

Maciej BAJERLEIN, Włodzimierz STAWECKI, Jerzy MERKISZ, Paweł DASZKIEWICZ, Łukasz RYMANIAK

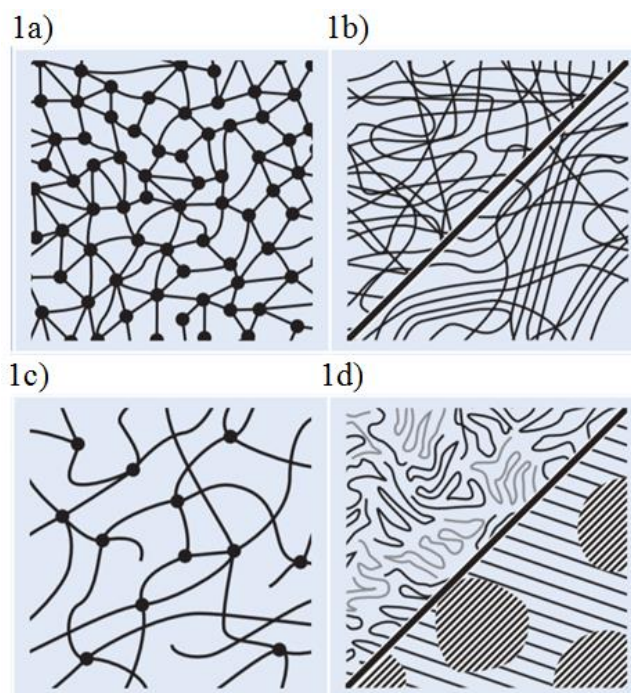
## MOŻLIWOŚĆ REDUKCJI HAŁASU W POJAZDACH KOLEJOWYCH POPRZEZ WYKORZYSTANIE WZMOCNIONYCH TWORZYW SZTUCZNYCH

### Streszczenie

W artykule omówiony został problem możliwości wykorzystania nowoczesnych tworzyw sztucznych, które mogą znaleźć zastosowanie w pojazdach kolejowych, których wykorzystanie pozwolić może na zmniejszenie uciążliwości pojazdów szynowych poprzez redukcję emisji hałasu. Głównym pionierem w tych działaniach wydają się jednak tworzywa sztuczne składające się z liniowych lub rozgałęzionych łańcuchów makromolekularnych nie połączonych ze sobą. Właściwości pozwalające na kilkukrotne stapienie i rozpuszczanie oraz ponowne formowanie przyczyniają się, że materiał ten jest niezwykle interesujący ze względu na łatwość poddania go procesowi recyklingu, powodując tym samym zwiększenie ekonomii tego materiału. Zastosowanie tworzyw sztucznych w budowie pojazdów jest wyrazem energooszczędności w porównaniu do stali i aluminium a także właściwości emitujących hałas. Wynika to nie tylko z niższych kosztów eksploatacji, ale także niższych kosztów wytwarzania samego materiału, jego przetwórstwa i obróbki.

