

## ZASTOSOWANIE LEKKICH ELEMENTÓW Z KOMPOZYTÓW POLIMERO- WYCH I METALOWYCH W BUDOWIE ŚRODKÓW TRANSPORTU

### Streszczenie

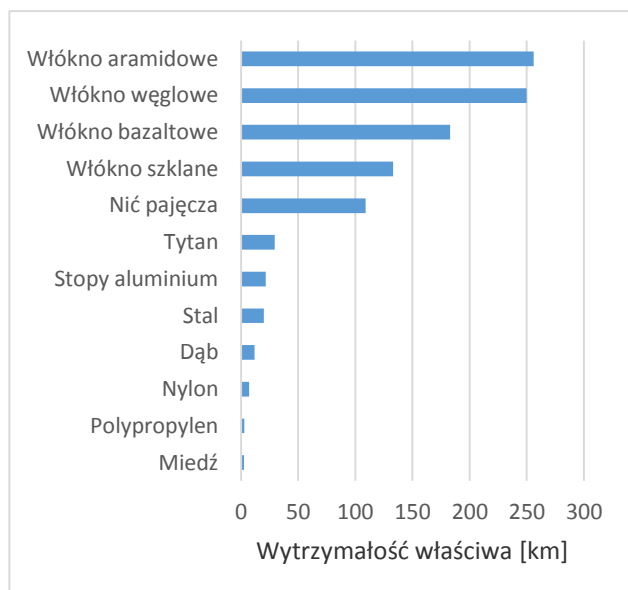
W pracy scharakteryzowano właściwości i możliwości zastosowania materiałów kompozytowych w budowie środków transportu. Omówiono zarówno materiały kompozytowe na osnowie polimerowej jak i na osnowie stopów metali. Zestawiono najnowsze przykłady zastosowania materiałów kompozytowych w transporcie.

### WSTĘP

We wszystkich rodzajach przemysłu budowy środków transportu takich jak: motoryzacyjny, lotniczy czy okrętowy widoczna jest koncepcja redukcji masy pojazdów w celu zwiększenia ich zasięgu - w przypadku pojazdów elektrycznych, lub również zmniejszenia zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub>, w przypadku pojazdów konwencjonalnych [1-3]. Zagadnienie redukcji masy dotyczy w dużej mierze samolotów, gdyż ma duże znaczenie zarówno w lotnictwie cywilnym jak i wojskowym powodując wzrost zasięgu samolotów, polepszenie udźwigu oraz ich dynamiki.

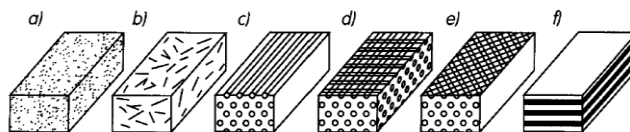
### 1. MATERIAŁY KOMPOZYTOWE - WPROWADZENIE

Możliwość zmniejszenia masy środków transportu wiąże się z zastosowaniem materiałów o lepszej wytrzymałości specyficznej, znanej również jako wytrzymałość właściwa. Wytrzymałość specyficzna [km] rozumiana jest jako stosunek wytrzymałości mechanicznej materiału (na rozciąganie, ściskanie, zginanie w [MN/m<sup>2</sup>]) do ciężaru właściwego [N/m<sup>3</sup>]. Wytrzymałość specyficzną teoretycznie zdefiniować można też jako maksymalną długość pręta lub drutu z danego materiału, zawieszono pionowo w przestrzeni, przy której pręt lub drut zerwie się pod własnym ciężarem. Rysunek 1. przedstawia wartości wytrzymałości specyficznej dla wybranych materiałów. Grupą materiałową o bardzo wysokiej wytrzymałości specyficznej są materiały kompozytowe.



Rys. 1. Wytrzymałość właściwa [km] dla wybranych materiałów.

Wg definicji PWN kompozyt to: "(łac. *compositus* 'złożony'), materiał utworzony z co najmniej 2 komponentów (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma lepsze właściwości od właściwości osnowy, a ich właściwości mechaniczne teoretycznie wyciągnąć można z tzw. reguły mieszanin. Częściami składowymi materiałów kompozytowych są: osnowa (polimerowa, metalowa lub ceramiczna) i wzmocnienie (włókna długie, krótkie, roving, cząstki umacniająca). Klasyfikacji materiałów kompozytowych dokonywana jest ze względu na rodzaj osnowy lub kształt wzmocnienia. W podziale, według rodzaju osnowy, wyróżniamy najczęściej materiały PMC (Polymer Matrix Composites) i MMC (Metal Matrix Composites). Podział ze względu na rodzaj wzmocnienia przedstawiono na rysunku 2. zaczerpniętym z [4].



