzymanie i doskonałe przyspieszenie.

Już od kilku lat można kupić też rakiety tenisowe i do badmintonu z nanorurkami węglowymi. Dodanie nanorurek wzmacnia trzonek rakiety i zwiększa amortyzację uderzenia (Rys.8.). Dodatkowo takie rakiety są bardzo lekkie [16]. Porównanie właściwości włókien z nanorurek do innych włókien przedstawia tabela 1 [17]. Trwają więc intensywne prace

nad zastosowaniem nanorurek węglowych zatopionych w różnych żywicach, co pozwoli otrzymać bardzo wytrzymałe i lekkie laminaty.



Rys. 8. Przekrój poprzeczny trzonka rakiety do badmintonu, wykonanej z nowoczesnych materiałów [http://www.yonex.com/badminton/webcatalog2011/#page=15]

Tab. 1. Właściwości mechaniczne włókien [17]

Rodzaj włókna	Gęstość [g/cm ³]	Moduł Younga [TPA]	Wytrzymałość [GPa]	Odształcenie przy zerwaniu [%]
Rurki węglowe	1.3 - 2	1	10 - 60	10
Włókna stalowe	7.8	0.2	4.1	< 10
Włókna węglowe PAN	1.7 - 2	0.2 - 0.6	1.7 - 5	0.3 - 2.4
Włókna węglowe- Pitch	2 - 2.2	0.4 - 0.96	2.2 - 3.3	0.27 - 0.6
Włókna szklane E/S	2.5	0.07 / 0.08	2.4 / 4.5	4.8
Włókna Kevlar 49	1.4	0.13	3.6 - 4.1	2.8

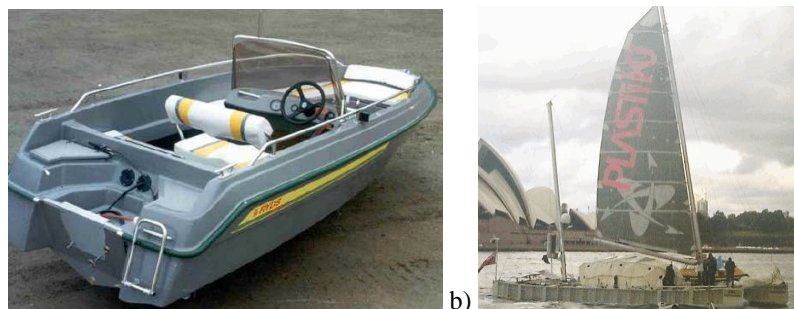
Należy jednak pamiętać, że praca z nanocząstkami stwarza zagrożenie dla zdrowia pracowników, gdyż mogą one wnikać do organizmu ludzkiego, bo mają wymiar znacząco mniejszy niż wymiar komórek ludzkich. Bardzo ważne jest więc zapewnienie szczególnej ochrony pracownikom mającym kontakt z nanocząstkami. Znacznie mniej obaw budzą nanokompozyty, lite materiały o strukturze nanoometrycznej. Należy podkreślić, że badania toksyczności nanocząstek są dopiero w fazie rozwoju. Okazało się, że nanorurki węglowe wykazują toksyczność, która wynika z pozostałości metali używanych przy półprzemysłowej ich syntezie. Metaliczne zanieczyszczenia nanorurek, ze względu na małe stężenia, są niemalże nie wykrywalne standardowymi metodami analitycznymi [18].

W związku z problemem zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych jak i użytkowych kompozytów termoutwardzalnych, na rynku pojawiły się kompozyty na bazie polimerów termoplastycznych (głównie poliamidy i polipropylen) wzmacniane włóknami. Firma Milliken [19] wprowadziła na rynek kompozyt Tegriss, wykonany z polipropylenu (Rys. 9.). Materiał ten jest od 2 do 15 razy bardziej wytrzymały na uderzenie od typowych kompozytów termoplastycznych i w 100% może być poddany recyklingowi. Może posłużyć do produkcji kajaków i małych łodzi.



