

# Co łączy elektromobilność Z GOZ-EM?



OBEAK EV11

Podstawowe cele upowszechnienia elektromobilności i gospodarki obiegu zamkniętego są zasadniczo zbieżne. Obie idee mają posłużyć zmniejszeniu zanieczyszczenia środowiska i stworzeniu bardziej samowystarczalnej, oszczędzającej zasoby naturalne gospodarki. Warto więc w procesie rozwoju elektromobilności przyjmować rozwiązania realizujące postulaty gospodarki obiegu zamkniętego.

**R**ozwój elektromobilności uzależniony jest w dużym stopniu od pojawienia się odpowiednich środków transportu towarów i ludzi. Zarówno zasady GOZ-u, jak i cele upowszechnienia elektromobilności tworzą bardzo wymagające uwarunkowania procesu konstrukcji pojazdów elektrycznych. Wymusza to też poszukiwanie nowych, innowacyjnych rozwiązań dla pojazdów elektrycznych w bardzo szerokim zakresie: od ich napędu i samej konstrukcji do użytych do ich budowy materiałów.

### LEKKIE BATERIE, LEKKIE AUTO

Bardzo istotnym parametrem dla pojazdów elektrycznych jest ich waga. Dla danej pojemności baterii i ładowności pojazdu elektrycznego zmniejszenie wagi samej konstrukcji wydłuża możliwości do osiągnięcia zasięgu. Dzieje się tak nie tylko dlatego, że oszczędności na wadze można wykorzystać, zwiększając liczbę baterii. Nawet kiedy nie ma na to miejsca, dalsze zmniejszenie wagi auta powoduje zmniejszenie oporów tocnych, a także zmniejszenie energii elektrycznej zużywanej w trakcie bardziej dynamicznej jazdy, np. w warunkach ruchu miejskiego. Wraz ze zmniejszaniem wagi pojazdu pojawia się także efekt „kaskady”, polegający na tym, że lżejsze auto potrzebuje lżejszego układu hamulcowego, ale także słabszego, a więc ważącego mniej silnika.

Duży udział wagi baterii w całkowitej wadze auta oraz wielkość magazynowanej energii mają decydujący wpływ na zasięg aut elektrycznych. Dlatego największa uwaga konstruktorów skupia się na zbudowaniu możliwie jak najlżejszych i najbardziej pojemnych baterii. Niestety, postęp w tej dziedzinie jest związany z wysokimi kosztami produkcji takich baterii. BMW i3 posiada osiem baterii, z których każda kosztuje od 8500 zł do 10 000 zł w zależności od miejsca, gdzie się je kupuje<sup>1</sup>.

Konstrukcja coraz lżejszych i bardziej pojemnych baterii staje się coraz trudniejsza i coraz bardziej kosztowna. Dlatego coraz większą wagę przywiązuje się do obniżenia wagi pozostałych elementów składowych całej konstrukcji. Gdy rozwiązanie takie będzie oferowało dodatkowe zalety, w postaci np. zwiększonego bezpieczeństwa pasażerów czy zmniejszenia kosztów produkcji samochodów elektrycznych, może okazać się rozwiązaniem optymalnym.

Jeżeli przyjrzymy się zmianom w wymiarach i masie aut osobowych w ca-

tej historii motoryzacji, zauważymy różne trendy: na jej początku auta stają się coraz większe, oferując większy komfort jazdy. Stają się przy tym dużo cięższe. Później auta stają coraz bardziej pojemne przy nie tak już dynamicznym wzroście masy i wymiarów. Równocześnie pojawiają się auta małe lub bardzo małe, oferujące niewielką pojemność oraz niski komfort jazdy, ale służące motoryzacji całych społeczeństw (np. volkswagen Garbus w Niemczech czy fiat 126P w Polsce).

Kryzys paliwowy w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku zwrócił uwagę konstruktorów na auta zużywające mniej paliwa, co związane było z pojawieniem się segmentów aut małych, których konstrukcja była optymalizowana pod tym kątem. Waga aut w okresie od lat 70. do połowy lat 80. zmniejszyła się o około 19%<sup>2</sup>. W następnym okresie aż po współczesność widoczny był trend zwiększania rozmiarów i równocześnie ciężaru aut w każdym segmencie. Trend ten związany był też ze stosowaniem rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo pasażerów. Średnia waga samochodu w 1985 r. to 950 kg, obecnie osiąga ona 1200 kg.