Rys. 2. Klasyfikacja materiałów kompozytowych ze względu na rodzaj wzmocnienia. Kompozyt umacniany: a) cząstkami, b) włóknami krótkimi, c) włóknami długimi, d) siatką (splot typu "plain"), e) siatką o różnym kierunku w kolejnych warstwach (np. splot typu "twill"), f) warstwowo (laminat). [4]

Najczęściej stosowanymi osnowami polimerowymi są materiały i chemo- i termoutwardzalne np. żywice epoksydowe lub poliestrowe, ale także m.in. poliamid 6 (PA6), polipropylen (PP), polilaktyd (PLA), poliuretan (PU) i polieteroimid (PEI). Najczęściej stosowanymi włóknami są włókna szklane i węglowe, aczkolwiek rosnącym zainteresowaniem cieszą się również włókna bazaltowe, aramidowe a także naturalne np. lniane. Najpopularniejsze w zastosowaniach nie wymagających najwyższej wytrzymałości mechanicznej są włókna szklane. Są tanie i łatwo dostępne. Występują w wielu odmianach: E, M, S, R. Włókna typu M zawierają beryl i tlenki cyrkonu, co wpływa na wzrost wytrzymałości mechanicznej, odporności cieplnej i modułu sprężystości podłużnej w stosunku do włókien typu E. Włókna typu R i S wykazują zwiększoną wytrzymałość i sztywność, ale ich cena jest znacząco wyższa od włókien typu E. Włókna szklane są dobrze zwilżalne przez polimery, co pozwala na osiągnięcie dobrej adhezji pomiędzy włóknami a osnową. W przemyśle samochodowym i lotniczym szeroko stosowane są też włókna węglowe. Ich zalety to: wysoka wytrzymałość mechaniczna, wysokie moduły sprężystości podłużnej, dobra wytrzymałość chemiczna i termiczna, wysoka temperatura pracy, niska gęstość, dobra przewodność cieplna i elektryczna oraz zdolność do tłumienia drgań mechanicznych. Wadą włókien węglowych jest ich wysoka cena, a także słaba adhezja pomiędzy włóknem a osnową polimerową,

którą poprawić można zwykle przez wstępną obróbkę cieplną lub chemiczną. W tabeli 1. przedstawiono porównanie wybranych właściwości dla różnych rodzajów włókien wzmacniających.

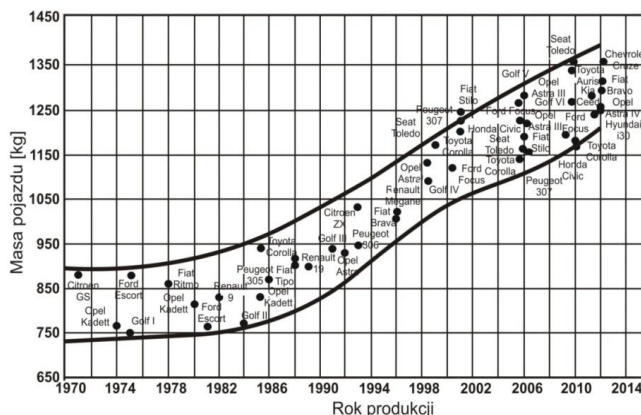
Tab. 1. Porównanie wybranych parametrów włókien wzmacniających stosowanych w materiałach kompozytowych [5-7].

Włókna		Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Moduł Younga [GPa]
Aramidowe	Kevlar® 49	1,45	3010	125
	Twaron®	1,44	3150	179
Węglowe	Węglowe	1,6-2,0	900	90
	Grafitowe	1,75	2500	420
Lniane		1,4	500-900	60-80
Szklane	E	2,54	1350-3500	60-70
	M	2,89	-	124
	R	2,50	4750	83
	S	2,49	4900	97

Najczęściej stosowanymi metodami technologicznymi wytwarzania wyrobów kompozytowych na podstawie polimerów są: laminowanie ręczne (kontaktowe), laminowanie natryskowe, formowanie metodą infuzji żywicami wspomaganie próżnią (VARTM), formowanie z zastosowaniem autoklawu czy pultruzja.

Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem materiałowym w budowie środków transportu są również kompozytowe lekkie materiały przekładkowe typu „sandwich”. Zazwyczaj takie materiały składają się z dwóch zewnętrznych warstw usztywniających (np. laminat poliestrowo-szkłany) połączonych lekkim wypełnieniem (np. pianka PUR, PET, struktura plastra miodu, sklejka). Materiały przekładkowe są powszechnie stosowane w budowie ścian samochodów ciężarowych.