### WSTĘP

Tworzywa sztuczne składają się z pojedynczych elementów – molekuł. Połączeniu się tych małych elementów w łańcuchy powstają duże lub bardzo duże molekuły, które tworzą makromolekuły. Głównym typem są termoplasty, czyli tworzywa sztuczne składające się z liniowych lub rozgałęzionych łańcuchów makromolekularnych nie połączonych ze sobą, nazywają się termoplastami lub plastomerami (rys. 1b). Ze względu na wiele pozytywnych właściwości termoplasty mają znaczny udział w trakcie projektowania pojazdów. Termoplasty mogą być wiele razy stapiane i rozpuszczane. Ma to bardzo duże znaczenie szczególnie dla ochrony środowiska. Jeżeli poszczególne rodzaje nie zostaną ze sobą pomieszane, termoplasty idealnie nadają się do ponownego wykorzystania, ponieważ teoretycznie z wyeksploatowanych elementów można zrobić nowe [4]. Kolejną korzyścią jest możliwość poddania ich termozgrzewaniu, przez co istnieje możliwość usunięcia rys i pęknięć. Następną grupą to elastomery, dla których możliwe jest silniejsze lub słabsze połączenie makromolekuł, powodując różnorodne sieciowanie. W przypadku, kiedy niewielka ilość sąsiadujących ze sobą łańcuchów molekuł łączy się ze sobą wiązaniami powstają wówczas tworzywa – elastomery (rys. 1c). Elastomery nie dają się stapiać ani rozpuszczać, mają jednak dobre właściwości rozciągające, których cechy zbliżone są do kauczuku. W pojazdach szynowych elastomery często występują jako uszczelki, ale również robi się z nich spojery, do których wykorzystuje się najczęściej termoplastyczne elastomery (rys. 1d), których budowa strukturalna to kopolimery z twardych i miękkich bloków lub mieszanka termoplastów z (nie powiązanego/ częściowo powiązanego) kauczuku. Trzecia grupa to duroplasty, których coraz większa ilość wiązań sieciowych sprawia, że materiał staje się twardszy ale i bardziej kruchy. Duża ilość łańcuchów molekuł tworzy jedną wielką sieć. To silnie „usieciowane” tworzywo nazwano duroplastem lub tworzywem utwardzalnym. Nie dają się one ani stapiać ani rozpuszczać. Zanika też występująca w elastomerach zdolność do rozciągania. Duroplasty są natomiast odporne na ciepło. Z tego powodu produkowane są z nich np. części korpusów w komorze silnika. Innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe, w szczególności stosujące wzmocnione tworzywa sztuczne, prowadzą głównie do obniżenia masy pojazdu oraz tłumienia hałasu i drgań. Pojazd jest więc bardziej ekologiczny i komfortowy.



Rys. 1. Budowa strukturalna 1a) Duroplast, 1b) Termoplast, 1c) Elastomer, 1d) Termoplastyczny Elastomer

Następną grupę tworzą tworzywa warstwowe (kompozyty) składające się z co najmniej 2 materiałów. Wykazują one inne właściwości materiałowe niż komponenty, z których się składają. Materiał, który przyczynia się do znacznej poprawy właściwości tworzyw warstwowych, lub umożliwia ich uzyskanie, nazywa się substancją wzmacniającą. Pozostały materiał zapewniający kohezję komponentów nazywany jest osnową. Tworzywa warstwowe można podzielić na poniższe kategorie:

- warstwowe laminaty kompozytowe
- kompozyty włókniste,
- kompozyty cząsteczkowe,
- kompozyty przenikane.

Coraz częściej wykorzystywane są także kompozyty wielowarstwowe (rys. 2.) występujące w przypadku, gdy osnowę stanowi polimer lub tworzywo sztuczne. W tym przypadku szczególnie istot-

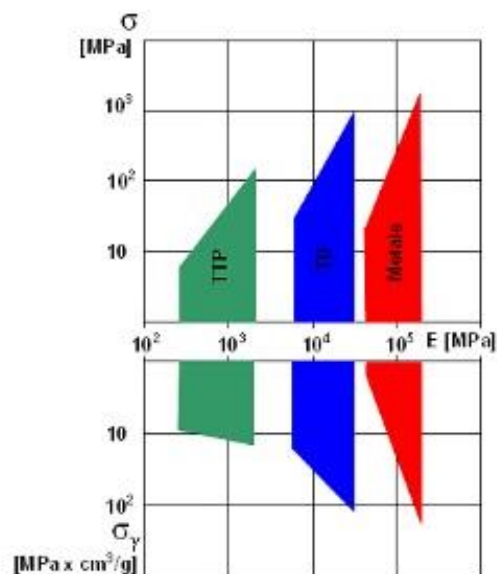
ne są kompozyty włókniste (FVK). Materiał wzmacniający składa się z włókien naturalnych lub syntetycznych (organicznych i/lub nieorganicznych). Są one przetwarzane jako włókna krótkie, długie i nieskończone lub w formie takich produktów jak włókniny, maty, tkaniny lub dzianiny. Poprzez połączenie włókien z osnową (w sposób ukierunkowany lub nieukierunkowany) ulepszeniu ulegają właściwości mechaniczne i termiczne, jak np. wytrzymałość na ciągnięcie, łamanie, wytrzymałość termiczna oraz moduł sprężystości.