### NOWE SILNIKI, LEPSZA AERODYNAMIKA

By ten trend nie zaowocował zwiększeniem zużycia paliwa, wysiłkiem konstruktorów skupiał się na tworzeniu nowych, coraz wydajniejszych jednostek napędowych, bardziej efektywnych rozwiązaniach w zakresie aerodynamiki pojazdów, ale także na poszukiwaniu oszczędności energetycznych w redukcji masy pojazdów. Trend

ten wzmacniany był przez coraz większą świadomość ekologiczną, która stawała się coraz silniejszym argumentem na rzecz poszukiwania rozwiązań ograniczających zanieczyszczenie środowiska, w tym redukujących masę pojazdów.

Istotnym poligonem w poszukiwaniu rozwiązań służących zmniejszaniu masy pojazdów był sport samochodowy. To tam przodowano w zastosowaniu coraz lżejszych materiałów w konstrukcji w zasadzie wszystkich elementów samochodu – od konstrukcji nadwozia czy układu jezdnego po silniki i konstrukcję podwozia. Odchudzanie samochodów związane było z coraz szerszym stosowaniem stopów aluminium oraz tworzyw sztucznych. Zalety tworzyw sztucznych, czyli niski koszt wytworzenia i łatwość formowania, poszerzały zakres ich stosowania.

Oprócz mniejszej wagi elementów wykonanych z tworzyw sztucznych, stosowanie tworzyw sztucznych dało poprawę w zakresie:

- obniżenia poziomu hałasu oraz tłumienia drgań,
- bezpieczeństwa biernego,
- komfortu i estetyki wnętrza pojazdów<sup>3</sup>.

Historia stosowania tworzyw sztucznych w pojazdach silnikowych ma długą tradycję. Okazuje się, że już Henry Ford w fordzie T z 1915 r. zastosował pierwsze materiały polimerowe, a w 1941 r. zaprezentował samochód „Hemp Car” z karoserią z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem kopolnym. W 1952 r. pojawił się pierwszy seryjnie produkowany samochód z karoserią wykonaną z tworzyw sztucznych – chevrolet

#### Tworzywa stosowane w motoryzacji i ich zastosowanie<sup>5</sup>

Skrót: Nazwa tworzywa	Przykłady wykonanych części
ABS: Akrylnitril-butadien-styren	Osłony rozrządu silnika, obudowy lusterek
PP: Polipropylen	Zderzaki, obudowy lusterek, spoilery
PP/EPDM: Polipropylenetylen-Propylen-Dien. Kopolimer	Zderzaki, obudowy lusterek, spoilery, listwy, osłony ozdobne kół jezdnych
PA: Poliamid	Osłony ozdobne kół jezdnych
PS: Polistyren	Korpusy, spoilery
PC: Poliwęglan	Korpusy, spoilery, obudowy lusterek, kraty wlotu powietrza, szkła reflektorów
UP GF (GFK): Polister nienasycony wzmocniony włóknem szklanym	Spojlery, osłony progów, poszycie zewnętrzne elementów nadwozia
PUR: Poliuretan	Spojlery, zderzaki
PUR – miękki: Miękka gąbka poliuretanowa	Spojlery tylne, wykładziny
PPO: Politiłenek fenylu	Błotniki, części poszycia zewnętrznego
PBT: Poliuretan (Politereftalan butynenu)	Części poszycia zewnętrznego

Corvette<sup>4</sup>, a w 1957 r. rozpoczęto produkcję słynnego trabanta<sup>4</sup>. Dziś trudno sobie wyobrazić współczesny pojazd bez elementów z tworzywa sztucznego.

## TWORZYWA SZTUCZNE W MOTORYZACJI

W tabeli zaprezentowano zestawienie pokazujące, jak szerokie jest spektrum stosowanych tworzyw i ich zastosowań.

Biorąc pod uwagę redukcję ciężaru aut, szczególne miejsce zajmują tutaj tworzywa piankowe mające małą gęstość pozorną. Chyba najbardziej znanym przykładem tworzywa piankowego jest spieniony polistyren (EPS), zwany potocznie styropianem. Jed-

nym w wyniku wydzielania się gazów w tworzywie, które są produktem reakcji komponentów użytych do jego wytwarzania lub będących produktem termicznego rozkładu poroforów chemicznych wprowadzonych wcześniej do tworzywa<sup>6</sup>.