Rynek polimerowych materiałów kompozytowych [8] szacowano w 2012 na 8,7 miliona ton wyrobów o wartości 103 miliardów dolarów. Udział Europy w rocznej produkcji światowej to ok. 22% w ujęciu objętościowym. Tendencja wzrostowa w stosowaniu materiałów kompozytowych jest szczególnie widoczna w przemyśle środków transportu naziemnego, powietrznego i morskigo. Jak wspomniano wcześniej, w przemyśle motoryzacyjnym dąży się do obniżania masy pojazdu w celu poprawy jego parametrów eksploatacyjnych takich jak: zasięg, przyspieszenie, wysokość zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla. Taką samą tendencję obserwuje się w przemyśle okrętowym i lotniczym. W przemyśle lotniczym poprawa ekonomii w zakresie zużycia paliwa, zwiększenia ładowności samolotów oraz ich manewrowości również może być osiągnięte dzięki stosowaniu materiałów kompozytowych. Na przykład Linie American Airlines, które operują flotą ponad 600 samolotów mogłyby oszczędzić nawet 11 000 galonów (41800 litrów) paliwa rocznie zmniejszając masę każdego z samolotów tylko o 1 funt [9].



Rys. 3. Wzrost masy samochodów osobowych klasy Compact w latach 1970-2012 [10], [11].

Biorąc pod uwagę zwiększające się wymagania dotyczące bezpieczeństwa czynnego i biernego w naziemnych środkach transportu zaobserwować można wzrost masy samochodów na przestrzeni od 1970 roku do 2014, co pokazano na rysunku 3 [10], [11]. Spowodowane jest to znacznym udziałem elementów zwiększających bezpieczeństwo bierne, jak wzmocnienia drzwi i nadwozia w celu ochrony pasażerów w czasie wypadku i zastosowanie materiałów o konstrukcji umożliwiającej kontrolowane odkształcenie stref zgniotu podczas kolizji. Prowadzone obecnie intensywne badania nad obniżeniem masy samochodów mają na celu zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i tlenków azotu. Zaobserwować można kilka strategii działania, a do najważniejszych należą [1], [10], [12]:

- 1) Zastosowanie elementów z lekkich materiałów jak kompozyty na podstawie stopów lekkich i kompozytów polimerowych oraz żywic epoksydowych. Należy jednak mieć na uwadze zwiększone koszty wytwarzania tego typu materiałów w stosunku do materiałów konwencjonalnych,
- 2) Projektowanie i wykonywanie elementów nośnych w aspekcie małej masy lecz odpowiedniej właściwości mechanicznych spełniających wymagania eksploatacyjne,
- 3) Projektowanie hybrydowych struktur nadwozia pojazdów składających się z połączenia elementów wykonywanych z takich materiałów jak stale, stopy aluminium, stopy magnezu z materiałami polimerowymi (elementy hybrydowe).

Bazując na raporcie z 2013 roku przygotowanym przez The Vehicle Technologies Office (USA) [13] przygotowano zestawienie przewidywanych w przyszłości wymagań stawianych samochodom ciężarowym oraz prognoz stosowania w nich materiałów kompozytowych w przyszłości. W tabeli 2. zebrano prognozy obniżania masy pojazdów poprzez redukcję masy poszczególnych elementów dla lat 2020 – 2050.

Tab. 2. Cele redukcji masy pojazdów klasy 8. w latach 2020-2050. [13]

Elementy pojazdu klasy 8.	Spadek masy:				
	2020	2025	2030	2040	2050
Koła i opony	10%	20%	20%	25%	25%
Kabina/rama	3%	10%	10%	20%	20%
Zawieszenie	3%	5%	10%	15%	20%
Akcesoria	5%	15%	25%	30%	35%
Zabudowa	15%	35%	45%	55%	60%
Silnik	5%	10%	15%	15%	20%
<b>CAŁOŚĆ POJAZDU</b>	<b>7%</b>	<b>16%</b>	<b>22%</b>	<b>27%</b>	<b>31%</b>

W raporcie [13] opisano stan obecny, szanse i zagrożenia dotyczące prognoz przy stosowania materiałów kompozytowych w budowie samochodów ciężarowych. Rozważono osobno polimerowe materiały kompozytowe wzmocnione włóknami węglowymi i szklanymi.

Dla kompozytów wzmocnianych włóknami węglowymi wysnuło dwa główne wnioski:

- do roku 2025 włókna węglowe powinny być intensywnie stosowane w masowej produkcji samochodów ciężarowych,
- do roku 2050 dostawcy materiałów dla sektora samochodowego powinni dysponować materiałami, narzędziami i wiedzą wystarczającą by umożliwić wykonanie większości projektów, a także późniejszą naprawę takich części kompozytowych.

Analogicznie dla kompozytów wzmocnianych włóknami szklanymi:

- do roku 2025 materiały kompozytowe wzmocnione włóknami szklanymi będą stanowić około 30% masy pojazdu,
- do roku 2050 materiały kompozytowe wzmocnione włóknami szklanymi będą stanowić około 50% masy pojazdu.

Jako potencjalne zagrożenia raport wskazuje w obu przypadkach na brak technologii bezpośredniego łączenia materiałów kompozytowych z innymi materiałami, brak odpowiednich modeli numerycznych do zaprogramowania właściwości mechanicznych materiału kompozytowego, zbyt wysokie koszty wytwarzania, brak odpowiednio wyszkolonej kadry, trudności w uwzględnieniu w projekcie wyrobu anizotropowości materiału czy problemy niewystarczającej adhezji występującej na granicy wzmocnienie-osnowa.