Rys. 9. Kompozyt polipropylenowy Tegriss oraz wykonany z niego kajak [http://www.milliken2.com/MFT/MFT.html.nsf/page/home.htm]

Znane są też już łodzie, do produkcji których wykorzystywane są odpady kompozytów np. łódź, która w rdzeniu w konstrukcji przekładkowej zawiera 40% wag. materiału odpadowego (Rys.10.a) [20] lub łódź wykonana z 12,5 tys. butelek z polietereftalnu etylu PET (Rys.10.b) [21].



a)

b)

Rys.10. a) Łódź zawierająca materiał odpadowy w rdzeniu [Pettersson J. Kollerfors B.: *Pleasure Boats Manufactured from Recycled Materials, Proceeding of the Secondo North European Engineering and Science conference- EMAS Ltd.,1997, 609-617.*], b) łódź 12,5 tys. butelek PET [Pettersson J. Kollerfors B.: *Pleasure Boats Manufactured from Recycled Materials, Proceeding of the Secondo North European Engineering and Science conference- EMAS Ltd.,1997, 609-617.*]

5. CZĘŚĆ BADAWCZA

W Akademii Morskiej w Gdyni podjęto pracę nad zastosowaniem rozdrobnionych odpadów poliestrowo-szklanych, jako napełniaczy do kompozytów poliestrowych, w celu uzyskania nowego materiału, który posłuży do otrzymywania nowych produktów również sprzętu sportowo- rekreacyjnego.

5.1. Materiał badawczy

Recyklat, pochodzący z rozdrobnienia laminatu poliestrowo – szklanego, stanowiący mieszaninę włókna szklanego i utwardzonej żywicy poliestrowej, uzyskano mieląc odpady laminatu poliestrowo – szklanego w rozdrabniaczu firmy Hydromega. Rozdrabniacz posiada 24 noże tnące – łamiąco o szerokości 24 mm, obracające się z prędkością ok. 22 obr./min. Z dużych kawałków laminatu w rozdrabniaczu uzyskano recyklat o wymiarach do 20 mm. Do otrzymania kompozytów z dodatkiem odpadów z laminatów poliestrowo – szklanych zastosowano ortoftalową żywicę poliestrową Polimal 109, (produkcji Zakładów Chemicznych „Organika –Sarżyna”) oraz 20 ml utwardzacza 2% MEKP (nadtlenek metyloetyloketonu) „METOX” firmy Oxytop Sp. z o.o. ze Stężewa na 1 kg żywicy oraz przyspieszacza kobaltowego 6% Co firmy ITL z Poznania dodawanego w ilości 5 ml na 1 kg żywicy. Dla porównania wykonano kompozyty z matą szklaną o gramaturze 150 g/cm³, produkowaną przez Krośnieńskie Huty Szkła Krosno S.A.

5.2. Metody badań

Wykonano następujące badania otrzymanych kompozytów: udarności metodą Charpy’ego (PN-EN ISO 179-2:2001: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie udarności metoda Charpy’ego), twardości metodą wciskania kulki (PN-EN ISO 2039-1: 2004: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości. Metoda wciskania kulki), wytrzymałości podczas rozciągania (PN-EN ISO 527-1:1998: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu), ścieralności (PN-92/C-89426: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie odporności na ścieranie przy użyciu tarcz ściernych), chłonności wody (PN-EN ISO 62:2000: Tworzywa sztuczne. Oznaczanie chłonności wody).

5.3. Wyniki

Właściwości otrzymanych kompozytów z matą szklaną oraz z recyklatem poliestrowo-szklanym przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Receptura i właściwości otrzymanych kompozytów

Właściwości i skład kompozytów		Kompozyt z matą szklaną	Kompozyt z recyklatem
Zawartość napełniacza [%]	Mata szklana	18,3	-
	Recyklat	-	30
Udarność [kJ/m ²]		8,1	1,67
Twardość [MPa]		282,5	224,0
Napężenie zrywające [MPa]		82	63
Chłonność wody [%]	gorąca woda	0,44	0,92
	zimna woda	0,20	0,24
Ścieralność - ubytek masy po 3000 cykli [%]		1,45	2,0

Zaobserwowano niestety większą nasiąkliwość kompozytów z odpadami w stosunku do kompozytów z matą szklaną, co świadczy o występowaniu w nich porów, które tworzą kapilarny system otwarty mogący łatwo wypełnić się wodą. Zawartość porów w kompozytach negatywnie wpływa na ich właściwości mechaniczne. W związku z przypadkowym

ułożeniem odpadów w żywicy oraz obecnością porów, kompozyty z odpadami posiadają stosunkowo niskie właściwości mechaniczne, co warunkuje ich zastosowanie w kategorii materiałów o niższej wytrzymałości np. jako wypełnienia w konstrukcjach typu przekładkowego jednostek pływających. Wypełnienia z żywicy i recyklatu poliestrowo-szklanego zwiększy sztywność i wytrzymałość powłoki zewnętrznej łodzi o konstrukcji dwupowłokowej.