**Rys. 2.** Kompozyty wzmacnianie włóknami amidowymi o strukturze makrokomórkowej

Stosowanie tworzyw sztucznych w budowie pojazdów jest wyrazem energooszczędności w porównaniu do stali i aluminium. Wynika to nie tylko z niższych kosztów eksploatacji, ale także niższych kosztów wytwarzania samego materiału, jego przetwórstwa i obróbki. Rezygnacja z tworzyw sztucznych w budowie pojazdów spowodowałaby przyrost zapotrzebowania na energię o 26 %. Tworzywa sztuczne w przemyśle masowym będą jednak w najbliższych latach koniecznością, a należy przede wszystkim uwzględnić w rozważaniach fakt, iż redukcja masy pojazdu o 100 kg powoduje redukcję zużycia paliwa nawet o 0,6 dm<sup>3</sup>/100 km i co się z tym wiąże następuje obniżenie emisji CO<sub>2</sub> o 13 g/km [1, 2].

Obecnie udział tworzyw sztucznych w pojazdach wynosi około 23 % i do 2030 r. ma wzrosnąć do około 70 %. Tendencyjnie najwięcej tworzyw sztucznych stosuje się na zewnątrz pojazdu (ok. 50 %), np. poszycie, elementy nadwozia. We wnętrzu pojazdu tworzywa (ok. 30 %) służą głównie podnoszeniu komfortu oraz redukcji hałasu. Zastosowaniami tworzyw sztucznych są części i zespoły w komorze napędowej (ok. 20 %), w której występują trudne warunki pracy. Wybrane właściwości tworzyw sztucznych w budowie pojazdów szerokie zastosowanie znajdują tworzywa termoplastyczne i utwardzalne. W obydwóch grupach dominują tu tworzywa wzmocnione. Przemysł chemiczny intensywnie współpracuje z producentami pojazdów oferując coraz częściej materiały na miarę potrzeb. Chodzi przy tym nie tylko o odpowiednie właściwości mechaniczne, lecz także o inne cechy, np. umożliwiające zastosowanie części z tworzyw sztucznych w podwyższonych temperaturach, przydatność do przemysłowego lakierowania. Choć powszechnie uważa się, że metale charakteryzują się wyższą wytrzymałością niż tworzywa sztuczne, to jednak w przypadku porównania z tworzywami wzmocnionymi często jest odwrotnie. Szczególnie interesująco przedstawia się wytrzymałość właściwa, czyli stosunek wytrzymałości do gęstości  $\sigma_y$ , która dla wielu tworzyw (szczególnie wzmocnionych) przewyższa tę wartość określaną dla metali, co poglądowo ilustruje rysunek 3.



**Rys. 3.** Wybrane właściwości mechaniczne tworzyw sztucznych w porównaniu z metalami (TTP – tworzywa termoplastyczne, TU – tworzywa utwardzalne)

Ważną cechą tworzyw sztucznych uwzględnianą w czasie projektowania podzespołów pojazdu jest termiczna rozszerzalność liniowa  $\alpha$ . Tworzywa sztuczne wykazują 10-krotnie większą rozszerzalność liniową niż metale. Nie dotyczy to jednakże kompozytów polimerowych, dla których rozszerzalność termiczna jest najwyżej dwukrotnie większa (wzmocnienie szklane) lub niekiedy mniejsza (wzmocnienie węglowe) w porównaniu ze stalą. W przypadku stosowania tworzyw sztucznych na części w otoczeniu generatora ciepła, szczególnie ważna jest ich odporność na podwyższone temperatury. Ze wzrostem temperatury użytkowania następuje bowiem istotne zmniejszenie wytrzymałości i sztywności materiału. Współcześnie przemysł chemiczny oferuje już materiały polimerowe, które mogą być użytkowane do 300 °C. Wyższy komfort zapewniają cechy akustyczne materiałów polimerowych, które są również ważne z ekologicznego punktu widzenia. W tworzywach sztucznych fale dźwiękowe rozchodzą się znacznie wolniej niż w metalach, dlatego są znakomitym materiałem tłumiącym dźwięki. Pochłanianie fal akustycznych jest tym większe im mniej sprężyste jest tworzywo sztuczne. Wykonane z tworzyw sztucznych elementy pojazdu same także emitują mniejszy hałas.