Polistyren spieniony i polipropylen różnią się czynnikiem spieniającym – dla polistyrenu jest to pentan lub heptan, natomiast dla polipropylenu jest to CO<sub>2</sub>. Produkcja kształtek z EPP polega na wypełnieniu zamkniętej formy kuleczkami z polipropylenu, a następnie podgrzaniu ich w warunkach wysokiego ciśnienia przy pomocy pary wodnej. Po otwarciu formy utrzymujemy porowatą kształtkę o komórkowej strukturze.

większą odpornością mechaniczną od EPS, stąd spektrum jego zastosowań w przemyśle samochodowym jest większe. Bardzo istotną zaletą EPP, szczególnie ceną w konstrukcji samochodów, jest bardzo wysoka zdolność pochłaniania energii uderzenia, stąd jednym z pierwszych elementów aut, w których wykorzystywano EPP, były zderzaki. Inne zalety EPP, oprócz wspomnianej już izolacyjności, to wysoka odporność chemiczna na kwasy i rozpuszczalniki oraz oleje, a także możliwość formowania elementów o skomplikowanych kształtach<sup>7</sup>.

Ta ostatnia zaleta w powiązaniu z wielkoseryjną technologią ich produkcji stanowi istotną przewagę nad wieloma nowymi, pojawiającymi się materiałami konstrukcyjnymi. Często materiały te nie mają wystarczająco przetestowanych technologii produkcyjnych, zapewniających niski koszt wytworzenia poszczególnych elementów. Dziś zakres stosowalności EPP w pojazdach jest już

bardzo szeroki. Z EPP lub jego udziałem wykonuje się: zderzaki, wzmocnienia drzwi, zagłówki, wypełnienia foteli, osłony baterii, elementy poszycia i kokpitu oraz wiele drobnych elementów, takich jak lusterka.

Znacząca obecność EPP w nadwoziach samochodów osobowych nie wyczerpuje możliwości tego materiału.

Istnieją już materiały kompozytowe z udziałem EPP, o dużo lepszej wytrzymałości na zginanie i skręcanie niż samo EPP, np. materiał o nawie INREKOR, który ma strukturę typu „sandwich”, składającą się z dwóch zewnętrznych warstw aluminium rozdzielonych warstwą EPP. Tworzy on bardzo lekki materiał konstrukcyjny umożliwiający konstrukcję elementów nośnych, w tym podwozia. W prototypie czteromiejscowego pojazdu wybudowanego z użyciem INREKOR-u uzyskano redukcję wagi podwozia o prawie 47%, w stosunku do tradycyjnych technologii<sup>8</sup>.

## PRZYSZŁOŚĆ EPP W MOTORYZACJI

Jak widać, EPP nie jest materiałem nieznanym, więc co może decydować, że może on stać się materiałem rozwiązującym wiele barier stojących dzisiaj przed rozwojem aut elektrycznych? Podsumujmy: EPP jest materiałem łączącym w sobie



Toyota

Toyota Me We<sup>12</sup>

nak tworzywem piankowym, które w ostatnich latach najbardziej podbija przemysł samochodowy, jest polipropylen spieniony, w skrócie EPP. Zarówno polistyren, jak i polipropylen są syntetycznymi polimerami, czyli substancjami o wysokiej masie cząsteczkowej, zbudowanymi z wielokrotnie powtarzających się fragmentów cząsteczek zwanych merami, powstałymi w procesie polimeryzacji.

Spienianie polimerów polega na rozprężeniu gazu wewnątrz uplastycznionego lub ciekłego tworzywa, które następnie zostaje zestalone. Spienianie tworzyw sztucznych może odbywać się różnymi metodami:

➤ na drodze mechanicznego lub pneumatycznego mieszania tworzywa z gazem,

➤ poprzez wprowadzenie gazu spieniającego do tworzywa przed jego ostatecznym uformowaniem,

Ta właśnie struktura zbudowana z zamkniętych niekontaktujących się ze sobą komórek decyduje o tym, że EPP jest nienasiąkliwym i stosunkowo sztywnym materiałem. Odpowiednio sterując opisanym procesem, możemy uzyskiwać materiał o większej i mniejszej gęstości pozornej. Należy jednak pamiętać, że mniejsza gęstość pozorna skutkuje także zmniejszeniem odporności mechanicznej materiału, w tym na zginanie czy skręcanie, co ma szczególne znaczenie dla stosowania go jako materiału konstrukcyjnego. Poprzez dodawanie do tworzących się pianek różnych substancji można zmieniać ich właściwości, np. zwiększać ich termoizolacyjność lub ognioodporność.

