

# EKOLOGICZNY SAMOCHÓD TWORZYWA SZTUCZNE W TECHNICIE MOTORYZACYJNEJ

cz. 1.

KAROL BIELEFELDT, WŁADYSŁAW PAPACZ, JANUSZ WALKOWIAK

Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn

## Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości stosowania tworzyw polimerowych w motoryzacji w aspekcie produkcji samochodu ekologicznego. Omówiono ogólne wymagania stawiane materiałom oraz wskazano możliwości znacznego zwiększenia między innymi właściwości wytrzymałościowych tworzyw polimerowych poprzez stosowanie odpowiednich dodatków, a w tym nośników. Wymieniono najczęściej stosowane tworzywa oraz liczne materiały wzmacniające. Przedstawiono liczne przykłady zastosowań tworzyw wzmocnionych najnowszymi materiałami, np. nanomateriały, jak i z uwagi na ekologiczny aspekt – włóknami naturalnymi. Opisano także istotę najnowszych technologii umożliwiających wytworzenie części samochodowych z tworzyw wzmocnionych różnymi nośnikami, w tym także w odniesieniu do konstrukcji hybrydowych.

**Słowa kluczowe:** samochód ekologiczny, części z tworzyw wzmocnionych i kompozytów, materiały wzmacniające, technologie przetwórstwa tworzyw wzmocnionych i kompozytów, konstrukcje hybrydowe

## 1. Wstęp

Zapewnienie energii i ochrona środowiska są kluczowymi zagadnieniami naszych czasów. W tym aspekcie wyzwaniem staje się zachowanie mobilności w zgodzie z wymaganiami ekologii. W takim rozumieniu ekologiczny samochód to taki, który w żadnej fazie swojej egzystencji nie powinien obciążać środowiska. Oznacza to, że zarówno jego produkcja, eksploatacja, a także okres poeksploatacyjny nie powodują degradacji ekologicznej. Zauważmy – takiego samochodu nie ma! Ekologiczny samochód, to dalekosiężny cel przemysłu motoryzacyjnego. Problemy związane z jego wytworzeniem rozwiązywane mogą być poprzez postęp w technice napędu, rozwój technologii zmierzających do zmniejszenia masy pojazdu oraz jego oporów ruchu, a także zużycia energii w procesie produkcyjnym. Redukcja masy pojazdu o 100 kg powoduje zmniejszenie zużycia paliwa o 0,3 do 0,5 l/100 km lub obniżenie o 7,5 do 12,5 g/km emisji CO<sub>2</sub> [1]. Niektóre źródła podają nawet odpowiednio 0,5 ÷ 0,6 l/100 km lub obniżenie emisji CO<sub>2</sub> o 13 g/km [2]. Obecnie najwięcej uwagi poświęca się emisji szkodliwych gazów i pyłów.

Dwutlenek węgla emitowany przez pojazdy samochodowe wykreowany został na negatywnego bohatera, sprawcę wszelkich „nieszczeń ekologicznych” – w znacznej mierze odpowiedzialnego za ocieplenie klimatu. W rzeczywistości udział środków komunikacji drogowej wynosi około 20% ogólnej emisji CO<sub>2</sub> (w tym na samochody osobowe przypada 12 %) [3]. Tym niemniej i ta ilość stanowi wystarczające uzasadnienie dla podjęcia wszelkich działań zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych.

Stosowanie w budowie pojazdów szeroko pojętych tworzyw sztucznych prowadzi do:

- obniżenia masy pojazdu,
- tłumienia hałasu i drgań,
- wzrostu bezpieczeństwa biernego,
- obniżenia kosztów produkcji przez innowacyjne rozwiązania, efektywne technologie i lekkie konstrukcje,
- podnoszenia komfortu i estetyki wnętrza oraz spełniania funkcje dekoracyjne (emblematy, znaki firmowe, paski ozdobne, itp.).

Najlepiej, gdyby te cele osiągnięte były równocześnie, co w efekcie prowadziło do produkcji samochodu lżejszego, bezpieczniejszego, bardziej komfortowego i ładniejszego, a równocześnie tańszego. Jakkolwiek wszystkie one są niezwykle istotne, to w aspekcie ekologicznym obniżenie masy oraz tłumienie hałasu i drgań należy uznać za priorytetowe.

Masę własną pojazdów efektywnie zmniejsza się przez zastąpienie metalu materiałami polimerowymi – tworzywami sztucznymi. Ich stosowanie w budowie pojazdów, to również spora energooszczędność w porównaniu do stosowania stali i aluminium, to znaczniższe zapotrzebowanie na energię w czasie wytwarzania oraz eksploatacji pojazdu. Rezygnacja z tworzyw sztucznych w budowie samochodów osobowych spowodowałaby przyrost zapotrzebowania na energię o 26% [2]. Stosowanie tworzyw sztucznych jest więc koniecznością, zwłaszcza że średnia masa europejskiego samochodu wzrasta. W roku 1985 samochód ważył średnio 950 kg, obecnie osiąga masę 1200 kg [4]. Dobrym przykładem jest Audi, którego masa w okresie 30 lat (1972-2003), pomimo wykorzystywania w jego budowie tworzyw sztucznych wzrosła o 460 kg [5].

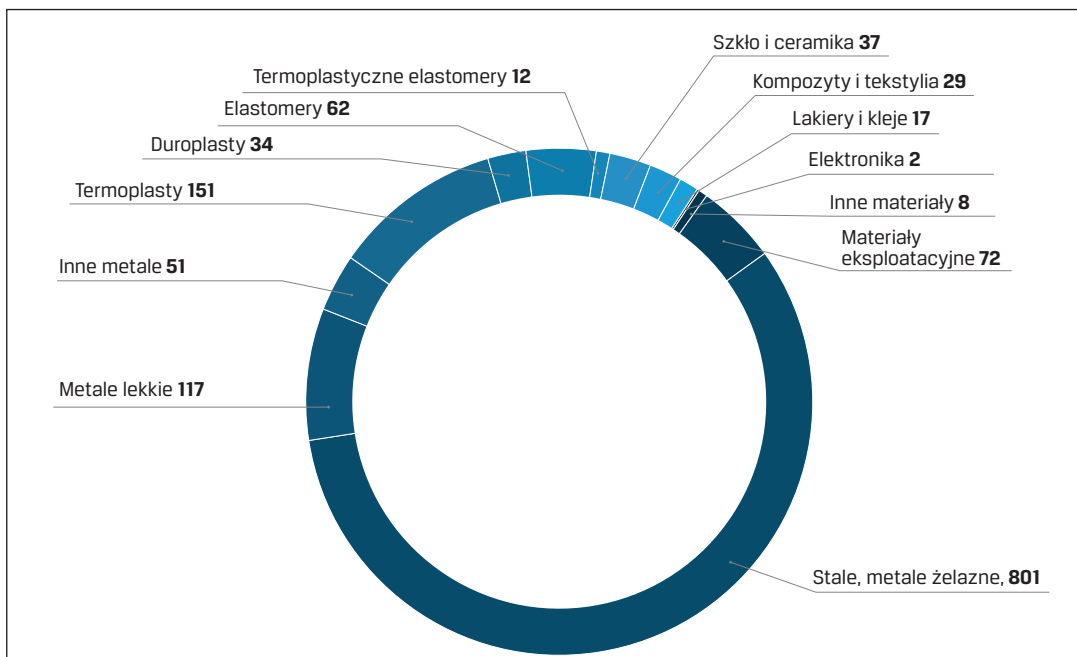
Prekursorem stosowania materiałów polimerowych w budowie samochodów osobowych był Henry Ford, który już w 1915 r. w modelu Ford-T zastosował tworzywa sztuczne, a w roku 1941 zaprezentował swój „Hemp Car”, samochód z karoserią z tworzyw wzmocnionych włóknem konopnym [6, 7].