## 2. NOWOCZESNE MATERIAŁY I TECHNOLOGIE

Właściwości tworzyw sztucznych stosowanych w transporcie są na ogół efektem modyfikacji między innymi uzupełnieniem o środki wzmacniające. Powstały materiał polimerowy (granulat, żywica) jest materiałem niejednorodnym, złożonym przynajmniej z dwóch faz: osnowy oraz osadzonych w niej środków wzmacniających (tzw. nośników, zbrojenia). W szczególności są to włókna w różnej postaci (cięte, długie, ciągłe) i z różnych materiałów. Wprowadzone do osnowy nośniki wpływają na większość właściwości: wzrasta wytrzymałość, maksymalna temperatura użytkowania, maleje współczynnik rozszerzalności termicznej, itd. Spośród różnych nośników coraz częściej stosowane są organiczne i nieorganiczne materiały pochodzenia naturalnego. Wprawdzie juta, sisal, konopie i inne włókna nie powodują znacznego wzrostu wytrzymałości i modułu Younga materiału, ale mogą spełniać zasadnicze wymagania niektórych podzespołów pojazdu, a jednocześnie są dobrze postrzegane ze względów ekologicznych. Przykładami

zastosowania włókien naturalnych wzmacniających części pojazdu z polipropylenu (PP) są:

- półki, osłona drzwi, wykończenie podsufitki - włókna z liści curaua, kenaf, sizal lub juta,
- elementy wygłuszające i izolujące drzwi, podłogę, itp. – włókna wełny, lnu, konopi i sizalu.

W ostatnich latach stopniowo wprowadza się jako dodatek do tworzywa polimerowego nanomateriały w celu wzmocnienia lub nadania częściom specyficznych właściwości. Najczęściej stosowane są cząstki na bazie montmorylonitu, którym wzmacniane są przeważnie poliamidy i polipropylen. Z poliamidów zawierających nanocząstki wytwarzane są między innymi pokrywy, elementy układu paliwowego, a z polipropylenu - deski rozdzielcze o zwiększonej odporności na zarysowania i zabrudzenia. Zdecydowanie częściej stosowaną grupą nośników są materiały syntetyczne. W tej grupie wyróżnia się także materiały organiczne, na przykład zorientowane włókna polietylenowe, włókna aramidowe, oraz nieorganiczne – włókna szklane, mineralne, np. wollastonit (metakrzemian wapnia o strukturze iglastej) i inne.

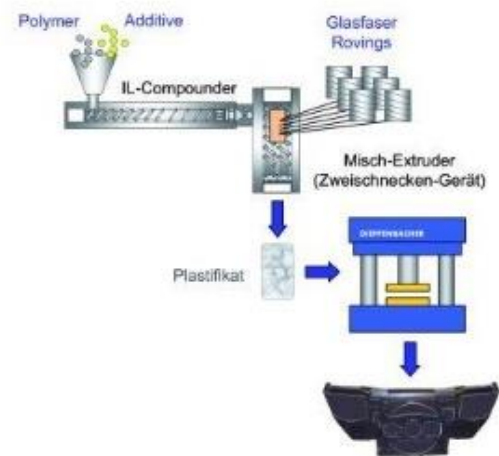
Ze względu na postać można wyróżnić następujące wzmocnienia:

- cząstki i dyspersje, np. proszki, mikrosfery, płatki, itp.,
- włókna, rowing, druty, whiskersy, nanorurki, itp.,
- maty, tkaniny, taśmy, itp.,
- plecionki, itp.