EPP, czyli polipropylen spieniony, ze względu na właściwości wyjściowego polimeru charakteryzuje się znacznie

zalety wielu innych materiałów, istotnych z punktu widzenia konstrukcji aut elektrycznych. Są to:

➤ niska waga wykonywanych z niego elementów, co przy możliwości kształtowania z niego zarówno pokrycia nadwozia, elementów jego wyposażenia (np. siedzenia), jak i elementów konstrukcyjnych podwozia daje znaczącą redukcję wagi całego auta, a zatem także zwiększenie jego zasięgu,

➤ własność pochłaniania energii uderzeń, dająca zwiększenie stopnia bezpieczeństwa biernego pasażerów przy ograniczeniu wagi całej konstrukcji,

➤ bardzo dobre własności termoizolacyjne, pozwalające zaoszczędzić energię na ogrzewanie wnętrza w zimie, a w rezultacie oszczędzającą energię baterii,

➤ odporność na korozję (nie tylko w przypadku aut elektrycznych),

➤ dobrze poznana technologia wielkoseryjnego wytwarzania elementów z EPP, co może prowadzić do obniżenia kosztów produkcji, a zatem także cen aut elektrycznych.

## WYKORZYSTANIE EPP A GOZ

Z punktu widzenia GOZ-u istotne jest to, że EPP jest materiałem poddającym się w 100% recyklingowi, jako domieszka (po zmieleniu i oczyszczeniu) do granulatu, z którego produkuje się poszczególne elementy albo jako surowiec do produkcji tego granulatu. Inną ważną jego zaletą jest możliwość tworzenia konstrukcji modułowych, pozwalająca na wymianę elementów i ich wtórne wykorzystanie.

Czy produkcja elementów z EPP wiąże się z większym zanieczyszczeniem środowiska i emisją CO<sub>2</sub> w stosunku do analogicznych elementów wykonanych ze stali czy innych materiałów, jest kwestią do zbadania, ale nawet przy porównywalnym obciążeniu środowiska pozostają zalety tego materiału w stosunku do tych tradycyjnie używanych. Oczywiście, EPP nie jest materiałem idealnym, ma on swoje wady, wynikające z natury polipropylenu i ograniczeń technologicznych związanych z produkcją. Wiele z nich, np. podatność na promieniowanie UV, jest obecnie rozwiązywanych.

Atrakcyjność tworzywa pozwoliła już w tym momencie na produkcję pierwszych aut elektrycznych, w których EPP jest materiałem konstrukcji nadwozia, a nawet podwozia.

Pierwszym przykładem może być tu produkt firmy ECOMove – samochód elektryczny o nazwie QBEAK EV, powstały z wykorzystaniem EPP i INREKOR-u.

QBEAK napędzany jest silnikami elektrycznymi zintegrowanymi z przekładniami i hamulcami w jeden blok napędowy umieszczony w kołach, co generuje więcej przestrzeni ładunkowej. Niewielka waga auta (550 kg) pozwala na umieszczenie w nim baterii pozwalającej uzyskać zasięg 300 km przy pełnym załadunku<sup>9</sup>. QBEAK jest właściwie rodzajem samojazdnej platformy, gdzie do płyty głównej wykonanej z INREKOR-u i lekkiej konstrukcji rurowej można dołączać elementy poszycia wykonane z EPP, aranżując w różny sposób zarówno nadwozie, jak i jego wnętrze.

Także duże koncerny samochodowe zauważają zalety EPP. Przykładem jest tu koncepcyjny projekt auta elektrycznego Toyoty o nazwie Toyota Me We, także zbudowanego z EPP<sup>10</sup>.

Wspólną cechą obu aut jest wspomniana możliwość różnej aranżacji zarówno wnętrza, jak i zewnętrznych elementów nadwozia. Jest to możliwe dzięki trójwymiarowym metodom konstrukcyjnym i metodzie łączenia elementów wykonanych z EPP, co przypomina nieco zabawę klockami LEGO.