## 2. MATERIAŁY KOMPOZYTOWE W TRANSPORCIE - ZASTOSOWANIA

### 2.1. Elementy z materiałów kompozytowych na osnowie polimerów

W grudniu 2014 roku w Perigny we Francji zapoczątkowano projekt typu start-up o nazwie „Elixir Aircraft” [14]. Projekt zakładał wytworzenie lekkiego, dwuosobowego, niskobudżetowego samolotu, który mimo dużej redukcji masy byłby w stanie uzyskać certyfikację Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego. Samolot „Elixir Aircraft” ma być wykonany z materiałów kompozytowych opartych na włóknach węglowych. Pierwsze loty zaplanowane są na połowę 2016 roku. Gotowy dwumiejscowy samolot ma mieć masę jedyne 265 kg i kosztować od 160,000 € do 200,000 €. Zastosowanie materiałów kompozytowych w budowie tego samolotu zapewni polepszenie osiągnięć i zmniejszenie zużycia eksploatacyjnego (korozja, zużycie zmęczeniowe). Oprócz niektórych elementów nośnych na bazie stali i stopów tytanu konstrukcja samolotu jest wykonana z materiału kompozytowego na bazie prepregu węglowego. Z kompozytu wykonano m.in. jednoczęściowy kadłub, 8-metrowe pojedyncze skrzydło, 2 lotki i statecznik wysokości.

Firma Hexcel (USA) zaprojektowała materiał kompozytowy o nazwie HexMC na osnowie żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknem węglowym do przetwarzania w technologii formowania tłocznego. W samolocie Boeing 787 Dreamliner (rys.4) z tego materiału zostało wykonanych kilkadziesiąt elementów takich jak: ramy okien, złączki, podkładki, uchwyty. Materiały kompozytowe w tym samolocie stanowią 50% w ujęciu masowym i 80% w ujęciu objętościowym całej maszyny [15].



Rys. 4. Samolot pasażerski Boeing 787 Dreamliner w budowie którego zastosowano ok. 50% kompozytów polimerowych [16].

Zderzaki w samochodach ciężarowych firmy MAN (Monachium, Niemcy) były dotychczas wykonywane w technologii SMS (Sheet Moulding Compound). Nowością w tym zakresie są modułowe termoplastyczne zderzaki, które są wytwarzane jednocześnie z kilku komponentów na wspólnej podstawie np. z poliestru i poliamidu 6 (PA 6) wzmocnianego 60% obj. włókna szklanego [17] (rys.5). Tak zaprojektowana konstrukcja zapewnia wysoką wytrzymałość elementu, a także zachowanie stabilności świateł i reflektorów podczas eksploatacji pojazdu.



Rys. 5. Modułowy pas przedni samochodu ciężarowego MAN [18]

Firma Kompozyty (Polska) produkuje elementy zewnętrzne i wewnętrzne do pociągów Trenitalia wykonane z laminatów wzmocnianych włóknem szklanym takie jak: kabiny przednie i tylne, panele drzwiowe, panele ścienne [19].



Rys. 6. Kabina przednia szybkiego pociągu Trenitalia produkcji firmy Kompozyty (Polska, Stanowice).

Firma Chevrolet jest największą globalną marką koncernu General Motors (USA) i dostosowując się do wiodących trendów w przemyśle motoryzacyjnym stosuje w swoich samochodach materiały kompozytowe zamiast materiałów konwencjonalnych [20]. W modelu Chevrolet Corvette Z06 2013 (rys. 7) z kompozytu polimerowego wzmocnianego włóknami węglowymi wykonano maskę

silnika, błotniki oraz panele podłogi, co pozwoliło na uzyskanie całkowitej masy pojazdu wynoszącej jedynie 1451 kg, przy jednoczesnym stosunku mocy do masy lepszym niż np. w samochodzie Aston Martin DBS czy Porsche 911 Turbo.



**Rys. 7.** Samochód sportowy Chevrolet Corvette w którym zastosowano kompozyty polimerowe ze wzmocnieniem z włókien węglowych [21]

Firma TENCATE Advanced Composites (USA) jest producentem materiałów kompozytowych na podstawie tworzyw termoplastycznych i termoutwardzalnych wykorzystywanych w konstrukcji samochodów wyścigowych Formuły 1. Firma oferuje szereg rozwiązań zapewniających uzyskanie lekkiego materiału o wysokiej wytrzymałości, sztywności, wysokiej odporności termicznej i chemicznej, wysokiej zdolności pochłaniania drgań i energii uderzenia. W ofercie producenta można znaleźć materiały wzmocnione włóknem węglowym, szklanym, tkaninami lub włóknem ułożonym jednokierunkowo. Z materiałów serii TENCATE wykonuje się kabiny, panele podłogowe, zderzaki, części zawieszenia i skrzynie biegów.