Większość z wymienionych nośników stanowi wzmocnienie tworzyw stosowanych w produkcji części. W przypadku części wytwarzanych z tworzyw termoplastycznych dominują części wzmocnione krótkimi włóknami szklanymi, chociaż coraz częściej stosowane są wzmocnienia z włókien węglowych, pomimo wysokich kosztów materiałowych i technologicznych. Wynika to z wysokiej wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej materiału oraz dobrej estetyki bez dodatkowych powłok, nawet na częściach montowanych na zewnątrz. Nie bez znaczenia jest także mniejsza masa części ze wzmocnieniem węglowym w porównaniu do części ze stali (o 60 %) i aluminium (o 25 %). Możliwe zastosowania wymienionych materiałów to hybrydyzacja części, zespołów konstrukcyjnych, struktury nośne oraz kompletne karoserie. Na obciążone części pojazdów najczęściej stosowanymi tworzywami termoplastycznymi są poliamidy, w szczególności PA66, wzmocnione włóknami szklanymi nawet w ilości 60. Z PA6 i PA66 z włóknami szklanymi (GF30, GF35) wykonywane są kolektory, a z dodatkiem wypełniaczy mineralnych w ilości 15 % i włókien szklanych (GF25) - pokrywy. PA66 (GF35) stosowany jest także w układzie napędowym, sprężynach pneumatycznych, itd. W technice motoryzacyjnej stosuje się poliamidy również w postaci mieszanin z innymi tworzywami termoplastycznymi. Mieszanina poliamid i polifenylenoeter (PA + PPE) jest materiałem charakteryzującym się wyraźnie wyższą odpornością cieplną oraz termicznej trwałości kształtowo-wymiarowej. Efektem współpracy przemysłu chemicznego i motoryzacyjnego są poliamidy do zastosowań na elementy nadwozia. Lakierowanie metodą KTL (katodowe lakierowanie zanurzeniowe) z zabiegiem suszenia w temperaturze do 200 °C nie powoduje utraty stabilności kształtowo-wymiarowej części [5, 7, 8]. Wzmocnione poliamidy podobnie, jak i inne tworzywa termoplastyczne w zasadzie są przetwarzane metodami konwencjonalnymi. W przypadkach typowych korzysta się z granulatu zawierającego określoną zawartość włókien ciętych o określonej długości (w zakresie 0,3 –10 mm). Włókna mogą być także wprowadzone do tworzywa w procesie przetwórstwa, a mieszanie zachodzi w układzie uplastyczniającym wtryskarki. Możliwe jest również mieszanie tworzywa z włóknami w oddzielnym procesie za pomocą kompanderów, gdzie włókna są wprowadzane w postaci rowingu lub pocięte, lub też przez ciągle nasycanie stopionym po-

liamidem pasma włókien (metoda pultruzji) i pocięcie do postaci granulatu (włókna są zorientowane). Wprowadzenie do matrycy polimerowej włókien długich powoduje jeszcze lepsze wzmocnienie kierunkowe materiału. Technologia wytwarzania, znana w przypadku części z żywic utwardzalnych, dla części z tworzyw termoplastycznych opiewana została niedawno. Przeważnie wzmacniane są poliamidy (PA66, PA6), PP, politereftalan butylu (PBT) i poliace-tale (POM). Metodą prasowania plastyfikowanego tworzywa wzmocnionego długim włóknem szklanym LFT (Long Fiber Thermoplastics) wykonuje się elementy podwozia i konstrukcje nośne do mocowania reflektorów, itp.

Inną technologią wytwarzania elementów konstrukcyjnych z tworzyw wzmocnionych włóknami długimi, dostarczonymi w postaci rowingu, realizuje się za pomocą linii technologicznej składającego się z kompandera (urządzenie przygotowujące tworzywo i dodatki do przetwórstwa), wylączarki dwuślimakowej i prasy szybkoobrotowej (rys. 4).



Rys. 4. Technologia formowania elementów z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknami długimi

Jeszcze inną technologią przetwarzane są poliamidy, PP, politereftalan etylenu (PET), które są wzmacniane włóknami o długości około 25 mm. W takim przypadku stosuje się technologię IMC (Injection Molding Compounder), łączącą ciągły proces kompandowania i cykliczny proces wtryskiwania. Powszechnie stosowanymi tworzywami w budowie pojazdów są także poliuretany (PUR). W zależności od komponentów, modyfikatorów i technologii formowania, właściwości wytwarzanych części różnią się zasadniczo. Z jednej strony materiał w postaci spienionej jest zdolny do znacznej absorpcji energii oraz tłumienia drgań i dlatego jest stosowany na zderzaki i części o właściwościach izolacyjno-wygluszających, a z drugiej strony -w wersji litej -jest odporny na podwyższone temperatury i możliwe jest lakierowanie części metodą KTL. Tworzywo charakteryzuje wysoka udatność w niskich temperaturach, niewielka rozszerzalność cieplna (po wzmocnieniu), niska chłonność wilgoci i spełnia wymagania stawiane elementom karoserii nawet w ciepłym i wilgotnym klimacie. Technologia wtryskiwania składników reakcyjnych (poliolu i izocyjanianu) z dodatkiem włókien ciętych –R-RIM (Reinforced ReactionInjection Moulding) od wielu lat jest stosowana w produkcji części. Do wytwarzania elementów nadwozia z tworzyw termoplastycznych wzmocnionych włóknem ciągłym stosuje się także techniki prasowania [5, 6]. Włókna wzmacniające tworzą w tym przypadku struktury wytworzone technikami włókienniczymi (tkaniny, 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 włóknami ciągłymi. Od kilku lat w budowie pojazdów 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 skutkuje zmniejszeniem masy wytworzonych części przy jednoczesnym zwiększeniu ich wytrzymałości i sztywności. Koszty wytwarzania z reguły są niższe, a projektanci uzyskują większą swobodę w kształtowaniu bryły nadwozia. Opisaną technologię z powodzeniem stosuje się do wytwarzania pasa przedniego, pokrywy tylnej i innych elementów konstrukcyjnych. W niektórych rozwiązaniach stosuje się do wzmocnienia konstrukcji włókna długie lub ciągłe. Znaczne zwiększenie wytrzymałości elementu uzyskuje się w przypadku stosowania technologii „hybrid plus”, w której na stalowe wytłoczki natryskiwane jest uźebrowanie z PP wzmocnionego włóknami.