Pierwszym seryjnie produkowanym samochodem z karoserią z tworzyw sztucznych był Chevrolet Corvette z roku 1952 [8], a nieco później pojawił się w ówczesnej NRD Trabant, którego poszycie także w całości wykonane było z tworzywa sztucznego (żywica fenolowa z włókniną bawełnianą) [9].

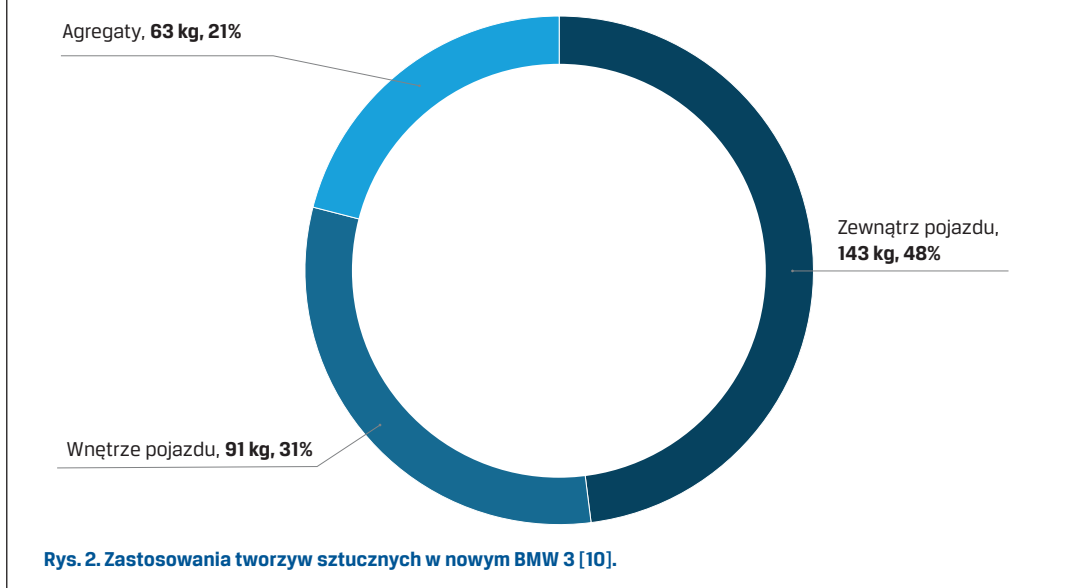
Obecnie masowy udział tworzyw sztucznych w budowie pojazdów wynosi średnio 15-20%. W aktualnie produkowanym BMW 3 stosuje się na przykład ok. 21 % tworzyw sztucznych, co w szczegółach przedstawiono na rysunku 1.

Jakkolwiek w różnych samochodach różnych producentów ilość tworzyw na zewnątrz samochodu, w jego wnętrzu oraz w komorze silnikowej kształtuje się nieco inaczej,

to generalnie zastosowanie tych materiałów masowo i procentowo przedstawia rysunek 2.



**Rys. 1. Udział poszczególnych materiałów (w kg) w samochodzie na przykładzie nowego BMW 3 (masa pojazdu 1403 kg) [10].**



**Rys. 2. Zastosowania tworzyw sztucznych w nowym BMW 3 [10].**

Jak widać około 50% tworzyw sztucznych w samochodach osobowych stosuje się na zewnątrz pojazdu, zarówno w nadwoziu, jak i w podwoziu. Są to elementy karoserii (np. płyty poszycia i spoilery), nadkola, osłony i zderzaki. Dotyczy to również elementów zawieszenia pojazdu. We wnętrzu samochodu tworzywa służą głównie podnoszeniu komfortu (tapicerka samochodowa - wrażenia optyczne i dotykowe) oraz redukcji hałasu.

Najbardziej spektakularnymi zastosowaniami są części i zespoły z materiałów polimerowych stosowane do budowy „agregatów” (rys. 2). Chodzi głównie o zastosowania w komorze silnikowej, w której panują trudne warunki pracy. Do niedawna takie warunki eliminowały tworzywa sztuczne z tego obszaru. Nowoczesne materiały i techniki wytwórcze sprawiły, że coraz szerzej także i w tym obszarze stosuje się tworzywa sztuczne.

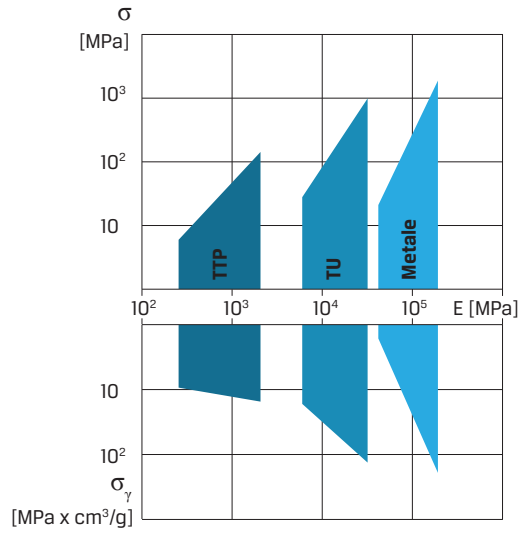
Wzmiankowany wyżej wzrost zastosowań wymuszony uwarunkowaniami ekologiczno-ekonomicznymi wynika z jednej strony z rozwoju materiałów polimerowych i technologii ich formowania, a z drugiej strony z postępu technicznego w zakresie konstruowania części i zespołów niemetalowych oraz nowoczesnych metod badania ich cech eksploatacyjnych. W tym względzie nie bez znaczenia są również techniki montażu pojazdów.