Działająca w Niemczech firma IFC Composites GmbH zajmuje się m.in. produkcją resorów wykonanych z żywicy epoksydowej umacnianej włóknem szklanym. (rys. 8) Dzięki zastosowaniu materiałów kompozytowych obniżono masę tego elementu aż o 80% w porównaniu do elementu stalowego, przy jednoczesnym zachowaniu wytrzymałości i poprawie zdolności do tłumienia drgań mechanicznych. Firma pracuje również obecnie nad projektem wytwarzania kompozytowych półosi przeznaczonych do masowej produkcji, których budowa będzie oparta na włóknach naturalnych np. konopnych.



**Rys. 8.** Resor wykonany z materiału kompozytowego na osnowie żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknem szklanym [22].

Firma METYX Composites (Turcja) we współpracy ze znanym producentem autobusów i autokarów Alexander Dennis Limited (UK) w 2014 opracowała nowy model dwupokładowego autokaru

Enviro400. Nowatorskim zastosowaniem materiałów kompozytowych są w tym pojeździe schody wykonane z kompozytu na osnowie polimerowej wzmocnione rdzeniem wykonanym z materiału METYCORE MAX. Materiał ten należy do grupy materiałów przekładkowych na osnowie żywicy epoksydowej ze wzmocnieniem z mat z włókna szklanego.

Roding Roadster produkcji firmy Roding Automobile GmbH (Niemcy) to dwumiejscowy sportowy samochód wykonany głównie z materiałów kompozytowych na osnowie polimerowej wzmocnianej włóknami węglowymi. Konstrukcja nośna wykonana z polimerowego materiału kompozytowego ma masę jedynie 75 kg i jest zbudowana z 14 modułów. Inną nowością w tym pojeździe jest rama szyby przedniej wykonana techniką nawijania na rdzeniu piankowym. Proces nasycania materiału kompozytowego żywicą jest realizowany w oparciu o technikę RTM (Resin Transfer Moulding). Kompletny samochód waży jedynie 950 kg.



**Rys. 9.** Plyta podłogowa samochodu sportowego Roding Roadster produkcji firmy Roding Automobile GmbH (Niemcy) wykonany z kompozytów polimerowych [23].

Firma BASF (Niemcy) jako pierwsza na świecie opracowała osłonę koła wykonaną z materiału kompozytowego na osnowie polimerowej wzmocnianej włóknem szklanym (rys. 10). Materiał nosi nazwę Ultramid@Structure [24]. Osnową w tym materiale jest poliamid, który w połączeniu z włóknami szklanymi zapewnia doskonałą trwałość, stabilność termiczną i chemiczną. Osłony kół wykonano dla samochodu Smart Forvision. Kompozytowa osłona jest o 3 kg lżejsza od swojego metalowego odpowiednika.



**Rys. 10.** Osłona koła wykonana z materiału kompozytowego wytworzona przez firmę BASF (Niemcy) [25].

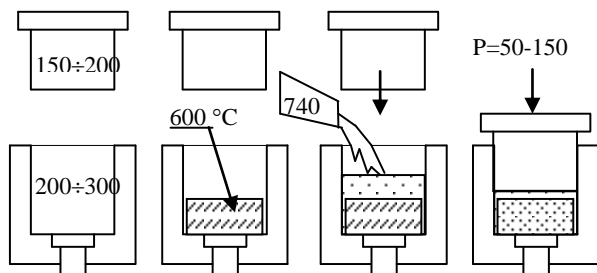
## 2.2. Elementy z materiałów kompozytowych na osnowie stopów metali lekkich

Jako osnowy materiałów kompozytowych na osnowach metali lekkich najczęściej stosowane są stopy aluminium oraz w mniejszym stopniu stopy magnezu. Najczęściej stosowane stopy aluminium do wytwarzania materiałów kompozytowych podano w Tabeli 3. Jako materiały umacniające stosuje się najczęściej cząstki ceramiczne tlenku aluminium ( $Al_2O_3$ ), węgla krzemu (SiC), węgla boru ( $B_4C$ ). Jako włókna umacniające najczęściej stosowane są włókna z tlenku glinu (Saffil) [26].