Jak widać, modele pierwszych aut elektrycznych wykonanych w przeważającej części z EPP to małe auta miejskie. Decyduje o tym przewidywana największa efektywność kosztowa wielkoseryjnej produkcji elementów z EPP dla małych pojazdów i możliwość uzyskania dla nich najlepszego efektu redukcji wagi.

W tym też miejscu należy wrócić do podstaw i zastanowić się, jaki model elektromobilności będzie rozwijany. Czy preferowany będzie model, w którym małe, tanie samochody elektryczne o niewielkim zasięgu (100-150 km) będą rozwiązaniem problemu zanieczyszczenia środowiska w miastach, czy też za wszelką cenę będziemy próbować konstruować auta o zasięgu 500-600 km, ciężkie, mniej efektywne energetycznie i mniej korzystne dla środowiska?

Rozwiązaniem może być tu tylko odpowiednio zrównoważona strategia rozwoju elektromobilności, która:

➤ lokuje określone rozwiązania dla komunikacji miejskiej i dla komunikacji międzymiastowej, mając na uwadze inną specyfikę zanieczyszczenia środowiska w miastach, a inną poza ich granicami,

➤ w pełni zaspokoi potrzeby transportowe, nie zmuszając ludzi do ich ograniczania,

➤ daje podróżnym tanie środki transportu.

Przemysłana strategia pozwoliłaby na określenie wytycznych dla konstrukcji odpowiednich dla ich zastosowań pojazdów elektrycznych. Tak więc czy EPP i inne tego typu materiały staną się rozwiązaniami problemów elektromobilności, zależy nie tylko od ich ewidentnych zalet, ale też od założeń prowadzonej polityki transportowej państwa.

Gospodarka obiegu zamkniętego stwarza szansę dla szerokiego wykorzystania takich innowacyjnych materiałów jak EPP. Wymaga to nowego, zrównoważonego podejścia do procesu projektowania i konstrukcji aut, w którym pod uwagę bierze się – obok tradycyjnych dla tego procesu przesłanek – także te, które wynikają z zasad gospodarki obiegu zamkniętego. Jaka jest więc odpowiedź na pytanie postawione w tytule tego artykułu – czy polipropylen spieniony okaże się swoistym materiałem łącznikiem pomiędzy gospodarką obiegu zamkniętego i rozwojem elektromobilności? Czas pokaże.

## MACIEJ HUMIEŃSKI

### ŹRÓDŁA

1. <https://www.wyorkierowcow.pl/dlaczego-samochody-elektryczne-sa-drogie-ile-kosztuje-akumulator/> (dostęp: 7.03.2019).
2. Mayyas A., Omar M., Hayajneh M., Mayyas A.R.: *Vehicle's Lightweight Design vs. Electrification from Life Cycle Assessment Perspective*, „Journal of Cleaner Production” 1/2018.
3. Bielefeldt K., Papacz W., Walkowiak J.: *Ekologiczny samochód tworzywa sztuczne w technice motoryzacyjnej*. Cz. 1. Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn. Uniwersytet Zielonogórski. Zielona Góra 2011.
4. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Trabant\\_\(samochód\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Trabant_(samochód)) (dostęp: 7.03.2019).
5. <https://www.plastech.pl/wiadomosci/Tworzywa-w-samochodach-3119> (dostęp: 7.03.2019).
6. <https://www.magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Splenianie-tworzyw-sztucznych,9058,1> (dostęp: 7.03.2019).
7. Materiały techniczne firmy ARPRO, dostępne na stronach internetowych.
8. <https://www.plasticsnewseurope.com/article/20120208/PNE/302089964/inrekors-intelligent-sandwich-technology> (dostęp: 7.03.2019).
9. [http://orka.sejm.gov.pl/opinie8.nsf/na-zwa/390\\_20161129\\_1/\\$file/390\\_20161129\\_1.pdf](http://orka.sejm.gov.pl/opinie8.nsf/na-zwa/390_20161129_1/$file/390_20161129_1.pdf) (dostęp: 7.03.2019).
10. <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/concept-cars/me-we> (dostęp: 7.03.2019).
11. <http://ecomove.dk/expertise/> (dostęp: 7.03.2019).
12. <http://toyotasila.com/2014-toyota-mewe-review-price/> (dostęp: 7.03.2019).