## 2. Materiały i technologie

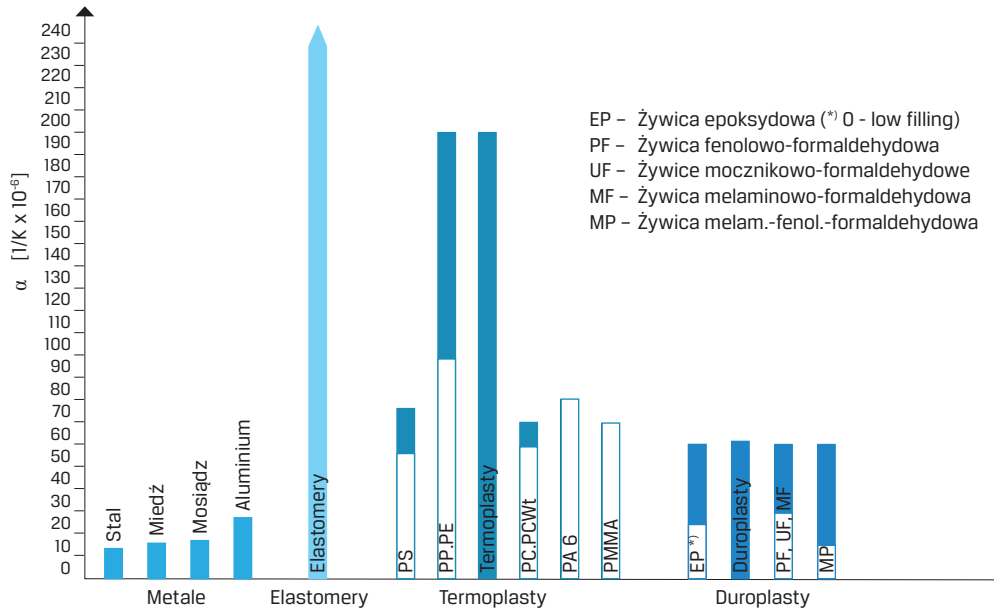
W budowie pojazdów znajdują zastosowanie różne materiały polimerowe. Oprócz elastomerów, które nie są przedmiotem niniejszego opracowania, szerokie zastosowanie znajdują tak tworzywa termoplastyczne, jak też utwardzalne. W obydwóch grupach stosuje się jednakże coraz mniej homopolimerów, natomiast udział tworzyw wzmocnionych wzrasta. Przemysł chemiczny intensywnie współpracuje z producentami samochodów, angażując się w szeroko pojęte prace rozwojowe, oferując materiały na miarę potrzeb.

W technice motoryzacyjnej szczególnie istotne są takie właściwości tworzyw sztucznych jak: wytrzymałość mechaniczna, sztywność, rozszerzalność termiczna, zdolność do pochłaniania energii, odporność na podwyższone temperatury, cechy izolacyjne (tłumienie hałasu) oraz właściwości tribologiczne. Ponadto materiały polimerowe muszą wykazywać, w zależności od miejsca ich zastosowania, odpowiednią odporność chemiczną. W budowie samochodów w zasadzie stosuje się tworzywa niepalne lub trudnopalne.

Ogólnie wiadomo, że metale charakteryzują się wyższą wytrzymałością niż tworzywa sztuczne. Przyglądając się jednakże temu problemowi nieco dokładniej stwierdzamy, że w zależności od rodzaju i sposobu wzmocnienia materiały polimerowe mogą nawet przewyższać niektóre właściwości mechaniczne większości metali. Poglądowo ilustruje to rysunek 3. Z perspektywy zastosowań materiałów polimerowych w konstrukcjach samochodowych szczególnie interesująco przedstawia się wytrzymałość właściwa, czyli stosunek wytrzymałości do ciężaru właściwego  $\sigma_v$ , która dla wielu tworzyw szczególnie wzmocnionych przewyższa tę wartość określaną dla metali.



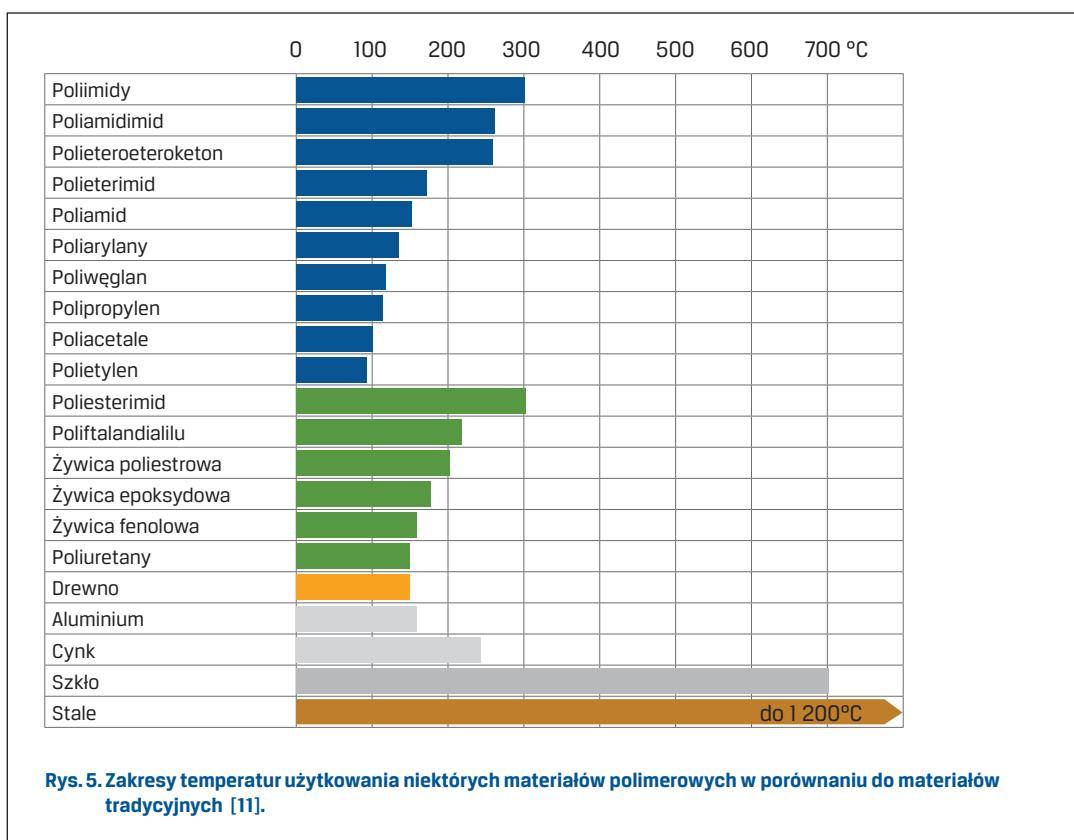
Rys. 3. Niektóre właściwości mechaniczne tworzyw sztucznych w porównaniu z metalami (TTP - tworzywa termoplastyczne, TU - tworzywa utwardzalne) [10].



Rys. 4. Współczynnik rozszerzalności liniowej różnych materiałów [10].

Inną ważną cechą materiałów polimerowych, która bezwzględnie musi być brana pod uwagę już na etapie projektowania pojazdu, jest termiczna rozszerzalność liniowa  $\alpha$ . Przedstawione na rysunku 4 zestawienie współczynników  $\alpha$  dla różnych materiałów wyraźnie pokazuje, że tworzywa sztuczne posiadają orientacyjnie 10-krotnie wyższą rozszerzalność liniową niż metale. Obowiązuje przy tym zasada, że im bardziej elastyczne (miękkie) tworzywo, tym wyższa jest jego rozszerzalność liniowa  $\alpha$ . Jak wykażemy w dalszej części niniejszej pracy, dzisiejsze techniki materiałowe znakomicie uporały się i z tym kłopotliwym problemem.