Części z tworzyw termoutwardzalnych są najczęściej formowane z tłoczyw otrzymanych technologią BMC (Bulk Moulding Compounds), zawierających wzmocnienia typu cięte włókna szklane i inne. W procesie wtryskiwania i prasowania wytwarzane są dla przemysłu motoryzacyjnego nawet wielkogabarytowe ramy okien. W aktualnie produkowanych pojazdach 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. Ponieważ włókna ciągłe wykazują bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie, więc zbrojenie struktury powinno zapewnić takie ukierunkowanie włókien, aby w czasie pracy były rozciągane. Elementy karoserii z kompozytów poliestrowych lub epoksydowych wzmocnionych warstwami mat lub tkanin są prasowane niskociśnieniowo. Proces realizuje się najczęściej metodą RTM (Resin Transfer Moulding), w której dozowana żywica przesyca odpowiednio ułożone w formie warstwy wzmocnienia i jednocześnie nadmiar jest odprowadzany wytworzonym podciśnieniem. W produkcji seryjnej przemysł bazuje na preimpregnatkach otrzymanych technologią SMC (Sheet Moulding Compounds). W zależności od wymagań konstrukcyjnych zastosowanie mają półprodukty o przypadkowym lub ukierunkowanym ułożeniu włókien ciętych, lub też jednokierunkowo zorientowanych włóknach ciągłych. Kolejne wersje preimpregnatów charakteryzuje coraz wyższa wytrzymałość i moduł Younga. Po wycięciu wymaganego zarysu i umieszczeniu w formie preimpregnaty są w odpowiednich warunkach temperatury i ciśnienia utwardzone w procesie prasowania niskociśnieniowego.

Tworzywa utwardzalne są również stosowane w kombinacji z innymi tworzywami. Przykładem takiego rozwiązania są dachy, które są złożone z zewnętrznej warstwy epoksydowej, warstwy izolacyjno-tłumiącej ze spienionego PUR oraz laminatu epoksydowo-szklanego. Całość jest wykonana trzostopniowo metodą RTM.

## PODSUMOWANIE

Kierunki rozwoju materiałów polimerowych, technologii i konstrukcji mających zastosowanie w produkcji pojazdów są z jednej strony określane przez wymagania techniczne i ekonomiczne stawiane przez przemysł, a z drugiej strony przez nieustający nacisk ekologów na ograniczenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub>. Generuje to innowacyjność w zakresie zastosowań nowoczesnych materiałów, metod ich przetwarzania i nowych rozwiązań konstrukcyjnych i skutkuje zmniejszaniem masy pojazdu, a także szeregiem zalet w porównaniu z metalem, do których zaliczamy:

- niewielka gęstość,
- dobre tłumienie dźwięków i drgań,

- izolacja elektryczna lub regulowana przewodność,
- dobra odporność na działanie czynników chemicznych,
- wysoki stopień swobody kształtowania,
- przepuszczalność fal elektromagnetycznych,
- bardzo dobra odporność na korozję,
- izolacja cieplna,
- możliwość modyfikacji specyficznych dla konkretnych przypadków zastosowania.