**Tab. 3.** Najczęściej stosowane stopy aluminium stosowane jako osnowy materiałów kompozytowych [10]

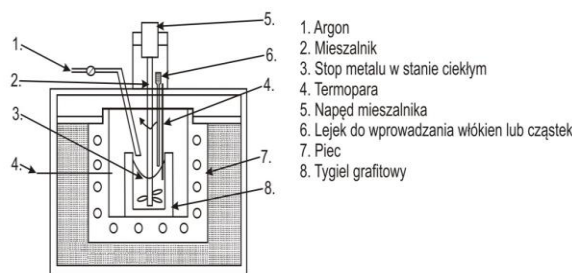
Oznaczenie stopu	Skład chemiczny [% wag.]
Al 2023	Al-4,0Cu-1,0Mg-0,3Mn-0,15Fe-0,1Cr-0,1Si
Al 2024	Al-4Cu-1,8Mg-0,5Mn-0,5Fe-0,5Si
Al 2124	Al-4Cu-1,5Mg-0,5Mn-0,3Fe-0,2Si
Al 2618	Al-2,2Cu-1,5Mg-1,2Fe-1,0Ni-0,2Si
EN AC-44200	Al-(10,5-13,5)Si-0,35Mn-0,55Fe-0,15Ti
6061	1Mg-0,7Fe-0,5Si-0,3Cr
7005	Al-4,5Zn-0,4Mn-0,4Fe
7075	Al-5,8Zn-2,3Mg-1,6Cu-1,5Mn-0,5(Si,Fe,Ti,Cr)
A356	Al-(6,5-7,5)Si-0,6Mg-0,1Fe-0,1Cu

Do wytwarzania elementów z materiałów kompozytowych najczęściej stosowana jest technologia infiltracji pod ciśnieniem porowatych kształtek ceramicznych z włókien lub cząstek, schematycznie pokazana na rys. 11. Proces technologiczny polega na umieszczeniu nagrzanej preformy ceramicznej (ok. 600°C) w formie odlewniczej, zalaniu formy ciekłym metalem a następnie wywieraniu stemplem ciśnienia w granicach 50-150 MPa. Proces wytwarzania kształtek ceramicznych musi zapewniać ich porowatość otwartą w granicach 70-90% w celu wypełnienia otwartych porów ciekłym metalem oraz gwarantować dobre właściwości mechaniczne aby w czasie infiltracji nie nastąpiło ich odkształcenie lub zniszczenie.



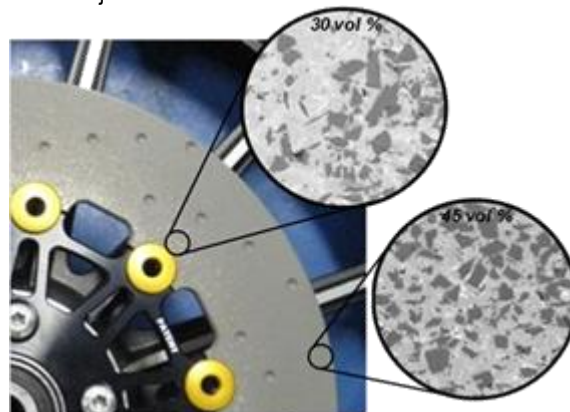
**Rys. 11.** Schemat wytwarzania elementów z materiałów kompozytowych metodą infiltracji ciśnieniowej (squeeze casting) porowatych kształtek ceramicznych [10]

Inną częściej stosowaną metodą jest mieszanie cząstek ceramicznych w ciekłym metalu (Rys.12). Problemem w tej technologii jest zwykle trudność w uzyskiwaniu równomiernego rozkładu cząstek ceramicznych w osnowie oraz tworzenie konglomeratów cząstek na skutek działania sił Van der Waalsa pomiędzy cząstkami. Zjawisko powstawania konglomeratów cząstek występuje bardzo intensywnie w przypadku wprowadzania nanocząstek ceramicznych. W celu uzyskania równomiernego rozkładu cząstek stosowane jest często mieszanie w polu ultradźwiękowym.



**Rys. 12.** Schemat procesu wytwarzania materiałów kompozytowych w oparciu o technikę mieszania cząstek w ciekłym metalu. [10]

Firma REL Inc. działająca w Calumet (USA) zajmuje się wytwarzaniem kompozytowych tarcz hamulcowych do motocykli (rys. 13) [10]. W materiałach tych osnowa ze stopu aluminium jest wzmocniana przez ceramiczne cząstki umacniające o zmiennej zawartości w osnowie. W miejscach, które w trakcie pracy nagrzewają się do wyższych temperatur stosowane jest 45% objętościowego udziału wzmocnienia, natomiast w pozostałej części elementu wzmocnienie stanowi 30 obj. %.



**Rys. 13.** Kompozytowe tarcze hamulcowe na osnowie stopów lekkich [27]

Firma 3M (USA) zaprezentowała na targach COMPOSITE EUROPE 2015 w Stuttgarcie konstrukcję kompozytowych wahaczy zawieszania samochodów na osnowie aluminium wzmocnianych tkaniną z włókien ceramicznych Nextel™ wykonanych metodą odlewania ciśnieniowego (rys. 14). Taka konstrukcja ma na celu zapewnić obniżenie masy elementu oraz zwiększyć jego wytrzymałość i sztywność. Tę samą tkaninę 3M zamierza stosować w budowie materiałów kompozytowych na osnowie polimerowej. Takie połączenie pozwoli na uzyskanie dodatkowych właściwości takich jak brak przewodnictwa elektrycznego i przenikalność dla fal elektromagnetycznych. Potencjalnymi zastosowaniami takiego kompozytu mogą być: łopatki wirników, osłony silników samolotowych.