Jedną z istotniejszych cech materiałów polimerowych wymaganych przy zastosowaniach w budowie samochodów, zwłaszcza w otoczeniu silnika, jest odporność na podwyższone temperatury. Naturą tworzyw sztucznych jest spadek wytrzymałości i sztywności wraz ze wzrostem temperatury użytkowania. Współcześnie przemysł chemiczny oferuje materiały polimerowe, które mogą być użytkowane do 300 °C, co ilustruje rysunek 5. Dotyczy to tak tworzyw termoplastycznych (słupki niebieskie), jak też tworzyw utwardzalnych (słupki zielone). Dla porównania pokazano na zestawieniu temperatury użytkowania materiałów konwencjonalnych. Okazuje się, że wiele materiałów polimerowych wykazuje w tym względzie wyższą temperaturę użytkowania niż aluminium – materiał dotychczas chętnie stosowany w komorze silnikowej, ale szczególnie energochłonny w procesie wytwarzania.



Tworzywa sztuczne są znakomitym materiałem tłumiącym dźwięki. W materiałach polimerowych fale dźwiękowe rozchodzą się znacznie wolniej aniżeli w metalach lub szkłe. Zdolność tworzyw sztucznych do pochłaniania fal akustycznych jest tym większa, im mniejsza jest ich gęstość i im mniej sprężyste jest tworzywo. Nie chodzi tu wyłącznie o izolację akustyczną (wygłuszenie) pojazdu, lecz również o redukcję hałasu emitowanego lub przenoszonego przez same części. Zastosowanie w samochodzie Mercedes Actros misy olejowej z odpowiednio wzmocnionego poliamidu (PA66 GF35) powodują redukcję hałasu o 2 dB [11].

Jak wspomniano wyżej, opisane właściwości materiałów polimerowych nie są wartościami danymi tym materiałom na stałe z chwilą ich wyprodukowania. Cechy te zależą bowiem od zastosowanych dodatków wypełniających i wzmacniających - nazywanych często nośnikami, a ich stosowanie uwarunkowane jest wymaganiami eksploatacyjnymi części. Wymienione dodatki, a w szczególności środki wzmacniające polepszają w znacznym stopniu tak właściwości mechaniczne, jak też maksymalną temperaturę użytkowania. Wpływają również na inne cechy tworzyw, w tym na rozszerzalność cieplną. Wypełniacze i/lub materiały wzmacniające wprowadza się do tworzywa przed lub w trakcie przetwórstwa.

W zależności od przyjętego kryterium nośniki można różnie sklasyfikować. Coraz częściej w charakterze nośników w przetwórstwie tworzyw sztucznych stosowane są organiczne i nieorganiczne materiały pochodzenia naturalnego. Wprawdzie juta, sizal, konopie i inne włókna nie powodują znacznego wzrostu wytrzymałości i modułu Younga materiału, ale mogą spełniać określone wymagania wytrzymałościowe i trwałościowe niektórych elementów, a jednocześnie są dobrze postrzegane ze względów ekologicznych. Przykładami zastosowania włókien naturalnych wzmacniających części samochodowe z polipropylenu (PP) mogą być:

- półka tylna i osłona wewnętrzna drzwi samochodu VW Beetle – włókna z liści curaua [12],
- pojemnik na koło zapasowe w samochodzie Mercedes A – włókna z liści abaca [13],
- elementy wygłuszające i izolujące drzwi, podłogę, itp. w samochodzie Mercedes E – 43 kg włókien: wełny, lnu, konopi i sizalu [14].

Można również wytwarzać tworzywa o bardzo dużej wytrzymałości stosując nieorganiczny nanomateriał: montmorillonit<sup>1</sup> – także pochodzenia naturalnego.

Zdecydowanie większą grupę nośników stanowią materiały syntetyczne. W tej grupie wyróżnia się także materiały organiczne, na przykład zorientowane włókna polietylenowe (wysokokrystaliczny PE o wyprostowanych łańcuchach), włókna aramidowe, a także nieorganiczne – na przykład różne postacie nośników szklanych i specjalnych mineralnych (np. wollastonit – metakrzemian wapnia o strukturze iglastej).

Ze względu na postać można wyróżnić następujące wzmocnienia:

- cząstki i dyspersje, np. proszki, mikrosfery, płatki, itp.,
- włókna, rowing (pasma elementarnych włókien ciągłych złączonych równolegle), druty, whiskersy (włókna monokrystaliczne metali, ich tlenków i azotków, węgla krzemowego i boru, grafitu, itp.), nanorurki, itp.,
- płaskie, np. maty, tkaniny, taśmy, itp.,
- przestrzenne, różne plecionki.

<sup>1</sup> <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/7773/>

Większość tych materiałów była lub jest używana do wzmocnienia tworzyw stosowanych w technice motoryzacyjnej. W ostatnich latach stopniowo wprowadza się jako dodatek do materiału polimerowego nanomateriały w celu wzmocnienia lub nadania częściom samochodowym specyficznych właściwości. Najczęściej stosuje się wspomniany już wyżej montmorillonit, którym wzmacniane są przeważnie poliamidy (PA). Ze wzmocnionego poliamidu wytwarzane są mianowicie: pokrywy głowicy, osłony paska zębatego napędu rozrządu, elementy układu paliwowego, a wzmocniony w ten sposób polipropylen stosowany jest na deski rozdzielcze o zwiększonej odporności na zarysowania, zabrudzenia, itp.

Wysoki stopień wzmocnienia uzyskuje się przez zastosowanie włókien rozmieszczonych w matrycy polimerowej w kierunku działania obciążeń, uzyskując materiał silnie anizotropowy. Najczęściej do tego celu używane są włókna cięte, co tłumaczy się między innymi stosunkowo dobrze opanowanymi technikami przetwórczymi. To właśnie włókna cięte znajdują największe zastosowanie do wzmocnienia części wykonanych z tworzyw termoplastycznych. Od wielu lat montowane są w samochodach części wzmocnione krótkimi włóknami szklanymi typu „E”<sup>2</sup>. Tworzywa wzmacniane włóknami węglowymi, mimo ograniczeń wynikających z wysokich kosztów materiałowych i technologicznych, stosowane są coraz częściej. Prognozy są tu wyjątkowo dobre, gdyż takie części są lekkie i wytrzymałe. W porównaniu do części ze stali są lżejsze o 60 %, a w porównaniu do Al - o 25 %. Równocześnie wykazują wysoką wytrzymałość zmęczeniową, zapewniając dobrą estetykę, bez jakichkolwiek dodatkowych powłok. Części z tworzyw wzmocnionych charakteryzują się wysoką trwałością kształtu. W małoseryjnej produkcji koszty oprzyrządowania są niewielkie, gdyż nie wymaga się dużej trwałości form. Możliwe zastosowania omawianych materiałów to hybrydyzacja części i zespołów konstrukcyjnych oraz struktury nośne i kompletne karoserie [15].

Jeszcze lepszy efekt wzmocnienia kierunkowego uzyskuje się przez wprowadzenie do matrycy polimerowej włókien długich. Technologia wykonania tak wzmocnionych materiałów, znana w przypadku części i wyrobów na bazie żywic utwardzalnych, dla tworzyw termoplastycznych opanowana została niedawno [16]. Przeważnie chodzi tu o poliamidy (PA 66, PA 6), ale tego typu wzmocnienia stosuje się również w przypadku innych termoplastów, takich jak: polipropylen, politereftalan butylowy (PBT), a także do wzmacniania części z poliacetali (POM). Metodą prasowania plastyfikowanego tworzywa wzmocnionego długim włóknem szklanym (LFT, ang. Long Fibre Thermoplastics) wykonuje się elementy podwozia i konstrukcje nośne do mocowania chłodnicy, reflektorów, itp.