Bardziej śmiałe prognozy już dzisiaj podają, że przy obecnym tempie rozwoju techniki, w niedalekiej przyszłości masę pojazdu uda się zmniejszyć średnio o 30 % dzięki wykorzystaniu tych materiałów. 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. Jednak pełne wykorzystanie zalet wzmocnionych materiałów polimerowych w produkcji pojazdów nastąpi dopiero, gdy wskutek dalszego optymalizowania właściwości żywic oraz rozwoju automatyzacji zaistnieje możliwość szerokiego stosowania części kompozytowych w produkcji seryjnej. Obserwując trendy i tempo rozwoju można prognozować, że istniejące jeszcze ograniczenia zastosowań materiałów polimerowych w motoryzacji, takie jak dość wysokie ceny, uwarunkowania technologiczne oraz utrudniona automatyzacja produkcji wielkoseryjnej, zostaną wkrótce przewyżczone. Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe, w szczególności te, w których wykorzystuje się wzmocnione tworzywa sztuczne, mają na celu głównie zmniejszenie masy pojazdu oraz mają lepsze właściwości tłumienia hałasu i drgań. Pojazdy szynowe stają się wówczas bardziej przyjazne środowisku naturalnemu a komfort podróżowania jest wyższy. Stosowanie tworzyw sztucznych już na etapie projektowania tego typu pojazdów jest wyrazem energooszczędności w porównaniu do wykorzystywanej stali i aluminium. Wynika to nie tylko z niższych kosztów eksploatacji, ale także niższych kosztów wytwarzania samego materiału, jego przetwórstwa i obróbki. Rezygnacja z tworzyw sztucznych wykorzystywanych w budowie pojazdów kolejowych spowodowałaby przyrost zapotrzebowania na energię o 37 % [2].

## BIBLIOGRAFIA

1. Koeth C.-P.: Leichtbau - die Zweite, Automobilindustrie, 03/2016.
2. Feldmann J.: Kunststoffe – Werkstoffe der Energieeffizienz; Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2015.
3. Keuerleber M.: Kunststoff-Trends im Powertrain, Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2014.
4. Królikowski W.: Tworzywa wzmocnione i włókna wzmacniające. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne.
5. Hinz T., Lewkowicz R.: Wpływ kształtu elementów konstrukcyjnych nadwozi samochodowych wykonanych z tworzywa sztucznego na ich wytrzymałość. Czasopismo: Mechanik, Zeszyt: 5-6/05/2015.

6. Pochwała T., Śliwa A., Wala T.: Wpływ procesu impregnacji na mikrostrukturę tworzywa ogniotrwałego. Czasopismo: Szkło i Ceramika, Zeszyt: 4/2016.
7. Engelmann H.-J., Głuszewski W.: Kompozyty polimer-metal w ochronie radiologicznej Czasopismo: Tworzywa Sztuczne w Przemysle, Zeszyt: 4/2016.
8. Gesella G., Szeleziński A., Murawski L., Muc A.: Wykorzystanie tworzyw sztucznych w sektorze motoryzacyjnym. Wpływ temperatury pracy wylączarek na jakość wyrobu. Czasopismo: Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Zeszyt: 6/2015.

## ABILITY TO REDUCE NOISE IN RAILWAY VEHICLES BY USING REINFORCED PLASTICS

### *Abstract*

*The article discusses the possibility of using modern plastics that can be used in rail vehicles, which can be used to reduce the nuisance of rail vehicles by reducing noise emissions. However, plastics consisting of linear*

*or branched macromolecular chains that are not linked together appear to be the main pioneers in these operations. The properties that allow for several melting and dissolving and re-molding contribute to the fact that the material is extremely interesting due to its ease of recycling, thus increasing the economics of the material. The use of plastics in vehicle construction is a sign of energy efficiency compared to steel and aluminum as well as noise emitting properties. This is due not only to lower operating costs but also to the lower cost of manufacturing the material itself, its processing and processing.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Maciej Bajerlein** – Politechnika Poznańska, Instytut

Silników Spalinowych i Transportu, maciej.bajerlein@put.poznan.pl

dr **Włodzimierz Stawecki** – Instytut Pojazdów Szynowych

„TABOR” w Poznaniu, sekretariat@tabor.com.pl

prof. dr hab. inż. **Jerzy Merkisz** – Politechnika Poznańska, Instytut

Silników Spalinowych i Transportu, jerzy.merkisz@put.poznan.pl

dr inż. **Paweł Daszkiewicz** – Instytut Pojazdów Szynowych

„TABOR” w Poznaniu, p.daszkiewicz@tabor.com.pl

dr inż. **Łukasz Rymaniak** – Politechnika Poznańska, Wydział

Maszyn Roboczych i Transportu, lukasz.rymaniak@put.poznan.pl