**Rys.14.** Wahacz samochodu osobowego wykonany przez firmę 3M (USA) ze stopu aluminium umacnianego włóknem Nextel™ [28]

Firma Knorr Bremse AG (Niemcy) specjalizująca się w produkcji systemów hamowania dla kolejowych środków transportu opracowała tarcze hamulcowe dla szybkiego pociągu ICE-2 (InterCity-Express 2). Elementy te są wykonywane z materiału kompozytowego na podstawie stopu AlSi7Mg wzmocnionego cząstkami węgla krzemu SiC. Tarcze posiadają wewnętrzne systemy chłodzenia i ważą jedynie 76 kg, podczas gdy masa ich konwencjonalnie stosowanych odpowiedników odlewanych z żelaza wynosi 120 kg. Zestaw kompozytowych tarcz hamulcowych wykorzystywanych w pojedynczym pojeździe pozwala na obniżenie masy całkowitej pociągu o 352 kg [29].

## PODSUMOWANIE

Obecnie odbiorcy środków transportu nie uzyskują obecnie pełnej informacji o emisji gazów cieplarnianych przez środki transportu, gdyż generalnie podawana jest informacja o emisji spalin w czasie eksploatacji takiego pojazdu, natomiast brak jest informacji o kosztach i emisji dwutlenku węgla w czasie procesu produkcyjnego elementów składowych środków transportu. Na przykład H.E. Friedrich [1] podaje dane emisji dwutlenku węgla powstającego w czasie wytworzenia jednego kilograma materiału stosowanego w budowie środków transportu. Przy wytwarzaniu 1 kg stali zanieczyszczenie środowiska dwutlenkiem węgla wynosi ok. 2 kg natomiast przy wytwarzaniu 1 kg włókien węglowych PAN emisja dwutlenku węgla dochodzi do 30 kg, co odpowiada emisji dwutlenku węgla przez samochód typu „Compact” na drodze ok. 300 km. Należy też zdać sobie sprawę z objętości emitowanego dwutlenku węgla i biorąc dane z prospektów samochodowych emisja dwutlenku węgla samochodu typu „Compact” wynosi ok. 100g na kilometr. Oznacza to że biorąc pod uwagę iż gramcząsteczka dwutlenku węgla ma 44 g to z prawa Avogadro wynika że objętość emitowanego dwutlenku węgla wynosi 100 g / 44 g x 22,4 l = 50,9 l na jeden przejechany kilometr.

Z drugiej strony samochody elektryczne w czasie jazdy nie emitują spalin lecz podczas ładowania ich akumulatorów zużywana jest energia elektryczna która np. w Polsce w większości wytwarzana jest w elektrowniach opalanych węglem kamiennym i brunatnym.

Ze względu na potrzebę zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych prowadzone są intensywne prace nad zmniejszeniem emisji dwutlenku węgla przez silniki spalinowe. Z jednej strony w układach wydechowych montowane są coraz bardziej wydajne katalizatory i filtry cząstek stałych, a z drugiej strony prowadzone są prace nad zmniejszeniem masy pojazdów, co wpływa na redukcję zużycia paliwa, a co za tym idzie emisji gazów cieplarnianych. Ważnym kierunkiem rozwojowym jest stosowanie elementów pojazdów charakteryzujących się relatywnie małą masą, co przy konsekwentnej polityce w tej dziedzinie doprowadzi do redukcji masy pojazdów o ok. 30% w roku 2050.