Stosowane od dawna włókna ciągłe (szczególnie szklane) w skojarzeniu z żywicami poliestrowymi lub epoksydowymi dają najwyższe wzmocnienie kierunkowe. W ten sposób wykonywane są niektóre wzmacniające konstrukcyjne elementy wzdłużne, ale również zbiorniki (przez nawijanie). Włókna ciągłe stosowano także do wytwarzania resorów przestawionych w dalszej części pracy.

Bardzo dobre efekty wzmacniające (izotropowo) uzyskuje się przez stosowanie na wzmocnienie mat i wszelkiego rodzaju tkanin względnie dzianin z włókien szklanych, węglowych, aramidowych lub innych. Volkswagen stosuje w swoich pojazdach osłonę dolną przedziału

<sup>2</sup> Włókno szklane typu E swoje oznaczenie wywodzi z pierwotnego zastosowania w elektrotechnice. Wytwarza się je z czystego kwarcu z dodatkami wapnia, kaolinu i kwasu borowego. Jest najtańszym i najczęściej stosowanym włóknem szklanym.



silnikowego z termoplastów wzmocnionych matą szklaną [17]. Tego rodzaju materiały niekiedy nazywa się „blachami organicznymi”.

Najczęściej stosowanym tworzywem termoplastycznym przetwarzanym w postaci wzmocnionej na odpowiedzialne części pojazdu są poliamidy, w szczególności zaś PA66 wzmocniony włóknem szklanym (GF), przy czym udział włókien osiąga nawet 60 %, jak w przypadku wnęki koła zapasowego samochodu Audi A8 [18]. Tworzywo charakteryzuje się między innymi: wysoką wytrzymałością i sztywnością, skłonnością do tłumienia drgań i podwyższoną odpornością cieplną. Z PA66 wzmocnionego włóknem szklanym wykonywane są kolektory dolotowe do samochodów BMW (GF30) i Porsche (GF35) [19, 20], a z dodatkiem wypełniacza mineralnego w ilości 15 % - pokrywy głowic do samochodów VW Passat i Audi A4 (GF25) [21]. PA66 GF35 stosowany jest jeszcze w wielu innych miejscach pojazdów, a w tym: w układzie napędowym, sprzężynach pneumatycznych (samochód ciężarowy MAN), misach olejowych, itd. [11, 21, 22].

W technice motoryzacyjnej stosuje się poliamidy również w postaci mieszanin z innymi termoplastami. Udoskonalonym w tym zakresie materiałem jest mieszanina poliamid + polifenyleneoeter (PA + PPE). Materiał charakteryzuje się wyraźnie podniesioną granicą odporności cieplnej oraz podniesioną termiczną trwałością kształtowo-wymiarową. Postępy w badaniach materiałowych realizowanych wspólnie przez przemysł chemiczny i motoryzacyjny doprowadziły do powstania specjalnych poliamidów umożliwiających stosowanie tych materiałów w elementach nadwozia. Procesy lakierowania metodą KTL<sup>3</sup> (suszenie w temperaturze do 200 °C) nie naruszają stabilności kształtowo-wymiarowej części [23].

Wzmocnione poliamidy podobnie jak też inne termoplastyczne tworzywa sztuczne w zasadzie formuje się metodami konwencjonalnymi. Różnica w odniesieniu do termoplastów niewzmocnionych polega na sposobie wprowadzenia do tworzywa materiału wzmacniającego. W przypadku wzmacniania ciętym włóknem (0,3-10 mm) stosowane są trzy metody:

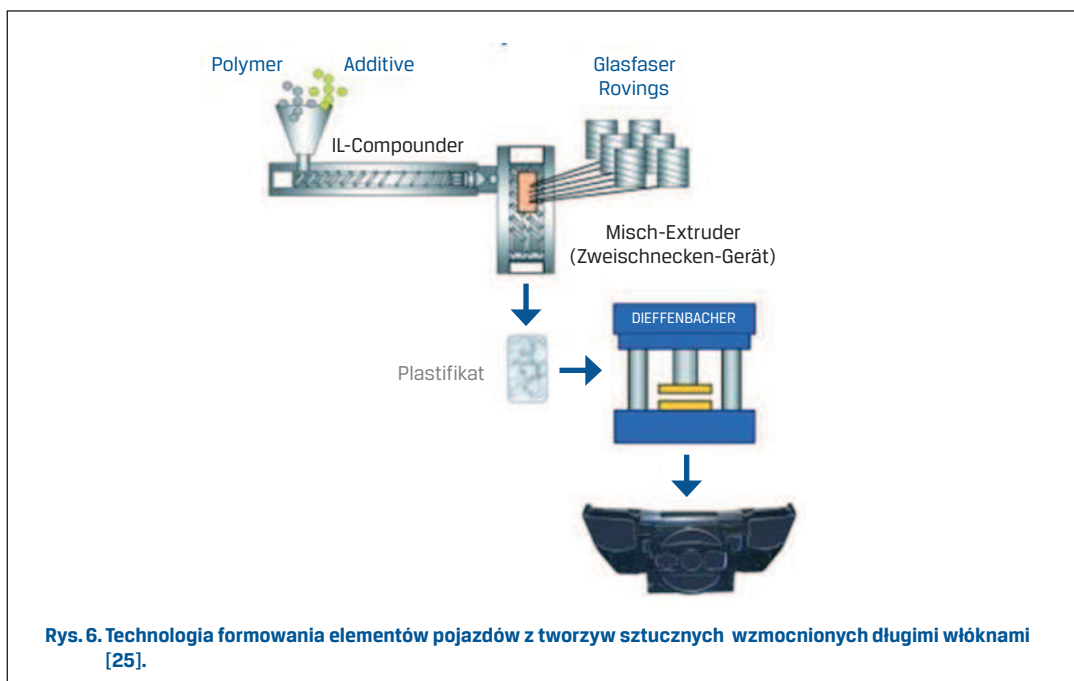
1. Wymieszanie materiału polimerowego z pociętymi włóknami następuje w jednostce uplastyczniającej wtryskarki. Proces formowania odpowiada z grubsza technologii wtryskiwania materiałów niewzmocnionych.
2. Materiał polimerowy mieszany jest w oddzielnym procesie z włóknem wzmacniającym za pomocą kompanderów, gdzie włókno jest wprowadzane do osnowy polimerowej przeważnie w postaci rowingu lub pocięte. Dzięki temu możliwe jest uzyskiwanie tworzywa z włóknami o stosunkowo dużych długościach, a przez to formowanie kształtek o wysokiej wytrzymałości.
3. Przez ciągłe nasycanie stopionym poliamidem pasma włókien wzmacniających (metoda pultrusion) i pocięcie tego produktu otrzymuje się granulaty z wprowadzonymi włóknami szklanymi lub karbonizowanymi. Włókna są zorientowane równolegle i mają długość odpowiadającą wymiarom granulatu (6 – 10 mm). Granulat ten przetwarza się technologią wtrysku.