6. WNIOSKI

W związku z narastającymi trudnościami surowcowymi i energetycznymi należy zwrócić szczególną uwagę na zastosowanie materiałów do produkcji kompozytów, również w przemyśle sportowo-rekreacyjnym. Oszczędności materiałowe można uzyskać stosując materiały wysokowytrzymałe (nanokompozyty) i o właściwościach wydłużających czas użytkowania tych wyrobów.

Rozwiązanie ważnego problemu zagospodarowania kosztownych odpadów poprodukcyjnych, jaki i odpadów wykorzystanego sprzętu sportowo – rekreacyjnego, jest już na etapie projektowania nowych produktów poprzez zastosowanie materiałów nadających się do recyklingu (biokompozytów) lub wykorzystanie surowców wtórnych.

Wprowadzając nowe materiały do produkcji sprzętu sportowo - rekreacyjnego należy pamiętać o ocenie cyklu życia produktów, a szczególnie wpływie na środowisko procesów produkcji oraz ekspozycje na substancje chemiczne w miejscu pracy.

Istnieje możliwość zastosowania odpadów poliestrowo-szklanych, powstających w czasie produkcji jachtów, jako wypełnienie w konstrukcjach dwupowłokowych łodzi.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Witten E.: *The European GRP market*, AVK, September 2011.
- [2] Jahn B.: *The global CRP market*, CCEV, September 2011.
- [3] Nietupski S.: *Raport dot. Przemysłu Jachtowego w Polsce-2010*, Polska Izba Przemysłu Jachtowego i Sportów Wodnych, POLBOAT.
- [4] Jakob A.: *The emerging market In Easter Europe*, Reinforced plastics, May 2006, 42-44.
- [5] <http://www.corecomposites.com/composites/core/honeycomb/nomex/>
- [6] http://www.diabgroup.com/europe/concept/e_concept_1.html
- [7] Pęczek P., Bończa-Tomaszewska Z.: *Nienasycone żywice poliestrowe na progu XXI wieku*, Polimery 11-12, 1999, 709-814.
- [8] Bendkowska W.: *Techtextile 2005- włókna stosowane na tekstylia techniczne*, Przegląd włókienniczy, 9, 2005 35-37.
- [9] <http://www.zyex.com/braids.htm>
- [10] Marsh G.: *50 years of reinforced plastic boats*, Reinforced plastics, October 2006, 16-19.
- [11] http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/composites_in_daily_life.html
- [12] *Carbon Fibre market poised for expansion*, Reinforced plastics march/april 2011 26-31
- [13] <http://www.plasmor.fr/fr/kayak-fibres-lin/Unkayakenfibredelin/188.html>
- [14] <http://dpsskis.com/company/timeline>
- [15] http://www.skionline.pl/sprzet/?co=newsy&id_txt=1428
- [16] <http://www.yonex.com/badminton/webcatalog2011/#page=15>
- [17] <http://www.nanocyl.com/CNT-Expertise-Centre/Carbon-Nanotubes>
- [18] Kurzydłowski K., Lewandowska M.: *Nanomateriały inżynierskie. Konstrukcyjne i funkcjonalne*, PWN, Warszawa 2010.
- [19] <http://www.milliken2.com/MFT/MFThtml.nsf/page/home.htm>
- [20] Pettersson J. Kollerfors B.: *Pleasure Boats Manufactured from Recycled Materials*, Proceeding of the Secondo North European Engineering and Science conference- EMAS Ltd.,1997, 609-617.
- [21] <http://www.greenecoservices.com/plastiki-boat-built-with-plastic-bottles-ends-4-month-sail/>