## BIBLIOGRAFIA

1. H.E. Friedrich H. E.– wydawca, *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik*, Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden, RFN 2013.
2. Drzał J., Wojtkowiak M., Kaczmar J. W., *Nowoczesne lekkie struktury nośne (Modern light, load-bearing structures)*, Tworzywa Sztuczne w Przemysle, No. 3 (2011) 62-66.
3. *Carbon composites and cars-technology watch 2012*, Reinforced plastics, January/February 2013 s. 39-42 (notatka bez autora).
4. Zawora J., *Podstawy technologii maszyn*, WSiP SA, Warszawa 2001, str. 132.
5. Kaczmar J., Mayer P. *Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych*, Tworzywa Sztuczne i Chemia Nr 6/2008, s. 52-56.
6. Mayer P., Pach J., *Zastosowanie nowoczesnych kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi i szklanymi w motoryzacji*, Mechanik 4/2010, s. 30-34.
7. Fejdyś M., Łandwajt M., *Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe*, Techniczne Wyroby Włókiennicze 2010, R. 18, nr 1/2, s. 12-22.
8. *The global composite fibre market: a bright future*, JEC COMPOSITES MAGAZINE No78 January-February 2013, s. 4.
9. Moniruzzaman M., *PEI/carbon as metal substitute in aircraft food tray arms*, JEC COMPOSITES MAGAZINE, No70 January – February 2012, s. 48.
10. Kaczmar J.W., *Wytwarzanie i właściwości elementów z materiałów kompozytowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
11. Winterkorn M., Ludanek H.: *Weltweite Landesspezifische Fahrzeuganforderungen fuer Material Funktion*, Dresdener Leichtbausymposium 2002, Funktionsintegrative Leichtbauloesungen, Technische Universitaet Dresden, Juni 15-17, 2002.
12. Kaczmar J.W., Wróblewski R., Nakonieczny L., Iwko J.: *Wytwarzanie i właściwości elementów hybrydowych metal-polimer*, Polimery Vol.53 (2008) 519-525.
13. Workshop report: *Trucks and Heavy-Duty Vehicles Technical Requirements and Gaps for Lightweight and Propulsion Materials*, February 2013, U.S. Department of Energy, Vehicle Technologies Office.
14. Champenois C., *A recreational airplane as advanced as the latest wide-bodied aircraft*, JEC COMPOSITES MAGAZINE No99 January – September 2015, s. 14-16.
15. *HexMC carbon fibre/epoxy moulded parts for the Boeing 787*, JEC COMPOSITES MAGAZINE No71 March 2012, p. 14, s. 47.
16. <http://www.airlinereporter.com/wp-content/uploads/2013/05/787-9b.jpg>
17. *New thermoplastic modular truck bumpers*, JEC COMPOSITES MAGAZINE No81 May-June 2013, s. 14.
18. [http://www.plasticstoday.com/sites/default/files/Bumper%20\\_I\\_o\\_res.jpg](http://www.plasticstoday.com/sites/default/files/Bumper%20_I_o_res.jpg)
19. <http://www.im.pl>
20. *Historia lekkich konstrukcji modelu Corvette*, Materiały kompozytowe 4/2012, s. 5-6.
21. <http://image.motortrend.com/f/59401453/2013-Chevrolet-Corvette-Z06-rear-three-quarter1.jpg>
22. <http://www.tiresandparts.net/AplImages/News/Large/9747.jpg>
23. [http://www.rodin-automobile.de/typo3temp/\\_processed\\_/csm\\_image\\_content\\_0017\\_Rodimg\\_Carbon\\_Cell\\_03\\_dd3ae3094b.jpg](http://www.rodin-automobile.de/typo3temp/_processed_/csm_image_content_0017_Rodimg_Carbon_Cell_03_dd3ae3094b.jpg)

24. Kaczmar J.W., Dmitruk A., *Analiza techniczna i ekonomiczna wytwarzania wyrobów z tworzyw polimerowych i ze stali*, Przetwórstwo Tworzyw. 2013, nr 1, s. 9-15.
25. <http://www.chemgeneration.com/pl/news/zaawansowane-tworzywa-sztuczne.html>
26. Naplocha K., Kaczmar J.W., Granat K.: *Materiały kompozytowe (MMC) na osnowie stopu EN AC 44200*, Materiały Kompozytowe, 1 (2011) s.14-17.
27. <http://relinc.net/wp-content/uploads/2014/08/MMCmid1.png>
28. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Fibacore\\_Suspension\\_Upright\\_-\\_Official.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Fibacore_Suspension_Upright_-_Official.png)
29. <http://mmc-assess.tuwien.ac.at/mmc/Article296.html>

## APPLICATION OF LIGHTWEIGHT POLYMER AND METAL COMPOSITE ELEMENTS IN THE TRANSPORTATION

### *Abstract*

*The paper characterizes the properties and application of composite materials in the means of transportation. There are discussed the Polymer Matrix Composites and the Metal Matrix Composites as well. It presents the actual examples of the application of composite materials in the transportation.*

Autorzy:

**Mgr inż. Anna Koniuszewska** - [anna.koniuszewska@pwr.edu.pl](mailto:anna.koniuszewska@pwr.edu.pl), Politechnika Wroclawska, Katedra Odlewnictwa, Tworzyw Sztucznych i Automatyki, 50-370 Wrocław, W. Wyspiańskiego 27

**Dr hab. inż. Krzysztof Naplocha** - [krzysztof.naplocha@pwr.edu.pl](mailto:krzysztof.naplocha@pwr.edu.pl), Politechnika Wroclawska, Katedra Odlewnictwa, Tworzyw Sztucznych i Automatyki, 50-370 Wrocław, W. Wyspiańskiego 27

**Prof. Jacek W. Kaczmar** - [Jacek.kaczmar@pwr.edu.pl](mailto:Jacek.kaczmar@pwr.edu.pl), Politechnika Wroclawska, Katedra Odlewnictwa, Tworzyw Sztucznych i Automatyki, 50-370 Wrocław, W. Wyspiańskiego 27