Zupełnie innych technologii przetwórstwa wymagają poliamidy lub inne tworzywa

<sup>3</sup> KTL – katodowe lakierowanie zanurzeniowe

termoplastyczne, np. polipropylen albo politereftalan etylenu (PET), wzmocniane włóknami długimi (ok. 25 mm). W takim przypadku stosuje się metodę IMC<sup>4</sup> – technologię stosowaną również w przypadku krótszych włókien. W tej technologii połączono dwie metody przetwórcze: ciągły proces komandowania i cykliczny proces formowania wtryskowego. Technologią IMC wykonuje się przykładowo konstrukcję pasów przednich ze wzmocnionego polipropylenu dla samochodów Citroën C3, Peugeot 307, Audi A3 oraz VW Golf i Bora [24].

Odmianą technologią wytwarzania elementów konstrukcyjnych pojazdów z tworzyw wzmocnionych włóknami długimi w postaci rowingu realizuje się za pomocą linii technologicznej składającego się z komandera (urządzenie przygotowujące tworzywo i dodatki do przetwórstwa), wylączarki i prasy szybkoobrotowej przedstawionej na rysunku 6.



Do wytwarzania elementów poszycia nadwozia z tworzyw termoplastycznych wzmocnionych włóknem ciągłym stosuje się także techniki prasowania. Włókna wzmocniające tworzą w tym przypadku struktury wytworzone technikami włókienniczymi (tkaniny lub dzianiny). W ten sposób powstają między innymi tak zwane „blachy organiczne”, którym ostateczny kształt nadaje się przez formowanie w narzędziu prasowniczym. Inną techniką wytwarzania elementów poszycia jest polimeryzowanie tworzywa (np. poliamidu odlewniczego) w formie wypełnionej nośnikiem z włókien ciągłych [26].

Powszechnie stosowanymi tworzywami sztucznymi w budowie pojazdów są poliuretany (PUR). W zależności od technologii formowania oraz sposobu modyfikacji (wypełniacze lub

<sup>4</sup> Injection Molding Compounder

włókna wzmacniające cięte lub ciągłe) wytwarza się z nich części o niezwykle szerokiej skali właściwości. Z jednej strony modyfikowane poliuretany spienione są zdolne do znacznej absorpcji energii oraz do tłumienia drgań i dlatego chętnie stosowane są na zderzaki lub na materiały i części izolacyjno-wygluszające. Z drugiej strony – w wersji litej – materiały te odporne są na wysokie temperatury i nadają się do lakierowania metodą KTL. Tworzywo wykazuje wysoką udarność w niskich temperaturach, a niewielka rozszerzalność cieplna (PUR wzmocniony wollastonitem:  $\alpha < 40 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ , lub włóknem węglowym:  $\alpha < 25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ) stwarza możliwość stosowania małych szczelin („optyka szczelin zerowych”) i dobrego dopasowania, przy stosownej stabilności wymiarowej. Niska wodochłonność umożliwia stosowanie materiału w ciepłym i wilgotnym klimacie. Dlatego też materiał ten stosuje się na elementy karoserii, osłony zderzaków, poszycie błotników, nadproża, obudowy drzwi, obudowy boczne, listwy i spoilery [27].

Do nadawania kształtu częściom z poliuretanu wzmocnionego włóknem stosuje się techniki wtrysku niskociśnieniowego – R-RIM (*Reinforced Reaction Injection Moulding*). Technologia ta polega na mieszaniu w głowicy reakcyjnych składników (poliolu i izocyjanianu) oraz włókien wzmacniających i ich wtrysnięciu do zamkniętej formy. Po zakończonej reakcji (zestaleniu materiału) gotową kształtkę wyjmuje się z formy.

W aktualnie produkowanych samochodach można zauważyć liczne przykłady zastosowań części z kompozytów polimerowych. Są to głównie elementy poszycia zewnętrznego i elementy kształtowe wykonane z kompozytów ze wzmocnieniem szklanym i węglowym. Najczęściej osnową są żywice poliestrowe (UP) i epoksydowe (EP), rzadziej inne [28]. Przemysłane zbrojenie struktury umożliwia takie ukierunkowanie włókien, aby w czasie pracy występowało ich rozciąganie. Węglowe włókna ciągłe wykazują bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie, sięgającą 1900 MPa. Przykłady konstrukcji kompozytowych stosowanych w samochodach przedstawiono w dalszej części pracy.

Do wzmocnienia tworzyw utwardzalnych stosuje się także różne postacie nośników. Części z tworzyw termoutwardzalnych są najczęściej formowane z tłoczyw otrzymanych technologią BMC (*Bulk Moulding Compounds*), zawierających wzmocnienia typu cięte włókna szklane i inne. Przez formowanie wtryskowe lub przez prasowanie wytwarza się dla przemysłu motoryzacyjnego nawet kształtki wielkogabarytowe, jak np. ramy tylnych okien.

Najbardziej znaną, aczkolwiek rzadziej stosowaną w przemyśle samochodowym metodą wytwarzania części z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem ciągłym jest metoda pultruzji<sup>5</sup>. Metodą tą wytwarza się stosowane w budowie pojazdów belki wzmacniające i pióra resorów [29]. Te ostatnie aktualnie częściej wykonuje się z taśm preimpregnatów.

Elementy poszycia z kompozytów poliestrowych lub epoksydowych, wzmocnionych warstwami mat lub tkanin, są prasowane niskociśnieniowo. Proces realizuje się metodą worka próżniowego, w autoklawach lub metodą wtryskiwania próżniowego RTM (*Resin Transfer Moulding*). W metodzie RTM dozowana żywica przesyca odpowiednio ułożone w formie warstwy wzmocnienia i jednocześnie jej nadmiar jest odprowadzany wytworzonym podciśnieniem. Wyrób jest prasowany na prasie lub w podobnie działającym urządzeniu.

<sup>5</sup> Pultruzja (*Pultrusion*) – technika ciągłej produkcji profili polegającej na nasycaniu wiązki wzmacniających włókien żywicami i ich przeciąganiu przez odpowiednio ukształtowaną dyszę.

Elementy poszycia samochodów niskiej i średniej klasy są wytwarzane częściej z kompozytów poliestrowych wzmocnionych włóknami szklanymi. Do samochodów wyższej klasy i samochodów sportowych stosowane są – zależnie od wymagań – kompozyty epoksydowo-szklane lub epoksydowo-węglowe.

Tworzywa utwardzalne mogą być również stosowane w kombinacji z innymi materiałami polimerowymi. Ciekawym przykładem takiego rozwiązania jest dach serii samochodów ciężarowych MAN, który złożony jest z zewnętrznej warstwy epoksydowej (modyfikowanej), warstwy izolacyjno-tłumiącej ze spienionego PUR oraz laminatu epoksydowo-szklanego (warstwy maty). Całość jest wykonana trzystopniowo metodą RTM [30]. Epoksydowe kompozyty wzmocnione ciągłym włóknem węglowym, łącznie z duraluminiową rurą, stosuje się do wytwarzania zbiorników na gaz. Natomiast z modyfikowanego poliuretanu oraz kompozytu na bazie żywicy epoksydowej, wzmocnionej anizotropowo przez nawijane ciągłych włókien węglowych, wykonano już próbne zbiorniki na wodór [31].

W produkcji seryjnej przemysł bazuje na preimpregnatkach, półproduktach wytwarzanych technologią SMC (*Sheet Molding Compounds*). W zależności od wymagań konstrukcyjnych, korzysta się z półproduktu o przypadkowym ułożeniu ciętych włókien wzmacniających (SMC-R), włóknach ciętych ukierunkowanych (SMC-D) lub jednokierunkowo zorientowanych włókien ciągłych (SMC-C). Kolejne wersje preimpregnatów charakteryzuje coraz wyższa wytrzymałość i moduł E. Tego rodzaju materiały wzmocnione różnie usytuowanymi odcinkami włókien węglowych lub aramidowych, matami lub tkaninami o żądanej orientacji i splocie, są ogólnie dostępne i chętnie stosowane. Preimpregnaty takie są gotowe do dalszego przetwórstwa, a po odpowiednim wycięciu wymaganego zarysu i umieszczeniu w formie, są przy odpowiednich parametrach (temperatura i ciśnienie) utwardzane w procesie prasowania.

Od kilku lat w budowie samochodów stosuje się konstrukcje hybrydowe, będące połączeniem elementu metalowego i tworzywa sztucznego. Element metalowy jest kształtowany najczęściej obróbką plastyczną i osadzany w gnieździe formy, do której następnie wtryskiwane jest tworzywo termoplastyczne. Technologia ta, oparta na efekcie synergii właściwości użytych materiałów, powoduje zmniejszenie masy tak wytworzonych części przy jednoczesnym zwiększeniu ich wytrzymałości i sztywności. Koszty wytwarzania z reguły podlegają obniżeniu, a projektanci samochodu uzyskują większą swobodę w kształtowaniu bryły nadwozia.

W konstrukcjach hybrydowych do wzmocnienia elementów metalowych stosowane są przede wszystkim poliamidy (PA6, PA66) wzmocnione najczęściej krótkim włóknem szklanym (30-35%) [np. 32]. W niektórych rozwiązaniach stosuje się do wzmocnienia konstrukcji włókna długie lub ciągłe [33], czego przykładem jest pas przedni z polipropylenu w samochodach Mercedes Vito/Viano NCV2.

Konstrukcje hybrydowe są wytwarzane znanymi i stosowanymi od wielu lat technologiami przetwórstwa, jak również metodami mniej znanymi. Obecnie stosowane metody najczęściej oparte są na technologii wtryskiwania (element metalowy osadzony jest w formie wtryskowej). Znane są następujące techniki wytwarzania konstrukcji hybrydowych:

- 1) Insert – dodatkowe funkcje spełniają „obtrysnięte” tworzywem metalowe zapraski,

- 2) Outsert – „dotryśnięte” tworzywo stanowi materiał dodatkowy – element funkcjonalny jest w postaci łożyska ślizgowego, zatrzasku, tulejki, itp.,
- 3) PMA (*plastic metal assembly*) – wtryskiwaną konstrukcję łączy się z gotowym elementem metalowym w operacji montażu, wykorzystując wtryskiwane jednocześnie z wyrobem zatrzaski, nitopodobne „przetryski” tworzywa, itp.,
- 4) MOM (*metal over molding*) – do osadzonych w formie elementów metalowych wtryskiwane jest tworzywo tworząc na gotowo konstrukcję z tworzywowym wzmocnieniem i najczęściej innymi elementami łączącymi obydwie materiały,
- 5) Metal-Gaim (*metal-gas assisted injection molding*),
- 6) Metal-Waim (*metal-water assisted injection molding*).

Dwie ostatnie techniki wytwarzania konstrukcji hybrydowych także polegają na wtryskiwaniu tworzywa polimerowego do formy z osadzonym elementem metalowym, lecz ciekły rdzeń konstrukcji jest usunięty podwyższonym ciśnieniem gazu (Metal-Gaim) lub wody (Metal-Waim), pozostawiając wewnątrz wyrobu niewypełnione [34, 35].

Opisaną technologię z powodzeniem stosuje się do wytwarzania pasa przedniego, pokrywy tylnej i innych elementów konstrukcyjnych samochodu. Po raz pierwszy w seryjnie produkowanym samochodzie hybrydowy pas przedni zastosowano w Fordzie Focus.

Znaczne polepszenie cech mechanicznych uzyskuje się w tak zwanej metodzie „hybrid plus”, w której na blachę stalową nanosi się metodą Coil Coating<sup>6</sup> stosowny podkład i poddaje ją konwencjonalnemu tłoczeniu. Na tak wykonaną kształtkę natryskuje się uźebrowanie ze wzmocnionego włóknami polipropylenu. Części można poddać procesowi lakierowania zanurzeniowego (KTL) [36].

### 3. Rozważania końcowe

Wzrastające wymagania ekologiczne i ekonomiczne określają kierunki rozwoju materiałów, konstrukcji i technologii stosowanych w produkcji pojazdów. Dotyczy to również stosowania w przemyśle motoryzacyjnym tworzyw sztucznych, zwłaszcza wzmocnionych. Bardziej śmiało prognozy już dzisiaj podają, że przy obecnym tempie rozwoju techniki, w niedalekiej przyszłości masę pojazdu uda się zmniejszyć średnio o 50%. W samochodach z napędem konwencjonalnym głównym celem pozostaje redukcja masy pojazdu lub przynajmniej jej utrzymanie, pomimo zwiększania ilości dodatkowego wyposażenia.

Stan taki obecnie generuje wzrost innowacyjności w zakresie zastosowań materiałów polimerowych i nowych technologii ich wytwarzania, jak też nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Intensyfikacji ulega współpraca przemysłu motoryzacyjnego z producentami materiałów i jednostkami badawczymi. Istniejące jeszcze ograniczenia w szerokim stosowaniu materiałów polimerowych w budowie samochodów takich, jak wysokie koszty materiałowe

<sup>6</sup> Coil Coating – metoda ciągłego powlekania taśm metalowych w kęgach (np. warstwą materiału polimerowego).

i technologiczne (czasy wytwarzania, oprzyrządowanie i narzędzia), spowodują optymalizację właściwości materiałów i procesów przetwórczych.

W zakresie materiałowym zarysowują się trendy szerszego stosowania nowoczesnych tworzyw wzmocnionych takich, jak:

- nanokompozyty,
- kompozyty wzmocnione włóknami węglowymi,
- kompozyty biopolimerowe (green polymers) – wzmocnione nanorurkami, włóknami węglowymi oraz włóknami naturalnymi,
- termoplastyczne kompozyty multimateriałowe lub systemy multimateriałowe, np. kompozyt warstwowy wzmocniony nanorurkami,
- wysokojakościowe recyklaty,
- nowoczesne folie i materiały powłokowe.

Dalszemu rozwojowi podlegać będą techniki przygotowywania preimpregnatów, w szczególności w zakresie postaci różnych rodzajów wzmocnień. Przemysłowe zastosowania znajdują części plecione, wyszywane i szyte.

Poprzez optymalizację materiałów (np. przez skrócenie czasów reakcji żywic, czy też przez polepszenie przetwarzalności) i automatyzację procesów eliminujących w znaczny sposób technologie manualne, skrócone zostaną czasy technologiczne, co spowoduje zmniejszenie kosztów produkcji i stworzy możliwość zastosowań w wielkich seriach. Obecnie już w przypadkach niektórych części kompozytowych wytwarzanych technologią RTM skrócono czas z 20 do 2 - 4 minut, eliminując jednocześnie ich wygrzewanie.

W wyniku stosowania odpowiednich dodatków dalszej zmianie ulegnie współczynnik rozszerzalności liniowej, który nie powinien przekraczać  $(4 - 5) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  oraz wzrośnie termostabilność części. Przez to wyeliminowane zostaną kolejne ograniczenia w szerokim stosowaniu tworzyw sztucznych w motoryzacji.

## Literatura

- [1] KÖTH, C.-P.: *Leichtbau - die Zweite*. Automobilindustrie, 03/2007.
- [2] FELDMANN, J.: *Kunststoffe - Werkstoffe der Energieeffizienz*; Kunststoffe im Automobilbau. VDI - Verlag 2008.
- [3] *EU-Kommission begrenzt PKW-Emissionen auf 120g CO<sup>2</sup>/km*. [www.co2-handel.de/article185\\_4352.html](http://www.co2-handel.de/article185_4352.html) (28.06.2010).
- [4] SOLLY, K.H.: *Kunststoff im Automobilbau - Kommentar*. KC - aktuell, Kunststoff-Clauster 11/2005.
- [5] DEINZER, G. H., REIM, H., HERMES, CH., SCHNEIDEWIND, TH., MASINI, A. AND ENZ, J.: *Class A mit CFK - Beispiel Heckklappe Gallardo Spyder*. Kunststoffe im Automobilbau 2007, VDI - Verlag 2007.
- [6] *Zu Henry Fords Auto*. [www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html](http://www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html)
- [7] *Hemp Car: das Auto das auf dem Acker wächst*. [www.hanfplantage.de/hemp-car-das-auto-das-auf-dem-acker-waechst](http://www.hanfplantage.de/hemp-car-das-auto-das-auf-dem-acker-waechst) (06.07.2009).
- [8] *Chevrolet Corvette - die Jukebox*. [www.carsablanca.de/Magazin/kaufberatung/chevrolet-corvette-die-jukebox](http://www.carsablanca.de/Magazin/kaufberatung/chevrolet-corvette-die-jukebox)
- [9] REICHEL, W.: *Trabant - Lebenszyklus einer Kunststoffkarosserie*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 1993.
- [10] STAUBER, R. C.: *Das Automobil der Zukunft - Chancen und Anforderungen an Kunststoffe und Kunststofftechnologien*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2009.

- [11] KEUERBERGER, M.: *Kunststoff-Trends im Powertrain*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2008.
- [12] SCHILLING, TH.: *Innovative materials as exemplified by the Volkswagen Fox: Use of natural fibres at Volkswagen do Brasil*. VDI - Verlag 2006.
- [13] GREINER, R.: *Natural fibre: exterior applications in automobile manufacturing*. VDI - Verlag 2006.
- [14] <http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-47699-3.html>
- [15] DRECHSLER, K.: *CFK - der Automobilwerkstoff der Zukunft*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- [16] DIEBOLD, K.: *Komposite verleihen Flügel*. *Industrieanzeiger* 27/2008.
- [17] BLOSAT, U.: *Intelligenter Leichtbau durch Einsatz von gewebeverstärkten Thermoplast am Beispiel eines Unterfahrschutzes für Volkswagen PKW*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- [18] RISCH, H., RIES, T., VÖGE, F. AND BROOS, L.: *Nutzung von Kunststoff-Metall-Hybrid-Anbauteilen in der Karosseriestruktur des neuen AUDI A8*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- [19] STAUBER, R.C.: *The automobile of the future: opportunities and challenges for plastics and plastics technologies*. VDI - Verlag 2009.
- [20] [www.plastech.pl](http://www.plastech.pl) (17.04.2010).
- [21] [www.tworzywa.com.pl](http://www.tworzywa.com.pl) (17.04.2010).
- [22] HÄBERLE, H. AND ROSSOL, M.: *Kunststoffe federn Lkws*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- [23] FELDMANN, J.: *Werkstoffe der Energieeffizienz*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2008.
- [24] Sieverding, M., Bürkle, M. and Zimmet, R.: *IMC-Technik erschließt neue Anwendungsbereiche*. Kunststoffe 8/2005.
- [25] GEIGER, O.: *Langfaserverstärkte Thermoplaste*. Fraunhofer ICT [http://www.ict.fraunhofer.de:80/kernko/PE/Faserverbundwerkstoffe\\_FVW/LFT/index.jsp](http://www.ict.fraunhofer.de:80/kernko/PE/Faserverbundwerkstoffe_FVW/LFT/index.jsp)
- [26] Info KITE - LITE, Fraunhofer Gesellschaft  
[www.fahrzeugleichtbau.de/kernthemen/werkstoffe/endlosfaserverstaerkte-kunststoffe.html](http://www.fahrzeugleichtbau.de/kernthemen/werkstoffe/endlosfaserverstaerkte-kunststoffe.html)
- [27] Info Bayer MaterialScience AG - Bayflex® XGT 110 - 180 - 190 - *Gewichtersparnis und Designfreiheit für Karosserieaußenteile*.  
[http://www.bayer-baysystems.com/bms/baysystems.nsf/id/01\\_LEV\\_DE\\_Bayflex\\_XGT110-180-190](http://www.bayer-baysystems.com/bms/baysystems.nsf/id/01_LEV_DE_Bayflex_XGT110-180-190)
- [28] ROMANÓW, F., WALKOWIAK, J. AND PAPACZ, W.: *Technologie wytwarzania resorów kompozytowych. Projektowanie, Stosowanie i Eksploatacja Elementów Maszyn i Urządzeń z Tworzyw Sztucznych* Pr. zbiorowa pod red. J. Koszkula, Konferencje 12, Wyd. Politechniki Częstochowskiej 1996..
- [29] SAECHTLING, H.: *Tworzywa sztuczne. Poradnik*. WNT, Warszawa 2000.
- [30] MEDERLE, G.: *Roof module for commercial vehicles in SMI technology*. VDI - Verlag 2006.
- [31] KIRCHER, O., DERKS, M., GARTH, I. AND BRUNNER, T.: *Hochleistungscomposites für kryogene Wasserstoff Druckspeicher*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- [32] SCHMIDT, R., OPPERBECK, G. AND AMRHEIN, J.: *Der Frontend-Montageträger und seine Funktionen im Modul*. VDI - Verlag 2009.
- [33] JAGGI, D., ZIEGLER, S., RUEEGG, A. AND STOETZNER, N.: *Hochbelastete Sicherheitsbauteile in E-LFT Technologie*. VDI - Verlag 2007.
- [34] HAUG, H. AND MIES, D.: *Fiber-reinforced structural components for quantity production*. VDI - Verlag 2009.
- [35] KACZMAR, J. W., WRÓBLEWSKI, R. NAKONIECZNY, L. i in.: *Wytwarzanie i właściwości elementów hybrydowych typu metal-tworzywo polimerowe*. POLIMERY 53, 7-8/2008.
- [36] MICHEL, P. AND RIEPENHAUSEN, H.: *Neuartiger Metall-Kunststoffverbund als Struktur-Leichtbauelement am Beispiel Heckklappe*. Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2008.